

발간등록번호

11-1543000-000187-01

**비가열처리 가공공정의
현장적용 탄소저감 시스템 개발**

**Development of low-CO₂ nonthermal
processing systems applicable to the food industry**

연세대학교

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “비가열처리 가공공정의 현장적용 탄소저감 시스템 개발에 관한 연구” 과제 (제 1 세부과제 “UV-광촉매 산화 및 초음파-살균소독제 병용 처리를 이용한 식품 살균 연구에 관한 연구”, 제 1협동 과제 “저온 플라즈마와 자외선 광펄스를 이용한 식품표면 살균기술 개발에 관한 연구”, 제 2 협동과제 “신선 편이식품의 보존성, 안전성 증진을 위한 천연/화학 향균제의 고효율 나노 살균 공정 개발에 관한 연구”, 제 3 협동과제 “신선편이 식품 위해미생물 저감화를 위한 미산성 저농도 전해수의 살균 효능에 관한 연구”, 제 4 협동과제 “비가열처리 기술의 탄소 발생 저감화 효과 규명에 관한 연구”)의 보고서로 제출합니다.

2013년 7월 29일

주관연구기관명 : 연세대학교 생명공학과
주관연구책임자 : 박지용
세부연구책임자 : 박지용
협동연구기관명 : 가천대학교 식품생물공학과
협동연구책임자 : 목철균
협동연구기관명 : 목포대학교 식품공학과
협동연구책임자 : 김정목
협동연구기관명 : 강원대학교 식품생명공학과
협동연구책임자 : 오덕환
협동연구기관명 : 주식회사 다손
협동연구책임자 : 황진영

요 약 문

I. 제 목

비가열처리 가공공정의 현장적용 탄소저감 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 소비자의 식품에 대한 관심이 증가함에 따라, 안전하고 건강한 식품은 물론이며, 가능한 한 천연 상태를 유지하며 가공을 최소화 한 상품을 요구하고 있다. 이러한 소비자의 욕구를 만족시킬 뿐만 아니라, 변화하고 있는 식품 산업에 대응하기 위하여 자연 그대로의 맛과 향을 유지하는 식품을 개발하려는 연구가 폭넓게 이루어져야 한다.

기존의 식품 산업에서 널리 사용되고 있는 열처리 공정의 경우, 식품 위해 미생물의 살균력은 뛰어나지만 영양 성분을 파괴하고, 식품 본연의 맛, 향, 질감을 변성시키는 단점이 있다. 또한, 열처리 공정의 경우 많은 양의 탄소를 발생시키기 때문에 이를 줄이기 위해서는 비가열 가공 및 살균 기술 개발이 시급한 상황이다.

본 연구 과제에서는 식품의 유통 및 저장 중 안전성 확보를 위하여 저온 플라즈마와 자외선 광펄스를 이용하여 공기 중에서 식품표면을 살균하는 기술과 나노입자 살균 소독 기술, UV-광촉매 산화 및 초음파 병합 살균 기술, 이산화염소와 전기분해수를 이용한 세척 살균 기술을 확립하고, 이와 같은 비가열처리 살균 기술을 이용한 최소 가공 식품의 영양 성분 보존 및 저장성을 향상시키고, 전 과정평가(LCA)를 활용하여 비가열처리 기술의 탄소발생 저감효과를 규명하였다.

(I) UV-광촉매 산화 반응 및 초음파-살균 소독제 병용 기술 [제 1 세부과제]

UV-광촉매 살균 기술은 독성이 없는 반도체의 표면에 자외선에 의한 빛 에너지의 조사로 생성된 수산화라디칼($\cdot\text{OH}$)과 초과산화물 라디칼(O_2^-)을 이용하는 기술이다. 강력한 살균력을 지니고 있음에도 불구하고 인체에는 무해하고, 식품의 영양소나 품질 손실을 최소화 할 수 있다. 이는 기상 또는 액상에 존재하는 유기오염물질 제거가 가능하고 일반 방법으로는 살균이 어려운 포자 균에 적용이 가능하다. 뿐만 아니라 잔류 물질이 없고 화학물질을 첨가하지 않는 살균법이기 때문에 친환경적이다. 본 연구 과제에서는 촉매를 이용하여 신선 식품을 세척 살균할 수 있는 시스템을 구축하고자 하였다.

물리적 제어법 중 초음파(ultrasound)는 식품의 영양성분이나 다른 요소들에 영향을 가하지 않아 증가되는 소비자 요구에 가장 부합하는 기술로 각광받고 있다. 초음파는 열을 발생시키지 않아 영양성분을 유지하며, 저장성을 향상시키는 살균 보조기술로 활용되고 있다. 초음파의 항미생물 효과는 추진기 뒤에 생기는 진공현상인 캐비테이션(cavitation)에 기인하여 발생되고, 세포 조직과 기능성 요소들을 파괴하며, 결과적으로 세포를 용해시킨다.

초음파는 단독으로 처리되었을 때, 미생물 살균에 충분한 효과를 일으키지 못하는 단점이 있어, 주로 열, 압력, 살균소독제, UV 등 다른 미생물 저해방법들과 병용처리가 요구된다고 알려져 있다. 본 연구 과정은 초음파를 이용하여 화학적 살균소독제와 병용 처리하는 기술을 개발함으로써 유기농, 신선편이식품 등의 영양성분 변화를 최소화하고 저장성을 향상시키고자 하였다.

(2) 저온 플라즈마와 자외선 광펄스 기술 [제 1 협동과제]

플라스마란 전리된 기체상태의 물질로 각종 이온, 라디칼, 전자가 풍부한 하전입자 집단이다. 플라스마는 들뜬상태의 다양한 이온들을 다량 포함하고, 활성화된 라디칼, 자외선 및 고에너지 전자가 풍부하므로 이들 물질의 생물학적 작용에 의해 미생물을 사멸시킨다.

저온플라스마를 이용한 식품살균기술 개발과 안전성 확보를 목표로 다양한 플라스마 기술을 응용하여 살균시스템을 제작하고 작동조건에 따른 온도변화와 식중독미생물에 대한 살균기작을 조사하였다. 이를 활용하여 식품표면 살균을 시도하였고 처리 중 품질변화를 분석하여 개발기술의 적용 가능성을 확인하였다. 최종적으로 농수산식품제조 현장에서 적용할 수 있도록 현장형 저온플라스마 응용 시스템을 고안하였다. 현장형 R-CDPJ시스템 적용을 위하여 다양한 식품을 대상으로 살균효과와 품질에 미치는 영향을 분석하여 최적조건을 확립하였다.

자외선 광펄스 기술은 자외선(ultraviolet)영역부터 근적외선(near infrared)영역까지 넓은 범위의 빛을 짧은 시간 조사하여 식품의 표면이나 액상식품을 살균하는 기술로써 본 연구 과정에서는 광펄스 살균기술에 의한 농수산물의 위해 세균 제어 기술의 개발과 저온플라스마와 병합처리에 의한 신선식품의 위해 세균 저감 방법 대해 연구하고 in-line process를 위한 살균 시스템을 개발하고자 하였다.

(3) 천연항균제의 고효율 나노 살균 공정 [제 2 협동과제]

나노입자 살균소독 기술은 수용성 천연/화학 살균제를 나노 입자화하여 분부 처리함으로써 소량의 살균제로 넓은 범위를 처리할 수 있으며, 저농도 처리로도 병원성 미생물에 대한 높은 살균효과를 기대할 수 있다. 또한, 천연 추출물 및 GRAS 물질을 사용한 산성화 아염소 산수를 이용함으로써 효율성과 안전성을 높여 친환경적이며, 저탄소 배출 살균기술로 소비자의 불안감 해소, 고품질 식품 생산, 위해미생물의 효과적 제어로 유통·저장 중 안전성 확보가 용이하다. 특히, 나노입자 살균소독 기술은 소형의 nebulizer로도 넓은 공간에 효과적인 처리가 가능하며, 기존의 수용성 살균제에 적용 가능하여 신선 편이식품은 물론 식품 및 공정 전반에 적용이 가능한 기술로 활용분야가 다양하기 때문에 많은 제품 및 공정의 바탕 기술로 적용이 가능하다.

(4) 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 [제 3 협동과제]

전해수는 물에 소량의 전해질을 첨가하여 전기분해 하는 것으로 매우 뛰어난 살균소독 효과와 유기물 처리효과를 가지면서도 생체에 대한 안전성과 무공해성의 장점을 가지고 있다. 전해수의 mild heat 처리 방법은 신선편이 채소류의 갈변효소의 활성 억제와 조직의 연화를 방지하여 유통기간을 연장시키는 방법의 하나로 다른 살균수와 함께 쓰일 때 미생물 저감화에 상승효과를 주며, mild heat 처리는 여러 농산품에 적용되고 있고, 세균에 대한 살균효과,

생화학적, 품질적인 면을 증진시킨다고 보고하고 있다.

본 연구에서는 비가열 신선편이 생식식품 원료에 미산성 저농도 전해수 처리 및 mild heat 처리에 의한 생식식품 가공공정 중 효율적인 위해미생물 제어기술 확보와 생식식품 저장 중 이화학적 품질변화 분석을 통한 생식식품의 품질안전성을 확보하였고, 이를 바탕으로 비가열 신선편이 생식식품 원료에 미산성 저농도 전해수 처리 및 초음파 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발을 하여 신선편이 생식 제품의 가공, 저장 및 유통 중의 품질 변화 원인을 규명하고 품질 저하를 최소화하여 신선도를 높이고 위생적으로 안전한 저장 및 유통 기술 확립하고자 하였다.

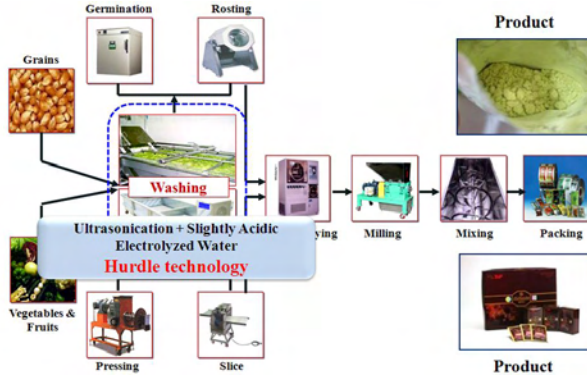


그림 1. 생식가공공정

신선편이 식품은 주로 익히지 않은 상태로 섭취되기 때문에 생산, 수확 중 미생물의 오염 가능성이 높다. 따라서 신선편이 식품의 생산, 수확 후 또는 가공, 저장 및 유통 과정 중의 미생물 수 감소를 위한 전처리 과정이 필요하다. 하지만 기존의 열처리는 품질저하를 유도하는 효소의 불활성화나 미생물 수 감소를 위해 식품에 널리 사용되어 왔으나, 열처리 과정에서 신선편이 식품 고유의 색이나 향미, 중량 등의 품질을 저하시키는 문제점이 있기 때문에 열처리를 대체할 만한 기술 개발이 시급한 상황이다.

본 연구 과제에서는 다양한 신선편이식품의 가공, 저장 및 유통 과정 중의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 액상 ClO_2 를 이용한 hurdle technology 개발 및 최적 조건을 수립하여 위해미생물 제어와 품질을 향상시키고자 하였다.

(5) 비가열 처리의 탄소 발생 저감화 [제 4 협동과제]

식품산업에서 이산화탄소 발생 저감화 노력의 일환으로 시도되고 있는 비열 전처리 가공 기술의 개발과 이 기술들의 산업적 적용은 세계적인 환경규제 추세에 비추어 볼 때 매우 시급하고 절박한 사안이다. 뿐만 아니라 최근 소비자들의 건강에 대한 관심이 높아지고 신선한 친환경 제품을 찾는 경향이 강해지면서 식품산업에서는 최소한의 가공을 통하여 자연 그대로의 품질을 유지하는 식품개발에 대한 관심이 고조됨에 따라 식품 제조·보관·유통은 물량의 계속적 증가가 예상되므로 본 연구 과제에서는 비가열처리 가공공정의 현장적용을 위한 저탄소 식품가공기술을 개발하고 이산화탄소 저감화를 이루고자 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

(1) UV-광촉매 산화 반응 및 초음파-살균 소독제 병용 기술 [제 1 세부과제]

- 광촉매 장치 개발 및 초음파-화학적 살균소독제 병용 제어법 연구
- 광촉매와 초음파-살균소독제 병용 제어법을 이용한 일반 세균 살균법 확립
- 광촉매와 초음파-살균소독제 병용 제어법을 이용한 신선 식품 등의 미생물 살균조건 확립
- 광촉매와 초음파-살균소독제 병용 제어법을 이용한 신선 식품 등의 미생물 살균 효과 확인
- 광촉매 및 초음파-살균소독제 처리 식품의 품질 특성 평가
- 최적 처리조건 결정 및 살균기술의 현장 적용

(2) 저온 플라즈마와 자외선 광펄스 기술 [제 1 협동과제]

- 플라즈마 생성장치 및 자외선 광펄스 장치 개발
- 플라즈마 및 자외선 광펄스 생성조건 확립
- 플라즈마와 자외선 광펄스 생성조건에 따른 온도 조사
- 플라즈마 및 자외선 광펄스 살균기작 조사
- 플라즈마 및 자외선 광펄스 살균 실증 시험
- 플라즈마 및 자외선 광펄스 처리 식품의 품질평가
- 최적 처리조건 결정 및 살균기술의 현장 적용
- 플라즈마 및 자외선 광펄스 병합 살균기술의 현장 적용

(3) 천연항균제의 고효율 나노 살균 공정 [제 2 협동과제]

- 화학 살균제의 제조 장치에 aerosolization을 접목한 기술개발 및 현장 적용기술 개발
- 산성화 아염소산 발생장치를 통한 jet/ultrasonic nebulizer aerosol의 기술개발
- 살균제의 입자크기 분포도, aerosol의 농도(% volume)가 항균력에 미치는 영향 평가
- 농산물 중 곡류와 같은 수용액상의 세척이 불가능한 제품에 효과적인 적용 방안 연구
- 수용성 천연/화학 항균제의 획기적 효능 증진이 가능한 식용 나노입자 제조 및 식품의 저장성, 안전성 향상을 위한 현장 적용 기술 개발
- 천연/화학 항균제들을 직접 식품 및 제조 공정에 효율적 처리가 가능한 나노 입자화 기술개발
- 상기 나노 입자를 이용해 식품 생산 및 유통 시 현장 적용이 가능한 나노 살균 공정 개발

(4) 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 [제 3 협동과제]

- 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 검토
- 식품의 종류에 따른 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석
- 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 식품의 선도 유지 연장 및 예측 모델 개발
- Aqueous ClO₂를 처리에 의한 병원성 미생물 제어 기술 확보 및 품질 고급화 기술 확립
- 신선편이 식품의 제조, 가공, 저장, 유통과 관련하여 aqueous ClO₂ 기술 적용

(5) 비가열 처리의 탄소 발생 저감화 [제 4 협동과제]

- 전 과정 평가
- 주요 식품제조공정에서 공정조건별 이산화탄소 발생량에 대한 정량 평가 및 수학적 해석

- 식품제조 주요 공정장치별 이산화탄소 발생량에 대한 정량평가
- 식품제조공정에 대한 비열가공기술 적용에 따른 이산화탄소 저감효과 분석
- 비열처리기술의 적용을 통해 달성 가능한 식품제조공정에서의 이산화탄소 저감화 가이드라인의 제시
- Case study: 초고압기술을 적용한 천연 cloudy 사과주스의 탄소저감효과

IV. 연구개발결과

(1) UV-광촉매 산화 반응 및 초음파-살균 소독제 병용 기술 [제 1 세부과제]

- 본 연구 과제에서는 UV-광촉매 살균 기술을 통하여 식품의 영양소나 품질의 손실을 최소화 하는 비열 살균 기술을 개발하고자 하였다. 신선편이 식품에는 *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella*, *B. cereus* 등 다수의 미생물 검출된다는 문헌 검색 및 자료 조사가 이루어졌으며, 이를 기반으로 broth test를 통하여 자외선 살균력을 측정하였다.
- 자외선 파장별 살균력을 측정한 결과, 파장이 가장 짧은 UVC로 처리하였을 때, 감균 속도와 세포벽의 손상도가 최대로 나타났으며, 단 시간 내에 최대 살균 효율을 갖는 UVC가 비가열 처리 공정에 가장 적합하였다. UV-광촉매 공정으로 미생물의 처리할 경우, 많은 양의 유리 라디칼이 생성되어 위해 미생물의 DNA, RNA, 단백질과 지질을 손상시켜 자외선 단일 처리보다 더욱 강한 감균 효과(1.5 log CFU/cm³)를 보였다.
- 신선초 주스와 당근 주스를 pilot-scale UV-광촉매 반응기로 처리한 결과, 저장 기간 8일 동안 대조군에 비하여 0.8 log의 감균 효과가 있었으며, 품질 변화는 대조군과 거의 차이가 없었다.
- 액체 시료를 UV-광촉매 살균 기술을 적용 시킨 결과, 자외선 노출 면적이 증가할수록, 시료의 유속이 느릴수록 살균력이 증가하는 것이 관찰되었다. 살균 대상의 색이 진할 경우와 탁도가 높을 경우는 시료가 자외선을 흡수하여 자외선의 투과도가 현저히 저하되어 살균 효과가 감소하는 것이 관찰되었다.
- 탁도가 높은 신선초, 당근과 같은 시료의 경우, 초기 균수를 감소시킬 수 있는 전처리 세척 과정이 필요하며 batch식 UV-광촉매 살균기를 개발하여 전처리 세척 과정을 적용시켰다. 전처리 세척 과정을 적용시킨 결과 추가적으로 1.0 log의 감균 효과를 보였다.
- 자외선과 초음파를 병용 처리 시, 추가적인 살균 효과를 기대하여 batch식 UV-광촉매 반응기와 초음파 조사법을 병용하여 처리한 결과, 병합처리가 예상보다 낮은 균 감소율을 보였고 추가적인 살균 효과를 보이지 않았다. 이것은 광촉매의 라디칼 형성을 초음파 에너지가 간섭하여 저해를 일으켰거나 초음파 에너지가 자외선 광자의 이동에 영향을 주었기 때문으로 사료되었다. 이 결과 UV-광촉매 처리는 신선편이 식품의 표면 살균에서 큰 효율을 보였고 현장 시스템에도 도입이 가능하다는 결론을 얻었다.
- 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸 효과 및 품질 변화를 측정한 결과, broth, sus chip, 양상추에서 초음파 및 살균소독제를 병용처리 한 경우에는 초음파 또는 소독제만을 단독으로 사용했을 때보다 시너지 효과가 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한, *In vitro*에서 보다 *In food*에서 감소효과 및 시너지 효과가 높게 나타났으며, broth보다 sus chip 또는

양상추 표면에서의 감소효과 및 시너지 효과가 높게 나타났다. 이는 초음파가 살균력 보다는 detachment 효능을 가지기 때문인 것으로 사료된다. 양상추에 초음파-살균소독제를 병용 처리한 결과 신선편이 식품의 당도, pH, 조적감 등의 품질 변화는 대조군과 유의적 차이가 없었으나, 색도 L, a, b 값 모두 초음파와 살균소독제의 처리 조건이 증가할수록 값이 증가하였다. 하지만 L값과 b값의 변화는 살균소독제의 영향 때문인 것으로 사료되며 a값의 변화는 초음파와 살균소독제 모두의 영향인 것으로 사료된다.

- 최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 pilot scale의 현장 적용시켜 보았다. 양상추를 pilot scale의 초음파-소독제 장비에 적용된 초음파-소독제 동시처리 결과 총 균수, *E. coli*, *B. cereus*의 미생물 수가 최대 1 log 이상의 감소 값을 보였으며, 품질변화는 대조군과 거의 차이가 없었다. 일반적인 양상추 가공 공정의 순서 중 초음파-소독제 처리를 이용할 수 있는 소액체 시료를 UV-광촉매 살균 기술을 적용 시킨 결과, 자외선 노출 면적이 증가할수록, 시료의 유속이 느릴수록 살균력이 증가하는 것이 관찰되었다. 살균 대상의 색이 진할 경우와 탁도가 높을 경우는 시료가 자외선을 흡수하여 자외선의 투과도가 현저히 저하되어 살균 효과가 감소하는 것이 관찰되었다.
- 탁도가 높은 신선초, 당근과 같은 시료의 경우, 초기 균수를 감소시킬 수 있는 전처리 세척 과정이 필요하며 batch식 UV-광촉매 살균기를 개발하여 전처리 세척 과정을 적용시켰다. 전처리 세척 과정을 적용시킨 결과 추가적으로 1.0 log의 감균 효과를 보였다.
- 자외선과 초음파를 병용 처리 시, 추가적인 살균 효과를 기대하여 batch식 UV-광촉매 반응기와 초음파 조사법을 병용하여 처리한 결과, 병합처리가 예상보다 낮은 균 감소율을 보였고 추가적인 살균 효과를 보이지 않았다. 이것은 광촉매의 라디칼 형성을 초음파 에너지가 간섭하여 저해를 일으켰거나 초음파 에너지가 자외선 광자의 이동에 영향을 주었기 때문으로 사료되었다. 이 결과 UV-광촉매 처리는 신선편이 식품의 표면 살균에서 큰 효율을 보였고 현장 시스템에도 도입이 가능하다는 결론을 얻었다.
- 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸 효과 및 품질 변화를 측정된 결과, broth, sus chip, 양상추에서 초음파 및 살균소독제를 병용처리 한 경우에는 초음파 또는 소독제만을 단독으로 사용했을 때보다 시너지 효과가 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한, *In vitro*에서 보다 *In food*에서 감소효과 및 시너지 효과가 높게 나타났으며, broth보다 sus chip 또는 양상추 표면에서의 감소효과 및 시너지 효과가 높게 나타났다. 이는 초음파가 살균력 보다는 detachment 효능을 가지기 때문인 것으로 사료된다. 양상추에 초음파-살균소독제를 병용 처리한 결과 신선편이 식품의 당도, pH, 조적감 등의 품질 변화는 대조군과 유의적 차이가 없었으나, 색도 L, a, b 값 모두 초음파와 살균소독제의 처리 조건이 증가할수록 값이 증가하였다. 하지만 L값과 b값의 변화는 살균소독제의 영향 때문인 것으로 사료되며 a값의 변화는 초음파와 살균소독제 모두의 영향인 것으로 사료된다.
- 최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 pilot scale의 현장 적용시켜 보았다. 양상추를 pilot scale의 초음파-소독제 장비에 적용된 초음파-소독제 동시처리 결과 총 균수, *E. coli*, *B. cereus*의 미생물 수가 최대 1 log 이상의 감소 값을 보였으며, 품질변화는 대조군과 거의 차이가 없었다. 일반적인 양상추 가공 공정의 순서 중 초음파-소독제 처리를 이용할 수 있는 소독 공정의 전후 부분을 pilot scale 현장에 적용하였으며, 소독과정, 세척 과정 부분에 초음파와 소독제의

동시처리의 효과를 기대할 수 있었다. 이러한 결과들을 바탕으로 초음파 및 살균소독제의 병용처리는 화학적 살균소독제인 염소계 소독제의 처리 농도를 저감화 시킬 수 있고, 초음파 처리 시간을 단축시킴으로써 물리적인 충격에 노출을 줄여 신선편이 식품의 상품적 가치를 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

- 독 공정의 전 후 부분을 pilot scale 현장에 적용하였으며, 소독과정, 세척 과정 부분에 초음파와 소독제의 동시처리의 효과를 기대할 수 있었다. 이러한 결과들을 바탕으로 초음파 및 살균소독제의 병용처리는 화학적 살균소독제인 염소계 소독제의 처리 농도를 저감화 시킬 수 있고, 초음파 처리 시간을 단축시킴으로써 물리적인 충격에 노출을 줄여 신선편이 식품의 상품적 가치를 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

(2) 저온 플라즈마와 자외선 광펄스 기술 [제 1 협동과제]

- 저온플라즈마를 이용한 식품살균시스템을 개발하고자 감압방전플라즈마(LPDP), 유전체장벽 방전플라즈마(DBDP), 코로나방전플라즈마체트(CDPJ) 등 3 종류의 플라즈마 생성장치를 제작하여 기계특성, 살균력을 검증하고 식품품질에 미치는 영향을 조사하였다. LPDP 생성에 적합한 감압조건은 절대압력 1.0 Torr이었고, 살균력은 출력에 비례하였으며, 생성기체별 살균효과는 질소 > 공기 > 산소 플라즈마 순으로 우수하였다. DBDP 살균효과는 전류세기에 비례하였으며, 전극간격에 따라서는 2.65 mm > 3.33 mm > 1.85 mm 순이었다. 최소 D'-값은 전극간격 2.65 mm, 전류세기 1.25 A에서 0.565 min이었으며, DBDP 처리 시 이동식 처리가 고정식 처리에 비해 살균력이 유의하게 높았으며, 이동식 처리방식 간에는 양방향 처리가 단일방향 처리에 비해 살균효과가 우수하였다. CDPJ의 살균효과는 LPDP와 DBDP 보다 우수하였고, 살균력은 전류에 비례하였으며, 토출거리에 따른 살균력은 25 mm > 15 mm > 35 mm 순으로 토출거리 25 mm에서 가장 높은 살균효과를 보였다. 저온플라즈마에 의한 미생물 살균패턴은 초기에는 살균효과가 크고 이후에는 살균효과가 감소하는 2단계 1차 반응(의사1차반응)에 속하였으며 Singh-Heldman 모델에 부합하였다.
- 저온플라즈마를 이용하여 식품을 살균시킨 결과, 생식제초용 백미와 현미에 대한 살균력은 CDPJ가, 압맥은 DBDP가 가장 양호하였다. 균주별로는 세균이 진균보다 플라즈마 살균에 민감하였으나, *Bacillus*는 저항성이 높았고, 곡류의 외관, 색도, 산가, TBA가는 플라즈마 처리에 의해 크게 영향을 받지 않았다. 새싹의 일반세균은 10^7 CFU/g 수준이었으며 대장균군, 살모넬라, 바실러스, 포도상구균, 리스테리아 등 식중독균도 10^3 - 10^6 CFU/g 수준으로 오염되어 비가열 살균 기술의 적용이 필요하였다. 플라즈마 종류별 새싹의 살균효과는 CDPJ가 가장 높았고, DBDP, LPDP 순의 살균력을 보였다. 김의 경우도 CDPJ의 살균력이 가장 높았고, DBDP, LPDP 순의 낮아졌으며, 저온플라즈마 처리는 김의 외관, 색도, 항산화능에 영향을 미치지 않았다.
- 저온플라즈마를 이용하여 현장에 적용시킨 결과, 살균대상 식품의 크기와 모양에 제약을 받지 않고 대량 처리가 가능한 저온플라즈마장치로 원격코로나방전플라즈마체트(R-CDPJ)시스템을 고안하고 실증적 살균시험을 수행하였다. R-CDPJ 살균의 D'-값은 3.307 - 4.990 h로 살균 소요시간은 길었으나 처리용량의 제한이 없고 품질 저하가 없었다. 곡류, 과채류, 해조류 등을 24 h R-CDPJ 처리한 결과 2 log 수준의 미생물 감소효과가 있었으며 품질변화는 거의 없어 플라즈마 살균의 현장적용 모델로 적합하였다.

- UV 광펄스를 이용하여 신선 식품의 표면을 살균시켜 보았다. External triggering 방식을 통해 소규모, 소량화된 광펄스 처리장치를 제작하였고, 마른 김에 존재하는 방사선 저항세균 *Micrococcus roseus*와 병원성 대장균 *E.coli* O157:H7의 광펄스 살균효과를 확인한 결과 *M.roseus*, *E.coli* O157:H7에 모두 높은 살균효과를 보였으며, 실제 김에 적용하였을 경우에도 1.6 log 이상의 사멸효과를 나타냈다. 파프리카를 광펄스 처리하였을 경우, 93%의 총 균수 감소효과가 있었으며, firmness의 강도 증가, vitamin C 함량이 증가하는 결과를 나타내었으며, 그 외에도 폴리페놀 수요함량 등을 감소하는 결과를 나타내었으나 특별한 품질의 변화는 보이지 않았다.
- 저온 플라즈마와 UV 광펄스 병합 처리에 의한 미생물 저감 효과를 관찰한 결과, 새싹 채소를 광펄스 처리하였을 경우 병원성 대장균은 98%의 감균 효과를 나타내었으며, 저온플라즈마와의 다른 비가열 살균방법과 병행 시에 더욱 높은 살균효과를 보여 향후 농수산물의 비가열 살균 방법으로 가능성을 보였다.

(3) 천연항균제의 고효율 나노 살균 공정 [제 2 협동과제]

- Acid의 종류와 농도에 따른 아염소산수 생성농도와 순도를 확인한 결과 아염소산수의 생성효율은 유기산 중 phosphoric acid 8%와 NaClO₂ 8%를 반응시켰을 때 생성효율이 가장 좋았고, 아염소산수의 순도는 산의 종류 및 농도와 관계없이 96-98% 사이로 나타나 산의 종류 및 농도와 아염소산수 순도 사이에는 상관관계가 없는 것으로 판단된다.
- 아염소산수를 농도별(100, 200, 300, 400 ppm)로 제조하여 jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer로 분무하여 가스농도측정기로 시간별 농도를 측정할 결과 jet nebulizer는 5-15분 사이에 가장 높은 농도를 나타내었으며, ultrasonic nebulizer는 60-80분 사이에 가장 높은 농도를 나타내었다. 각 농도별로 jet nebulizer는 3, 5, 7, 9 ppm을 나타내었고, ultrasonic nebulizer는 9, 21, 34, 44 ppm을 나타내었다. Jet Nebulizer의 입자크기는 20-50 μm 로 ultrasonic nebulizer는 0.5-13 μm 로 확인되었고, 분무 전·후의 pH는 다소 감소하였다.
- Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 살균력 차이 확인을 위해 꿀과 피망의 표면에 *Salmonella* Typhimurium을 접종하여 아염소산수를 분무하여 처리한 결과 jet nebulizer보다 ultrasonic nebulizer의 살균력이 뛰어난 것으로 나타났다. 식용 가능한 소재를 이용한 제형별 나노 입자의 크기를 측정할 결과 cellulose, gelatin, lecithin, pectin의 모든 소재에서 대상 천연 항균제인 자몽 종자의 경우 나노 입자 지름 크기가 200 nm 이하, 고추냉이 300 nm 이하, 도인 200 nm 이하, 발효더덕 200 nm 이하의 크기로 제조된 것을 확인할 수 있었으며, 전자 현미경(EF-TEM) 측정을 통하여 모든 나노 입자의 형태가 구형의 형태로 제조된 것을 확인해 본 연구를 통해 제안된 입자화 공정이 활용성이 높은 것으로 평가된다.
- 제조된 나노 입자들의 안정성을 평가를 위해 ζ -potential 을 측정할 결과 천연 항균제에 관계없이 전체 pH 범위에서 높은 전위차를 나타내 상당한 안정성을 유지하는 것이 확인되었다. 단지 높은 염기성의 경우 안정성이 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 이 수용액에 최소 농도의 안정제를 첨가하면 이 경우도 나노 입자의 안정성을 증진시킬 수 있을 것으로 사료된다.
- 제조된 천연 추출물 나노입자의 항균 활성을 측정할 결과 자몽 종자와 고추냉이를 이용한 천연 나노 항균제의 항균 활성이 높게 나타나, 식용 가능한 천연 나노 항균제를 식품에 직

접 적용이 가능하며, 화학적 항균제를 대신하여 보다 안전하고 뛰어난 항균 증진이 가능할 것으로 사료되며, 나노 입자 형태로 제조된 천연 항균제의 관능적 평가 결과 그 고유의 천연 활성을 포함할 뿐 아니라 식품에서 가장 중요한 맛과 향에 영향을 주지 않아 식품의 천연 항균제로써 상용이 가능할 것으로 사료된다.

- 천연 항균 나노 입자화 연구 결과들은 넓은 spectrum의 식중독균들에 대해 기존의 천연 항균제들을 직접 식품에 적용 시 현재 가장 문제가 되는 고농도 사용, 잔류성, 식품 사용 입자 소재 선택에 따른 봉입 효율 저하, 냄새 등의 문제점들의 해결이 가능할 것이라는 결론을 도출했다. 또한 나노 입자의 항균 작용 원리나 기작에 관한 기초 결과를 얻어 다양한 분야에 활용이 가능할 것으로 예측되며, 특히 본 연구의 협동 과제인 분무 살균 연구에 나노 입자를 직접 적용이 가능할 것으로 예상된다.
- 비가열 살균기술로 나노입자 분무공정을 현장 적용하기위해 천연 추출물과 산성화 아염소산수를 ultrasonic nebulizer로 분무 처리하여 살균력을 확인한 결과, ultrasonic nebulizer를 이용하여 당근, 파프리카, 감귤 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*에 대해 최대 400 ppm의 산성화 아염소산수를 분무하여 30분 처리하였을 때 실험 균주 전체에서 2-3 log 이상의 살균효과를 확인할 수 있었으며, 신선편이 식품에서의 관적 품질 지표로 중요한 탈색 및 백화 현상과 같은 색의 변화는 나타나지 않았다.

(4) 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 [제 3 협동과제]

- 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석에서 위해 미생물의 저감화를 위한 물리적 전처리 조건을 확립하였다. 미산성 전해수 생성 최적 조건을 확립하기 위해 전처리를 검토하여 *in vitro* 실험을 통해 검증한 결과, 전류량을 1.45 A로 올리고, PCB 전극의 개수를 3개로 늘려 미산성 전해수를 제조하였을 때 전극의 미생물 저감효과가 가장 높은 것으로 나타났으며, 미산성전해수의 유효염소농도(ACC)별로 저감효과를 확인할 결과 10 ppm일 때 가장 높은 저감화를 보였으며 5 ppm에서도 5 log 이상의 감소를 나타냈다.
- 국내외 자료를 근거로 하여 미산성 전해수를 활용하여 식품에 응용할 경우, 비가열 식품 즉 신선편이 채소류나 육류 등에 활용이 많은 것으로 나타나, 본 연구에서는 양배추와 돼지고기를 대상으로 하여 연구를 수행하였다. 미산성 저농도 전해수나 강산성 전해수의 모두 식품 내의 다양한 matrix속에 존재하는 총 균수를 저감화 하는 것이 점종한 식중독균보다 저감화 효과가 감소하는 것으로 나타났다. 돼지고기에 침지시간과 미산성 전해수의 차아염소산농도별로 처리하였을 때 총 균수의 저감효과를 나타내었다. 돼지고기가 양배추에 비하여 유기물이 훨씬 많기 때문에 전해수의 살균효과를 감소시킨 것으로 기인하여 미산성 전해수나 강산성 전해수 모두 살균력이 떨어지는 것으로 나타났다. 미산성 저농도 전해수 살균소독력 평가 결과 침지시간이 증가함에 따라 살균효능이 증가하였고, 미산성 저농도 전해수의 농도가 높을수록, 온도가 증가할수록 살균효능이 증가하는 것을 알 수 있었다.
- 품질변화의 최소화를 위해 미산성 저농도 전해수의 최적 농도, 온도를 설정하였다. 최적 농도와 온도를 설정한 미산성 전해수와 초음파 병용 처리한 생식원료는 위해미생물 저감화에 효과가 없다. 각각 다른 저장온도에서 미산성 전해수와 초음파를 병용 처리한 생식원료가 대조군보다 균수의 증가율이 낮고, 이화학적 변화가 적었다. 미산성 전해수와 초음파 병용 처리한 생식

원료를 이용한 위해 미생물 예측모델 개발을 통해 위해평가에 이용할 수 있었다.

- 신선편이식품의 aqueous ClO₂ 처리를 적용한 시료의 저장 중 품질 변화 분석한 결과, aqueous ClO₂는 염소보다 2.5배 높은 산화력과 5배 높은 살균력을 가지면서 발암성분을 형성하지 않는 장점을 가지고 있었으며, aqueous ClO₂를 당근, 레드치커리, 청경채 등 신선편이식품에 처리한 결과, 색도나 관능평가에 큰 변화 없이 호기성 세균은 1.20-3.07 log CFU/g의 감균 효과를 보였으며, 효모 및 곰팡이는 0.63-3.09 log CFU/g의 감소효과가 나타났다. 또한, electron beam 처리는 식품에 방사능을 유발하지 않고 처리 시간이 짧으며, 처리 후 식품의 온도 변화가 거의 없으면서도 처리 효과가 높은 친환경적인 수단이다. aqueous ClO₂를 치곤, 적근대, 다채, 메밀싹에 단일 처리한 결과, 호기성 세균은 1.40-2.54 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 0.50-3.36 log CFU/g의 감소를 보였고, electron beam과 병합 처리 시, 모든 처리 구에서 호기성 세균과 효모 및 곰팡이가 검출 되지 않았다.
- UVC 조사는 미생물 내의 핵산 성분이 화학변화를 일으켜 대사 장애를 가져와 증식 능력을 잃게 되는 원리로 식품가공공정에 적용 시 거의 변화를 주지 않고, 조사 후 잔존하지 않는 장점을 가지고 있다. 메밀 싹에 aqueous ClO₂와 UVC 병합 처리 시, 색도와 품질의 변화 없이 호기성 세균은 3.58 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 1.91 log CFU/g이 감소하여 미생물 수 감소에 효과적이었으며, aqueous ClO₂, electron beam, UVC 등의 병합 살균 처리는 기존의 차아염소산나트륨 등 염소계 살균제 또는 오존 단일 살균 처리의 문제점을 보완하고 위생적 품질을 유지할 수 있다. Aqueous ClO₂, electron beam, UVC 등이 병합된 hurdle technology 처리는 신선편이식품의 고품질을 유지하면서 미생물학적 안전성을 향상시키는 데 효과적인 방법으로 사료된다.

(5) 비가열 처리의 탄소 발생 저감화 [제 4 협동과제]

- 이산화탄소 배출량 평가를 위해 기존에 주로 사용하는 방법인 환경부 LCA법은 제조 공정 모든 단계의 inventory 중 총 기여도가 50% 미만인 항목을 제외하고 평가하는 방법으로서 식품제조 및 유통 중의 이산화탄소 배출량을 정확하게 평가하기에는 문제가 있는 것으로 판단된다.
- 본 연구에서도 무균포장법의 경우 환경부 LCA법에 의해 평가된 가공법 제조 및 유통과정 중 발생하는 총 이산화탄소 배출량이 hybrid LCA법에 의해 평가된 것의 21.3%에 불과한 것으로 나타나, 환경부 LCA법을 사용하게 되면 식품의 종류에 따라서는 식품제조공정 중 배출되는 실제 이산화탄소의 양보다 낮게 평가될 가능성이 있을 것으로 나타났다. 하지만 Hybrid LCA법은 Process LCA법과 IO LCA법에 의해 평가된 이산화탄소 발생량을 합한 값으로서 두 가지 방법에 의한 평가를 보완할 수 있다.
- 주요 식품 가공 단위공정에 대하여 공정인자가 이산화탄소 발생량에 미치는 영향을 평가하고자 대표적인 단위공정인 살균공정(sterilization)에 대하여 온도와 시간에 따른 이산화탄소 발생량을 예측해 본 결과, 살균온도 상승에 따른 CO₂ 발생량은 선형적으로 증가하였고 살균기준온도가 높을수록 에너지 소모량은 증가하나 살균효과를 고려할 때 오히려 높은 온도에서 단시간 처리할수록 에너지 소모량은 더 효율적이었다. 스택제조 공정 중 에너지 소모량인 큰 dough의 건조공정에 대하여 에너지 사용과 관련된 airflow와 열분석을 실시한 결

과, 건조공정에서의 CO₂ 배출량은 건조조건에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

- 광펄스 가공기술, 저항열처리 가공기술, 초고압 가공기술을 적용한 모델식품의 살균 효과 검증은 통해 검토하였으며, 기존 공정과 비교하여 이산화탄소 배출량을 비교·평가하였고 식품제조공정에서 기존의 살균기술을 대체 적용함에 따른 이산화탄소 저감화 가이드라인을 제시하였다. 또한, 열처리 공정을 대체하는 비가열 기술에 대하여 비교·분석하여 실제 국내에서 적용하고 있는 초고압 기술을 열처리 대체기술로 선정하였다. 국내외에서 초고압 기술을 저온 살균의 대체 기술로 활용하고 있는 업체는 약 45개 업체로 국내에서는 대기업 2곳과 중소기업 2곳으로 모두 천연주스를 생산하는 업체로 조사되었다.
- 현장 적용을 위하여 천연 cloudy 사과주스 제조 공정의 분석 및 시제품의 품질(미생물학적 안정성, 영양 성분, 기능 성분 및 포장 용기 등)을 검토하였고, LCA를 실시하기 위한 평가 범위를 선정하였다. 본 공정에 대한 에너지 저감 효과와 탄소저감 효과를 추산하여 단순히 저온살균공정만 비교해 보면 초고압 처리에서는 843.5 MJ(168.7 kJ/kg), 기존 가열 살균공정(HTST)에서는 2,371 MJ(474.2 kJ/kg)로 두 공정의 차이가 매우 극명하게 나타났으며, 탄소 저감 효과는 평가 범위에서 약 90%로 추산되었다. 하지만 실제 측정값에 대한 자료는 업체의 정보 비공개로 인하여 제시하지 못하였다. 초고압 기술을 적용한 천연 cloudy 사과주스 제조 공정의 환경 보호 부대효과로서 용수 사용 최소화와 부산물 생성을 억제할 수 있음이 확인되었다. 현장 적용 분석결과, 탄소 저감화는 식품산업에서의 당면 문제이고 이를 위해서는 LCA와 같은 분석과 동시에 이루어져야 한다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

(1) UV-광촉매 산화 반응 및 초음파-살균 소독제 병용 기술 [제 1 세부과제]

- 자외선 살균은 빛을 이용한 기술으로써 반영구적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 식품에 적용하였을 때, 식품에 잔류하지 않으며 인체에 해로운 부산물도 생성하지 않는 장점이 있다. 자외선과 함께 광촉매인 이산화 티타늄을 병합하여 사용할 경우, 광촉매인 반도체의 표면에 자외선에 의한 빛 에너지 조사로 생성된 수산화 라디칼과 초과산화물 라디칼이 생성된다. 이는 유기 물질을 사용하는 화학적 처리 방법 및 가열 및 냉동, 건조 등의 물리적 처리 방법을 사용하지 않아도 되기 때문에 식품의 품질 변화를 최소화 할 수 있으므로, 열에 의해서 손상이 큰 과일, 채소류에 대한 적용이 가능하며, 건강 기능성 식품에도 적용이 가능할 것으로 예상된다.
- UV-광촉매 병합 처리를 할 경우, 자외선 단독 처리를 하였을 경우보다 살균력이 강하였다. 이러한 UV-광촉매 병합 처리는 수질 오염 살균뿐만 아니라 공기 살균에도 적용될 경우 더욱 효과적으로 사용될 수 있다고 판단된다.
- 본 과제를 연구하며 개발된 연속식 UV-광촉매 반응기의 경우, 액상 식품의 살균에 최적화되어 있으며, 투명하고 맑은 액체 시료에 적용시킬 경우, 더욱 효과적인 살균력이 있을 것이라고 예상된다.
- Batch식 UV-광촉매 반응기의 경우, 세척 과일이나 채소류에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 위해 미생물인 리스테리아, 대장균, 살모넬라 등에서 확실한 살균력을 확인할 수 있을

으므로, 신선편이 채소류에 특이적인 식중독균으로부터 소비자의 안전을 확보할 수 있을 것으로 생각된다.

- 초음파는 영양적, 관능적 품질 변화를 최소화하며, 공정의 편의성 및 친환경적으로 식품을 처리한다. 그러나 단독으로 처리되었을 때, 미생물 살균에 충분한 효과를 일으키지 못하는 단점이 있어 주로 열, 압력, 살균소독제, 자외선 등 다른 미생물 저해방법들과 병용처리가 요구된다고 알려져 있다. 그러나 초음파 세정만으로도 동시양면 세척, 좁은 공간에서의 높은 침투력, 비접촉 세척이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 초음파를 이용하여 화학적 살균소독제와 병용 처리하는 기술을 개발함으로써 유키능, 신선편이식품 등의 영양성분 변화를 최소화하고 저장성을 향상시키며 효과적인 관리와 미생물학적 위험요소에 대한 대책으로 활용 가능할 것이라고 생각된다.
- 본 과제를 연구하며 초음파와 화학적 살균소독제 병용처리가 가능한 장비를 제작함으로써 위생적으로 안전한 신선편이 식품 공급을 통해 소비자의 안전수준 요구에 대응할 수 있을 것이라고 생각된다. 또한 개발된 살균, 소독 기술은 신선편이 식품 및 외식, 급식시장의 식품 안전을 확보하여 건전한 산업발전과 수출에 기여할 수 있으며 식품제조업체나 외식, 급식업체에 기술이전이 가능하다고 판단된다.

(2) 저온 플라즈마와 자외선 광펄스 기술 [제 1 협동과제]

- 본 연구에서 시도한 감압방전플라즈마(LPDP, low pressure discharge plasma), 유전체장벽 방전플라즈마(DBDP, dielectric barrier discharge plasma), 코로나방전플라즈마제트(CDPJ, corona discharge plasma jet) 모두 살균효과를 보였고, 현장적용이 가능하도록 고안한 원격 코로나방전플라즈마제트(R-CDPJ, remote corona discharge plasma jet)시스템은 미생물뿐만 아니라 곡류, 과채류, 해조류 등 다양한 식품에 존재하는 미생물을 저온에서 살균할 수 있으며 품질에 미치는 영향이 미미하므로 농수산식품제조 현장에서 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 본 연구 결과에서 제시한 실증 현장형 R-CDPJ 모델을 scale-up하기 위한 후속 연구가 요구되며 이를 통하여 실제 식품처리/제조 현장에 시험을 수행하고 도출된 문제점을 해결한다면 고품질 식품 생산이 가능하여 식품위생 향상을 통한 안전한 식생활 확립뿐만 아니라 농어민의 소득 창출에도 기여할 것으로 기대된다.
- 자외선 광펄스 기술은 태양 빛과 가장 유사한 넓은 범위의 파장을 가진 빛을 이용하여 식품의 표면에 있는 위해 미생물을 감소시킬 수 있는 기술로서, 식품에 열을 발생시키지 않고 영양분의 손실 없이 보존기간을 늘릴 수 있는 비가열 살균기술이다.
- 개발된 external trigger 방식의 광펄스 살균 장치는 AC 220 V, 50-60 Hz의 단상의 일반 전원을 사용하고, 소비전력은 1.2 kW로 설계되어 기존의 direct trigger 방식에 비해 1/20 크기로 설치공간이 작고, 이동이 용이하다. 자외선 광펄스는 식품이 표면뿐만 아니라 고춧가루, 분말 이유식, 조미료 등의 분말식품, 다양한 신선 농산물에 적용이 가능한 것으로 보이며, 특히 병원성 대장균등에 우수한 살균력을 나타내 안전한 신선편이 농산물의 유통에 기여할 수 있는 것으로 생각된다.

(3) 천연항균제의 고효율 나노 살균 공정 [제 2 협동과제]

- 천연/화학 항균제의 나노 살균 공정은 항균제를 나노입자로 분류하는 비가열 살균처리기술로, 수용성 항균제 및 항균물질에 적용이 가능한 기술이다. 특히, 항균제 및 항균 물질의 나노 입자화는 과일, 채소 등 신선식품 및 생식용 곡물 등의 살균 처리 시 미세한 틈이나 왁스층, 오일, 상처부위나 구조 등이 접촉을 방해하여 살균력이 감소되었던 세척살균법의 단점을 보완하고, 저농도로 고효율의 살균효과를 통해 친환경적이며 경제적 효과가 높을 것으로 기대된다.
- 천연 항균제의 개발은 신선 편이식품의 소비 증가 외에도 천연 항균소재의 소비 증가를 통해 농가 소득 증대 및 지역경제 활성화에 이바지할 것으로 판단되며, 천연 항균소재 및 항균 나노 입자화 기술의 활용을 통해 새로운 제품군 개발 및 고부가가치 창출이 가능하며 상기 기반 기술을 활용한 유사 산업 적용도 가능할 것으로 예상된다.
- 화학적 항균제중 작용범위가 광범위한 산성화 아염소산을 나노 입자화 하여 활용함으로써 농산물의 저장성 향상과 품질의 안전성 유지뿐만 아니라 돈사, 계사의 악취제거 및 구제역의 발생억제, 조류독감의 예방 등에도 도움이 되리라 여겨지며, 항균 물질의 나노 입자화를 통한 활성증진 기술은 현장적용이 가능한 실용연구로서 즉시적인 산업화 가능성이 매우 높다고 판단된다.

(4) 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 [제 3 협동과제]

- 최근 인체에 무해한 비가열 살균 기술이 많이 연구되고 있으며, 이중에서 전해수를 이용한 살균 기술이 식품 원료 세척에 광범위하게 적용되고 있다. 그 중 전해수는 물에 소량의 전해질을 첨가하여 전기분해 하는 것으로 매우 뛰어난 살균소독 효과와 유기물 처리효과를 가지면서도 생체에 대한 안전성과 무공해성의 장점을 가지고 있다.
- 신선편이 생식 제품에서의 위해미생물을 제어함으로써 미생물학적 안전성을 확보하며 신선편이 생식 제품의 세척 중 품질 변화 원인을 규명하고 품질 저하를 최소화 할 수 있다. 또한 위생적으로 안정성이 확보된 생식제품의 유통으로 국민건강 이바지할 것으로 생각된다.
- 액상 ClO₂, 전자선, 자외선 등이 병합된 hurdle technology를 통해 당근, 레드치커리, 청경채 등 다양한 신선편이식품의 미생물학적 안전성을 향상시킬 수 있는 조건을 확립하였다. 이러한 병합 처리는 기존의 단일 살균 처리의 문제점을 보완하고 위생적 품질을 유지할 수 있을 뿐만 아니라 신선편이식품 생산 과정에 있어 화학 약품 사용을 최소로 하여 소비자들에 대한 화학적 위협 및 건강에 대한 부작용을 감소시킬 수 있다.
- 신선편이식품의 hurdle technology 적용을 통한 미생물학적 위해인자를 제어하여 안전성 증대, 유통기한 및 저장성 향상, 고품질의 신선편이식품의 제조가 가능하여 생산자의 수익향상을 도모함으로써 식품산업의 발전을 기대할 수 있다. 그리고 소비자의 기호에 맞는 다양한 신선편이식품산업의 활용에 있어 기초자료로 이용 가능하다. 또한, 국내 전문 학술지 게재 및 관련학회에 연구결과 발표 등을 통한 hurdle technology의 식품 적용 기술 보급에 적극 활용할 수 있다. Hurdle technology를 통한 신선편이식품 안전관리 기준 및 표준화된 가공공정의 가이드라인을 제시함으로써 신선편이식품 제조에서 각종 위해세균 저감화를 위한

표준공정 확립에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

(5) 비가열 처리의 탄소 발생 저감화 [제 4 협동과제]

- 비가열 공정별 탄소 발생량을 산출할 수 있는 정량적 모델을 제시하고 식품 산업 환경 평가 데이터베이스를 구축하여 에너지 효율의 증대화와 오염 물질 저감화를 통한 생산 비용의 절감을 가능하게 할 수 있다. 뿐만 아니라 친환경적 공정 확립으로 인한 식품 부가가치의 상승이 기대된다. 또한 식품별 제조·보관·유통에 따른 단계별 이산화탄소 발생 저감화 방안을 도출하고 친환경 가공기술을 개발함으로써 비가열 처리 공정의 산업화 가능성을 제시할 수 있을 것이라고 생각된다. 이에 따라 생활환경의 개선과 대국민의 이미지가 개선될 것으로 판단된다.

SUMMARY

I. Title

Development of low-CO₂ nonthermal processing systems applicable to the food industry

II. Objective

The food industry continues to be interested in the use of minimal processed technologies as a way of meeting consumer demand to achieve safeness and to maintain the nutrients natural in foods. To satisfy the consumers demand and to cope with the fast developing food industry, research on maintaining the flavor natural in food products have to be widely studied.

Heat processing that is widely used in the food industry has a good microbial inactivation effect, but the disadvantage of this technique is that it changes the flavor, texture and destroys the nutrients in foods. Furthermore, heat process produces lots of carbons, and to overcome this problem nonthermal treatment technology has to be developed.

(1) UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic wave-chemical sterilization agents [Project I]

In this research, to ensure the safety of foods during transport and storage, we used low temperature plasma and UV light pulse to sterilize the surface of foods. We also used nano particle sterilizing technique, combined treatments of UV photocatalysis oxidation and ultrasonic wave sterilizing technique, and established sterilization technique using chloride dioxide and electrolysis. Thus, we investigated minimally processed foods using nonthermal techniques to improve the shelf-life of foods. Moreover, by utilizing the recent evaluation report, we investigated nonthermal technology occurred low carbon volume during the process.

As an interest in a health of consumer is increased, consumption of fresh goods is being increased while consumption of existing foods through processing heat treatment is decreased. Because heat treatment sterilization is impossible in case of fresh goods, the development of nonthermal washer sterilization processing is necessary as soon as possible. UV photo catalysis sterilization technique is able to minimize quality loss or nutrients loss in foods. This technique uses hydroxyl radical ($\bullet\text{OH}$) and super peroxide radical ($\text{O}_2\bullet^-$) made by UV light energy irradiation on surface of semiconductor free of toxicity and it has strong sterilization ability but harmless to humans. It can eliminate organic contamination materials being in gaseous or liquefied state and apply to spore forming bacteria which is difficult to sterilize in general procedure. Moreover, it is eco-friendly sterilization in the way that it doesn't use chemical substances and there are

no harmful residues. This research project will construct a system that fresh foods can be disinfected on a surface using catalysts.

Hurdle technology is a maximization method deterring the activities of microorganisms or enzyme and minimize the change of a treated product by combining various treatment. Ultrasound, a physical reduction method, not only represents a rapid, efficient and reliable alternative to improve the quality of food, but it also has the potential to develop new products with a unique functionality. It has been used in sterilization as an assistive technology because it retains nutrition and improving storage of food by not generating heat during treatment. Ultrasound effects are mainly related to the cavitation phenomenon. It destroys cellular tissues and functional elements. As a result, ultrasound damage the cell. Ultrasound does not have disinfection effect on microorganism when used individually. So it is obvious that ultrasound needs to be used in combined treatment with heat, pressure, disinfectants, UV, and other microorganism reduction method.

The aim of this study is to improve storage and minimize change of nutrient in fresh-cut-food and organic food, thus combined treatment with ultrasound is developed.

(2) Low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses [Cooperative project I]

Plasma is an ionized gas containing same numbers of positively and negatively charged particles. Plasma is neither a gas nor a liquid, and possesses similar properties to both gases and liquids. Plasmas are classified as high-temperature and low-temperature ones. High-temperature plasmas are generated using a high-voltage high-temperature arc. The high-temperature plasmas are impossible to apply them to biological materials. Low-temperature plasmas are generated either under low-pressure(vacuum) conditions or by dielectric barrier discharge and can be used in decontamination and sterilization applications for biological products.

Plasmas contain various active species such as ions, electrons, radicals, UV light, vacuum UV (VUV), electric fields and metastables, which are considered to contribute to their antimicrobial effects. The death of microorganism by plasma is attributed to the UV action based on modification of DNA, the disruption of chemical bonds by UV photons, the photo desorption and the etching action of the active species. The antimicrobial effects of the plasmas can be applied to the decontamination of heat-labile food surfaces in order to improve the food safety and quality. The present research was aimed to develop various prototype low-plasma treatment systems and to explore the potential of the low-temperature plasmas as noble nonthermal food sterilization technology. Three types of plasma treatment system including low pressure discharge plasma(LPDP), dielectric barrier discharge plasma(DBDP), and corona discharge plasma jet(CDPJ) systems were fabricated and applied to the sterilization of type culture microorganisms and the microbial decontamination of food materials. As a capstone of the project, a prototype of the treatment system suitable to real food processing sites such as agricultural processing centers(APC) was proposed based on a remote-CDPJ treatment

system, and the feasibility was tested to food items of variety.

Due to the trends of well-being and improvement of QOL(quality of life), the consumption of fresh food products has increased significantly. Despite of the advantages of fresh food, the risk of food poisoning increased by the consumption of vegetables. Actually fresh vegetables became the main cause of food poisoning. Because vegetables are impossible to heat, the development of new technology that can substitute for the conventional heat treatment is required. Intense pulse light (IPL) is a technique to decontaminate food surface by killing microorganisms using short time pulses of an intense broad spectrum. The present application is focused on the fresh-cut vegetables, seafoods and powdered foods. Inactivation mechanism of IPL has been mainly attributed to the microbial DNA damage by thymine dimer formation (photochemical effect), the localized overheating of microbial cells (photothermal effect), and/or the structural damage caused by the pulsing effect (photophysical effect).

The object of this project was to develop the controlling method of the fresh-produce by IPL treatment and to investigate the possibility of combined IPL and low-temperature plasma treatment in order to inactivate microorganisms of sprouts more effectively.

(3) Nano sterilization process of natural/chemical antimicrobial [Cooperative project II]

The wide range of nano particle disinfection technique can be processed with a small amount of disinfectant by spray treatment of the water-soluble natural/chemical disinfectant with the nano granulation, and the high sterilizing effects of the pathogenic microorganism can be expected by only low-concentration processing. In addition, securing safety during distribution-storage can be easy by the consumer's angst solution, high-quality food production, effective controlling hazardous microorganism with the eco-friendly, low-carbon emissions sterilization technology by increase of effectiveness and safety using the natural extract and GRAS substance. Especially, the effective treatment of nano particle disinfection technique on the wide space is possible by only small nebulizer, and the application to the existing water-soluble disinfectant is possible, so there are various applications areas for the application technique in the overall fresh cut product and food and process, so it can be applied as the basic technology of the many products and processes.

(4) Sterilization efficacy review of slight acidic electrolyzed water [Cooperative project III]

Seng-sik means 'do not heat and do eat raw food' and is made of powder using freeze-dried 30~60 species grains, bulbs, vegetables. Seng-sik is cooked non-heat, can take in nutrient like fiber, enzyme, vitamin, mineral.

Despite the extensive advances in food safety regulations and food processing methods, seng-sik materials have been implicated in many food borne disease outbreaks caused by a variety of pathogen microorganisms. the complete inactivation or removal of pathogens

from the fresh produce is still a challenge to the food industry and developing new sanitization approaches as well as improving the present techniques is necessary. Some examples of the present sanitization techniques which have been used or studied for fresh produce sanitization are: irradiation, different types of electrolyzed water, warm water, chlorine dioxide, ultrasound, acidified sodium chlorite, ozone, organic acids and hydrogen peroxide.

SAEW has the advantage of possessing antimicrobial activity with low available chlorine, resulting in reduced corrosion of surfaces and minimization of the potential damage to human health and the environment. Therefore, there is growing interest in new applications for the bactericidal activity of SAEW in the food industry as an environmental friendly sanitization method. Also combinations of these methods have been studied in seek of higher efficiency. Despite all these methods are available for sanitizing fresh produce, their efficacies vary and none are able to ensure a complete elimination of microbes without compromising sensory quality.

Ultrasonication is one of the nonthermal treatment processes, minimize nutritional, sensory changes in quality and treat convenient, environmental during processing.

Hence, The main objectives of this research to evaluate the efficiency of inactivation by combining ultrasonication and slight acid electrolyzed water (SAEW) of pathogen on the seng-sik materials. In this study, ultrasonication was examined separately at various times and temperatures to find the best do set. From the best doses ,a good combination was made to obtain a hurdle technology susceptible to reduce effectively. After treatment, treated samples were stored at various temperatures and to develop a growth model for the microbial growth prediction.

Recently, consumption of minimally processed foods has increased due to changes in dietary habits and increasing interest on health. Minimally processed foods are prepared by washing, trimming, and cutting, and they are consumed in a raw state. Therefore, they are susceptible to contamination by foodborne microorganisms such as *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* during storage or distribution. To improve the microbial safety of minimally processed foods, nonthermal processing for microbial inactivation is required after harvest. Conventional thermal processing that has been used for the inactivation of enzymes and microorganisms has a disadvantage such as quality loss. Therefore, alternative technology is needed. The main objective of this study was to develop hurdle technology using nonthermal treatments and to establish the optimal condition for securing microbiological safety and improving quality during processing, storage, and distribution of various minimally processed foods.

(5) Carbon occur reduction of nonthermal method [Cooperative project IV]

Nonthermal physical methods of minimal processing are sufficiently effective on its own in inactivating microorganisms and enzymes at intensities that will not reduce sensory and nutritional quality.

The applications of nonthermal physical methods such as high pressure, pulsed electric fields, pulsed white light and UV radiation in food industry can also be effective for reducing the release of carbon dioxide in the sight of environmental aspect. Therefore, the use of minimal techniques puts new demands on the supply chain from agricultural production to the point of consumption.

III. Contents and Range of the Research

(1) UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic wave-chemical sterilization agents [Project I]

- Development of UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic wave-chemical sterilization agents.
- Establish methods of combined treatment of UV photocatalysis-chemical sterilization agents.
- Establish the inactivation conditions of microorganisms in combined treatments of UV photocatalysis-sterilization agents
- Observation of microorganism inactivation effect in combined treatments of UV photocatalysis-sterilization agents
- Evaluation of quality characteristics in foods treated with UV photocatalysis and ultrasonic wave-sterilization agents
- Establish optimum treatment conditions and application of sterilization techniques in the field

(2) Low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses [Cooperative project I]

- Development of the low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses system
- Establish methods of low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses system
- Establish the inactivation conditions of microorganisms in low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses system
- Evaluation of quality characteristics in foods treated with low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses system
- Low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses system for the efficient processing in direct food and manufacturing process

(3) Nano sterilization process of natural/chemical antimicrobial [Cooperative project II]

- Development of the technology grafting the aerosolization with the manufacturing equipment of the chemical disinfectant and field-applied technology development
- Technology development of jet/ultrasonic nebulizer aerosol through the acidified chlorous acid generation equipment
- Effects evaluation of the particle size distribution of disinfectant, aerosol concentration(% volume) on the antibacterial activity

- Study on the effective application measure of the non-washed product to the aqueous solution such as the grains among the agricultural products
- Field-applied technology development for the edible nano particle manufacturing for the water-soluble natural/chemical antimicrobial significant efficacy enhancement and preservability of food, safety improvement
- Nano granulation technology development for the efficient processing of the natural/chemical antimicrobials in direct food and manufacturing process

(4) Sterilization efficacy review of slight acidic electrolyzed water [Cooperative project III]

- Sterilization efficacy analysis of slight acidic electrolyzed water, combination treatment (ultrasonication, slight acidic electrolyzed water) according to the type of food.
- Development of predictive model of food treated by combination treatment (ultrasonication, slight acidic electrolyzed water).
- Freshness extension of food treated by slight acidic electrolyzed water, combination treatment (ultrasonication, slight acidic electrolyzed water).

(5) Carbon occur reduction of nonthermal method [Cooperative project IV]

- Quantitative and mathematical analysis on the CO₂ release in terms of operating conditions of main food manufacturing processes.
- Quantitative analysis on the CO₂ release for main food processing equipments.
- Effects of the CO₂ reduction for the applications of nonthermal physical methods in food manufacturing processes.
- Suggestion of guidelines for reducing the CO₂ release by the applications of nonthermal physical methods in food manufacturing processes.
- Case study: Investigation of the effect of the CO₂ reduction for the applications of HHP technology in natural cloudy apple juice manufacturing processes.

IV. Result of the Research

(1) UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic wave-chemical sterilization agents [Project I]

- UV could be separated by A, B and C, which each has different wavelengths (320, 280, 254 nm). To investigate which UV light effectively inactivates the microorganisms, we compared each of them by observing the cell wall disorder and DNA denaturation. The initial count of E. coli was 5.8 log CFU/mL, by treating them with UVA, UVB and UVC for 90 min, 90 sec, 40 sec respectively, total inactivation was observed. It showed that UVC was surely more effective than UVA and UVB.
- To compare the sterilization effects of UVC and UVC-TiO₂ photocatalysis, we made a surface model to evaluate the inactivation of microorganisms and observe the membrane.

UVC-TiO₂ photocatalysis showed 1.5 log higher inactivation effects than the UVC treatment alone. By observing the cell membrane by SEM, UVC-TiO₂ photocatalysis treatment caused damage by 20 sec, which gave similar damage effect as UVC treatment which was treated for 40 sec.

- To investigate the effect of UVC-TiO₂ photocatalysis in foods that are actually distributed in the market, we used angelic autilis and carrots. By treating them with pilot scale UVC-TiO₂ photocatalysis for 20 min, angelica juice reduced from 6.1 log CFU/mL to 4.8 log CFU/mL, and for the carrot juice, the viable count was reduced from 6.5 log CFU/mL to 6.0 log CFU/mL. During the storage period, UVC-TiO₂ photocatalysis treated samples had lower microbial counts than the control samples. Color, pH, sensory test results showed that there was no big difference between treated and the untreated samples. Followed by our observation, UVC-TiO₂ photocatalysis showed significant inactivation effect, and also lead to minimum quality changes.
- We also developed a continuous UVC-TiO₂ photocatalysis system. UV-dose could be controlled in the continuous system by controlling the flow rate of the sample and by adjusting the number of pipes. Slower flow rate with every pipes connected together lead higher inactivation effect. This is because the sample is exposed to UV light longer as the flow rate decrease and pipe gets longer. Thereby, it is reasonable that UV dose is the maintain that effects the inactivation rate in microorganisms.
- Pathogens inoculated in the apple juice were compared with the pathogens inoculated in distilled water, and it showed that at the same flow rate, pathogens in distilled water were more inactivated. This gives evidence that characteristic of the medium gives influence in the inactivation effect.
- The disadvantage of the continuous system is, as UV exposure time increase heat also increases. By this effect, color change and number increase of pathogens was observed. To overcome this problem we made a water jacket to maintain the temperature low during the treatment. To evaluate the effect of combined treatment of ultrasonic wave and UVC-TiO₂ photocatalysis, we used surface model, angelica and cucumbers as a sample.
- The initial count of *E. coli* K12 inoculated on the surface model was 6.0 log CFU/cm², and with the treatment of ultrasonic wave alone for 60 sec, microbial inactivation of 0.8 log CFU/cm² observed. This inactivation rate was similar with the air treatment held in the water. UVC-TiO₂ photocatalysis is alone and combined treatment did not show significant inactivation effect.
- For chemical treatment, after treatment of bacteria with 0-200 ppm chlorine using NaClO 12% (6% chlorine equivalent) in broth, there was a reduction of *E. coli*, *C. sakazakii*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*. population by 3.06~4.10 log CFU/mL and 3.46~4.16 log CFU/coupon in SUS chip. Ultrasound was used as a physical treatment. After up to 100min of ultrasonication, no significant effect on the pathogens was observed We found that Ultrasound did not affect the pathogens.
- In lettuce treatment test, *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii*

were inoculated in lettuce. The disinfectant inactivation tests were conducted by treating inoculated lettuce with 0-200 ppm chlorine. The maximum reduction of *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii* were 2.88, 3.13, 4.17, 3.09, 2.77 log CFU/g respectively. In ultrasonication, the lettuce was treated under a frequency of 37 kHz, and a power of 1200W with a time variation. The maximum reduction of the mentioned pathogens were 0.71, 1.57, 0.56, 0.86, 0.57 log CFU/g, respectively. However, the reduction observed were lower than that of chlorine treatment.

- Synergistic effect was observed in chemical-physical combined treatments in broth and Sus chip. We found that chemical-physical combination treatment is more effect than ultrasound or chlorine single treatment. Furthermore, the synergistic effect were greater in food experiment than in *in vitro* experiment. Additionally, the synergistic effect were also more significant in Sus chip or lettuce experiment than in broth. Ultrasound is thought to has detachment effect rather than sterilization. After single treatment of chlorine or ultrasound and combination treatment, there was no significant change ($p > 0.05$) in organoleptic quality or physicochemical properties such as pH value, sugar content, texture. There was an increase in L, a, b value after chlorine single treatment. This can be explained by chlorine bleaching effect on lettuce brightness. Moreover, temporal error of trituration procedure of chrominance method caused browning reaction. Ultrasound single treatment did not change L, b value but a-value increased. In chlorine-ultrasound combined treatment, there was an increase in L, a, b value. L, b value was affected by chlorine while a value is affected by both chlorine and ultrasound.
- To evaluate lettuce quality, we measured lettuce texture and color. It did not change texture and color in comparison to control group. It can be postulated that the commerciogenic worth of fresh-cut-food can be retain by applying ultrasound-chlorine combined treatment in the production process since ultrasound-chlorine combined treatment can reduce the use of chlorine concentration, and ultrasound treating time.
- Pilot scale chlorine-ultrasound combined system was constructed; and setted up treatment condition through RSM to apply Pilot scale scene. Lettuce total aerobic bacteria and inoculated pathogens decreased more than 1.00 log CFU/g in maximum condition of Pilot scale chlorine-ultrasound combination.

(2) Low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses [Cooperative project I]

- Low pressure discharge plasma(LPDP), Dielectric barrier discharge plasma(DBDP) and Corona discharge plasma jet(CDPJ) was generated to distinguish the characteristics of the machines and to evaluate the inactivation effects on microorganisms, and furthermore the effects on food quality by each of the treatments was evaluated. The optimum pressure for LPDP generation was 1.0 Torr and the abundance of plasma was proportional to electrical power input. The efficacy of the LPDP decreased in the order of nitrogen > air > oxygen regarding the types of generating gases. The efficacy of

the DBDP was proportional to intensity of electric current and showed efficacy by electrode-ground gaps 2.65 mm > 3.33 mm > 1.85 mm. The minimum D'-values against *Escherichia coli* were 0.463, 0.373 and 0.161 min at LPDP, DBDP and CDPJ processes, respectively. Consequently the efficacy of CDPJ was greatest among 3 types of low-temperature plasmas, and followed by DBDP and LPDP. The sterilization data fitted well to Singh-Heldman model in fact. The curve shape factor showed values lower than 1.0 representing convex shaped curves, inferring that the sterilization rate retarded as the treating time proceeded.

- The low-temperature plasma sterilization was attempted on real food items including grains, vegetable sprouts and dried laver. The efficacy for real food products showed identical changing trend to the standard microorganisms with respect to the plasma types and the treating conditions of each plasma. CDPJ showed greatest sterilization effect on sprouts, and DBDP, LPDP respectively. Moreover, CDPJ also showed greatest effects on seaweeds, and DBDP followed the next. The low-temperature plasma treatment showed no remarkable effects on food quality like appearance, color, acid values and TBA values of grains, hardness of vegetables, anti-oxidant properties of seaweeds. The results showed potentiality of the developed technology as a nonthermal processing methods for various food items.
- To apply the developed technology to actual food processing sites a more feasible low-temperature plasma treatment system has been proposed based on CDPJ. As the limitation of the CDPJ system is the treating spot size, an after glow remote-CDPJ(R-CDPJ) system was designed and the feasibility was tested for both standard microorganism cultures and real food products. In real foods such as grains, vegetables and dried seaweeds, the microbial counts were reduced by 1~1.5 and 1.5~2 log CFU/g after 12 h and 24 h R-CDPJ treatments, respectively. The D'-values ranged 5.321 - 15.3115 h with respect to the types foods and microorganisms. Mold possessed greater D'-values than bacteria. No remarkable changes in physicochemical properties were induced by the R-CDPJ treatment up to 24 h.
- The intense pulsed light(IPL) was used to evaluate the surface sterilization effect. External triggering method was used to design the pulsed light system. The inactivation of *Micrococcus roseus*, which is an irradiation-resistant bacterium and *E. coli* O157:H7 at dried seaweed was evaluated and they all showed significant inactivation effect. After IPL treatment of paprika, the pH increased slightly in all samples, and the polyphenol content decreased with treatment time. Vitamin C content also increased.
- The effect of combined treatment of IPL with low-temperature plasma on rapeseed sprouts was studied. The inactivation of total aerobic bacteria, *E. coli* and pathogenic *E. coli* increased with increasing treatment time of both IPL and LTP. The combined IPL-LTP treatment improved the microbial inactivation and a synergism was achieved. Therefore, above nonthermal sterilization techniques showed possibility to be the alternative method in future use in agricultural and marine products.

(3) Nano sterilization process of natural/chemical antimicrobial [Cooperative project II]

- In the results of study on the chlorous acid water concentration by the types of acid and concentration and purity, about the generation efficiency of chlorous acid water, the generation efficiency for reaction of the phosphoric acid 8% among the organic acid and NaClO_2 8% was topped, and the purity of the chlorous acid water was between 96-98% regardless of the types of acid and concentration, so it was judged that there was no correlation between the types of acid and concentration and the chlorous acid water purity.
- In the results of measuring the concentration by the time in the gas concentration analyzer and spray of the jet nebulizer and ultrasonic nebulizer in the grave box (volume: 260 L) after manufacturing the chlorous acid water by the concentration(100, 200, 300, 400 ppm), the jet nebulizer showed the highest concentration for 5-15 minutes, and the ultrasonic nebulizer showed the highest concentration for 60-80 minutes. The jet nebulizer by each concentration showed 3, 5, 7, 9 ppm, and the ultrasonic nebulizer showed 9, 21, 34, 44 ppm. The particle size of Jet Nebulizer is 20-50 μm , so the ultrasonic nebulizer was 0.5-13 μm , and pH before, after spray decreased, and difference by the type of nebulizer was not significant.
- To examine the sterilize power difference between Jet nebulizer and ultrasonic nebulizer, *Samonella* Typhimurium was injected on the surface of orange and green peppers, and the chlorous acid water was sprayed, and it can be seen that the sterilize power of the ultrasonic nebulizer was better than Jet nebulizer.
- In the results of measuring ζ -potential for evaluating the stability of the manufactured nano particles, the entire pH range showed the high potential difference regardless with the natural antimicrobial, so it was confirmed that stability can be maintained. In the case of the high alkalinity, the stability decreased, but it is considered that the stability of nano particle can be improved by adding stabilizer of the minimum concentration in the aqueous solution.
- In the results of measuring antibacterial activity of the manufactured natural extract nano particle, the antibacterial activity of natural nano antimicrobial using the grapefruit fruit seed and horseradish was more excellent than antibacterial activity, and this result showed that direct application of the natural nano antimicrobial for edible to the food is possible, and more safe and outstanding antimicrobial enhancement is possible instead of the chemical antimicrobial, and in the result of the sensory evaluation of the manufactured natural antimicrobial with nano particle form, it includes the unique natural vitality, and there was no effects of the food on the most important taste and flavor, so it may be used as the natural antimicrobial of the food.
- In the aforementioned research results of natural antimicrobial nano granulation, about the food poisoning organisms of wide spectrum, the application of the existing natural antimicrobials directly to the food may solve the current problems such as the

high-concentration use, residual property, inclusion inefficiency by the edible using particles material selection, smell etc. In addition, the basic results about the antimicrobial working principle of nano particle or the mechanisms were obtained, so it is expected to be used in a variety of fields.

- For the field application of the nano particle spray process with the nonthermal sterilization, the sterilize power of the spray treatment of the natural extract and acidified chlorous acid water by the ultrasonic nebulizer was examined, so when *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes* which was injected on the carrots, paprika, citrus surface by using the ultrasonic nebulizer, when the maximum 400 ppm acidified chlorous acid water was processed for 30 minutes after spray, there was more than 2-3 log of sterilizing effect in the sterilization experiment, and there was no color change from the vital bleaching and whitening from the fresh cut product such as the appearance quality indicators.

(4) Sterilization efficacy review of slight acidic electrolyzed water [Cooperative project III]

- Slightly acidic electrolyzed water sterilization efficacy test result show that sterilization efficacy increase with immersion time increased. The concentration, temperature of slightly acidic electrolyzed water is high, the efficacy of sterilization increases. Sterilization efficacy is higher slightly acidic electrolyzed water than NaClO. When slightly acidic electrolyzed water immersion time is 5 minute, *E. coli* O157:H7 sterilization efficacy is good. But Freshness vegetables indicate browning phenomenon. So, immersion time is 3 minute appropriate in terms of quality safety factor.
- During Seng-sik material processing, total bacterial, coliform are detected in possible microorganism monitoring. so, we treated slightly acidic electrolyzed water at Seng-sik material. All Seng-sik material(brown rice, barely, carrot, potato, kale, sinseoncho) indicates 1.1 log CFU/g in total bacteria, 2.0 log CFU / g in coliform bacteria reduction respectively.
- When Initial contamination investigated, grains, bulbs were detected *Bacillus cereus*, vegetables were detected *E. coli* O157:H7. so we experiment using pathogen differently. For reduction microbiology, Brown rice, barely, potato, carrot, sinseoncho, kale using seong-sik material were treated using ultrasonication. Ultrasonication strength (100, 200, 400 W/L), temperature (25, 40, 60 °C(bulbs,vegetables), 25, 40, 70 °C(grains)), time (1, 3, 5 min) conditions were determined differently. That results is approximately 2 log CFU/g reductions were observed at 400 W/L 40 °C, 3min condition. so, we chose this condition.
- The bactericidal effects of ultrasonication and Slight Acidic Elmelectrolyzed Water in combination against *Bacillus cereus*, *E. coli* O157:H7 on seng-sik materials were determined and approximately 3 log reductions were observed, respectively. The results showed that both had strong antimicrobial effects.
- To investigate the influence of storage temperature (5, 10, 15, 20, 25, 30, and 35 °C) on the growth of seng-sik materials(brown rice, potato, kale) untreated and treated

ultrasonication and slight acidic electrolyzed water in combination, a modified Gompertz model was employed to generate the SGR and LT during a shelf-life test. A square root model and a natural logarithm model were established to describe the relation between temperatures and the growth kinetics of *Bacillus cereus*, *E.coli* O157:H7. The bias and accuracy factors of the mathematical and statistical indices were used to validate the performance of the current models. The results demonstrated that the square root models developed for SGR could make a good prediction, while the predictions of the natural logarithm models were not so accurate. In the future, a new model should be established for lag time to provide reliable predictions.

- The populations of total aerobic bacteria in the carrot, red chicory, pak choi, and strawberry decreased by 1.20 ~ 1.76 log CFU/g by 50 ppm aqueous ClO₂ treatment, and the populations of yeast and mold decreased by 0.63 ~ 2.22 log CFU/g compared to the control.
- The populations of total aerobic bacteria as well as yeast and mold in the Romain lettuce and kale following 50 ppm aqueous ClO₂ treatment decreased by 1.08 ~ 3.07 log CFU/g without changes in color or sensory quality. In addition, the populations of *S. Typhimurium* and *E. coli* O157:H7 inoculated in the Romain lettuce and kale following 50 ppm aqueous ClO₂ treatment decreased by 2.03 ~ 3.86 log CFU/g.
- The populations of total aerobic bacteria in the chicon, red chard, Tatsoi, and buckwheat sprout decreased by 1.40 ~ 2.54 log CFU/g following 50 ppm aqueous ClO₂ treatment compared to the control, whereas the populations of yeast and mold decreased by 0.50 ~ 3.36 log CFU/g. In addition, by the combined treatment of 50 ppm aqueous ClO₂ and electron beam irradiation, total aerobic bacteria as well as yeast and mold in the chicon, red chard, and Tatsoi were not detected. For buckwheat sprouts, the combined treatment of 100 ppm aqueous ClO₂, 0.4% fumaric acid, and 4 kJ/m² UVC reduced the populations of total aerobic bacteria and yeast and mold by 3.58 and 1.91 log CFU/g without changes in color and sensory quality.

(5) Carbon occur reduction of nonthermal method [Cooperative project IV]

- nonthermal physical methods of minimal processing are sufficiently effective on its own in inactivating microorganisms and enzymes at intensities that will not reduce sensory and nutritional quality. The applications of nonthermal physical methods such as high pressure, pulsed electric fields, pulsed white light and UV radiation in food industry can also be effective for reducing the release of carbon dioxide in the sight of environmental aspect. Therefore, the use of minimal techniques puts new demands on the supply chain from agricultural production to the point of consumption.
- Case study: To investigate the effect of the CO₂ reduction in natural cloudy apple juice manufacturing processes that are applied the high hydrostatic pressure technology as a pasteurization process, we calculated energy intensity and carbon footprint. The natural cloudy apple juice from a conventional method had higher energy intensity (474.2 kJ/kg

of juice) than that from a HHP method (168.7 kJ/kg of juice). Calculated CO₂ reduction from carbon footprint was 90%. In this study, we have failed to measure the carbon emission data in the processing line. Limited data is collectable from the factory. In additional results, the application of this HHP technology was minimized the use of water and could be controlled the formation of by-products. As some point, however, the carbon sequestration issue must be confronted and incorporated into the analysis.

V. Future outlook of the Research

(1) UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic wave-chemical sterilization agents [Project I]

- Ultraviolet rays' disinfection using UV light has an advantage that it can be used semi-permanently. Also, when it is applied to foods, there are no residues in foods and it doesn't create injurious by-products. When Ultraviolet rays are used merging with photo-catalysis titanium dioxide, hydroxyl radical ($\bullet\text{OH}$) and super peroxide radical ($\text{O}_2\bullet^-$) are made by UV light energy irradiation on surface of photo-catalysis semiconductor. Because this technique is not necessary to chemical treatment which uses organic materials or physical treatment such as heating, freezing and drying, quality change of foods are minimized. Moreover, it will be applicable to health functional foods, fruits and vegetables which are weak to damage by heat treatment.
- UV treatment merging with photocatalysis had better sterilizing power than UV alone treatment. It was concluded that such UV treatment merging with photo-catalysis can be applied to air sterilization as well as sterilization of water contamination.
- In the case of continuous UV catalysis reactor developed in this study, it was optimized for sterilization of liquid food. The reactor had much effective bactericidal power when it was applied to clear and transparent liquid samples.
- It is judged that Batch UV catalysis reactor can be used for washing fruits and vegetables. Also, it can protect consumer safety from specific on fresh vegetables poisoning bacteria because this research verified its definite sterilizing effects on food-borne pathogens such as *Listeria*, *E. coli*, *Salmonella*.
- When ultrasound is solely used, it does not have any affect on microorganism population. Thus, ultrasound requires a combined treatment with another microorganism reduction method like heat, pressure, disinfectant, UV etc. It can be speculated that it minimizes changes of nutritional contents and improve storage of organic food and fresh-cut-food according to the developed ultrasound chemical combined treatment system. Therefore, it can be used as an effective management measure for microbiological hazard.
- This study corresponds to the increasing demand of food safety level by consumer in food supply by creating ultrasound-chemical disinfectant combination treatment system.
- In addition, the developed disinfection system may contribute to food safety in a healthy

industrial development, food exportation, fresh-cut food, as well as restaurants industry and food distributors.

(2) Low-temperature plasmas and ultraviolet light pulses [Cooperative project I]

- To explore the potential of the low-temperature plasmas as noble nonthermal food sterilization technology, three types of plasma system including low pressure discharge plasma (LPDP), dielectric barrier discharge plasma (DBDP), and corona discharge plasma jet (CDPJ) were applied to the sterilization of both type cultures of microorganism and to the decontamination of various food materials. As a capstone of the project, a prototype of suitable treatment system to real food processing sites such as agricultural processing centers (APC) was designed based on a remote-CDPJ treatment. The developed technology possessed the potential of industrial applications not only for the inactivation of microorganisms but for the decontamination of toxic materials from food surfaces. A scale-up study of the developed technology is definitely required for its real industry-scaled utilization.
- IPL is a technique to decontaminate surfaces by killing microorganisms by emitting unique short time intense pulses rich in UVC light of broad spectrum, This technology prolongs the shelf-life of foods without compromise in quality, and belongs to nonthermal technology categories. The developed system used general commercial power, AC 220 V, 50/60 Hz, and designed compact in size for an easy movement. UV IPL treatment will apply not only to the surface of food but also to powdered foods, and fresh farm products. This technology will contribute to the distribution of safe fresh food.

(3) Nano sterilization process of natural/chemical antimicrobial [Cooperative project II]

- The nano sterilization process of natural/chemical antimicrobial is the nonthermal sterilization to spray antimicrobial with nano particle, so it is technique to apply in the water-soluble antimicrobial and microbial substance. In particular, the nano granulation of antimicrobial and microbial substance compensates the weak point of washing sterilization which decreased sterilize power due to the disturbance of contacting by the fine hair, wax layer, oil, wounded area or the structure during the sterile processing of the fresh foods and fresh edible grain, etc., and the high eco-friendly, economical effect is expected through the high efficiency sterilizing effects as the low-concentration.
- The natural antimicrobial development is judged to contribute to the increased consumption of the fresh cut product and the farm family income growth and regional economy activation through the natural antibacterial materials, and new products development and higher-value added creation will be possible through the application of the natural antibacterial materials and antimicrobial nano granulation technology, and it is expected that the similar industry coverage using the aforementioned based technology will be possible.

(4) Sterilization efficacy review of slight acidic electrolyzed water [Cooperative project III]

- By application of the acidified chlorous acid with wide working realm among chemical antimicrobial as the nano granulation, it will help to maintain the preservability improving of the agricultural products and quality safety, the odor removal of the pigsty, henhouse and suppression of the occurrence of foot-and-mouth disease, prevention of avian influenza etc., and the activity enhancement technology of the microbial substance through the nano granulation has very high immediate industrialization possibilities as the practical research with possible on-the-spot coverage.
- Recently, slight acidic electrolyzed water (SAEW) has been found to have an effective bactericidal activity and leaves no residuals. SAEW has a strong bactericidal activity, and is rapidly transformed into chlorine, oxygen, and water when it encounters microbes and other organisms. It, as a washing bactericidal agent, does not produce the secondary pollutions and has been extensively used. SAEW has been used for a long since to inactivate pathogens on fresh produce. SAEW has been tested and used as a disinfectant in the food industry and other applications. Combinations of SAEW and other measures are also possible. The combined use of several disinfectant treatment has been widely report in the last few years.
- Application of ultrasound as another environmental friendly antimicrobial agent has a long history, although its application in food industry is more recent. It has been proved that ultrasound has antimicrobial effect against food pathogens. Ultrasound combined with other treatments it may result in higher lethality. Therefore, there is to maximize decontamination efficacy based on the fact that each hurdle applied may impose an increase in the antimicrobial action.
- The optimal conditions of improving microbiological safety of minimally processed foods such as carrot, red chicory, and pak choi through hurdle technology combined with Aqueous ClO₂, electron beam, UVC were established. this combined treatment can be useful for maintaining hygienic quality of minimally processed foods, and consumer's concerns regarding chemical hazards and health can be reduced by minimizing the use of chemicals during the processing. The development of food industry can be expected by promoting an increase of producer's profits with improving microbiological safety and shelf life of minimally processed foods and can be used to produce various minimally processed foods for consumers' diversified tastes as a fundamental data. Our results can be used to utilize the application of hurdle technology in the food industry by publishing articles in journals. and can be used to establish the standardized guideline and safety control standard for minimally processed foods. Accordingly, the application of hurdle technology can be useful for controlling microbial hazards and producing high-quality minimally processed foods.

(5) Carbon occur reduction of nonthermal method [Cooperative project IV]

- We can suggest quantitative models for estimating the CO₂ release in terms of operating conditions of main food manufacturing processes and food processing equipments. Guidelines for reducing the CO₂ release by the applications of nonthermal physical methods in food manufacturing processes could be suggested.

CONTENTS

- I. Introduction
- II. Recent Technological Development in the Research
- III. Contents and Results of the Research
 - (I) Development of UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic wave-chemical sterilization agents
 - 1. Contents of the research
 - 2. Materials and methods
 - A. Development of UV photocatalysis system
 - (1) Effect of different domain of UV irradiation on inactivation of bacteria
 - (2) Effect of UV photocatalysis on microbial reduction of the surface model
 - (3) Effect of UV photocatalysis on microbial reduction of fresh foods
 - (4) Effect of continuous UV photocatalysis system on microbial reduction of liquid products
 - (5) Comparison of microbial reduction between batch and continuous UV photocatalysis system
 - B. Development of UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic
 - (1) Effect of UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic
 - C. Comparison of chemical, physical method effect to remove microorganism.
 - (1) Research on confirmation of microorganism in fresh-cut-food
 - (2) Effect of ultrasound and chlorine on microbial reduction(in vitro)
 - (3) Effect of ultrasound and chlorine on microbial reduction of fresh-cut-food
 - (4) Development of microbial reduction method to use hurdle technology
 - D. Field application of hurdle technology and real test
 - (1) Field application on system to be qualified combined treatment
 - (2) Application of production process
 - 3. Results and discussion
 - A. Development of UV photocatalysis system
 - (1) Effect of different domain of UV irradiation on inactivation of bacteria
 - (2) Effect of UV photocatalysis on microbial reduction of the surface model
 - (3) Effect of UV photocatalysis on microbial reduction of fresh foods

- (4) Effect of continuous UV photocatalysis system on microbial reduction of liquid products
- (5) Comparison of microbial reduction between batch and continuous UV photocatalysis system
- B. Development of UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic
 - (1) Effect of UV photocatalysis system and combined treatment of ultrasonic
- C. Comparison of chemical, physical method effect to remove microorganism
 - (1) Research on confirmation of microorganism in fresh-cut-food
 - (2) Effect of ultrasound and chlorine on microbial reduction(in vitro)
 - (3) Effect of ultrasound and chlorine on microbial reduction of fresh-cut-food.
 - (4) Development of microbial reduction method to use hurdle technology
- D. Field application of hurdle technology and real test
 - (1) Field application on system to be qualified combined treatment
 - (2) Application of production process
- 4. Conclusion

(II) Sterilization of food surface by low-temperature plasma and UV intense pulsed light

- 1. Contents of the research
- 2. Materials and methods
 - A. Sterilization of food surface by low-temperature plasmas
 - (1) Low-temperature plasma treatment system
 - (2) Evaluation of sterilization efficacy of low-temperature plasmas
 - (3) Sterilization of food by low-temperature plasmas
 - (4) Field prototype of low-temperature plasma treatment system
 - B. Development of food surface sterilization system and nonthermal processing technology of fresh foodstuffs using UV intense pulse light
 - (1) Literature review of UV intense pulse light technology
 - (2) Set-up of UV intense pulse light treatment system
 - (3) Application of sterilization on fresh foodstuffs surface by UV intense pulse light
 - C. Combination treatment with low temperature plasma and UV intense pulsed light
- 3. Results and discussion
 - A. Sterilization of food surface by low-temperature plasmas
 - (1) Low-temperature plasma treatment system

- (2) Evaluation of sterilization efficacy of low-temperature plasmas
- (3) Sterilization of food by low-temperature plasmas
- (4) Field prototype of low-temperature plasma treatment system
- B. Development of food surface sterilization system and nonthermal processing technology of fresh foodstuffs using UV intense pulse light
 - (1) Literature review of UV intense pulse light technology
 - (2) Set-up of UV intense pulse light treatment system
 - (3) Application of sterilization on fresh foodstuffs surface by UV intense pulse light
- C. Combination treatment with low temperature plasma and UV intense pulsed light
- 4. Conclusion

(III) Side of fresh food preservation and safety for the promotion of natural / chemical antimicrobial efficiency of nano-sterilization process development

- 1. Contents of the research
- 2. Materials and methods
 - A. Development of nano disinfection technology grafting manufacturing nano particle of natural/chemical disinfectant and aerosolization
 - (1) Maximum production efficiency comparison by the chlorous acid concentration by organic acid in the acidified chlorous acid manufacturing equipment
 - (2) Change and sterilizing effects comparison by using Jet nebulizer and ultrasonic nebulizer
 - (3) Edible nano particle manufacturing and optima condition comparison using edible natural/chemical microbial substance
 - (4) Antibacterial activity comparison about the pathogenic microorganism of the edible natural/chemical microbial substance
 - B. Application and quality evaluation about the agricultural products through the nano particle spray of natural/chemical disinfectant
 - (1) Antibacterial activity of the natural microbial substance about the agricultural products
 - (2) Antibacterial activity of acidified chlorous acid water about agricultural products
 - (3) Antibacterial activity of acidified chlorous acid water about pathogenic microorganism
- 3. Results and discussion
 - A. Development of nano disinfection technology grafting manufacturing nano particle of

natural/chemical disinfectant and aerosolization

- (1) Maximum production efficiency comparison by the chlorous acid concentration by organic acid in the acidified chlorous acid manufacturing equipment
 - (2) Change and sterilizing effects comparison by using Jet nebulizer and ultrasonic nebulizer
 - (3) Edible nano particle manufacturing and optima condition comparison using edible natural/chemical microbial substance
 - (4) Antibacterial activity comparison about the pathogenic microorganism of the edible natural/chemical microbial substance
- B. Application and quality evaluation about the agricultural products through the nano particle spray of natural/chemical disinfectant
- (1) Antibacterial activity of the natural microbial substance about the agricultural products
 - (2) Antibacterial activity of acidified chlorous acid water about agricultural products
 - (3) Antibacterial activity of acidified chlorous acid water about pathogenic microorganism
4. Conclusion

(IV) Sterilization efficacy of slightly acidic electrolyzed water

1. Contents of the research

2. Materials and methods

A. Analysis of sterilization efficacy of slightly acidic electrolyzed water

- (1) Physical pre-conditions condition review for reduction of microorganisms
- (2) Food Code Test Method Identification for new sterile additives
- (3) Food selection is required slightly acidic electrolyzed water using domestic and overseas data analysis
- (4) Reduction analysis of each type of food treated by slightly acidic electrolyzed water treatment according to optimum conditions

B. Quality change and freshness maintenance analysis of food treated by slightly acidic electrolyzed water

- (1) Microbiology contamination analysis during food processing
- (2) Control technology development of microbiology treated by slightly acidic electrolyzed water during food processing
- (3) Analysis of microbiological, physicochemical quality change in seng-sik materials

treated by slightly acidic electrolyzed water during storage

C. Development of predictive model and microbiology control technology of seng-sik materials treated by slightly acidic electrolyzed water

- (1) Physical (ultrasonication) and chemical (slightly acidic electrolyzed water) sterilization treatment conditions and evaluation methods in combination
- (2) Analysis of microbiological, physicochemical quality change in seng-sik materials treated ultrasonication with slightly acidic electrolyzed water during storage
- (3) Growth change of seng-sik materials treated ultrasonication with slightly acidic electrolyzed water at different storage temperature
- (4) Development of predictive model at seng - sik materials treated ultrasonication with slightly acidic electrolyzed water at different storage temperature

D. Establishment of optimal conditions through aqueous ClO₂ treatment

- (1) Microbial hazard analysis of minimally processed foods
- (2) Fundamental study on improving quality of minimally processed foods by aqueous ClO₂ treatment
- (3) Analysis of change in microbial growth and physicochemical properties of various minimally processed foods by aqueous ClO₂ treatment
- (4) Establishment of combined nonthermal treatment using aqueous ClO₂ and electron beam for reducing microorganisms of minimally processed foods.
- (5) Analysis and monitoring of process for reducing the quality of minimally processed foods

3. Results and discussion

A. Analysis of sterilization efficacy of slightly acidic electrolyzed water (in vitro & food)

- (1) Physical pre-conditions condition review for reduction of microorganisms
- (2) Food code test method identification for new sterile additives
- (3) Food selection is required slightly acidic electrolyzed water using domestic and overseas data analysis
- (4) Reduction analysis of each type of food treated by slightly acidic electrolyzed water treatment according to optimum conditions

B. Quality change and freshness maintenance analysis of food treated by slightly acidic electrolyzed water

- (1) Microbiology contamination analysis during food processing
 - (2) Control technology development of microbiology treated by slightly acidic electrolyzed water during food processing
 - (3) Analysis of microbiological, physicochemical quality change in seng-sik materials treated by slightly acidic electrolyzed water during storage
- C. Development of predictive model and microbiology control technology of seng-sik materials treated by slightly acidic electrolyzed water
- (1) Physical (ultrasonication) and chemical (slightly acidic electrolyzed water) sterilization treatment conditions and evaluation methods in combination
 - (2) Analysis of microbiological, physicochemical quality change in seng-sik materials treated ultrasonication with slightly acidic electrolyzed water during storage
 - (3) Growth change of seng-sik materials treated ultrasonication with slightly acidic electrolyzed water at different storage temperature
 - (4) Development of predictive model at seng - sik materials treated ultrasonication with slightly acidic electrolyzed water at different storage temperature
- D. Establishment of optimal conditions through aqueous ClO₂ treatment
- (1) Microbial hazard analysis of minimally processed foods
 - (2) Fundamental study on improving quality of minimally processed foods by aqueous ClO₂ treatment
 - (3) Analysis of change in microbial growth and physicochemical properties of various minimally processed foods by aqueous ClO₂ treatment
 - (4) Establishment of combined nonthermal treatment using aqueous ClO₂ and electron beam for reducing microorganisms of minimally processed foods.
 - (5) Analysis and monitoring of process for reducing the quality of minimally processed foods
4. Conclusion

(IV) Investigation of the effect of the CO₂ reduction for the applications of nonthermal physical methods in food manufacturing processes

1. Contents of the research
2. Results and discussion

- A. Life cycle assessment(LCA)
- B. Quantitative and mathematical analysis on the CO₂ release in terms of operating conditions of main food manufacturing processes
- C. Quantitative analysis on the CO₂ release for main food processing equipments
- D. Effects of the CO₂ reduction for the applications of nonthermal physical methods in food manufacturing processes
- E. Suggestion of guidelines for reducing the CO₂ release by the applications of nonthermal physical methods in food manufacturing processes
- F. Case study: Investigation of the effect of the CO₂ reduction for the applications of HHP technology in natural cloudy apple juice manufacturing processes

3. Conclusion

IV. Achievement of Objectives and Contribution Level

V. Future Implication of the Results

VI. Global Science Technology and information about the Research

VII. Status of the Research Facilities and Equipment

VIII. Reference

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 UV-광촉매 산화 및 초음파 살균소독제 병용 처리를 이용한 세척 살균

1. 연구내용

2. 연구방법

가. 광촉매를 이용한 미생물 저해 효과 연구 및 적용기술개발

- (1) UV lamp의 파장 변화에 따른 미생물 저해 효과 확인
- (2) 자외선 단독 처리와 UV-광촉매 병합 처리의 미생물 저해효과 비교
- (3) UV-광촉매를 처리한 실제 신선 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인
- (4) 연속식 UV-광촉매 반응기를 이용한 액상 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인
- (5) Batch 식 반응기와 연속식 반응기의 위해 미생물 저해 효과 비교

나. UV-광촉매 산화 반응과 초음파 조사법 병합 살균 연구

- (1) 초음파 조사법과 UV-광촉매 산화 반응 병합 처리의 위해미생물 저해 효과 확인

다. 위해미생물 제거를 위한 화학적, 물리적 방법 효과 비교

- (1) 신선편이식품에 존재하는 미생물 확인 조사
- (2) 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인
- (3) 신선편이 식품에서 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인
- (4) Hurdle technology를 이용한 위해 미생물 최적화 제어법 개발

라. Hurdle technology의 현장 적용 및 실제 test

- (1) 최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 pilot scale의 현장에 simulation 적용
- (2) 실제 대상 식품의 생산 공정을 simulation 적용

3. 연구결과

가. 광촉매를 이용한 미생물 저해 효과 연구 및 적용기술개발

- (1) UV lamp의 파장 변화에 따른 미생물 저해 효과 확인
- (2) 자외선 단독 처리와 UV-광촉매 병합 처리의 미생물 저해효과 비교
- (3) UV-광촉매를 처리한 실제 신선 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인

- (4) 연속식 UV-광촉매 반응기를 이용한 액상 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인
 - (5) Batch 식 반응기와 연속식 반응기의 위해 미생물 저해 효과 비교
- 나. UV-광촉매 산화 반응과 초음파 조사법 병합 살균 연구
- (1) 초음파와 조사법과 UV-광촉매 산화 반응 병합 처리의 위해미생물 저해 효과 확인
- 다. 위해미생물 제거를 위한 화학적, 물리적 방법 효과 비교
- (1) 신선편이식품에 존재하는 미생물 확인 조사
 - (2) 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인
 - (3) 신선편이 식품에서 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인
 - (4) Hurdle technology를 이용한 위해 미생물 최적화 제어법 개발
- 라. Hurdle technology의 현장 적용 및 실제 test
- (1) 최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 pilot scale의 현장에 simulation 적용
 - (2) 실제 대상 식품의 생산 공정을 simulation 적용
4. 결론

제 2 절 저온 플라즈마와 UV 광펄스를 이용한 식품 표면 살균

1. 연구내용

2. 연구방법

가. 저온 플라즈마를 이용한 식품 표면 살균 기술 개발

- (1) 저온플라즈마 장치 및 특성
- (2) 저온플라즈마 살균력 측정
- (3) 저온플라즈마를 이용한 식품 살균
- (4) 저온플라즈마 현장적용 모델

나. 자외선 광펄스를 이용한 식품표면살균 시스템 개발 및 신선식품의 비가열 처리기술 개발

- (1) UV 광펄스 기술에 대한 문헌고찰
- (2) UV 광펄스 시스템 제작
- (3) UV 광펄스 이용한 신선 식품의 표면 살균 적용

다. 저온 플라즈마와 UV 광펄스 병합 처리에 의한 미생물 저감 효과

3. 연구결과

가. 저온 플라즈마를 이용한 식품표면 살균기술 개발

- (1) 저온플라즈마 장치 및 특성
- (2) 저온 플라즈마 살균력 측정

- (3) 저온플라스마를 이용한 식품 살균
 - (4) 저온플라스마 현장적용 모델
 - 나. 자외선 광펄스를 이용한 식품표면살균 시스템 개발 및 신선식품의 비가열 처리기술 개발
 - (1) UV 광펄스 기술에 대한 문헌고찰
 - (2) UV 광펄스 시스템 제작
 - (3) UV 광펄스 이용한 신선 식품의 표면 살균 적용
 - 다. 저온 플라스마와 UV 광펄스 병합 처리에 의한 미생물 저감 효과
4. 결론

제 3 절 신선 편이식품의 보존성, 안전성 증진을 위한 천연/화학 항균제의 고효율 나노 살균 공정 개발

- 1. 연구내용
- 2. 연구방법
 - 가. 천연/화학 살균제의 나노입자 제조 및 aerosolization을 접목한 나노살균 기술개발
 - (1) 산성화 아염소산 제조 장치에서 유기산별 아염소산의 농도에 따른 최대 생산효율 비교
 - (2) Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 사용에 따른 변화 및 살균효과 비교
 - (3) 식품용 천연/화학 항균 물질을 이용한 식용 나노 입자 제조 및 최적 조건 비교
 - (4) 식품용 천연/화학 항균 물질의 병원성 미생물에 대한 항균활성 비교
 - 나. 천연/화학 살균제의 나노입자 분무를 통한 농산물에 대한 적용 및 품질평가
 - (1) 농산물에 대한 천연 항균물질의 항균활성
 - (2) 농산물에 대한 산성화 아염소산수의 항균활성
 - (3) 병원성 미생물에 대한 산성화 아염소산수의 항균활성
- 3. 연구결과
 - 가. 천연/화학 살균제의 나노입자 제조 및 aerosolization을 접목한 나노살균 기술개발
 - (1) 산성화 아염소산 제조 장치에서 유기산별 아염소산의 농도에 따른 최대 생산효율 비교
 - (2) Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 사용에 따른 변화 및 살균효과 비교
 - (3) 식품용 천연/화학 항균 물질을 이용한 식용 나노 입자 제조 및 최적 조건 비교
 - (4) 식품용 천연/화학 항균 물질의 병원성 미생물에 대한 항균활성 비교
 - 나. 천연/화학 살균제의 나노입자 분무를 통한 농산물에 대한 적용 및 품질평가
 - (1) 농산물에 대한 천연항균물질의 항균활성
 - (2) 농산물에 대한 산성화 아염소산수의 항균활성
 - (3) 병원성 미생물에 대한 산성화 아염소산수의 항균활성

4. 결론

제 4 절 미산성 저농도 전해수의 살균 효능

1. 연구내용

2. 연구방법

가. 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석

- (1) 위해미생물의 저감화를 위한 물리적 전처리 조건 확립 검토
- (2) 신규 살균 첨가물로서 등재를 위한 식품공전시험법 규명
- (3) 국내외 자료 분석을 이용한 미산성 전해수 처리가 요구되는 식품 선정
- (4) 식품의 종류별 최적 조건의 저농도 전해수 처리에 의한 저감화 분석

나. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 대상 식품의 품질 변화 및 선도 유지 분석

- (1) 식품 가공 공정 중 미생물 오염 현황 분석
- (2) 식품 가공 공정 중 미산성 전해수 처리에 의한 위해미생물 제어기술 확보
- (3) 미산성 저농도 전해수 처리한 식품의 저장 중 미생물학적, 이화학적 품질 변화 분석

다. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발

- (1) 물리적(초음파) 및 화학적(전해수) 살균 처리 조건 및 병용처리 살균소독력 평가 방법
- (2) 병용처리(초음파/미산성 저농도 전해수)한 생식제품 원료의 저장 중 미생물학적·이화학적 품질 변화 분석
- (3) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 저장 온도별 미생물 생육 변화
- (4) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 위해미생물 생육 예측 모델 개발

라. Aqueous ClO₂ treatment를 위한 신선편이식품 선정, 시료제조 및 처리조건 확립

- (1) 신선편이식품의 위해정보 입수 및 분석
- (2) Aqueous ClO₂ 최적 처리 조건 수립
- (3) Aqueous ClO₂ 처리를 위한 고품질화 기초 연구
- (4) Aqueous ClO₂ 처리를 적용한 다양한 신선편이식품의 미생물 생육 변화 및 품질 변화 분석
- (5) 신선편이식품의 미생물 저감화를 위한 aqueous ClO₂ 세척과 전자빔 조사 등 combined nonthermal treatment 조건의 확립
- (6) 신선편이식품 제조 시, 품질 저하 가능한 공정 모니터링 및 분석

3. 연구결과

가. 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석

- (1) 위해미생물의 저감화를 위한 물리적 전처리 조건 확립 검토
- (2) 신규 살균 첨가물로서 등재를 위한 식품공전시험법 규명
- (3) 국내외 자료 분석을 이용한 미산성 전해수 처리가 요구되는 식품 선정
- (4) 식품의 종류별 최적 조건의 저농도 전해수 처리에 의한 저감화 분석

나. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 대상 식품의 품질 변화 및 선도 유지 분석

- (1) 식품 가공 공정 중 미생물 오염 현황 분석
- (2) 식품 가공 공정 중 미산성 전해수 처리에 의한 위해미생물 제어기술 확보
- (3) 미산성 저농도 전해수 처리한 식품의 저장 중 미생물학적, 이화학적 품질 변화 분석

다. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발

- (1) 물리적(초음파) 및 화학적(미산성 저농도 전해수) 살균 처리 조건 및 병용처리 살균소독력 평가 방법
- (2) 병용처리(초음파/미산성 저농도 전해수)한 생식제품 원료의 저장 중 미생물학적·이화학적 품질 변화 분석
- (3) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 저장 온도별 미생물 생육 변화
- (4) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 위해미생물 생육 예측 모델 개발

라. Aqueous ClO₂ treatment를 위한 신선편이식품 선정, 시료제조 및 처리조건 확립

- (1) 신선편이식품의 위해정보 입수 및 분석
- (2) Aqueous ClO₂ 최적 처리 조건 수립
- (3) Aqueous ClO₂ 처리를 위한 고품질화 기초 연구
- (4) Aqueous ClO₂ 처리를 적용한 다양한 신선편이식품의 미생물 생육 변화 및 품질 변화 분석
- (5) 신선편이식품의 미생물 저감화를 위한 aqueous ClO₂ 세척과 전자빔 조사 등 combined nonthermal treatment 조건의 확립
- (6) 신선편이식품 제조 시, 품질 저하 가능한 공정 모니터링 및 분석

4. 결론

제 5 절 비가열처리 기술의 탄소 발생 저감화 효과 규명

1. 연구 내용

2. 연구 방법 및 결과

가. 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)

나. 주요 식품 제조공정에서의 에너지 및 이산화탄소 배출량 평가

다. 식품제조업의 주요 공정장치별 CO₂ 발생량에 대한 정량평가 및 수학적 해석

라. 식품의 제조공정 중 가열살균 대체기술의 적용성 평가

마. 가열살균 대체기술 적용에 따른 식품제조공정에서의 이산화탄소 저감화 가이드라인

바. 현장 적용 사례 연구: 초고압기술을 적용한 천연 cloudy 사과주스의 탄소저감효과

3. 결론

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 연구시설·장비 현황

제 8 장 참고문헌

제 1 장 연구개발과제의 개요

최근 소비자들은 식품의 위생 및 품질에 민감하여, 천연상태의 품질, 즉 식품 본래의 품질을 그대로 유지하는 동시에 위생안전과 보존성을 향상 시킬 수 있는 기술을 필요로 한다. 이에 따라 식품가공 및 보존성을 위한 포장기술에 대한 새로운 식품보존기술이 많이 연구되고 있고, 국내 뿐 만 아니라 선진국에서도 살균 기술을 상업적으로 이용하기 위한 연구가 이루어지고 있다.

식품의 상업적 보존방법은 크게 화학적 방법, 생물학적 방법, 물리적 방법으로 나누어지고 있는데 화학적 보존기술은 당류, 염류 및 산 또는 식품 보존료를 첨가하는 방법이 있고, 생물학적 방법으로는 여러 가지 발효에 의한 전통적 기법을 사용한다. 가장 많이 이용되고 있는 물리적 방법에는 고전압 펄스 전기장(PEF : High-Voltage Pulsed Electric Field), 진동 자기장(OMF : Oscillating Magnetic Fields), 광펄스(high intensity pulsed light), 초음파(ultrasonification), 초고압(HHP : High Hydrostatic Pressure), 비가열 플라즈마(NTP : Nonthermal Plasma), 고전압 아크 방전(high voltage arc discharge), 이온화 조사(ionizing radiation) 등이 있다.

대부분의 가공식품은 가열살균(UHT, HTST, LTLT 등) 처리에 의해 저장이 가능하도록 만들어지는데, 일반적으로 가열 처리는 미생물의 생육을 억제할 뿐만 아니라 식품 자체의 품질(영양소 파괴, 향미성분 및 조직감 손실 등)에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 반면 비가열 살균은 가열 할 수 없는 액체식품이나 가열 살균의 대체방법으로 각종 유·무기물이나 고유의 성분향 및 맛이 함유된 식품(간장, 난황 등), 음료(녹즙, 주스, 추출음료 등) 등에 오염된 미생물을 살균하기 위한 방법으로 열로 인한 품질 변화와 영양소 파괴를 최소화하며, 부패 미생물을 억제할 수 있다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 열처리 공정을 대체함으로써 탄소발생량을 줄일 수 있고, 유기농 및 최소가공식품 시장의 급격한 성장에 따라 영양성분 보존과 동시에 저장성 향상을 가능하게 한다. 이와 관련하여 기존 가열 살균공정을 전체 또는 부분적으로 대체할 수 있도록 식품의 살균을 목적으로 연구되고 있는 비가열 처리법에는 약제 살균, 방사선조사, 자외선살균, 여과제균 등이 있다.

식품가공에서의 보존성 향상 및 미생물제어 방식의 기술적 진보라 할 수 있는 비가열 유체 살균과 분체 식품의 미생물제어 시스템의 특허출원은 식품 산업 관계자의 큰 관심을 받고 있다. 특허로는 살균시스템 향상 (제조법, 코팅법) 31%, 폐수처리 22%, 공기정화 19%, 음용수/정수기 8%로 신선식품 살균에 응용은 본 연구팀이 최초인데 광촉매관련 특허는 국내와 미국에서 1990년대에 비해 2000년대에 5배 이상 증가해 왔음이 확인된다. 이것은 광촉매 살균의 원천 기술이 일본에서 생겨난 이래에 지속적인 관심과 그에 관한 연구가 증가하였고, 지금까지도 꾸준히 이어짐을 의미한다.

따라서 비가열 살균법은 기존의 열 살균방식에 의해 발생하는 액상식품의 문제점인 물성변화를 최소화 한다는 장점이 있고, 현재 상용화된 비가열 음료의 미생물제어 및 살균방법이 없는 상황에서 본 기술의 식품살균적용은 식품가공업에 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

식품의 영양소나 품질 손실을 최소화 하는 UV-광촉매 살균 기술은 이산화티타늄(TiO_2)과 같이 독성이 없는 반도체의 표면에 자외선에 의한 빛 에너지의 조사로 생성된 수산화라디칼($\cdot OH$)과 초과산화물 라디칼($O_2^{\cdot -}$)을 이용하는 기술이며, 강력한 살균력을 지니고 있음에도 불구하고 인체에는 무해하다. 이는 기상 또는 액상에 존재하는 유기오염물질 제거가 가능하고 일

만 방법으로는 살균이 어려운 포자균에 적용이 가능하다. 뿐만 아니라 잔류 물질이 없고 화학 물질을 첨가하지 않는 살균법이기에 때문에 친환경적이다. 따라서 열에 의해 손상이 큰 식품 및 건강기능성 식품에 대한 폭넓은 적용이 가능하다.

따라서, 본 연구에서는 식품의 유통 및 저장 기간 중 안전성 확보를 위하여 저온 플라즈마와 자외선 광펄스를 이용한 공기 중에서 식품표면을 살균하는 기술과 나노입자 살균 소독 기술, UV-광촉매 산화 및 초음파 병합 살균 기술, 이산화염소와 전기분해수를 이용한 세척 살균 기술을 확립하고, 이와 같은 비가열처리 살균 기술을 이용한 최소 가공 식품의 영양 성분 보존 및 저장성을 향상시키고, 전 과정평가(LCA)를 활용하여 비가열처리 기술의 탄소발생 저감 효과를 규명하기 위해 다음과 같은 다양한 연구를 수행하였다.

(1) 저온 플라즈마(Cold plasma)와 UV 광펄스 장치를 이용한 살균기술 개발과 식품 안전성 확보 및 현장 적용을 위해 장치를 개발하여 각각의 저온 플라즈마와 광펄스 생성조건을 확립, 생성조건에 따른 온도 및 살균기작 조사를 거쳐 살균 실증과 처리 식품의 품질 평가를 수행하여 최적 처리 조건을 결정하였다.

(2) 살균제의 입자크기 분포도, aerosol의 농도(% volume)가 항균력에 미치는 영향 평가를 통해 화학 살균제의 제조 장치에 aerosolization을 접목한 기술을 개발하였다. 또한 수용성 천연/화학 항균제의 획기적인 효능 증진이 가능한 식용 나노입자를 제조하여 항균 에어로졸(antimicrobial aerosolization)을 이용한 표면 살균 공정을 개발함으로써 신선 편의식품의 보존성, 안전성 증진과 수용현장 적용 기술을 개발하였으며, 농산물들에 대한 최적 작용조건 설정을 연구 하였다.

(3) UV-광촉매와 초음파-살균소독제의 병용 제어법을 연구하여 일반 세균과 신선 식품 등의 미생물 살균조건을 확립하고 살균 효과와 처리 식품의 품질 특성 평가를 통해 최적 처리 조건을 결정하고 식품 유통 저장 중 안전성을 확보하고자 하였다.

(4) 식품의 종류에 따른 미산성 저농도 전해수의 식품별 살균 효능을 검토 및 분석하여 이 처리에 의한 식품의 선도 유지 연장 및 예측 모델을 개발하였으며, aqueous ClO₂ 처리에 의한 병원성 미생물 제어 기술 확보하여 적용시킴으로써 이산화염소 및 전기분해수를 이용한 살균 세척수 처리의 최적 조건을 확립하고 신선 편의식품의 제조, 가공, 저장, 유통과 관련하여 기술을 적용해 식품의 품질을 고급화 하는 연구를 하였다.

(5) 개별 비가열처리 기술의 탄소 발생을 정량적으로 산출하고 주요 공정변수별 탄소 발생량 평가를 통해 저감화 효과를 규명하고자 하였고, 식품 제조공정의 투입 에너지 및 배출 에너지에 대한 정량화 연구와 식품 품목당 에너지 소모량 및 CO₂ 발생량 평가를 통해 비가열처리 가공공정의 현장적용 탄소저감 시스템을 개발하고자 하였다.

(6) 최종적으로 다양한 비가열처리 공정의 현장 적용이 이루어질 수 있도록 하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

소비자의 고품질 요구와 식품의 국제화에 따라 엄격해지는 식품 제조 규정들은 식품 산업으로 하여금 안정성 확보는 물론, 고품질의 식품 생산을 위한 새로운 가공법 개발을 요구하여, 친환경적 제조방법 개발, 제조의 합리화 및 효율화, 노동 절약형 기술의 개발, 에너지 절약형 기술의 개발, 새로운 소재 창출을 위한 기술 개발 등이 활발히 연구되고 있다.

특히 식품가공 공정 중 영양성분의 파괴, 향미의 손실, 색깔 및 조직감 등의 변화를 최소화할 수 있는 전기적 비가열 가공 기술, 방사선 이용기술, 무균포장 기술, 초임계 추출 및 친환경 식품 가공 기술 등이 미래의 식품가공기술로써 부각되고 있다. 원료와 생산품을 신선한 상태의 고품질을 유지하면서 식중독과 부패를 방지하는 기술로 현재 가장 활발히 연구되고 있는 것은 최소가공기술(minimal process technology)이다. 최소가공기술이란, 식품 본래의 신선한 품질을 그대로 유지하면서 저장기간을 연장시키는 최소처리 가공 기술을 말한다. 이 저장기간을 단축시키는 대표적인 원인은 효소에 의한 품질 저하와 미생물에 의한 부패이다. 그러므로 식품의 보존성을 향상시키기 위하여 전통적으로 가열, 건조, 냉동 등의 물리적 방법이나 식품 첨가물, 보존제 처리와 같은 화학적 방법을 사용하여 왔다. 그러나 가열 공정은 열에 의한 영양 성분의 파괴, 질감과 색의 변화, 향기 성분의 손실 등 품질 저하를 피할 수 없다. 냉동이나 건조의 방법은 장기간 저장할 경우 품질과 소비자 기호도를 감소시키며, 식품 보존제의 사용도 점점 기피하고 있다. 이에 따라 여러 가지 비가열 가공 기술(nonthermal process)이 활발히 연구되고 있다.

표 1. 비가열 식품가공 기술 적용 사례

구분	조작매체	적용기술	연구 및 응용 사례
물리적 방법	초고압 정수압	저온정수압성형법 (CIP)	살균, 효소실활, 효소반응 제어, 단백질·전분 등의 변성, 음료 짬 등 고품질화
	전기 에너지	고전압펄스전계 처리	전기 친공에 의한 세포파괴, 맥주효모 처리, skim milk, 스프, 액체식품(주스, 우유, 계란, 맥주)에 응용, 쌀 살균, 고구마색소추출, 당근주스·탁주·전통음료 살균
		고주파 처리	Joule열 및 전해 효과의 병용, 밀감 과즙의 메틸알코올을 증가억제, 효소실활, 호산성 내열성 살균, 음료살균
		전극집축처리	전자이동 반응에 의한 세포 사멸, 물 살균 등에 실용화
		전기 침투	탈수, 고/액 분리, 식품분야에 검토, 오니처리에 실용화
		고전압 아크방전	액체식품의 미생물 살균, 공기 중 병원성 세균의 살균, 육류 생선의 표면살균, 폐수처리

		전해수 처리 (산성전해수, 전해차이수, 알칼리성전해수)	산성수에 의한 살균, 의료·식품공업·농업에서 이용, 전해수와 초음파 이용 채소의 세정·살균 산성전해수: 식품첨가물로 지정(일본 2002년)
		전자빔 조사	이온화 조사살균, 수산물, 육제품, 포장재, 육가 공, 유제품의 살균
		저온 플라즈마	식품 표면 살균(사과 망고, 메론, 견과류, 치즈, 햄, 달걀 등), 공기정화
	자장	자장처리	고 자장에서 증식억제, 펄스처리로서 효과향상
	전자선	소프트일렉트론 처리	저에너지 전자선(30만V 이하), 표면살균 품질열 화 방지, 차폐장치 간단, 진동장치 필요, 대량처 리 가능
	초음파	초음파처리	식품의 비파괴분석, 액상식품의 살균(병용 호 파)
	빛	고강도의 광 펄스	표면살균처리, 자외선+ α 효과, 태양광 20,000배 광 펄스발생, 수산물·농산물의 선도 유지
		광촉매 산화반응	이산화티타늄 식품첨가물 인가 사용, 신선식품 의 살균, 독소분해, 정균작용
	방사선	방사선 조사	살균 살충 발아억제 등 56개국 253개 품목허용 (한국 26개 품목)
자연 에너지	태양광, 물, 바람	건조, 자외선 살균 조력 파력 수력 풍력: 대체에너지 산업화	
화학적 방법	가스	가압으로 가스 용해 제압으로 가스화	불활성가스(Xenon)의 용해에 의한 선도 유지, 가스용해 및 제압에 의한 세포 파괴, 저극 해충 방제
		CO ₂	초임계 추출, dry ice
		오존가스	살균, 세정
	양이온	양이온다중고분자	
미생물학적 방법	박테리오파지	risin	젓산균 이용 식품첨가물
	효소	세포벽분해효소	

한국과학기술정보연구원, <녹색 식품가공 기술의 확산 방안>, 2011

1. UV-광촉매 산화 반응 및 초음파-살균 소독제 병용 기술 [제 1 세부과제]

광촉매(photocatalyst)는 빛(photo=light) + 촉매(catalyst)의 합성어로 빛에너지를 이용하여 전기 및 화학에너지로 전환하는 것을 중심으로 연구해 왔다. 1970년대 초반부터 Fujishima와 Honda가 TiO_2 단결정 전극에 빛을 조사하면 광산화반응과 광환원반응에 의하여 물이 수소와 산소로 분리됨을 발표한 이후 물과 공기 등의 정화, 자정, 초친수성 등의 광촉매를 이용한 잠재적인 기술로 발전되어 연구가 진행되었으며 1985년에는 TiO_2 광촉매 반응이 미생물에 미치는 영향에 대하여 Matsunaga에 의해 기록되어 있다. TiO_2 입자에 자외선을 조사하면 라디칼이 생성되어 박테리아의 사멸에 촉매작용을 하고 이에 대한 연구는 박테리아, 곰팡이, 조류, 암세포를 포함하는 미생물의 넓은 범위에서 점진적으로 진행되었으며 최근에는 TiO_2 광촉매를 적용한 사례에 대한 평론이 발행되고 있다. 광촉매 공정은 TiO_2 과 같은 독성이 없는 반도체를 이용한 촉매 작용이고, 빛에너지의 이용만으로도 다양한 화학물질을 안전하고 용이하게 분해할 수 있다는 장점을 가지고 있어 유기물질의 분해, 환경적 측면 및 실생활의 적용에 널리 이용되고 있다.

광촉매와 함께 대표적인 비열 살균처리 기술로써 항미생물제, 특히 새로운 천연항균제는 그 기능이 다양하여 천연항균제의 병합 처리로 효과를 증진시키는 연구나 각종 2만 여종이 넘는 식용 가능한 식물로부터 새로운 휘발성 항균물질을 찾고 유효 성분의 확인과 분리 기술을 개발하여 식품 가공 분야에 응용 용도를 넓히는 연구가 진행되고 있다. 실제로 화학적 방법인 이산화염소(ClO_2) 처리는 살균 소독제로 이용되며 유럽이나 미국에서 식품의 품질저하를 막기 위해 널리 이용되고 있으며, 미국 FDA에서도 과일, 야채, 식육 등 식품 표면에 직접 사용을 승인하였다. 또한 살균제·소독제에 관한 국내 특허 동향을 분석한 결과, 1970년대 9건, 1980년대 136건, 1990년대 204건, 2000년대 216건으로 총 565건의 특허 출원을 확인할 수 있었다. 1980년대에 급격히 증가하기 시작한 살균제·소독제 관련 특허출원은 최근 약 20년 동안 안정적인 출원 경향을 나타내고 있다.

최근 미생물 위해인자들의 증식억제 및 제거 방법 중 비가열 살균법이 주로 각광받고 있는데 보다 효과적인 미생물 억제제를 위하여 물리적, 화학적 제어법의 단독처리 뿐 아니라 두 가지 이상의 복합 병용처리 제어법의 개발, 즉 hurdle technology이 산업적으로 개발, 활용되고 있다.

Hurdle technology는 미생물이나 효소의 활성을 억제할 목적으로 식품에 여러 가지 화학적인 방법이나 물리적인 방법을 사용하는 경우, 화학반응 및 열과 압력 같은 요인에 의해 식품 내의 구성 성분(생리활성물질, 영양성분) 등이 파괴되는 것을 최소화하기 위하여 여러 처리를 복합적으로 활용하여 성분의 변화를 최소화하면서 미생물이나 효소의 불활성 정도를 극대화하는 방법이다. 물리적 제어법 중 초음파(ultrasound)는 식품의 영양성분이나 다른 요소들에 영향을 가하지 않아 증가되는 소비자 요구에 가장 부합하는 기술로 각광받고 있다.

초음파는 열을 발생시키지 않아 영양성분을 유지하며, 저장성을 향상시키는 살균 보조기술로 활용되고 있다. 초음파의 항미생물 효과는 추진기 뒤에 생기는 진공현상인 캐비테이션(cavitation)에 기인하여 발생되며, 세포 조직과 기능성 요소들을 파괴하며, 결과적으로 세포를 용해시킨다.

초음파는 단독으로 처리되었을 때, 미생물 살균에 충분한 효과를 일으키지 못하는 단점이 있어, 주로 열, 압력, 살균소독제, UV 등 다른 미생물 저해방법들과 병용처리가 요구된다고 알려져 있다. 이에 본 과제는 초음파를 이용하여 화학적 살균소독제와 병용처리하는 기술을 개발함으로써 유기농, 신선편이식품 등의 영양성분 변화를 최소화하고 저장성을 향상시키고자 한다.

2. 저온 플라즈마와 자외선 광펄스 기술 [제 1 협동과제]

저온 plasma 연구는 대부분 금속 및 섬유의 표면개선, 재료의 성질 변화 등에 관한 것이 주를 이루고 있으며, 미생물 불활성화에 대한 결과(Laroussi, 2005; Song and Mok, 2010)가 발표되어 있다. 유전체장벽방전 형태의 토치형 상압 플라즈마 장치와 아르곤과 산소 대기압 플라즈마 장치를 이용하여 E. coli에 대한 살균을 시도하였다(Son & Lee, 2011). Back et al.(2012)은 DBDP를 이용한 미생물 살균에 소독제 살균 모델인 Chick-Watson 모델, Hom 모델, Rational 모델 등을 적용하여 해석하였으며, 유전체장벽 플라즈마를 수증에 발생시켜 플라즈마 살균수를 제조하여 과채류의 시들음병균(*Fusarium oxysporum*)과 역병균(*Phytophthora capsidi*)에 대해 99.9% 살균효과를 얻었다. Mok & Jeon(2012)은 저주파 글로우 방전 형태의 감압방전플라즈마를 고춧가루에 적용시켜 미생물 저감효과를 확인하였다. Mok & Song(2010)은 저주파 글로우 방전 LPDP의 E. coli의 살균 효과를 조사하여 플라즈마 출력이 높고 처리시간에 늘어남에 따라 살균효과가 증대됨을 보고하였다.

광펄스에서 사용되는 빛의 영역은 170 - 2600 nm의 범위로서 자외선(UV) 영역뿐만 아니라 근적외선(NIR) 영역까지 포함한다는 점에서 기존의 UV살균과는 구별되는 기술로 식품 표면이나 빛이 통과할 수 있는 투명한 매개체(투과 가능한 포장재 또는 물)의 경우 이용이 가능하다. 따라서 이 기술은 포장물질이나 식품 표면의 미생물 수를 줄이거나 멸균하는데 주로 응용되고 있는데, Stemer 등은 자외선을 이용하여 신선육 표면의 미생물을 효과적으로 감소시켰고, Wallender-Pendleton 등은 표면에 존재하는 *Salmonella*균을 육 산패 증가나 변색 없이 감소시킬 수 있었으며 Dunn 등은 빛을 차단하는 층이나 균열을 가진 복잡하고 불규칙한 표면에서 미생물을 1-3 log 감소시켰다. 이 외에도 분말 스프, 유제품의 표면 처리, 위생 달걀의 생산, 과일 표면 처리에 의한 저장 기간 연장 등 많은 식품에의 응용실험이 시도되고 있고, 빵이나 케이크 혹은 밀가루 반죽, 새우 등의 수산 식품이나 고기류 등의 내구성을 증진하는데 이용할 수 있다.

3. 천연항균제의 고효율 나노 살균 공정 [제 2 협동과제]

나노입자 살균소독 기술은 수용성 천연/화학 살균제를 나노 입자화 하여 분무 처리함으로써 소량의 살균제로 넓은 범위를 처리할 수 있으며, 저농도 처리로도 병원성 미생물에 대한 높은 살균효과를 기대할 수 있다. 또한, 천연 추출물 및 GRAS 물질을 사용한 산성화 아염소산수를 이용함으로써 효율성과 안전성을 높여 친환경적이며, 저탄소 배출 살균기술로 소비자의 불안감 해소, 고품질 식품 생산, 위해미생물의 효과적 제어로 유통·저장 중 안전성 확보가 용이하다. 특히, 나노입자 살균소독 기술은 소형의 nebulizer로도 넓은 공간에 효과적인 처리가 가능하며, 기존의 수용성 살균제에 적용 가능하여 신선 편이식품은 물론 식품 및 공정 전반에 적용이 가능한 기술로 활용분야가 다양하기 때문에 많은 제품 및 공정의 바탕 기술로 적용이 가능하다.

4. 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 [제 3 협동과제]

신선 편이식품의 소비는 지속적으로 증가 추세를 나타내고 있으며, 이들의 유통 및 보관을 위해서는 식품위해미생물의 효과적 제어를 통한 저장성 증진 및 제품성 향상이 필수적으로 요구되고 있다. 또한 저탄소 친환경 정책에 따라 신선 편이식품의 위해미생물을 효과적으로 저해하고 저장성을 극대화 할 수 있는 천연 항균제의 개발 및 신개념 적용 기술이 요구되고 있어,

인체에 무해하고 환경에 끼치는 영향이 없는 천연 항균제를 천연물로부터 발굴하고, 이들 천연 및 화학 항균제에 나노기술을 적용함으로써 친환경적인 신개념 항균제의 개발 및 제품화가 추진되고 있다.

전해수는 물에 소량의 전해질을 첨가하여 전기분해 하는 것으로 매우 뛰어난 살균소독 효과와 유기물 처리효과를 가지면서도 생체에 대한 안전성과 무공해성의 장점을 가지고 있다. 미산성 저농도 전해수의 처리 방법은 신선편이 채소류의 갈변효소의 활성 억제와 조직의 연화를 방지하여 유통기간을 연장시키는 방법의 하나로 다른 살균수와 함께 쓰일 때 미생물 저감화에 상승효과를 주며, 여러 농산품에 적용되고 있고, 세균에 대한 살균효과, 생화학적, 품질적인 면을 증진시킨다고 보고하고 있다. 미산성 저농도 전해수는 사용이 간편하고 살균 범위가 매우 넓으며, 저렴한 유지비, 잔류성이 없어 친환경 농법에 최적화 되어 다양한 활용 범위를 가지고 있다. 따라서 저장고, 그린하우스, 농산물 비세척 표면 살균, 각종 축사에 적용할 수 있다.

2007년 11월 식품의약품안전청에서 미산성 차아염소산수를 식품첨가물로 지정함에 따라 식품위생관리, 농작물 병해 살균제, 의료에 있어 원내 감염방지나 기구소독 등에 사용이 허가됨에 따라서 제품의 사용범위는 단체 급식장, 식품 공장 등에서 생야채, 과일, 육류, 생선 기타 살균, 세정을 조리기구 및 기타 조리기계 살균에도 적용 가능한 것으로 알려져 있다.

5. 비가열 처리의 탄소 발생 저감화 [제 4 협동과제]

인간의 산업 활동에 따른 온실가스 배출이 증가되어 점차 지구의 기후시스템에 영향을 미침에 따라 기후변화가 인간을 포함한 생물계에 미치는 영향에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 식품산업에 미치는 영향에 관해서는 상대적으로 관심이 적은 편이고 그나마 식품과 관련하여서는 주로 식품(식량)안보(Food Security)의 관점에서만 조명되고 있으며 식품안전(Food Safety)에 대한 영향에 관해서는 아직 논의가 적다.

이산화탄소 발생을 포함한 환경문제가 점점 심각해지면서 환경에 대한 인식이 높아지고 해결방안도 변화하고 있다. 해결방안의 관점은 과거에는 최종 폐기물 또는 배출물을 줄이는 방법으로 환경문제를 해결하려는 종말처리기술이 주를 이루었으나 현재에는 오염물질의 배출을 적게 하는 원료를 사용하는 등의 오염 물질 배출 근원 자체를 줄이거나 없애는 사전오염예방 기술로 전환되고 있는 추세이다.

최근에는 선진국들을 중심으로 정부 및 민간 등 전 산업분야, 특히 수송 분야로 확대 적용되면서 전 과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)의 적용이 활발하게 이루어지고 있다. 식품산업의 규모로 볼 때, 환경에 미치는 영향은 적지 않을 것으로 예상되는데 에너지 사용 및 이산화탄소 발생에 관한 정성적이고 정량적인 연구가 시급한 실정이다.

이산화탄소 발생 저감화에 대한 요구와 더불어 최근 소비자들의 건강에 대한 관심이 높아지고 신선한 친환경 제품을 찾는 경향이 강해지면서 식품산업에서는 최소한의 가공을 통하여 자연 그대로의 품질을 유지하는 식품개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 이에 따라 식품산업에서 이산화탄소 발생 저감화 노력의 일환으로 시도되고 있는 비열 전처리 가공 기술의 개발과 이 기술들의 산업적 적용은 세계적인 환경규제 추세에 비추어 볼 때 매우 시급하고 절박한 사안이다. 또한 식품 제조·보관·유통은 물량의 계속적 증가가 예상되므로 지속적인 저탄소 식품 가공기술 개발 및 이산화탄소 저감화 노력이 필요하다.

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 UV-광촉매 산화 및 초음파 살균소독제 병용 처리를 이용한 세척 살균

1. 연구 내용

가. 광촉매를 이용한 미생물 저해 효과 연구 및 적용기술개발

- (1) UV lamp의 파장 변화에 따른 미생물 저해 효과 확인
 - (가) UV lamp의 파장 변화에 따른 감균 효과 확인
 - (나) UV lamp의 파장 변화에 따른 위해 미생물 세포벽 변형 확인
 - (다) UV lamp의 파장 변화에 따른 유전자 변형 확인
- (2) 자외선 단독 처리와 UV-광촉매 병합 처리의 미생물 저해효과 비교
 - (가) 위해 미생물 균주별 UV-광촉매 산화 반응의 감균 효과 확인
 - (나) SEM 사진을 통한 위해 미생물 세포벽 관찰
- (3) UV-광촉매를 처리한 실제 신선 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인
 - (가) 시중에 유통 중인 식품에 존재하는 위해 미생물의 총 균수 확인
 - (나) UV-광촉매 살균 처리한 신선 식품 신선초 주스 저장성 확인
 - (다) UV-광촉매 살균 처리한 신선 식품 당근 주스 저장성 확인
 - (라) UV-광촉매 살균 처리 제품의 관능 평가
- (4) 연속식 UV-광촉매 반응기를 이용한 액상 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인
 - (가) 자외선 노출량 및 유속에 따른 액체 시료의 살균력 연구
 - (나) 자외선 노출량에 따른 식품 내 세균의 살균력 측정
 - (다) 연속식 광촉매 처리 시 발열로 인한 품질 변화 및 살균력 저하 문제 개선
 - (라) 균주별 연속식 광촉매 살균기의 살균력 비교
- (5) Batch 식 반응기와 연속식 반응기의 위해 미생물 저해 효과 비교
 - (가) Batch식 및 연속식 반응기로 처리한 케일 주스의 살균 효과 확인
 - (가) Batch식 및 연속식 반응기로 처리한 케일 주스의 품질 변화 확인

나. UV-광촉매 산화 반응과 초음파 조사법 병합 살균 연구

- (1) 초음파 조사법과 UV-광촉매 산화 반응 병합 처리의 위해미생물 저해 효과 확인
 - (가) Surface model을 이용한 동시 병합 처리의 감균 효과 확인

- (나) Surface model을 이용한 연속 병합 처리의 감균 효과 확인
- (다) 신선편이 제품 케일을 이용한 병합 처리의 감균 효과 및 저장성 실험
- (라) 신선편이 제품 오이를 이용한 병합 처리의 감균 효과 및 저장성 실험

다. 위해미생물 제거를 위한 화학적, 물리적 방법 효과 비교

- (1) 신선편이식품에 존재하는 미생물 확인 조사
 - (가) 문헌검색
 - (나) 유통 중인 신선편이식품에 존재하는 미생물 균종 확인
- (2) 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인(*in vitro*)
 - (가) 초음파 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인
 - (나) 살균소독제(염소계 등) 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인
- (3) 신선편이 식품에서 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인
 - (가) 초음파 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인
 - (나) 살균소독제(염소계 등) 단일 처리 시 미생물 사멸효과 확인
- (4) Hurdle technology를 이용한 위해 미생물 최적화 제어법 개발
 - (가) *In vitro*에서 미생물 사멸 효과 확인
 - (나) 신선편이 식품에서 화학적-물리적 병용처리 효과
 - (다) 최적화된 위해미생물 제어법 처리에 따른 신선편이 식품의 품질평가

라. Hurdle technology의 현장 적용 및 실제 test

- (1) 최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 pilot scale의 현장에 simulation 적용
 - (가) Pilot scale 현장 안에서의 화학적-물리적 처리효과
 - (나) Pilot scale의 현장에 적용한 신선편이 식품의 물리적 품질 평가
 - (다) SEM 사진을 통한 Pilot scale 조건에 적용한 위해 미생물 관찰
- (2) 실제 대상 식품의 생산 공정을 simulation 적용
 - (가) 양상추 세척공정을 pilot scale 현장을 simulation 적용

2. 연구 방법

가. 광촉매를 이용한 미생물 지해 효과 연구 및 적용기술개발

(1) UV lamp의 파장 변화에 따른 미생물 지해 효과 확인

(가) UV lamp의 파장 변화에 따른 감균 효과 확인

① 사용균주 배양 및 세포 현탁액 준비

사용균주는 *Escherichia coli* O157:H1을 사용하였음. Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 nutrient broth (NB, Difco Laboratories, Detroit, USA)를 사용하여 -80 °C에서 보관함. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 각 1mL 을 취하여 NB 100 mL 에 넣은 후, 37 °C에서 24시간 동안 배양하여 세포 현탁액으로 사용함.

② 광촉매에 의한 활성산소 발생 장치(Lab-scale)

TiO₂를 석영관에 0.7-0.9 mm 두께로 일정하게 코팅 하고 열처리를 하여 석영관에 흡착시킴. 석영관 내에는 UV lamp를 장착. (254, 280, 320 nm 파장별로 교체 가능함) 석영관은 최고 순도 (99.99% 이상) 무수 규산을 이용하며, 가스 함유량이 적어 빛 투과성이 뛰어난 것을 사용함. 일반 유리관이 자외선을 투과시키지 못하는 것에 반해 석영관은 자외선 영역 대 파장의 빛은 물론 적외선 대 파장 빛도 투과시킬 수 있음. Lab-scale UV-광촉매 반응기의 용량은 3.5 L임.

③ 균주 접종

사용균주 *Escherichia coli* O157:H1의 세포 현탁액에서 20 mL을 채취하여 lab-scale UV-광촉매 반응기에 넣고 생리식염수 3 L를 가했음. Magnetic stirrer를 이용하여 처리 동안에 균일하게 섞이도록 했음.

④ UV-광촉매 산화 반응

광촉매를 코팅한 석영관과 코팅하지 않은 석영관 두 종류를 사용하여 UV와 UV-광촉매 반응 두 가지의 살균효과를 비교함. UV lamp 는 254, 280, 320 nm의 파장의 lamp 를 교체해 주면서 처리함. UV 단독처리와 UV-광촉매 처리를 0-90min 까지 관찰함.

(나) UV lamp의 파장 변화에 따른 위해 미생물 세포벽 변형 확인

① 사용균주 배양 및 세포 현탁액 준비

사용균주는 *Escherichia coli* O157:H1, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Typhimurium 을 사용하였음. Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 nutrient broth (NB, Difco Laboratories, Detroit, USA) 를 사용하여 -80 °C에서 보관함. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 각 1 mL 을 취하여 NB 100 mL에 넣은 후 37 °C에서 24시간 동안 배양하여 세포 현탁액으로 사용함.

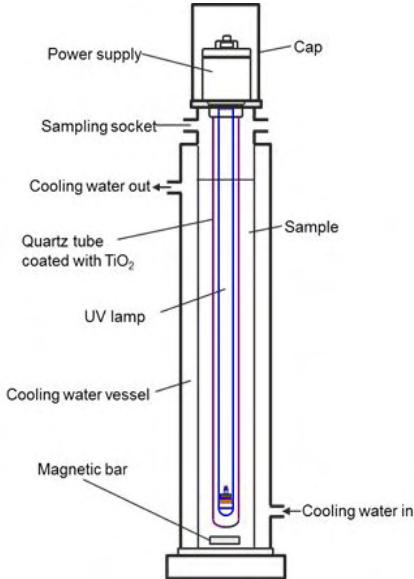


그림 2. 살균용 lab-scale UV-광촉매 반응기의 모식도

② 광촉매에 의한 활성산소 발생 장치(Lab-scale)

TiO₂를 석영관에 0.7-0.9 mm 두께로 일정하게 코팅 하고 열처리를 하여 석영관에 흡착시킴. 석영관 내에는 UV lamp를 장착. (254, 280, 320 nm 파장별로 교체 가능함) 석영관은 최고 순도 (99.99% 이상) 무수 규산을 이용하며, 가스 함유량이 적어 빛 투과성이 뛰어난 것을 사용함. 일반 유리관이 자외선을 투과시키지 못하는 것에 반해 석영관은 자외선 영역대 파장의 빛은 물론 적외선 대 파장 빛도 투과시킬 수 있음. Lab-scale UV-광촉매 반응기의 용량은 3.5 L임.

③ 균주 접종

사용균주 *Escherichia coli* O157:H1, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Typhimurium 의 세포 현탁액에서 20 mL을 채취하여 lab-scale UV-광촉매 반응기에 넣고 생리식염수 3 L 를 가했음. magnetic stirrer를 이용하여 처리 동안에 균일하게 섞이도록 했음.

④ UV-광촉매 산화 반응

광촉매가 코팅된 UV-광촉매 석영관을 이용하여 세포벽의 변화를 관찰함. UV lamp는 254, 280, 320nm 의 파장의 lamp를 교체해 주면서 처리함. UV 단독을 0-60분까지 관찰함.

⑤ Scanning electron microscopy (SEM) 촬영

UV-광촉매 산화 반응을 시킨 시료를 고정액에 넣고 24시간 동안 보관함. OsO₄를 이용하여 시료를 세척한 뒤 건조 시킨 후, 금박으로 코팅함. Scanning electron microscopy를 이용하여 세포벽과 처리 시간에 따른 세포벽 손상을 관찰함.

(다) UV lamp의 파장 변화에 따른 유전자 변형

① 사용균주 배양 및 세포 현탁액 준비

사용균주는 *Escherichia coli* O157:H1 을 사용하였음. Stock culture는 30% glycerol 를 함유하는 nutrient broth (NB, Difco Laboratories, Detroit, USA) 를 사용하여 -80 °C에서 보관함. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 각 1mL 을 취하여 NB 100mL 에 넣은 후 37 °C에서 24시간 동안 배양하여 세포 현탁액으로 사용함.

② 광촉매에 의한 활성 산소 발생 장치(Lab-scale)

TiO₂를 석영관에 0.7-0.9 mm 두께로 일정하게 코팅 하고 열처리를 하여 석영관에 흡착시킴. 석영관 내에는 UV lamp를 장착시킴. (254, 280, 320 nm 파장별로 교체 가능함) 석영관은 최고 순도 (99.99% 이상) 무수 규산을 이용하며, 가스 함유량이 적어 빛 투과성이 뛰어난 것을 사용했음. 일반 유리관이 자외선을 투과시키지 못하는 것에 반해 석영관은 자외선 영역 대 파장의 빛은 물론 적외선 대 파장 빛도 투과시킬 수 있음.

DNA를 처리할 수 있도록 작은 관을 만들어 실험함. TiO₂를 석영관에 0.7-0.9 mm 두께로 일정하게 코팅 하고 열처리를 하여 석영관에 흡착시킨 직경 25 mm, 높이 40 mm 관을 위치시킴. 석영관의 윗부분은 뚜껑으로 막아 다른 빛의 흡수를 차단시켜 자외선의 살균 효과만 측정할 수 있도록 함.

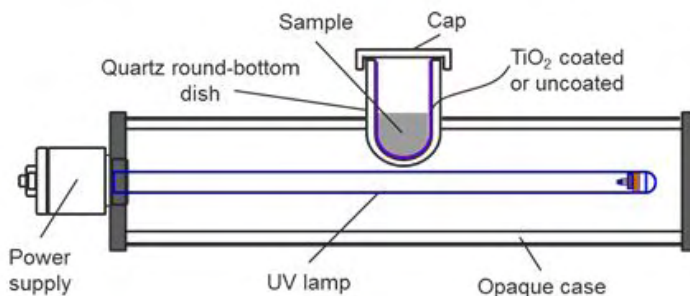


그림 3. DNA 손상 분석용 lab-scale UV-광촉매 반응기의 모식도

③ 균주 접종

사용균주 *Escherichia coli* O157:H1 의 세포 현탁액에서 20 mL을 채취하여 lab-scale UV-광촉매 반응기에 넣고 10 mL를 가했으며, magnetic stirrer를 이용하여 처리 동안에 균일하게 섞이도록 함.

④ UV-광촉매 산화 반응

광촉매를 코팅한 석영관과 코팅하지 않은 석영관 두 종류를 사용하여 UV와 UV-광촉매 반응 두 가지의 살균효과를 비교함. UV lamp 는 254, 280, 320 nm 의 파장의 lamp 를 교체해 주면서 처리하여 10분 동안 처리함.

⑤ 전기 영동법을 통한 DNA 변성 분석

Gel은 1 × TAE buffer에 1% agarose를 용해시켜 만들고, DNA를 염색하기 위한 EtBr을 5μL/mL 포함시키고, 용해될 때 까지 가열한다. Gel의 틀이 될 slab gel tray에 만든 용액을 주입하여 굳힌다. 굳힌 gel을 전기영동장치에 위치시킨 후, 50분간 전류를 흐르게 한다. 그 후, gel을 Gel Doc®장치에 옮겨 UV를 조사시킨 후, size에 따라 분리된 DNA fragments를 확인한다.

(2) 자외선 단독 처리와 UV-광촉매 병합 처리의 미생물 지해효과 비교

(가) 위해 미생물 균주별 UV-광촉매 산화 반응의 감균 효과 확인

① 사용균주 배양 및 세포 현탁액 준비

사용균주는 *Escherichia coli* K12 (ATCC 43895), *Salmonella* Typhimurium (ATCC 14028)와 *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) 3 가지로 선정하였음. Stock culture는 30% glycerol를 함유하는 nutrient broth (NB, Difco Laboratories, Detroit, USA)를 사용하여, -80 °C에서 보관함. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 각 1mL을 취하여 NB 100mL에 넣은 후 37 °C에서 24시간 동안 배양하여 세포 현탁액으로 사용함.

② Surface model 제조 및 균주점종

Surface model은 2.5%의 bacto™ agar solution을 타원형 플라스틱 틀에 주입한 뒤, 4 °C에 2시간 동안 굳힌 뒤, surface model을 6.0 log CFU/cm² 가량의 초기균에 담가 38 °C shaking incubator에서 3시간 동안 접종을 시킴. 3시간 후, 무균상태인 clean-beach에서 접종한 surface model을 꺼내 15분 가량 건조시킨 뒤 살균 처리함.

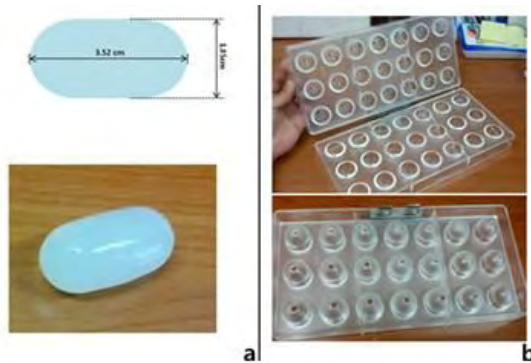


그림 4. (a) 실제 surface model (b) 타원형 플라스틱 틀

③ UV-광촉매 반응기 장비

사용된 batch식 UV-광촉매 반응기의 용량은 80 L이며, 반응기에는 시료를 섞어 줄 수 있는 air pump과 UV lamp가 장착 되어있음. 상단 UV lamp관은 세로, 하단 UV lamp관은 가로로, 서로 직교 되어있게 설치 됨. UV lamp 파장은 254 nm이고 UV lamp를 감싸는 석영관에 0.7-0.9 mm 두께로 TiO₂를 코팅 되어있음. 또한 광촉매를 코팅 한 석영관에 있는 UV lamp과 코팅하지 않은 석영관에 있는 UV lamp 두 종류를 교체하여 사용가능함.

④ UV-광촉매 산화 반응 동시처리

본 실험조건은 air pump (dark reaction), UV 단독과 UV-광촉매 등 3가지 방식으로 설정 하였으며, 모든 처리는 sample를 섞어 줄 수 있는 air bubble을 키고 실행함. 처리 시간은 각 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100초로 관찰함.

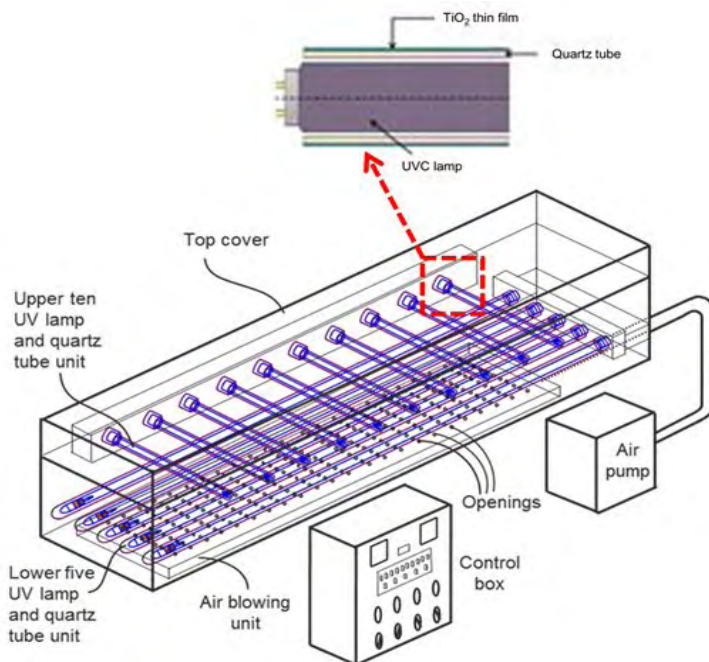


그림 5. Batch식 UV-광촉매 반응기 도면

(나) SEM 사진을 통한 위해 미생물 세포벽 관찰

① 사용균주 배양 및 세포 현탁액 준비

사용균주는 *Escherichia coli* K12 (ATCC 43895), *Salmonella* Typhimurium (ATCC 14028)와 *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) 3가지로 선정하였음. Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 nutrient broth (NB, Laboratories, Detroit, USA)를 사용하여, -80 °C에서 보관함. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 각 1 mL를 취하여 NB 100 mL에 넣은 후 37 °C에서 24시간 동안 배양하여 세포 현탁액으로 사용함.

② Surface model 제조 및 균주 접종

Surface model은 2.5%의 bactoTM agar solution을 정사각형 플라스틱 틀에 주입한 뒤, 4 °C에 2시간 동안 굳힘. surface model을 80 * 80 * 15 mm 크기로 잘라 6.0 log CFU/cm² 가량의 초기 균이 담긴 conical tube에 담귀 38 °C shaking incubator에서 4시간 동안 접종 함. 3시간 후, 무균상태인 clean-beach에서 접종한 surface model을 꺼내 5분 가량 건조 시킨 뒤 살균 처리함.

③ 광촉매에 의한 활성 산소 발생 장치 (Lab-scale)

Lab-scale 장치로 처리하였으며, TiO₂를 석영관에 0.7-0.9 mm 두께로 일정하게 코팅하고 열처리를 하여 석영관에 흡착시킨 직경 25 mm, 높이 40 mm 관을 위치시킴 UV 단독처리 할 경우에 코팅이 되지 않은 같은 크기의 석영관을 사용함. UV lamp의 파장은 254nm이고, 석영관에 위 부분은 뚜껑으로 막아 다른 빛의 흡수를 차단 시켜 자외선의 살균 효과만 측정 할 수 있도록 함.

④ UV-광촉매 산화 반응

광촉매를 코팅(UV-광촉매)한 석영관과 코팅하지 않은(UV 단독) 석영관 두 종류를 사용하여 세포벽의 변화를 관찰함. 모든 시료의 UV 단독 처리시간은 40초, UV-광촉매는 10, 20, 40초로 선정하여 관찰함.

⑤ Sanning electron microscopy (SEM)

자외선 산화 반응을 시킨 시료를 고정액에 넣고 24시간 동안 보관함. OsO₄를 이용하여 시료를 세척한 뒤 건조 시킨 후, 금박으로 코팅함. Sanning electron microscopy를 이용하여 세포벽과 처리 시간에 따른 세포벽 손상을 관찰함.

(3) UV-광촉매를 처리한 실제 신선 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인

(가) 시중에 유통 중인 식품에 존재하는 위해 미생물의 총 균수 확인

① 시료 선정

국내 유통되어지고 있는 신선 농산물 중 착즙을 하여 음용하는 신선식품을 조사함. 비열처리 제품군 중 유통기한이 상대적으로 짧은 당근과 신선초를 선정함.

표 2. 시중에 유통 중인 신선 식품

구 분	품 목	유통기한
신선 농산물 중 착즙하여 제품화 된 종류 (비열 처리 제품군)	딸기, 키위, 포도	5도 냉장 보관 14일
	당근	5도 냉장 보관 시 1-2일
	신선초(명일엽)	5도 냉장 보관 시 1-2일

② 시료 채취

이마트, 농협 하나로 마트에서 당근과 신선초(Angelica keiskei)를 구입 하였으며 같은 업체의 제품을 사용하여 sampling error를 최소화하였음. 구입한 당근은 일정 크기 (1.5 * 1.5 * 8 cm) 로 cutting한 후에 흐르는 물에 깨끗이 씻어 임의로 1.5 kg씩 나누었음. 구입한 신선초는 일정한 길이 (10 cm)로 cutting한 후에 흐르는 물에 깨끗이 씻어 임의로 1.5kg씩 나누었음.

③ 위해미생물 분석

㉔ 총균수

당근과 신선초에서 임의로 30 g씩 3번 시료를 채취하여서 각각 포장용기에 넣고 270g의 멸균 생리식염수를 넣어서 10⁷ 까지의 희석배수에 따른 멸균 생리식염수를 준비하여 각 단계별로 희석함. 각 단계별 희석배수에서 1 mL 을 멸균 페트리접시에 취한 뒤 약 40-43 °C로 유지한 NA (Nutrient Agar) 배지 약 20 mL을 무균적으로 분주하고 페트리 접시를 37 ± 1 °C에서 24시간 배양함. 페트리 접시 평균 당 30-300개의 집락을 생성한 평판을 택하여 집락수를 계산하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 총균수로 계산함.

㉕ 대장균

당근과 신선초에서의 대장균의 측정은 페트리필름에 의한 분석법에 따라 실험함. 임의로 30g 씩 3번 시료를 채취하여 각각 포장용기에 넣고 270g의 멸균 생리식염수를 더한 뒤 120초 동안 균질화 과정을 거침. 균질화 과정이 끝나면 시료에서 1 mL을 채취하고 10²에서 10⁷ 까지의 희석배수에 따른 멸균생리식염수를 준비하여 각 단계별로 희석함. 각 단계별 희석배수에서 1mL 을 대장균용 페트리필름에 접종한 후 37 ± 1 °C에서 48시간 배양한 후 생성된 푸른 집락 중 주위에 기포를 형성하고 있는 집락수를 계산하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 대장균수를 산출함.

(나) UV-광축매 살균 시 신선 식품 착즙액 저장성 확인

① 시료 채취

이마트, 농협 하나로 마트에서 당근과 신선초(Angelica keiskei)를 구입 하였으며 같은 업체의 제품을 사용하여 sampling error를 최소화하였음. 구입한 당근은 일정 크기 (1.5 * 1.5 * 8 cm) 로 cutting한 후에 흐르는 물에 깨끗이 씻어 임의로 1.5 kg씩 2그룹

으로 나누었음. 구입한 신선초는 일정한 길이 (10cm)로 cutting한 후에 흐르는 물에 깨끗이 씻어 임의로 1.5kg씩 2그룹으로 나누었음.

② UV-광촉매 산화 반응기(Pilot-scale)

UV-광촉매 산화 반응기(pilot-scale)를 사용하여 처리함. 이 장치는 세척수의 유입 및 배출이 이루어지는 수조 및 자외선램프 유닛 조립체로 되어있음. 각 자외선램프는 석영관과 석영관 내에 장착된 자외선램프, 석영관 외부 표면에 형성된 이산화티탄 광촉매 층을 포함하고 있음. 따라서 수조 내의 대상물에 자외선을 조사하여 살균 처리할 수 있음. 이 장치 내에서 이루어지는 광화학적 산화반응을 통해 식품, 특히, 현재 연구하고자 하는 식품 내에 있는 미생물들의 세포 호흡을 감소시키고, 세포막을 손상시킴으로써 미생물의 살균이 이루어지도록 함. 또한 세척수의 유입 및 배출 시간을 조절함으로써 수조 내에 식품의 살균이 이루어지는 동시에 세척수가 배출이 되고 깨끗한 세척수의 유입이 이루어질 수 있도록 하는 살균 공정이 되도록 함. 자외선램프 유닛 조립체는 케이싱의 하부 및 커버의 내면에 장착되어 있음. 또한, 수조 내에 공기 분사 수단을 설치함으로써 세척수에 공기를 분사하여 살균 및 세척 효율을 올리는 것이 가능함.

③ UV-광촉매 처리 방법

UV-광촉매 산화 반응기(pilot-scale)에 tap water 80 L를 주입한 후 20분 동안 광촉매 반응을 하여 tap water 내의 미생물을 살균함. 살균된 장치 내부에 일정 크기로 시료를 배치하고 20분 동안 광촉매 반응을 처리함. 20분 뒤 시료를 채취하여 착즙기를 사용 착즙과정을 거침. 착즙 시 착즙 액은 50 mL 씩 레토르트 파우치에 밀봉한 뒤 5 °C에서 냉장보관 함. 당일, 2, 4, 6, 8일간 저장 상태를 유지하여 총 균수 관찰함.

당근과 신선초의 대조군은 깨끗하게 씻은 후 일정크기로 cutting 한 후에 착즙기를 이용하여 착즙하여 50 mL 씩 레토르트 파우치에 밀봉한 뒤 5 °C에서 냉장보관 함. 당일, 2, 4, 6, 8일간 저장 상태를 유지하여 총 균수를 관찰함.

④ 위해 미생물 분석 (총 균수)

냉장보관 중인 당근과 신선초의 착즙액 중 임의로 3가지의 시료를 채취하여 시료에서 1 mL을 채취하고 10^1 에서 10^7 까지의 희석배수에 따른 멸균생리식염수를 준비하여 각 단계별로 희석함. 각 단계별 희석배수에서 1 mL을 멸균 페트리접시에 취한 뒤 약 40-43 °C로 유지한 NA(Nutrient Agar)배지 약 20 mL을 무균 적으로 분주하고 페트리 접시를 거꾸로 하여 37 ± 1 °C에서 24시간 배양함. 페트리 접시 평판 당 30-300개의 집락을 생성한 평판을 택하여 집락수를 계산하고, 그 평균 집락 수에 희석배수를 곱하여 총 균수로 계산함.

⑤ 색도 측정

냉장보관 중인 당근과 신선초의 착즙액 중 임의로 3개의 시료를 채취하여 시료에서 약 2 mL을 채취하고 색차계 (Nikon, Japan)를 이용하여 L, a, b 값을 측정. 총 0일, 2일, 4일, 6일, 8일 5번의 측정을 하였음.

⑥ pH 측정

냉장보관 중인 당근과 신선초의 착즙액 중 임의로 3개의 시료를 채취하여 시료에서

약 20 mL을 채취하고 pH meter (Thermo orion, USA)를 이용하여 pH 값을 측정. 총 0 일, 2일, 4일, 6일, 8일 5번의 측정을 하였음.

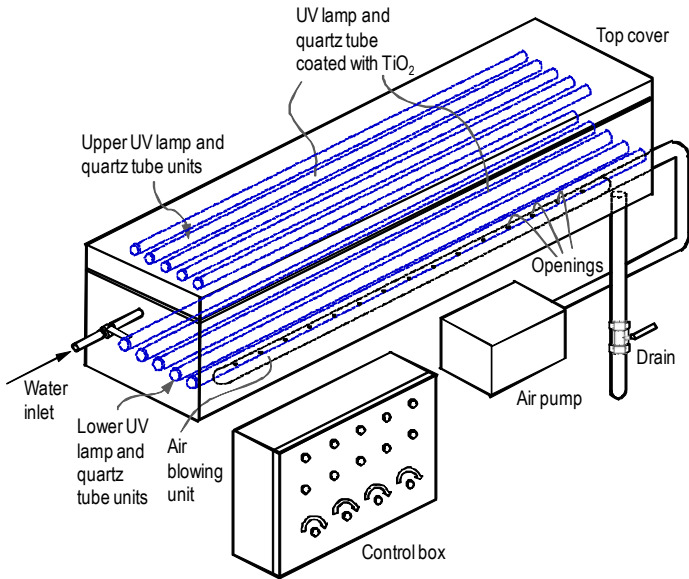


그림 6. Pilot-scale UV-광촉매 반응기의 모식도

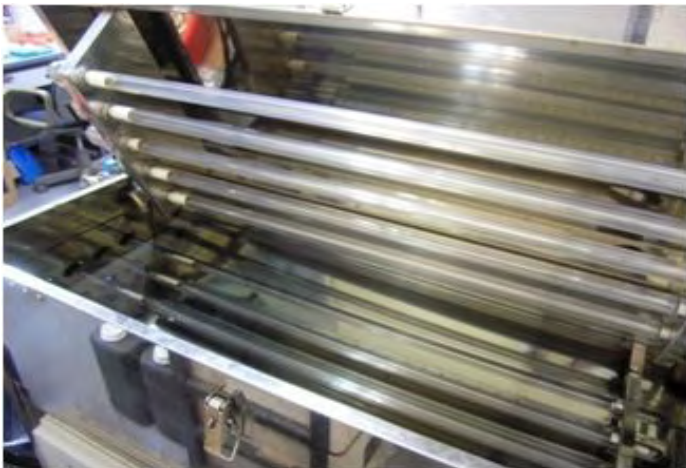


그림 7. Pilot-scale UV-광촉매 반응기의 실제 사진

(다) UV-광촉매 살균 처리 제품의 관능평가

① 관능 평가 대상

당근과 신선초 착즙 후 당일 착즙한 착즙 액을 대상으로 맛을 보고 선호도 측정을 하였음. 선호도 측정 대상은 15 명 이었으며, 이들은 25-45 세의 성인 남·여 로 구성된 그룹임. 총 4 가지의 대상에 대하여 선호도를 측정하였음.

② 관능 평가 방법

5 point scale로 나타내었으며 단맛은 (weak-strong), 맛, 향, 색은 (bad-good) 순으로 점수를 매겼음. 측정 시 3 digit numbering 을 사용하여 각 시료 간에 우선순위가 없도록 배치하였으며 약 20 mL을 음용토록 하였으며 한 개의 시료를 음용하면 물로 입을 헹구어 내고 다시 다른 시료를 음용하는 방법을 사용하였음.

(4) 연속식 UV-광촉매 반응기를 이용한 액상 식품의 위해 미생물 지해 효과 확인

(가) 자외선 노출량 및 유속에 따른 액체 시료의 살균력 연구

① 연속식 UV-광촉매 반응기

연속식 UV-광촉매 반응기를 사용하여 처리함. 이 장치는 8개의 자외선램프와 램프를 감싸는 cylinder로 구성됨. 각 자외선램프는 석영관과 석영관 내에 장착된 자외선램프, 석영관 외부 표면에 형성된 이산화티탄 광촉매 층을 포함하고 있음. 살균되지 않은 시료는 맨 아래의 램프로 유입됨. 유압 펌프와 연결 튜브를 이용하여 자외선 조사량을 조절할 수 있음. 유압 펌프를 이용하여 시료의 속도를 조절할 수 있음. 연결 튜브를 이용하여 관수를 조절이 가능함. 자외선램프를 감싸고 있는 석영관 옆으로 액체 시료가 지나 자외선 조사도가 높게 설계됨.

② 광촉매 처리 시 자외선 노출량 계산

㉞ 시료 유속별 살균 효과

8개의 관으로 구성된 연속식 광촉매 살균장치에서 시료의 통과 유속별 시료에 대한 자외선 노출량(UV dosage)을 아래 식을 이용하여 계산함.

$$U = \frac{It}{A} \text{ where, } A = 212.43 \text{ cm}^2 - \text{eq.1}$$

㉟ UV관 수 별 살균 효과

8개의 관으로 구성된 연속식 광촉매 살균장치에서 시료의 통과 면적을 반응 관수로 조절하여 노출 면적당 자외선 노출량을 eq.2를 이용하여 계산함.

$$U_{total} = U \cdot A \text{ where, } U = \frac{It}{A} - \text{eq.2}$$

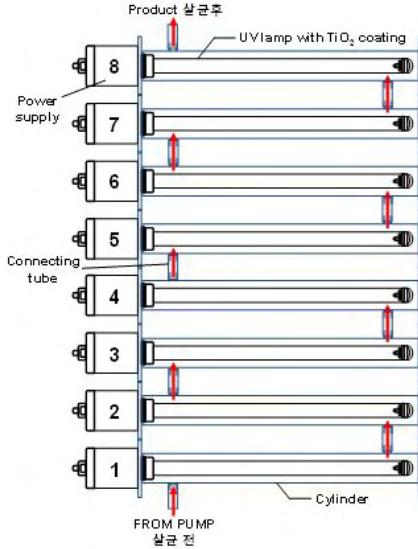


그림 8. 연속식 UV-광촉매 반응기의 모식도

(나) 자외선 노출량에 따른 식품 내 세균의 살균력 측정

① 시료 유속별 살균 효과

주요 식중독균 중 하나인 바실러스 균을 증류수 및 사과 주스에 접종하여 고정 노출 면적 내에서 시료의 유속별 살균력을 비교함.

② UV관 수 별 살균 효과

시료의 유속을 2 mL/s로 유지한 상태로 주요 식중독균 (효모, 바실러스)이 접종된 사과주스를 자외선 노출 면적별로 광촉매 반응시켜 그 살균 정도를 관찰함. 자외선 노출 면적은 연속식 광촉매 처리장치의 관수를 통해 조절함.

(다) 연속식 광촉매 처리 시 발열로 인한 품질 변화 및 살균력 저하 문제 개선

연속식 광촉매 처리기를 이용한 액상시료 살균 시 색이 어둡고 짙은 시료의 경우 (케일주스 등) 자외선/광촉매 반응을 통한 살균효과가 효과적이지 못함과 더불어 자외선램프의 발열 및 작습시의 발열로 인해 반응 후 오히려 균수가 증가하는 현상이 관찰됨.

① 연속식 광촉매 처리기의 냉각 시스템 구축

위의 현상을 개선하기 위해 광촉매 반응 시 발열을 최소화하기 시스템의 냉각수에 열을 넣고 항온 순환기를 설치하여 냉각조의 유지온도를 최소화하여 연속식 광촉매 장치의 반응로에 저온유지를 도모함.

② 적용 유무에 따른 살균효율 및 시료온도 변화 비교

이를 평가하기 위해 광촉매 살균 효율이 떨어지는 케일주스를 대조 시료로 선정함. 3Kg의 케일을 녹즙기에 갈아 3L의 케일 주스를 만들. 이를 냉각 시스템 적용이 광촉매 반응 전후의 균수 변화 및 시료의 온도 변화를 측정함. 냉각 시스템의 냉각수에 열을 넣고 항온 순환기를 설치하여 냉각조의 유지온도를 최소화하여 연속식 광촉매 장치의 반응로에 저온유지를 도모함.



그림 9. 냉각 시스템 적용 전(좌), 후(우)의 연속식 광촉매 처리장치

(라) 균주별 연속식 광촉매 살균기의 살균력 비교

① 액체시료에 접종된 4가지 균주에 대한 살균력 비교측정

종별 광촉매 살균방식의 효율성을 비교하기 위해 대표적인 그람 양성 식중독균인 *Bacillus cereus*, 그람 음성 식중독균인 *Salmonella* Typhimurium, 자외선에 강한 내성을 띠는 *E. coli* O157:H7과 효모균 *Saccharomyces cerevisiae*을 증류수와 사과주스에 접종하여 1700 cm²의 일정한 노출면적과 2 m/s의 일정한 유속 조건에서 반응시켜 그 감소율을 비교 측정함.

(5) Batch 식 반응기와 연속식 반응기의 위해 미생물 지해 효과 비교

(가) 케일 주스에 대한 batch식 및 연속식 반응기의 살균력 및 품질변화 확인

① 케일 시료 준비

실험에 사용된 케일은 서울시 서대문구에 소재하는 하나로 마트에서 구입하였으며,

구입한 케일은 4 °C를 유지하여 보관하고, 구입한 당일 실험을 실시함. 케일 시료는 깨끗한 물로 씻은 후, batch식 반응기 처리 할 시료는 무균상태인 clean-bench에서 4등분으로 절단함. 연속식 반응기에 처리 할 시료는 미리 clean-bench에서 착즙하여 처리하여 분석함.

② Batch식, 연속식 UV-광촉매 산화 반응 장치

80 L인 batch 식 UV-광촉매 반응기를 이용하여 처리하였으며, 이 반응기에는 시료를 섞어 줄 수 있는 air pump와 UV lamp가 장착 되어있음. 광촉매를 코팅 한 석영관에 있는 UV lamp과 코팅하지 않은 석영관에 있는 UV lamp 두 종류를 교체하여 사용가능함. (그림 5)

연속식 UV-광촉매 반응기는 8 개의 자외선램프로 구성된 장치를 사용함. 각 자외선 램프는 석영관과 외부 표면은 TiO₂가 코팅 되어 있고, 자외선 조사량은 유압펌프와 연결 튜브를 이용하여 조절함. 맨 아래의 램프로 시료를 유입하여, 8 개 관 램프를 거쳐 살균 된 시료는 맨 위쪽으로 방출됨. (그림 8)

③ Batch식, 연속식 UV-광촉매 반응기 처리

이 실험의 실험조건은 미처리, 연속식 반응기 처리, Batch식 반응기 처리와 batch-연속식 병합처리 등 4가지로 설정함. 병합처리는 착즙 전 케일을 Batch식 반응기로 전처리 한여 착즙 후 연속식 반응기로 처리하여 살균력 및 품질 변화 측정함. 그중, 케일주스의 품질은 색, pH, 당도를 측정함. 또한 9일간 저장하여, 세균(aerobe), 대장균(coliform), 효모 및 곰팡이(yeasts & molds)의 기간별 균수를 측정함.

나. UV-광촉매 산화 반응과 초음파 조사법 병합 살균 연구

(1) 초음파 조사법과 UV-광촉매 산화 반응 병합 처리의 위해미생물 지해 효과 확인

(가) Surface model을 이용한 동시 병합 처리의 감균 효과 확인

① 사용균주 배양 및 세포 현탁액 준비

사용균주는 *Escherichia coli* K12를 사용하였음. Stock culture는 30% glycerol를 함유하는 nutrient broth (NB, Laboratories, Detroit, USA)를 사용하여, -80 °C에서 보관함. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 각 1 mL을 취하여 NB 100 mL에 넣은 후 37 °C에서 24시간 동안 배양하여 세포 현탁액으로 사용함.

② Surface model 제조 및 균주접종

Surface model은 2.5%의 bacto™ agar solution을 타원형 플라스틱 틀에 주입한 뒤, 4 °C에 2시간 동안 굳힌 뒤, surface model을 5.0 log CFU/cm² 가량의 초기 균에 담가 38 °C shaking incubator에서 3시간 동안 접종을 시킴. 3시간 후, 무균상태인 clean-beach에서 접종한 surface model을 꺼내 15분 가량 건조 시킨 뒤 살균 처리함.

③ 초음파 조사와 UV-광촉매 반응기 설치 장비

본 실험은 80 L인 batch 식 UV-광촉매 반응기를 이용하여 처리하였으며, 이 반응기

에는 시료를 섞어 줄 수 있는 air pump와 UV lamp가 장착 되어있고, 광촉매를 코팅 한 석영관에 있는 UV lamp과 코팅하지 않은 석영관에 있는 UV lamp 두 종류를 교체하여 사용가능함.

초음파 조사 장치는 UV-광촉매 반응기 상단 UV lamp와 반응기 덮개 사이에 장착되었으며, 초음파 장치는 전원 버튼, 초음파 세기, 처리 시간을 조절 가능함. 그리하여 초음파 단일 처리와 UV 단일 처리, UV-광촉매 처리 또는 병합처리가 가능함.

④ 초음파-UV-광촉매 산화 반응 동시 병합처리

연구의 처리조건은 air pump 단독(dark treatment), 초음파 단독, UV 단독, UV-광촉매 단독, UV-초음파 동시 병합과 UV-광촉매-초음파 동시 병합 총 6가지 조건으로 실험을 실행했으며, 처리 시간은 각 0, 20, 40, 60초로 설정하였음.



그림 10. Batch식 UV-광촉매 반응기에 삽입된 초음파 조사장치 (빨간 화살표)

(나) Surface model을 이용한 연속 병합 처리의 감균 효과 확인

① 사용균주 배양 및 세포 현탁액 준비

사용균주는 *Escherichia coli* K12를 사용하였음. 미리 Stock 된 균주는 해동 후, 각 1 mL을 취하여 NB 100 mL에 넣은 후 37 °C에서 24시간 동안 배양하여 세포 현탁액으로 사용함.

② Surface model 제조 및 균주접종

Surface model은 2.5%의 bacto™ agar solution을 타원형 플라스틱 틀에 주입한 뒤, 4 °C에 2시간 동안 굳힌 뒤, surface model을 5.3 log CFU/mL 가량의 초기 균이 있는 배양액에 담겨 38 °C shaking incubator에서 3시간 동안 접종을 시킴. 3시간 후, 무균상태인 clean-beach에서 접종한 surface model을 꺼내 15분가량 건조 시킨 뒤 연속 살균 함.

③ 초음파 조사와 UV-광촉매 반응기 설치 장비

본 실험은 80 L인 batch 식 UV-광촉매 반응기를 이용하여 처리하였으며, 이 반응기에는 시료를 섞어 줄 수 있는 air pump와 UV lamp가 장착 되어있고, 광촉매를 코팅 한 석영관에 있는 UV lamp과 코팅하지 않은 석영관에 있는 UV lamp 두 종류를 교체하여 사용가능함. 또한 초음파 조사 장치 장착 되어 있음.

처리조건은 우선 초음파 단독으로 1분 처리 한 후, 각 0, 20, 40, 60초로 air pump 단독(dark condition), UV 단독과 UV-광촉매 단독 처리와 같이 실험을 순차적으로 진행 함. (초음파 → air pump 단독, 초음파 → UV 단독, 초음파 → UV-광촉매 단독)

(다) 신선편이 제품 케일을 이용한 병합 처리의 감균 효과 및 저장성 실험

① 케일 시료 준비

실험에 사용된 케일은 서울시 서대문구에 소재하는 하나로 마트에서 구입하였으며, 구입한 케일은 4 °C를 유지하여 보관하고, 구입한 당일에 실험을 실시함. 케일 시료는 깨끗한 물로 씻은 후, 무균상태인 clean-bench에서 4등분으로 절단하여 실험함. 처리 후 케일은 각 부위 별 골고루 랜덤 sampling을 하여 분석함.

② 초음파 조사법과 UV-광촉매 산화 반응 병합 처리

80 L인 batch 식 UV-광촉매 반응기를 이용하여 처리하였으며, 이 반응기에는 시료를 섞어 줄 수 있는 air pump와 UV lamp가 장착 되어있음. 광촉매를 코팅 한 석영관에 있는 UV lamp과 코팅하지 않은 석영관에 있는 UV lamp 두 종류를 교체하여 사용가능함. 또한 초음파 조사 장치 장착 되어 있음.

Batch에 15 L의 물을 채워 케일 시료를 적정량을 넣음. 처리조건은 미처리, 초음파 처리, UV-광촉매 처리, 광촉매-초음파 병합처리 4 가지 처리법으로 실험이 이루어졌으며, 모든 처리는 20분으로 설정하였고, 초음파 처리는 조사장치의 발열 방지를 위해 10 초씩, 28 Hz의 초음파를 교차로 조사함. 처리 후, 각 실험 방식의 감균 효과를 확인하기 위해 처리된 케일을 착즙하여 식품 내 주요균종인 호기성 세균(aerobe), 대장균(coliform), 효모(yeast) 3가지 균에 대한 균수 변화를 측정함.

또한 착즙하여 주스의 형태로 4 °C에서 9일간 냉장 보관하며 각 방식의 대한 호기성 세균(aerobe), 대장균(coliform), 효모(yeast) 3가지의 균의 균수변화를 확인하였음.

(라) 신선편이 제품 오이를 이용한 병합 처리의 감균 효과 및 저장성 실험

① 오이 시료 준비

실험에 사용된 오이는 서울시 서대문구에 소재하는 하나로 마트에서 구입하였으며, 구입한 오이는 4 °C를 유지하여 보관하고, 구입한 당일에 실험을 실시함. 오이 시료를 깨끗한 물로 씻은 후, 무균상태인 clean-bench에서 4 등분으로 절단하여 실험함. 처리 후, 오이 각 부위를 골고루 랜덤 sampling하여 분석함.

② 초음파 조사법과 UV-광촉매 산화 반응 병합 처리

초음파 조사 장치가 삽입 되어있는 80 L batch식 UV-광촉매 반응기로 실험함. 또한 안에 장착되어 있는 UV lamp는 석영관에 TiO₂가 코팅 한 것과 하지 않은 것을 교환

할 수 있음. Batch에 15 L의 물을 채운 후, 오이시료가 골고루 분포 되어있게 함. 처리 조건은 air pump 단독, 초음파 단독, UV-광촉매 단독처리, 초음파-UV-광촉매 병합처리 4가지 방식으로 설정. 초음파 조사는 10초씩, 28 Hz의 초음파를 교차로 조사함. 처리시간은 0-30분까지 5분 간격으로 sampling하여 분석함.

다. 위해미생물 제거를 위한 화학적, 물리적 방법 효과 비교

(1) 신선편이식품에 존재하는 미생물 확인 조사

(가) 문헌검색

① 문헌조사, 실제 사례 조사를 통한 분석

신선편이 식품에 존재 가능성 높은 식중독 미생물을 문헌이나 실제 사례를 기반으로 조사함.

(나) 유통 중인 신선편이식품에 존재하는 미생물 균종 확인

① 시료 채취

시료는 Iceberg Lettuce로 구입 후 3-4장 정도의 겉잎을 제거하고, 그 안의 잎을 채취하여 Steel knife를 이용해 좌우 5cm의 정사각형 모양으로 잘라서 사용함.

② 미생물 분석 방법

㉠ 총균수

시험용액 1 mL 와 각 단계 희석액 1 mL을 멸균 펠트리접시 2매 이상씩의 무균적으로 취하여 약 43-45 °C로 유지한 PCA (Plate Count Agar)배지 약 15 mL를 무균적으로 분주하고 펠트리접시를 거꾸로 하여 35 ± 1 °C에서 24-48시간 배양함. 1 평판 당 30-300개의 집락을 생성한 평판을 택하여 집락수를 계산하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 일반세균수로 함.

㉡ 대장균

대장균의 측정은 식품공전 중 건조 필름법에 의한 정량법에 따라 실험함. 시험용액 1 mL와 각 단계 희석액 1 mL을 대장균 건조필름배지에 접종한 후 잘 흡수시킨 후 35 ± 1 °C에서 24-48시간 배양한 후 생성된 푸른 집락 중 주위에 기포를 형성하고 있는 집락수를 계산하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 대장균수를 산출함.

㉢ 진균

식품공전 제 10. 일반시험법 8. 미생물시험법 9) 진균수(효모 및 사상균수) 측정법에 근거하여 세균수(일반세균수) 측정방법에 준하여 시험하고 배지는 포테이토덱스트로오즈 한천배지(Potato Dextrose Agar)를 사용하여 25 °C에서 5-7일간 배양하여 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 진균 수 산출.

㉣ *Staphylococcus aureus*

식품공전 제 10. 일반시험법 8. 미생물시험법 14) 황색포도당구균 측정법에 근거하여

샘플 5 g을 취하여 50 mL의 peptone water에 가하고 stomacher를 이용하여 2분간 균질화함. 유체 1 mL을 취하여 9 mL의 10% NaCl tryptic soy broth에 접종한 후 37 °C에서 24시간 증균 배양 했음. 증균 배양이 끝난 후, peptone water로 10배 단계 희석하여 Baird-parker agar base에 접종하였고, 37 °C에서 24 ± 2시간 배양하여 배지 위에 형성된 white colony를 계수하였음.

㉞ *Listeria monocytogenes*

식품공전 제 10. 일반시험법 8. 미생물시험법 18) 리스테리아 모노사이토제네스 시험법에 의해 검체를 취하여 Oxford agar 또는 Lithium chloride-phenylethanol-moxalactam 한천배지에 접종하여 30 °C에서 24-28시간 배양함. 이후 집락을 생성한 평판을 택하여 집락수를 계산하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 균수를 계수함.

㉟ *Bacillus cereus*

검체 25g 또는 25 mL을 취한 후, 225 mL의 멸균 인산 완충 희석액에 가하여 2분간 고속으로 균질화하여 시험용액으로 함. 멸균 인산 완충 희석액을 사용하여 10^{-2} 에서 10^{-6} 까지의 10배 단계 희석액을 만들. MYP 한천평판배지에 단계별 희석용액 0.2 mL씩 5장을 도말하여 총 접종액이 1 mL이 되게 한 후 30 °C에서 24시간 배양한 후 집락 주변에 lecithinase를 생성하는 혼탁한 환이 있는 분홍색 집락을 확인함. 이후 API test를 통해 분홍색 집락을 검사하여 *B. cereus* 여부를 판단함.

㊱ *Salmonella* spp.

식품공전 제 10. 일반시험법 8. 미생물시험법 13) 살모넬라 시험법에 의해 검체를 취하여 MacConkey 한천배지 또는 Desoxycholate Citrate 한천배지 또는 XLD 한천배지에 접종하여 35 °C에서 24시간 배양 한 후, 생성된 집락을 계수함.

㊲ *Cronobacter sakazakii*

검체를 채취하여 Chromogenic Enterobacter sakazakii agar(CESA 배지) 또는 Violet red bile glucose agar(VRBG 배지) 또는 E. sakazakii medium에 도말하여 36 °C에서 24 ± 2시간 배양함. Chromogenic Enterobacter sakazakii agar에서 청록색이고, VRBG agar에서 자주색, E. sakazakii medium에서는 장파장의 자외선(366nm) 조사 하에서 형광을 나타내는 전형적인 집락을 계수함.

(2) 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인 (*in vitro*)

(가) 초음파 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인

① 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus cereus* F4810/72, *Cronobacter sakazakii* KCTC 2949, *Listeria monocytogenes* ATCC 19118을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 °C에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 37 °C에서 24 시간 동안 전 배양하여 사용함.

② 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 ul을 취하여 TSB 10mL에 넣은 후 35 °C의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 0.1% peptone water로 현탁한 후 다시 재현탁 하였음. 그 후 재현탁한 세포액 (10^{8-9} CFU/mL)을 사용함.

③ 초음파 처리 시 미생물 반응

Mains voltage (Vac)	220-240 V	Weight (kg)	11.0
Ultrasonic frequency (kHz)	37 / 80	Material tank	stainless steel V2A
Power consumption total P 300 H (W)	1580	Material casing	stainless steel V2A
Ultrasonic power effective (W)	380	Drain	3/8"
Ultrasonic peak performance max. (W)	1520	CE-compliant	✓
Heating power (units w. heating) (W)	1200	Protection class	IP 20
Unit outer dimensions W/D/H (mm)	568 / 340 / 321	Sound pressure level (Lp(A)) * (dB)	61 / 56
Tank internal dimensions W/D/H (mm)	505 / 300 / 200	Ultrasonic sound level (LpZ) ** (dB)	100 / 96
Basket internal dimensions W/D/H (mm)	455 / 250 / 115		

그림 11. Elmasonic P 300H model

초음파 세기 1200 W로 고정하여 37, 80 kHz의 초음파에 broth를 노출시켜 파장 별 차이 확인을 실험하였고 초음파 파장 37 kHz로 고정하여 360, 600, 840, 1200 W의 초음파에 broth를 노출시켜 세기 별 차이 확인 실험을 하였음.

(나) 살균소독제(염소계 등) 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인

① 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus cereus* F4810/72, *Cronobacter sakazakii* KCTC 2949, *Listeria monocytogenes* ATCC 19118을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 °C에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 37 °C에서 24 시간 동안 전 배양하여 사용함.

② 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 uL을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 35 °C의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 0.1% peptone water로 현탁한 후 다시 재현탁 하였음. 그 후 재현탁한 세포액 (10^{8-9} CFU/mL)을 사용함.

③ 유효성 평가 방법

살균소독제 시험법은 유럽 정량적 현탁액 시험법인 EN 1276 방법을 사용함. 살균소독제의 주요 식중독균에 대한 유효성 평가실험은 우리나라 식품의약품안전청에서 공시 방법으로 채택하고 있는 유럽표준위원회(European Committee for Standardization, CEN)의 기술위원회 216(Technical Committee 216)에서 개발한 화학 살균제 및 소독제 시험방법인 CEN EN1276 시험방법(Dilution-Neutralization method)을 평가방법으로 채택하였음. 시험 균 1.0 mL이 들어있는 멸균시험관에 시험용액 8.0 mL을 넣고 20 ± 1 °C에서 5분간 반응시켰다. 반응이 종료되면 교반 후 중화제 8.0 mL과 멸균증류수 1.0 mL이 혼합된 멸균시험관에 반응혼합액 1.0 mL을 첨가하고 20 ± 1 °C에서 5분간 중화하였다. 중화시간이 완료되면, 즉시 중화반응혼합액 1.0 mL을 0.1% peptone water를 사용하여 연속희석하고 tryptic soy agar (TSA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 부어 37 °C incubator에서 24-36시간 배양 후 균수는 standard plates count (SPC) 방법으로 계산하고 colony forming unit (CFU)/g으로 표현하였음. 모든 시료는 duplicate로 하고 동일한 시료에 대해 3회 반복하여 조건별 잔존 미생물의 균수를 측정하여 평균값을 얻음.

④ 균의 계수

살균소독제 처리 후 생존한 시험 균의 수를 측정하기 위하여 희석수를 사용하여 단계적으로 희석하고 TSA에 접종하여 30 °C에서 24시간 동안 배양하여 집락을 counting 하였음.

(3) 신선편이 식품에서 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인

(가) 초음파 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인

① 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus cereus* F4810/72, *Cronobacter sakazakii* KCTC 2949, *Listeria monocytogenes* ATCC 19118을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 °C에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100 uL을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 37 °C에서 24시간 동안 전 배양하여 사용함.

② 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 uL을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 35 °C의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을

버리고 0.1% Peptone water로 현탁한 후 다시 재 현탁 하였음. 그 후 재 현탁한 세포액 (10^{8-9} CFU/mL)을 사용함.

③ 시료 준비

실험에 사용된 양상추는 경기도 안성시에 소재하는 롯데마트에서 구입한 당일의 신선한 양상추는 dry-ice box에 담아 5-7 °C로 유지하면서 실험실로 이동한 후, 4 °C 냉장고에 보관하면서 구입한지 하루 이내에 실험을 실시하였음. 각각의 무게가 다른 양상추 시료를 무균상태인 clean-bench에서 10 g (\pm 0.5 g)으로 절단 및 정량하여 실험용 양상추 시료로 사용하였다.

④ 세포 현탁액 접종

준비된 세포 현탁액(10^{8-9} CFU/mL) 100ul를 3 x 3cm(가로 x 세로)크기의 양상추 시료(10 g)위에 점 접종 한 후, 이를 clean bench에서 1시간동안 건조하고 접종한 균액이 완전히 마른 후 실험하였음.

⑤ 초음파 detachment 능력 평가

초음파(37 kHz, 1200 W)를 시간대 별로 처리한 양상추 표면의 잔존 균수를 측정하기 위해서 50 mL tube에 10 mL 0.1% peptone water과 함께 균이 접종된 양상추 시료를 초음파에 노출시켰음. 이후 0.1% 멸균된 peptone water 용액을 사용하여 연속 희석하고 선택배지에서 적정온도별로 24-36시간 배양 후 조건별 잔존 미생물의 균수를 측정하여 평균값을 얻었음.

(나) 살균소독제(염소계 등) 단일 처리 시 미생물 사멸효과 확인

① 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus cereus* F4810/72, *Cronobacter sakazakii* KCTC 2949, *Listeria monocytogenes* ATCC 19118을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 °C에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 37 °C에서 24 시간 동안 전 배양하여 사용함.

② 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 35 °C의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 0.1% Peptone water로 현탁한 후 다시 재현탁 하였음. 그 후 재현탁한 세포액 (10^{8-9} CFU/mL)을 사용함.

③ 시료 준비

실험에 사용된 양상추는 경기도 안성시에 소재하는 롯데마트에서 구입한 당일의 신선한 양상추는 dry-ice box에 담아 5-7 °C로 유지하면서 실험실로 이동한 후, 4 °C 냉장고에 보관하면서 구입한지 하루 이내에 실험을 실시하였음. 각각의 무게가 다른 양상

추 시료를 무균상태인 clean-bench에서 10 g (\pm 0.5 g)으로 절단 및 정량하여 실험용 양상추 시료로 사용하였음.

④ 세포 현탁액 접종

준비된 세포 현탁액(10^{8-9} CFU/mL) 100 ul를 3 x 3 cm(가로 x 세로)크기의 양상추 시료(10 g)위에 점 접종 한 후, 이를 clean bench에서 1시간동안 건조하고 접종한 균액이 완전히 마른 후 실험하였음.

⑤ 살균소독제 시험용액의 제조

살균소독제는 국내 식품업계에서 많이 사용되고 있는 chlorine (Sodium hypochlorite, 12%, Duksan, Korea)를 사용하였고, 멸균된 증류수로 0, 50, 100, 150, 200 ppm의 농도로 살균소독제를 희석하여 사용하였음.

⑥ 살균소독제의 살균소독력 평가

살균소독제 시험법은 유럽 정량적 현탁액 시험법인 EN 1276 방법을 사용하였음. 균이 접종된 양상추가 들어있는 멸균 병에 시험용액 50 mL을 넣고 20 ± 1 °C에서 5분간 반응시켰음. 반응이 완료되면 즉시 살균 처리된 양상추 시료를 0.1% peptone water 90 mL과 함께 멸균팩에 담아 stomaching한 후 0.1% peptone water를 사용하여 연속희석하고 선택배지에서 적정 온도에서 24-36 시간 동안 배양 후 조건별 잔존 미생물의 균수를 측정하여 평균값을 얻었다.

(4) Hurdle technology를 이용한 위해미생물 최소화 제어법 개발

(가) *In vitro*에서 미생물 사멸 효과 확인

① 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus cereus* F4810/72, *Cronobacter sakazakii* KCTC 2949, *Listeria monocytogenes* ATCC 19118을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 °C에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 37 °C에서 24 시간 동안 전 배양하여 사용함.

② 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 35 °C의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 0.1% Peptone water로 현탁한 후 다시 재현탁 하였음. 그 후 재현탁한 세포액 (10^{8-9} CFU/mL)을 사용함.

③ Broth 실험 준비 - *In Broth*

준비된 세포현탁액을 각 시험관에 1 mL씩 넣은 후 37 kHz, 1200 W의 초음파에 노출시킴. 초음파 처리가 완료된 세포 현탁액을 유럽 정량적 현탁액 시험법인 EN 1276방법을 사용하여 살균소독제 처리하여 초음파와 살균소독제의 병용처리에 의한 synergistic effect를 산출하였음.

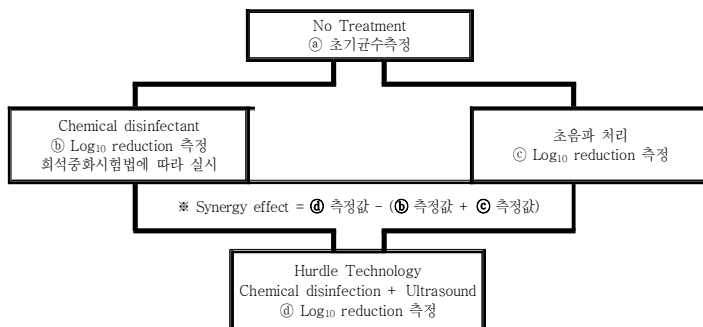
④ SUS chip 준비 - *In SUS*

SUS chip은 Parkar 등(2001)의 방법에 따라 준비하였음. SUS (steel use stainless) chip(Diameter : 2cm)을 50%의 nitric acid에 담가 70 °C에서 10분간 세척하였음. 처리된 chip은 증류수로 여러 번 행구어 121 °C에서 15분간 멸균하였음.

⑤ 세포 현탁액 접종

준비된 세포 현탁액(10^{8-9} CFU/mL) 100 ul를 sus chip위에 점 접종 한 후, 이를 clean bench에서 1시간동안 건조하였음.

⑥ 초음파-살균소독제의 병용처리



초음파-살균소독제 병용처리 평가를 위 그림의 절차에 따라 실험하였음. 준비된 건조된 sus chip을 37 kHz, 1200 W 조건에서 각각의 시간별로 초음파에 노출시켰음. 초음파 처리가 완료된 sus chip을 유럽 정량적 현탁액 시험법인 EN 1276방법을 사용하여 살균소독제 처리 하여 초음파와 살균소독제의 병용처리에 의한 synergistic effect를 산출하였음.

(나) 신선편이 식품에서 화학적-물리적 병용처리 효과

① 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus cereus* F4810/72, *Cronobacter sakazakii* KCTC 2949, *Listeria monocytogenes* ATCC 19118을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 °C에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 37 °C에서 24 시간 동안 전 배양하여 사용함.

② 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 35 °C의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 0.1% peptone water로 현탁한 후 다시 재현탁 하였음. 그 후 재현탁한 세포액 (10^{8-9} CFU/mL)을 사용함.

③ 양상추 시료 준비

실험에 사용된 양상추는 경기도 안성시에 소재하는 롯데마트에서 구입한 당일의 신선한 양상추는 dry-ice box에 담아 5-7 °C로 유지하면서 실험실로 이동한 후, 4 °C 냉장고에 보관하면서 구입한지 하루 이내에 실험을 실시하였음. 각각의 무게가 다른 양상추 시료를 무균상태인 clean-bench에서 10g ($\pm 0.5g$)으로 절단 및 정량하여 실험용 양

상추 시료로 사용하였음.

④ 세포 현탁액 접종

준비된 세포 현탁액(10^{8-9} CFU/mL) 100 μ l를 3 x 3cm(가로 x 세로)크기의 양상추 시료(10g)위에 점 접종 한 후, 이를 clean bench에서 1시간동안 건조하고 접종한 균액이 완전히 마른 후 실험하였음.

⑤ 초음파-살균소독제의 병용처리

초음파-살균소독제 병용처리 평가를 위하여 준비된 양상추 시료를 37 kHz, 1200 W의 초음파에 노출시켰음. 초음파 처리가 완료된 양상추 시료를 유럽 정량적 현탁액 시험법인 EN 1276방법을 사용하여 살균소독제 처리 하여 초음파와 살균소독제의 병용처리에 의한 synergistic effect를 산출하였음.

(다) 최적화된 위해미생물 제어법 처리에 따른 신선편이 식품의 품질 평가

① 양상추 시료 준비

실험에 사용된 양상추는 경기도 안성시에 소재하는 롯데마트에서 구입한 당일의 신선한 양상추는 불가식 부위인 꺾임을 4장 정도 제거한 후, 남은 잎을 Stainless-steel knife를 이용하여 3 x 3cm(가로 x 세로) 크기로 절단하였음.

② 살균소독제 단일 처리

살균소독제의 단일 평가를 위하여 준비된 양상추 시료를 0-200 ppm 범위의 살균소독제로 5분간 처리하였음.

③ 초음파 단일 처리

초음파(37 kHz, 1200 W)를 시간대 별로 처리한 양상추 표면의 잔존 균수를 측정하기 위해서 50 mL tube에 10 mL 0.1% peptone water와 함께 균이 접종된 양상추 시료를 초음파에 0-100분간 노출시켰음.

④ 초음파-살균소독제의 병용처리

초음파-살균소독제 병용처리 평가를 위하여 준비된 양상추 시료를 37 kHz, 1200 W의 초음파에 0-100분간 노출시켰음. 초음파 처리가 완료된 양상추 시료를 0-200 ppm 범위의 살균소독제에 처리 하여 초음파와 살균소독제의 병용처리에 의한 품질 평가를 실시하였음.

⑤ pH 측정

초음파-살균소독제를 병용처리한 양상추 50 g과 증류수 50 g을 넣어 10초간 마쇄하여 거즈로 여과한 후, pH는 pH-meter (Orion 410A+, Thermo Electron Co., USA)를 이용하여 측정하였음.

⑥ 당도 측정

초음파-살균소독제를 병용처리한 양상추 50 g과 증류수 50 g을 넣어 10초간 마쇄하여 거즈로 여과한 후, 굴절당도계 (RP-32, Atago Co., Ltd, Japan)를 사용하여 측정하였

음.

⑦ 색도 측정

초음파-살균소독제를 병용처리한 양상추 50 g과 증류수 50 g (1:1)을 넣어 10초간 마쇄하여 거르로 여과한 후, 패트리접시(diameter 20 x 12 mm)에 담아 색차계 (UltraScan Pro/Hunterlab, USA)를 이용하여 L (lightness), a (redness) 및 b (yellowness) 값을 측정하였음. 이 때 사용한 백색판은 L : 97.49, a : -0.18, b : 0.00의 값을 가진 표준색판을 사용하였음.

⑧ 조직감 측정

초음파-살균소독제를 병용처리한 양상추를 Texture analyzer (TEXT express enhanced, Stable Micro Systems)을 이용하여 측정하였음. 양상추 잎자루 부위를 중심으로 5 cm x 5 cm x 1.5 cm (1조각, -2.5 g of green tissue)로 하여 시료를 관통할 때의 최대치의 값을 g force 단위로 표시하였음. 측정 시, 시료의 움직임이 없도록 고정하며 측정에 사용된 probe는 SMSP/2를 이용하였음.

표 5. Texture analyzer conditions for texture profiles of cooked rice

Caption	Value	Units
Pre-Test Speed	1.00	mm/sec
Test Speed	1.00	mm/sec
Post-Test Speed	5.00	mm/sec
Target Mode	Distance	
Distance	10.00	mm
Trigger Type	Auto (Force)	
Trigger Force	0.00000 N	
Stop Plot At	Start Position	
Tare Mode	Auto	
Advanced Options	On	
Control Oven	Disabled	

라. Hurdle technology의 현장 적용 및 실제 test

(1) 최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 pilot scale의 현장에 simulation 적용

(가) Pilot scale 현장 안에서의 화학적-물리적 처리효과

① 병용처리 조건을 갖춘 장비 제작

② RSM으로 동시처리 최적 조건 설정

NaClO (6%) 0-200 ppm과 초음파 0-4000 W(5분 고정)조건으로 하여 RSM을 통해 13가지 조건을 설정하였음.

run	초음파 세기(W)	소독제농도(ppm)
1	0	200
2	2000	100
3	2000	0
4	2000	200
5	2000	100
6	4000	100
7	4000	200
8	4000	0
9	2000	100
10	2000	100
11	0	100
12	2000	100
13	0	0

③ 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Bacillus cereus* F4810/72, 을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 ℃에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100 μL을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 37 ℃에서 *Bacillus cereus* F4810/72는 30 ℃에서 24시간 동안 전 배양하여 사용함.

④ 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 μL을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 35 ℃의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 0.1% Peptone water로 현탁한 후 다시 재현탁 하였음. 그 후 재현탁한 세포액 (10⁸⁻⁹ CFU/mL)을 사용함.

⑤ 양상추 시료 준비

실험에 사용된 양상추는 경기도 안성시에 소재하는 마트에서 구입한 당일의 신선한

양상추는 dry-ice box에 담아 5-7 °C로 유지하면서 실험실로 이동한 후, 4 °C 냉장고에 보관하면서 구입한지 하루 이내에 실험을 실시하였음. 각각의 무게가 다른 양상추 시료를 무균상태인 clean-bench에서 2-3 g (\pm 0.5g)으로 절단 및 정량하여 실험용 양상추 시료로 사용하였음.

⑥ 살균소독제 시험용액의 제조

살균소독제는 국내 식품업계에서 많이 사용되고 있는 chlorine (Sodium hypochlorite, 유효염소 6%)를 사용하였고, 멸균된 증류수로 10000 ppm의 농도로 살균소독제를 희석하여 사용하였음.

⑦ 세포 현탁액 접종

양상추와 균용액을 1:3을 맞추어 sample 200 g을 균 용액 600 mL에 담아 3분간 멸균된 기구로 회저음. 균용액은 멸균수 594 mL에 세포액 6 mL를 넣어 총 600 mL의 균용액(10^{6-7} CFU/mL)을 사용하였음. 멸균된 호일 위에 담긴 양상추를 올려놓고 clean bench에서 20분간 dry한 후 멸균백에 넣고 균이 잘 붙을 수 있도록 24시간 4 °C의 냉장고에 저장했음.

⑧ 초음파-살균 소독제 반응

살균 소독제 통에 희석한 소독제를 넣고 RSM을 통해 얻은 조건으로 소독제농도, 초음파 세기를 조절하여 5분 동안 처리했음. 반응이 완료되면 즉시 양상추 시료를 0.1% peptone water 225 mL과 함께 멸균관에 담아 stomaching한 후 0.1% peptone water를 사용하여 연속희석하고 선택배지에서 적정 온도에서 24-36시간 동안 배양 후 조건별 잔존 미생물의 균수를 측정하여 평균값을 얻었음.

(나) Pilot scale의 현장에 적용한 신선편이 식품의 물리적 품질 평가

① 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Bacillus cereus* F4810/72, 을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 °C에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100ul을 취하여 TSB 10mL에 넣은 후 37 °C에서 *Bacillus cereus* F4810/72는 30 °C에서 24시간 동안 전 배양하여 사용함.

② 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 35 °C의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 0.1% Peptone water로 현탁한 후 다시 재현탁 하였음. 그 후 재현탁한 세포액 (10^{8-9} CFU/mL)을 사용함.

③ 양상추 시료 준비

실험에 사용된 양상추는 경기도 안성시에 소재하는 마트에서 구입한 당일의 신선한 양상추는 dry-ice box에 담아 5-7 °C로 유지하면서 실험실로 이동한 후, 4 °C 냉장고에

보관하면서 구입한지 하루 이내에 실험을 실시하였음. 각각의 무게가 다른 양상추 시료를 무균상태인 clean-bench에서 2- 3g (\pm 0.5 g)으로 절단 및 정량하여 실험용 양상추 시료로 사용하였음.

④ 살균소독제 시험용액의 제조

살균소독제는 국내 식품업계에서 많이 사용되고 있는 chlorine (Sodium hypochlorite, 유효염소 6%)를 사용하였고, 멸균된 증류수로 10000 ppm의 농도로 살균소독제를 희석하여 사용하였음.

⑤ Pilot scale 초음파-살균 소독제 반응

살균 소독제 통해 희석한 소독제를 넣고 RSM을 통해 얻은 조건으로 소독제농도, 초음파 세기를 조절하여 5분 동안 처리했음.

⑥ 색도 측정

초음파-살균소독제를 병용처리한 양상추 20 g과 증류수 20 g (1:1)을 넣어 10초간 마쇄하여 거즈로 여과한 후, Petridish (diameter 20 x 12 mm)에 담아 색차계 (UltraScan Pro/Hunterlab, USA)를 이용하여 L (lightness), a (redness) 및 b (yellowness)값을 측정하였음. 이 때 사용한 백색판은 L : 97.49, a : -0.18, b : 0.00의 값을 가진 표준색판을 사용하였음.

⑦ 조직감 측정

초음파-살균소독제를 병용처리한 양상추를 Texture analyzer (TEXT express enhanced, Stable Micro Systems)을 이용하여 측정하였음. 양상추 잎자루 부위를 중심으로 5 cm x 5 cm x 1.5 cm (1조각, -2.5 g of green tissue)로 하여 시료를 관통할 때의 최대치의 값을 g force 단위로 표시하였음. 측정 시, 시료의 움직임이 없도록 고정하며 측정에 사용된 probe는 SMSP/2를 이용하였음.

(다) SEM 사진을 통한 Pilot scale 조건에 적용한 위해 미생물 관찰

① 사용균주 배양

사용균주는 *Escherichia coli* ATCC 10536, *Bacillus cereus* F4810/72, 을 사용하였고, Stock culture는 30% glycerol을 함유하는 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 -70 °C에서 보관하였음. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 37 °C에서 *Bacillus cereus* F4810/72는 30 °C에서 24시간 동안 전 배양하여 사용함.

② 세포 현탁액의 준비

Start culture는 전 배양액으로부터 100 ul을 취하여 TSB 10 mL에 넣은 후 35 °C의 incubator에서 24시간 동안 배양한 후 7,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 0.1% Peptone water로 현탁한 후 다시 재현탁 하였음. 그 후 재현탁한 세포액 (10^{8-9} CFU/mL)을 사용함.

③ 양상추 시료 준비

실험에 사용된 양상추는 경기도 안성시에 소재하는 마트에서 구입한 당일의 신선한 양상추는 dry-ice box에 담아 5-7 ℃로 유지하면서 실험실로 이동한 후, 4 ℃ 냉장고에 보관하면서 구입한지 하루 이내에 실험을 실시하였음. 각각의 무게가 다른 양상추 시료를 무균상태인 clean-bench에서 2-3 g (\pm 0.5g)으로 절단 및 정량하여 실험용 양상추 시료로 사용하였음.

④ 살균소독제 시험용액의 제조

살균소독제는 국내 식품업계에서 많이 사용되고 있는 chlorine (Sodium hypochlorite, 6%)를 사용하였고, 멸균된 증류수로 10000 ppm의 농도로 살균소독제를 희석하여 사용하였음.

⑤ Pilot scale 초음파- 살균 소독제 반응

살균 소독제 용에 희석한 소독제를 넣고 RSM을 통해 얻은 조건으로 소독제농도, 초음파 세기를 조절하여 5분 동안 처리했음.

⑥ SEM 촬영 준비

Pilot scale 조건으로 처리 된 양상추 시료를 PBS용액으로 행균 다음 PBS 49 mL에 2% Glutaraldehyde 1 mL를 넣어 총 50 mL를 만들어 각 시료에 3 mL씩 부어 4 ℃에 12시간 저장했음. 12시간이 지난 후 PBS용액으로 15분간 행균 다음 탈수 과정으로 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100% 에탄올을 15분씩 처리했음. 100% 에탄올은 두 번 처리했음. 건조 과정으로 에탄올에 HMDS용액을 넣어 33%, 50%, 66%, 100% 농도 용액을 각 15분씩 처리했음.

⑦ Scanning electron microscopy (SEM)

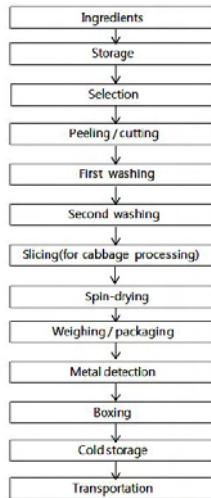
건조시킨 시료를 금박으로 코팅한 후 Scanning electron microscopy를 이용하여 초음파-살균소독제 조건처리에 따른 위해미생물을 관찰함.

(2) 실제 대상 식품의 생산 공정을 simulation 적용

(가) 양상추 세척공정을 Pilot scale현장에 적용

① 양상추 세척공정

신선편이 샐러드의 가공공정 조사 결과 원료, 정선, 절단, 세척, 소독, 헹굼, 탈수, 계량, 내포장, 금속검출기, 외포장, 예냉, 출고 순서로 이루어져 있고 원료와 작업자의 이동에 따라 작업이 순차적으로 이루어지도록 설계되었음. 그 중 소독 부분에 초음파-소독제 병용처리를 적용하여 양상추 식품의 생산 공정으로 simulation 했음.



Flow chart of preparation of fresh-cut lettuce.

그림 12. 양상추 세척 공정 Flow Chart

3. 연구 결과

가. 광촉매를 이용한 미생물 지해 효과 연구 및 적용기술개발

(1) UV lamp의 파장 변화에 따른 미생물 지해 효과 확인

(가) UV lamp의 파장 변화에 따른 감균 효과 확인

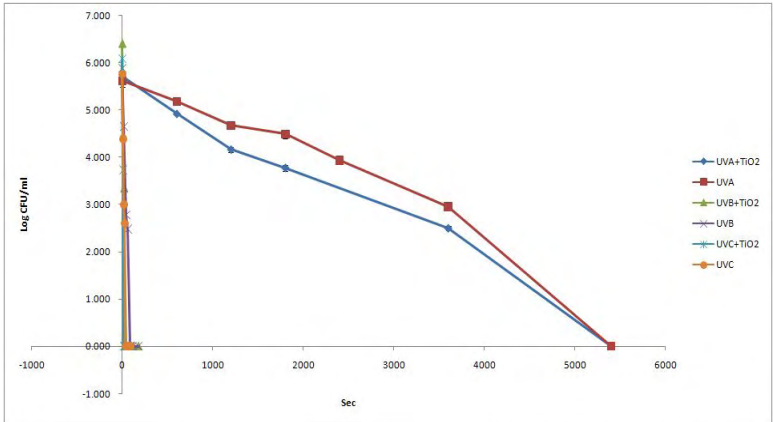


그림 13. Lab-scale UV-광촉매 반응을 이용한 자외선 파장별 *E. coli* 살균력

① UVA 광촉매 처리의 살균 효과

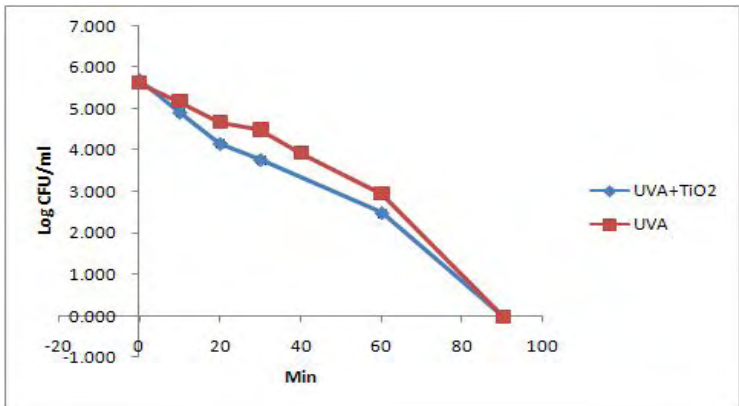


그림 14. Lab-scale UV-광촉매 반응을 이용한 UVA의 *E. coli* 살균력

*E. coli*의 초기균수는 평균 5.66 log CFU/mL 수준으로 검출됨. UV 단독 처리와

UV-광촉매 처리를 실행하였을 때, 90 min가 되었을 때 두 조건 모두 *E. coli* 가 검출되지 않았으며, UV 단독 처리보다는 UVA 광촉매 처리 시, 감균 속도가 더 빠르게 나타남.

② UVB, C 광촉매 처리의 살균 효과

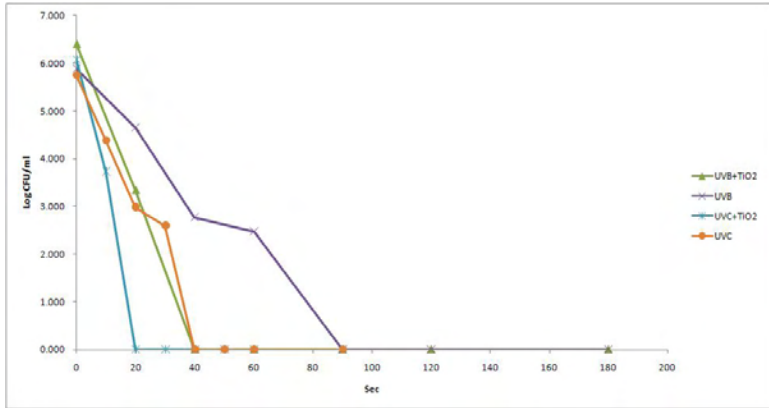


그림 15. Lab-scale UV-광촉매 반응기를 이용한 UVB, UVC 의 *E. coli* 살균력

E. coli 의 초기 균수는 평균 5.91 log CFU/mL 수준으로 검출됨. UVB lamp일 경우 단독 처리 시 90초가 되었을 때, UVB 광촉매 처리 시 40초가 되었을 때 *E. coli* 가 검출되지 않았음. UVC lamp일 경우 단독 처리 시 40초가 되었을 때, UVC 광촉매 처리 시 20초가 되었을 때 *E. coli* 가 검출되지 않았음. 모든 과정에서 UV 단독 처리보다는 UV-광촉매 처리 시 감균 속도가 더 빠른 것으로 관찰됨.

③ 자외선 파장별 광촉매 처리의 살균 효과

위해 미생물에 자외선 처리를 하게 될 경우, 유리 라디칼이 형성되어 세포막을 파괴 시킴. 파장이 짧은 자외선일수록, 에너지가 크기 때문에 세포의 감균 효과가 증가하게 됨. 광촉매인 이산화티타늄의 경우, 자외선을 흡수하여 강력한 산화력을 가진 수산화 라디칼을 형성함. 수산화 라디칼은 산화 라디칼보다 강력한 산화력을 갖기 때문에 감균 효과를 증가시킬 수 있음.

(나) UV lamp의 파장 변화에 따른 위해 미생물 세포벽 변형 확인

① UVA 광촉매 처리 시, 위해 미생물의 세포벽 손상

자외선 처리에 의한 세포막 변성정도를 관찰하기 위해 SEM 사진을 촬영함. UVA를 사용하여 UV-광촉매 산화 반응을 시킨 시료의 경우 세포의 손상이 거의 관찰되지 않았음. 60분이 지난 후에도 모든 위해 미생물의 세포벽에 손상이 발견되지 않음. UVA의 경우 감균 효과와 마찬가지로 살균을 하기에는 약한 강도를 가짐.

② UVB 광촉매 처리 시, 위해 미생물의 세포벽 손상

UVB를 처리한 시료의 경우, UVC 보다는 세포 손상이 적으나 UVA보다는 확연하게 손상을 많이 입음. *Listeria monocytogenes*의 경우, UVB를 처리한 시료가 3분부터 세포의 가운데 부분이 함몰되고, 세포의 모양이 많이 변성되는 것을 볼 수 있음. 60분을 처리했을 경우 세포의 모양이 남지 않음.

③ UVC 광촉매 처리 시, 위해 미생물의 세포벽 손상

전반적으로 UVC 반응을 시킨 시료의 경우 가장 많은 세포의 손상을 입힘. *Escherchia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*의 경우, UVC를 3분 정도 처리하였을 때에도 표면에 돌기가 생김. 60분을 처리하게 될 경우에는 세포가 터지고 옆의 세포와 엉겨 붙는 등, 세포의 형상이 남지 않음. 효율적으로 비가열 살균을 하기 위하여 가장 단시간으로 많은 세포에 손상을 줄 수 있는 UVC가 가장 자외선 살균으로 적합하다고 판단됨.

④ UV-광촉매 처리 시간에 따른 유리 라디칼 생성

UV-광촉매 공정으로 미생물의 처리할 경우, 많은 양의 유리 라디칼이 생성됨. 처리 시간이 증가함에 따라, 유리 라디칼의 형성도 촉진됨. 유리 라디칼의 경우 위해 미생물의 DNA, RNA, 단백질과 지질에 손상시킴. 이런 산화 반응에 의하여 세포막이 손상됨에 따라, 세포내에 있던 K⁺ 이온이 세포 밖으로 용출되고 세포는 사멸하게 됨.

(다) UV lamp의 파장 변화에 따른 유전자 변형 확인

전기영동을 이용하여 UV-광촉매 처리를 한 시료의 DNA 변성을 확인하였다. 우선 아래 그림 19A 에서처럼, super-coiled form과 linear form을 topology와 size를 확인하였고 대조군으로 dark TiO₂ 처리하였다. UVA, UVB 단독 처리와 UVA, UVB 광촉매 처리를 2, 4, 6, 8, 10분 동안 실시하였다. 대조군에서는 super-coiled form을 유지 하는 것으로 보아 전혀 손상을 입지 않았음을 알 수 있었으며, UVA나 UVB 단독 처리 시에 시간의 흐름에 따라 super-coiled form이 약간 풀리는 양상을 보이지만, 미미하기에 효과가 그리 크지 않음을 알 수 있었다. 그러나 UVA, UVB 광촉매 처리 시, linear form으로 변형됨을 알 수 있었다.

그림 19B 에서는 UVC 단독 처리와, UVC-광촉매 처리를 비교하였다. 두 방식 모두 시간의 흐름에 따라 linear form으로 변형됨을 알 수 있었다. 그러나 4-6분 간격을 비교 시, UVC 단독 처리에서는 super-coiled form이 남아 있었으나, UVC 광촉매 처리에서는 liner form만 있음을 확인할 수 있다. 즉, UVC 광촉매 처리 시, 더 효율적으로 빠르게 유전자가 변형됨을 알 수 있다.

그림 19C 는 UVC 광촉매 처리 시간에 따른 유전자 변형을 확인하기 위해 30, 60, 90, 120분 동안 실시하였다. 그 결과, 점점 gDNA농도가 감소함을 보였으며, 이는 cross-linking protein에 의해 구조적 손상을 입혔기에 유전자가 변형이 된 것으로 사료 된다.

UV-TiO₂
treatment

UVA

UVB

UVC

0 min



3 min



30 min



60 min



Escherchia coli

그림 16. 자외선 파장별, UV-광촉매 반응을 처리한 *E. coli*의 SEM image

UV-TiO₂
treatment

UVA

UVB

UVC

0 min



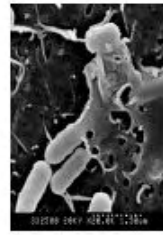
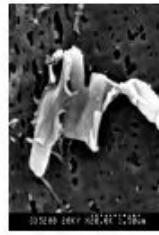
3 min



30 min



60 min



Listeria monocytogenes

그림 17. 자외선 파장별, UV-광촉매 반응을 처리한 *Listeria monocytogenes*의 SEM image

UV-TiO₂
treatment

UVA

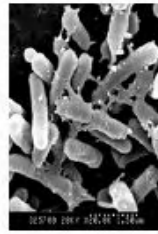
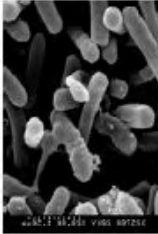
UVB

UVC

0 min



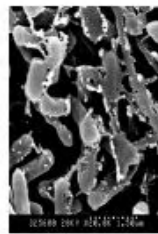
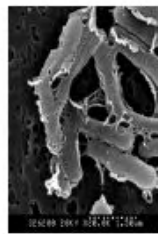
3 min



30 min



60 min



Salmonella Typhimurium

그림 18. 자외선 파장별, UV-광촉매 반응을 처리한 *Salmonella Typhimurium*의 SEM image

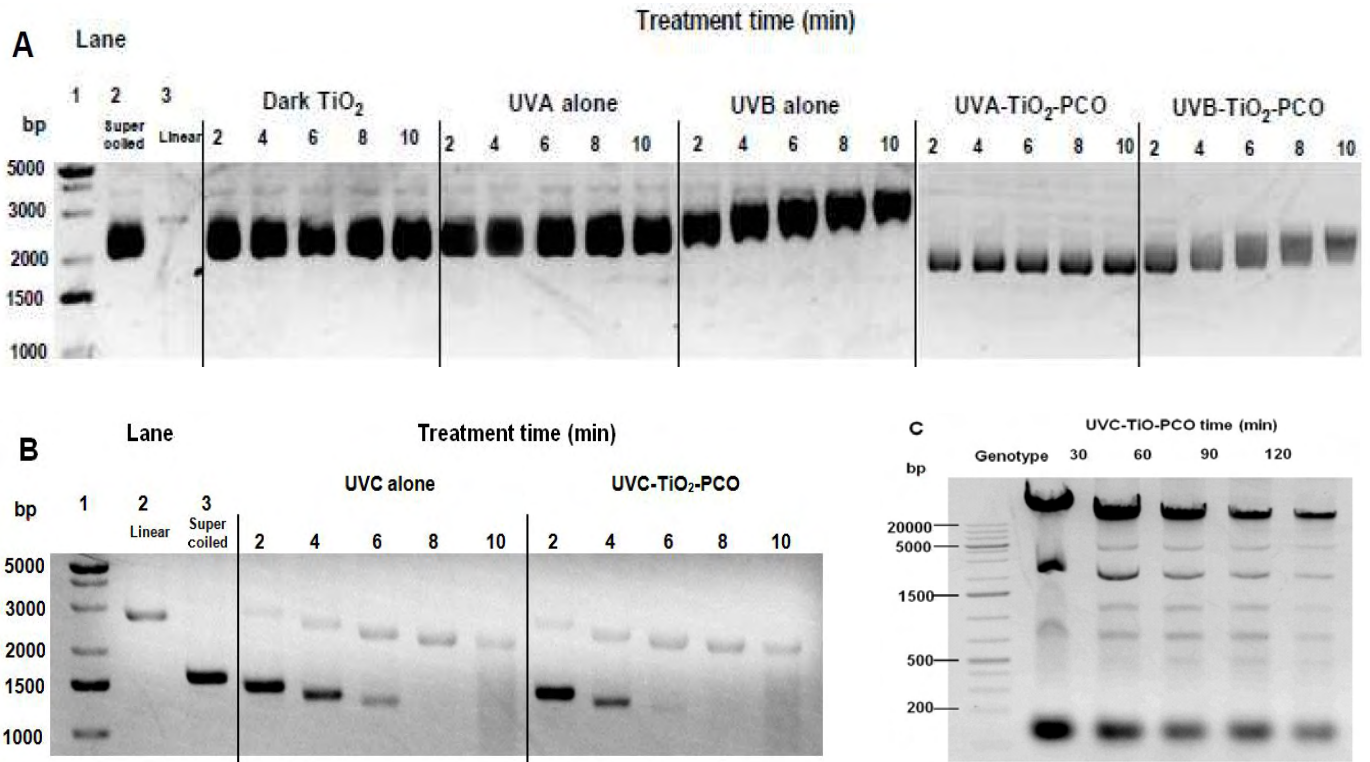


그림 19. 전기영동을 이용하여 측정된 UV-광촉매 처리를 한 *E. coli*의 DNA 변성

(2) 자외선 단독 처리와 UV-광촉매 병합 처리의 미생물 저해효과 비교

(가) 위해 미생물 균주별 UV-광촉매 산화 반응의 감균 효과 확인

Escherchia coli K12, *Salmonella* Typhimurium, *Staphylococcus aureus* 현탁액에 한천을 이용하여 만든 surface model을 3시간 동안 침지시켜 집중한 결과, 초기균수는 각각 $6.26 \log \text{CFU/cm}^2$, $6.32 \log \text{CFU/cm}^2$, $6.06 \log \text{CFU/cm}^2$ 로 측정됨.

모든 균주에서 자외선을 조사하지 않고, air pump(dark treatment)으로 물에서만 반응을 시킨 결과 약 $1 \log \text{CFU/cm}^2$ 가 감소됨. 이는 surface model에 $5.0 \log \text{CFU/cm}^2$ 의 균들은 surface model에 잘 접촉되어 있음을 의미함.

Gram 음성 균인 *E. coli* K12, *Salmonella* Typhimurium의 경우, 초반 10초 처리를 하였을 때, 자외선 $3 \log \text{CFU/cm}^2$ 로 감소하였고, UV-광촉매 처리를 한 것은 $3.7 \log \text{CFU/cm}^2$ 가 감소함. 두 균 모두 처리 40초경과, 더 이상 감균 효과를 보이지 않았으며, UV-광촉매 처리가 자외선 단독 처리보다 약 $1.5 \log \text{CFU/cm}^2$ 더 살균됨.

gram 양성 균인 *Staphylococcus aureus*의 경우 초반의 감소율이 Gram 음성균 보다 느림을 알 수 있음. gram 음성균의 경우 초반 10초 만에 거의 대부분의 균이 살균된 것에 반하여, gram 양성균의 경우에는 40초까지 서서히 감소되는 것을 보임. 이는 gram 양성균의 경우 세포막이 비교적 두껍기 때문에 초반 살균이 지연되는 것임. 이 경우에도 마찬가지로 UV-광촉매 살균에서는 40초 처리 이후에 모든 균이 사멸하였으나, 자외선 처리를 한 경우에는 $4.8 \log \text{CFU/cm}^2$ 가 감소하여 UV-광촉매 반응보다 살균력이 약한 것을 알음.

(나) SEM 사진을 통한 위해 미생물 세포벽 관찰

SEM 사진을 이용하여 *Escherchia coli* K12, *Salmonella* Typhimurium, *Staphylococcus aureus*와 같이 3 가지 균의 세포벽 변화를 살펴본 결과, UV-광촉매를 20초 처리 할 때 세포벽이 손상되어 표면이 거칠어지고 불규칙해짐. UV-광촉매를 40초 처리 결과, 모든 세포가 팽창해지기 시작하면서 다른 균들과 서로 달라붙는 모양새를 갖춤. 자외선 단독 40초 처리한 결과는 UV-광촉매 20초 처리 한 것과 유사한 결과를 보임. 이는 같은 처리 시간 조건에서 UV-광촉매의 살균 효과가 자외선 보다 뛰어난 것을 확인함.

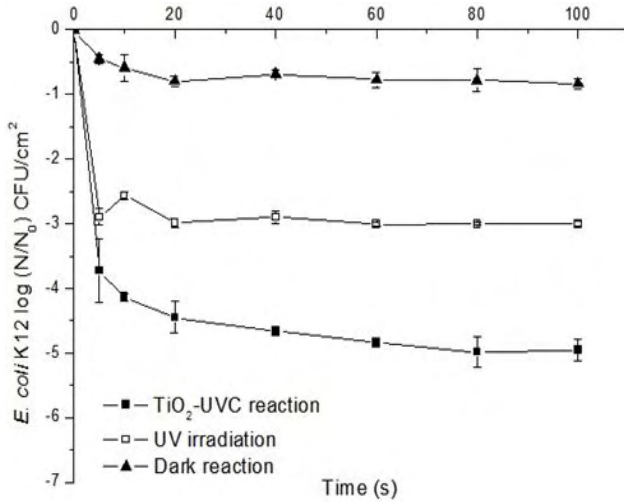


그림 20. Surface model을 이용한 UV-광촉매 반응기의 *Escherchia coli* K12 살균 결과

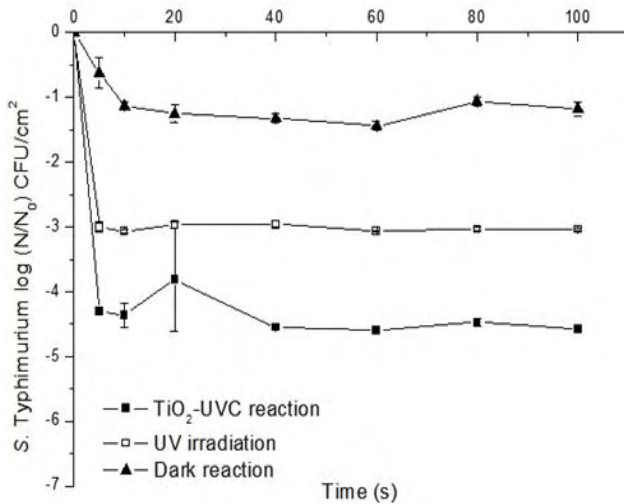


그림 21. Surface model을 이용한 UV-광촉매 반응기의 *Salmonella* Typhimurium 살균 결과

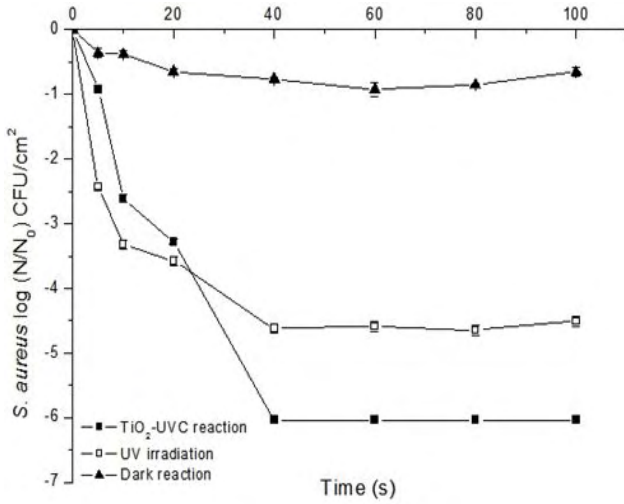
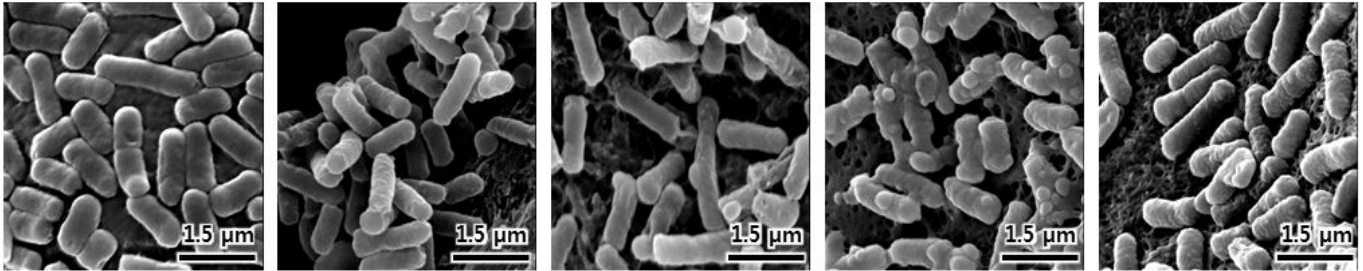
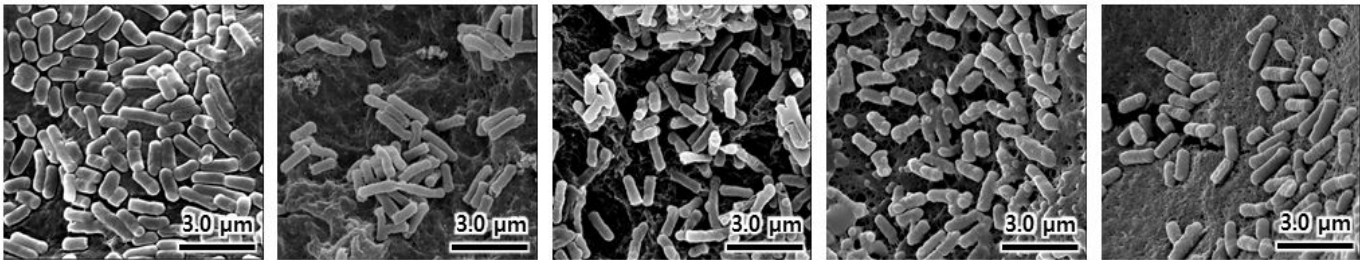


그림 22. Surface model을 이용한 UV-광촉매 반응기의 *Staphylococcus aureus* 살균 결과

X20,000



X10,000



Untreatment

PUVC 10sec

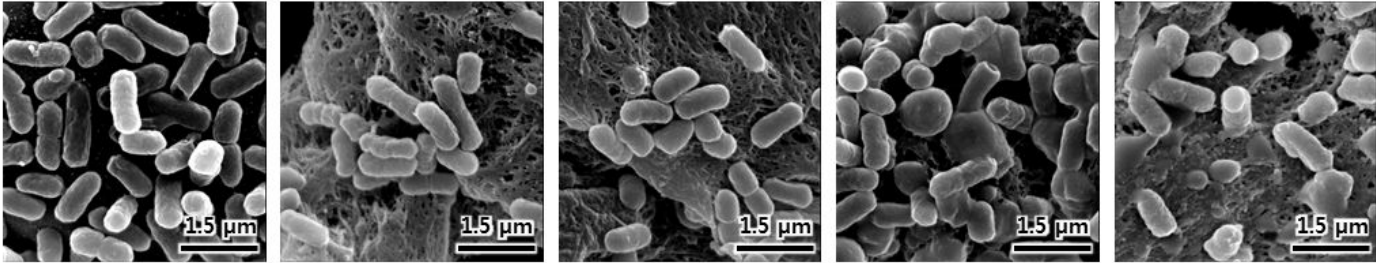
PUVC 20sec

PUVC 40sec

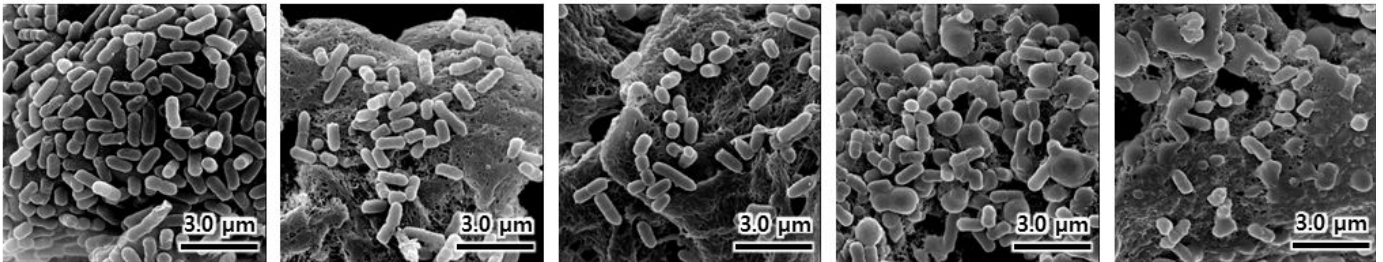
UVC 40sec

그림 23. Surface model을 이용하여 UV-광촉매 처리한 *Escherichia coli* K12 의 SEM image

X20,000



X10,000



Untreatment

PUVC 10sec

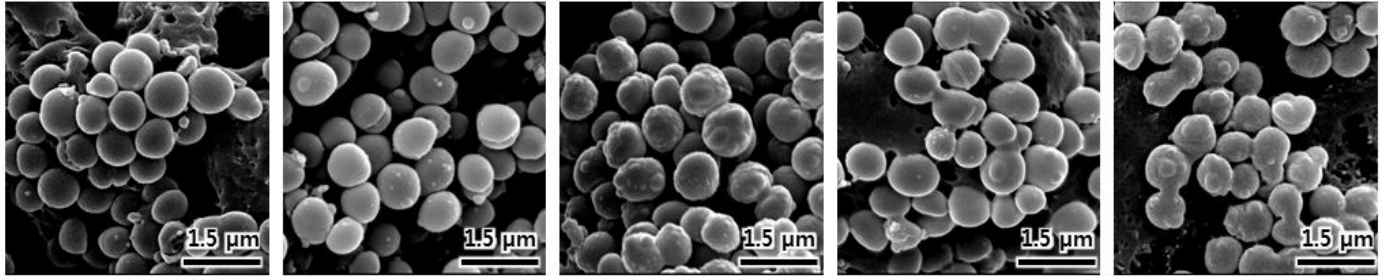
PUVC 20sec

PUVC 40sec

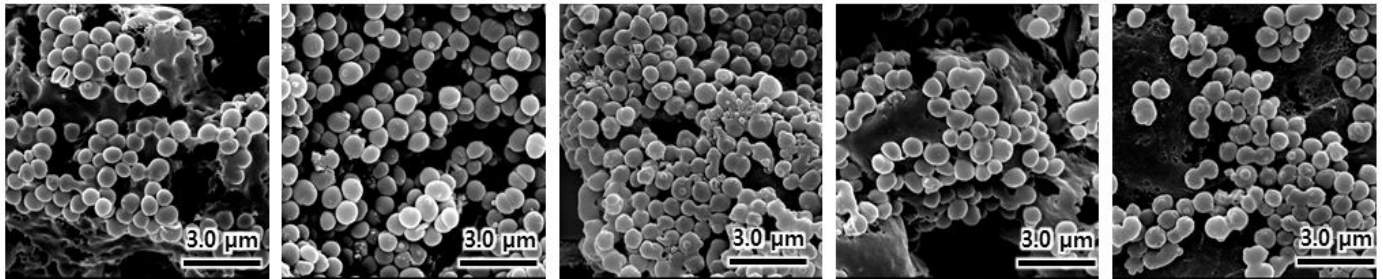
UVC 40sec

그림 24. Surface model을 이용하여 UV-광촉매 처리한 *Salmonella Typhimurium* 의 SEM image

X20,000



X10,000



Untreatment

PUVC 10sec

PUVC 20sec

PUVC 40sec

UVC 40sec

그림 25. Surface model을 이용하여 UV-광촉매 처리한 *Staphylococcus aureus* 의 SEM image

(3) UV-광촉매를 처리한 실제 신선 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인

(가) 시중에 유통 중인 식품에 존재하는 위해 미생물의 총 균수 확인



그림 26. 신선초와 당근의 총균수 및 대장균수

시중에 유통 중인 신선초와 당근의 초기균을 분석해 본 결과, 총균수는 약 6.0 log CFU/mL로 측정됨. 대장균은 검출되지 않음.

(나) UV-광촉매 살균 시 신선 식품 신선초 주스의 저장성 확인

① 저장 기간에 따른 신선초 주스의 총균수 변화

총 0일, 2일, 4일, 6일, 8일 5번의 균수 측정을 하였으며 실험은 3 반복함. 신선초 녹즙의 초기균은 6.1 log 였으며 20분간 광촉매 처리를 한 TiO_2 균에서는 4.8 log로 control에 비해 약 1.3 log의 감균이 이루어진 것이 확인되었음. 저장 기간이 길어짐에 따라 총균수도 증가하였으나, 약 6 log로 유지됨. 일주일이 지난 후에도 UV-광촉매 산화 반응 처리한 시료가 총균 수가 낮음.

② 저장 기간에 따른 신선초 주스의 색 변화

L 값은 (+)일 경우 밝은 것을 의미하고 (-)인 경우 어두운 것을 의미한다. a 값은 (+)일 경우 red 를 의미하고 (-)인 경우 green 을 의미함. b 값은 (+)일 경우 yellow 를 의미하고 (-)인 경우 blue 를 의미함. 대조군과 처리군을 비교하였을 때 각각의 값이 변화가 없음을 관찰할 수 있었음.

신선 식품의 경우 가열 처리를 할 경우, 색 변화가 크게 관찰됨. 반면 UV-광촉매 처리의 경우 색도 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있음.

③ 저장 기간에 따른 신선초 주스의 pH 변화

신선초의 대조군과 처리군을 비교하였을 때 pH 값은 큰 변화가 없음을 관찰할 수 있

었다.

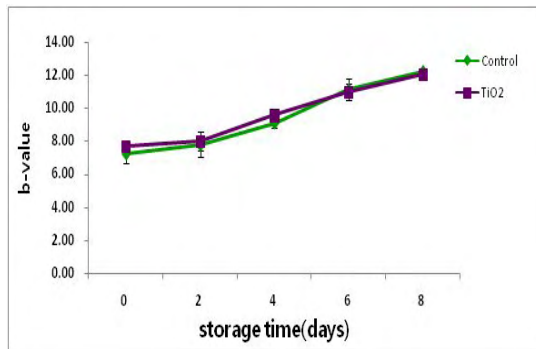
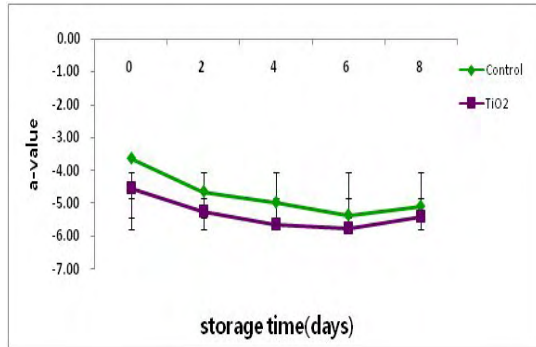
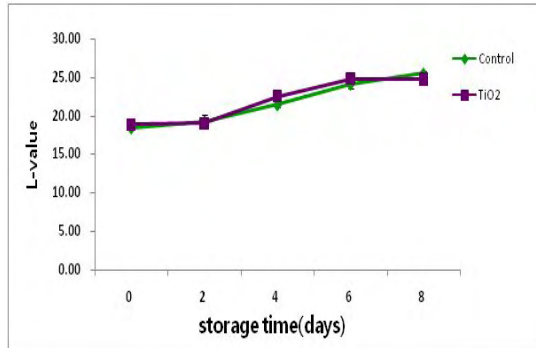


그림 27. Pilot-scale UV-광촉매 처리한 신선초 주스의 저장 기간 중 L, a, b 값 변화

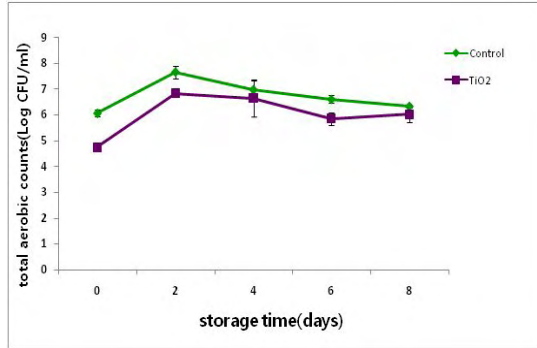


그림 28. pilot-scale UV-광촉매 처리한 신선초 주스의 저장 기간 중 총 균수 변화

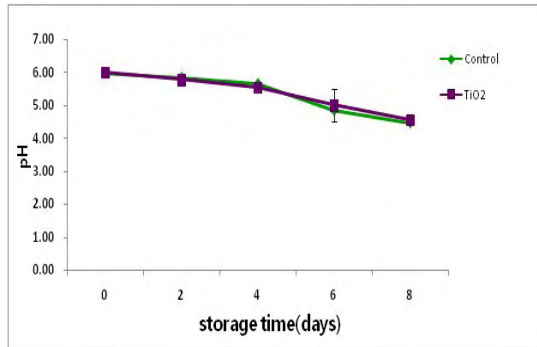


그림 29. pilot-scale UV-광촉매 처리한 신선초 주스의 저장 기간 중 pH 변화

(다) UV-광촉매 살균 시 신선 식품 당근 주스 저장성 확인

① 저장 기간에 따른 당근 주스의 총균수 변화

총 0일, 2일, 4일, 6일, 8일 5번의 균수 측정을 하였으며 실험은 3 반복하였음. 당근의 초기균은 6.5 log 이었으며 20분간 광촉매 처리를 한 TiO₂ 군에서는 6.0 log로 control에 비해 약 0.5 log의 감소가 이루어진 것이 확인되었음

② 저장 기간에 따른 당근 주스의 색 변화

대조군과 처리군을 비교하였을 때 각각의 값이 변화가 없음.

③ 저장 기간에 따른 당근 주스의 pH 변화

당근의 대조군과 처리군을 비교하였을 때 pH 값은 큰 변화가 없음.

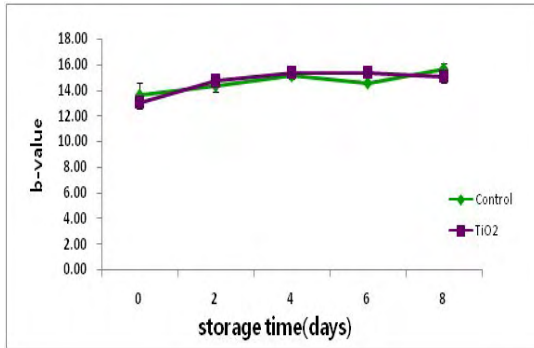
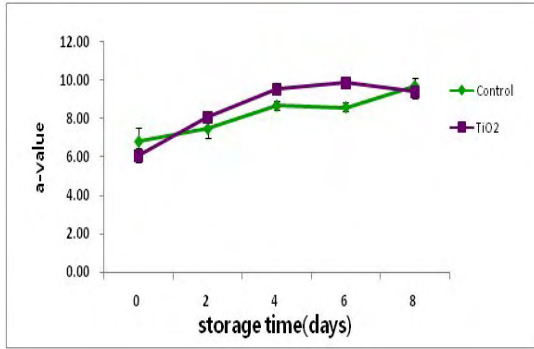
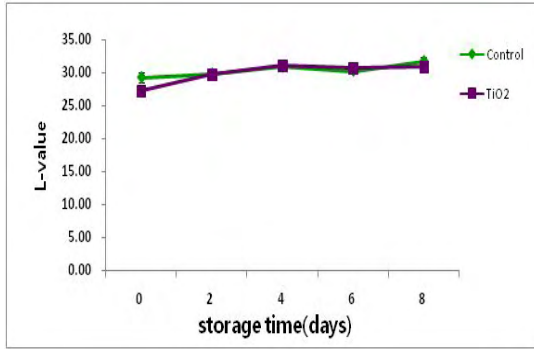


그림 30. Pilot-scale UV-광촉매 처리한 당근 주스의 저장 기간 중 L, a, b 값 변화

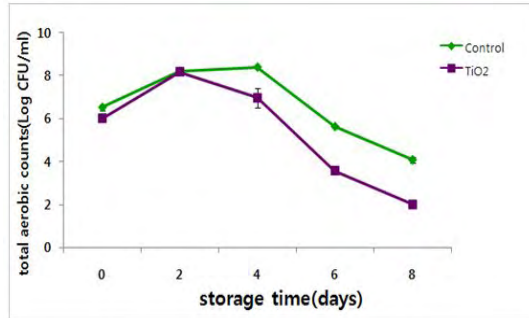


그림 31. Pilot-scale UV-광촉매 처리한 당근 주스의 저장 기간 중 총 균수 변화

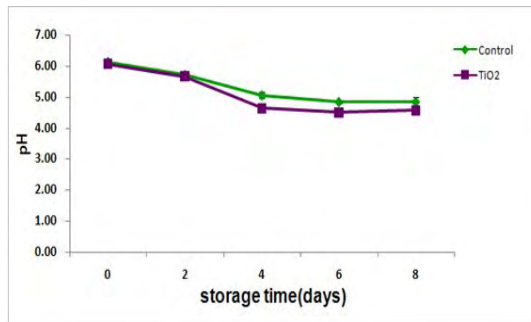


그림 32. Pilot-scale UV-광촉매 처리한 당근 주스의 저장 기간 중 pH 값 변화

(라) UV-광촉매 살균 처리 제품의 관능 평가

단맛, 냄새, 맛, 색의 경우 대조군과 처리군 간에 유의적으로 큰 차이가 없음. 다만 angelica juice 의 경우 전체적인 점수가 carrot juice 보다 낮게 나왔음. 신선초 특유의 강한 쓴 맛으로 나타난 결과임.

표 6. 신선초 주스와 당근 주스의 관능평가 결과

Attribute	Control (C)	TiO2 (C)	Control (A)	TiO2 (A)
Sweetness	2.62 ± 0.96	3.15 ± 0.80	2.08 ± 0.67	2.33 ± 0.89
Smell	3.46 ± 0.66	3.08 ± 1.04	2.92 ± 0.79	2.83 ± 1.03
Taste	2.54 ± 0.78	3.08 ± 0.95	2.25 ± 0.97	2.33 ± 0.98
Color	3.15 ± 0.55	3.00 ± 1.08	3.08 ± 1.00	3.17 ± 1.03

(4) 연속식 UV-광촉매 반응기를 이용한 액상 식품의 위해 미생물 저해 효과 확인

(가) 자외선 노출량 및 유속에 따른 액체 시료의 살균력 연구

- ① 광촉매 처리 시 자외선 노출량 계산
- ② 유속에 따른 자외선 노출량

Flow rate	Retention time	Dosage per area	Dosage per volume	Reynolds number
2 mL/s(최저)	179 sec	13.48 J/cm ²	8 J/mL	10.5
5 mL/s	71.6 sec	5.39 J/cm ²	3.2 J/mL	26.3
10 mL/s	35.8 sec	2.7 J/cm ²	1.6 J/mL	52.5
15 mL/s	23.9 sec	1.8 J/cm ²	1.1 J/mL	78.8
20 mL/s	17.9 sec	1.35 J/cm ²	0.8 J/mL	105
24 mL/s(최고)	14.9 sec	1.12 J/cm ²	0.67 J/mL	126

- ③ 광촉매 반응 면적 (관수)에 따른 자외선 총 노출량

Number of vessels	Area of exposure	Retention time	Total dosage
2	424.9 cm ²	44.8 sec	716.8 J
4	849.7 cm ²	89.5 sec	1432 J
6	1274.7 cm ²	134.3 sec	2148 J
8	1699.4 cm ²	179 sec	2864 J
16	3398.8 cm ²	358 sec	5728 J

(나) 자외선 노출량에 따른 식품 내 세균의 살균력 측정

- ① 시료 유속별 살균 효과

사과 주스 내 바실러스는 반응 시 유속이 빨라질수록 그 감소율이 하락하는 것으로 관찰되었으나 증류수 내 바실러스는 유속에 관계없이 모든 조건에서 사멸됨.

- ② UV관 수 별 살균 효과

노출 면적은 식품 내 세균에 대한 살균력과 상관관계가 있는 것으로 관찰되었고, 특히 노출면적을 최대한로 하여 처리하였을 시 사과주스에 접종된 효모균이 사멸되었음을 볼 수 있었음.

③ 자외선 노출량 증가에 따른 살균력 증가

액체 시료에 대한 연속식 광촉매 반응기는 자외선 총 노출 면적이 증가할수록, 시료의 유속이 느릴수록 그 살균력이 증가하는 것으로 관찰됨. 이 결과는 자외선 노출량이 광촉매 살균의 중요한 변수임을 의미함.

또한 사과주스 내 바실러스가 최저 유속에서도 3 log CFU/mL의 살균력을 보인 반면, 증류수 내의 바실러스는 최대 유속인 20 mL/s에서도 사멸한 것으로 보아, 광촉매 반응의 살균력은 시료의 색과 탁도의 영향을 받는 것을 알 수 있음.

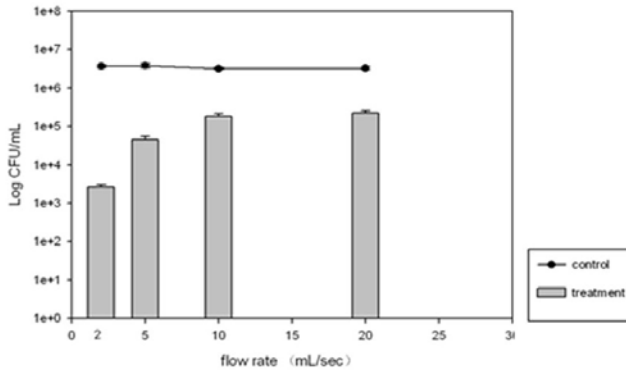


그림 33. 시료의 유속에 따른 사과주스 내의 바실러스균 감소율

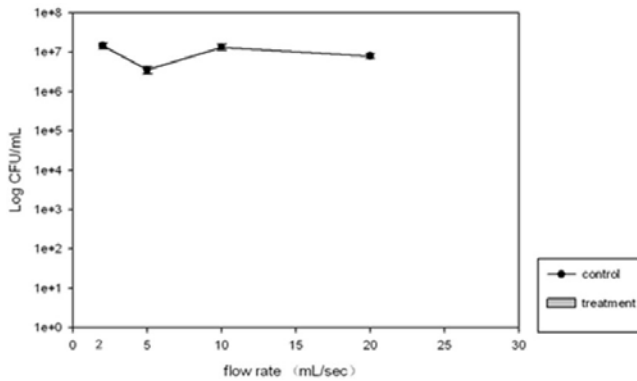


그림 34. 시료의 유속에 따른 증류수내의 바실러스균 감소율

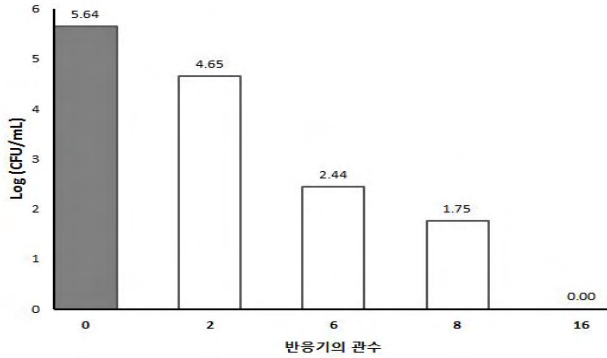


그림 35. 반응기의 관수에 따른 사과주스 내 효모균 감소율

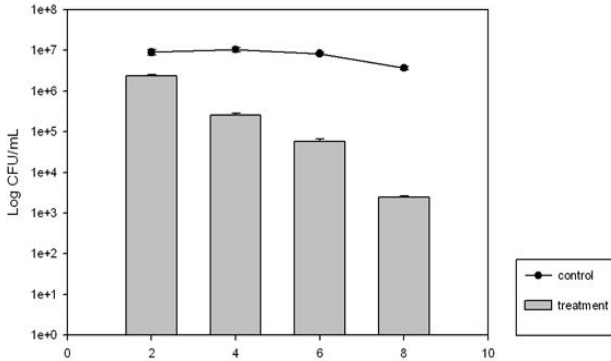


그림 36. 반응기의 관수에 따른 사과주스 내 바실러스균 감소율

(다) 연속식 광촉매 처리 시 발열로 인한 품질 변화 및 살균력 저하 문제 개선

- ① 연속식 광촉매 처리기의 냉각 시스템 구축 적용 유무에 따른 시료온도 변화 비교
냉각기 적용하기 전 온도 변화는 $\pm 8^\circ\text{C}$ 이었으나 냉각기 적용 후 평균 온도편차는 $\pm 4^\circ\text{C}$ 로 안정됨. 시료의 반응 전후 온도 변화량이 8°C 에서 4°C 로 반감됨.
- ② 연속식 광촉매 처리기의 냉각 시스템 구축 적용 유무에 따른 살균효율 변화 비교
반응 후 균수가 오히려 증가하던 현상도 개선되어 호기성균(aerobic bacteria)과 효모(yeast)에서 균수의 감소가 관찰됨.

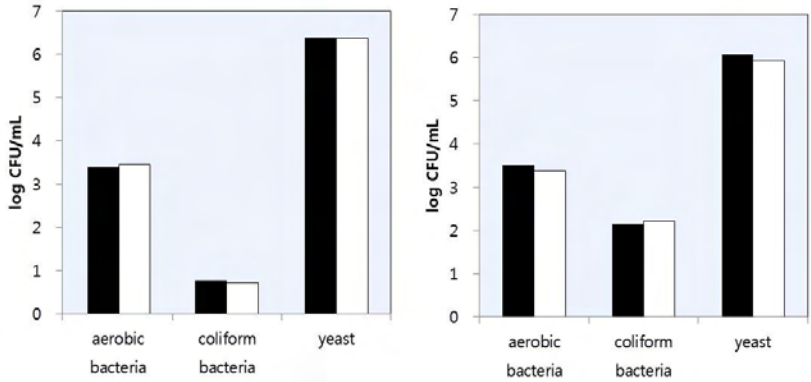


그림 37. 냉각 시스템 적용 전(좌), 후(우)의 주요 균종 균 감소율 (■대조군, □처리군)

(라) 균주별 연속식 광촉매 살균기의 살균력 비교

① 액체시료에 접종된 4가지 균주에 대한 살균력 비교측정

증류수의 경우 균종에 상관없이 모두 사멸하였으며 (결과 그래프 미삽입) 사과 주스에 접종한 경우 *E. coli* O157:H7의 경우 5 log CFU/mL 감소로 가장 광촉매 살균처리에 민감했고 살모넬라균이 3.2 log CFU/mL 감소하여 가장 광촉매 반응에 둔감함

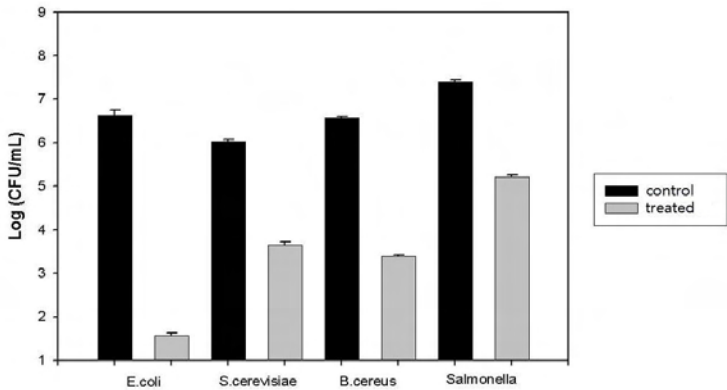


그림 38. 사과에 접종된 4가지 균종에 대한 연속식 광촉매 처리기의 살균력 비교

(5) Batch 식 반응기와 연속식 반응기의 위해 미생물 저해 효과 비교

(가) Batch식 및 연속식 반응기로 처리한 케일 주스의 살균 효과 확인

① 연속식 UV-광촉매 처리

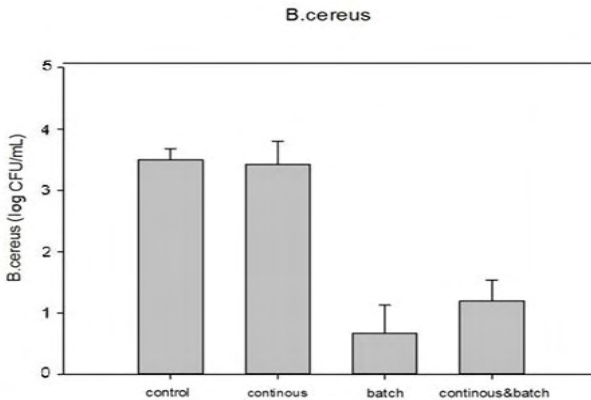
케일 주스는 짙은 색과 높은 탁도를 인해 연속식 광촉매 처리를 한 경우, 그 살균 효과가 크게 떨어짐으로 연속처리법으로 병합하여, 살균력 및 품질 변화를 측정함. 바실러스균과 효모 및 곰팡이류에 대한 살균력 측정 결과, 연속식 반응기를 이용한 광촉매 살균보다 Batch식 반응기를 이용한 살균이 더 효과적이었음을 알 수 있음.

② Batch식 및 연속식 UV-광촉매 처리 병합

두 가지 방식을 연속적으로 사용한 경우, Batch식 단일 방법을 사용한 경우보다 살균력이 낮음. 이는 연속식 살균장치가 색이 짙고 투명도가 낮은 케일즙을 살균하지 못하고, 오히려 자외선램프로 인한 가열을 통해 오히려 균의 배양에 도움을 준 것으로 사료됨.

③ 케일 주스의 저장성 실험 결과

저장 전처리(pre-treatment)를 통한 광촉매 살균이 더 효과적이라는 것을 알 수 있음. 또한 대장균에 대한 살균력은 두 가지 방식을 순차적으로 적용한 광촉매 처리에 더 민감함. 이는 광촉매 및 초음파를 통해 처리된 케일주스의 저장성 실험 결과와 상통하는 결과라고 볼 수 있음.



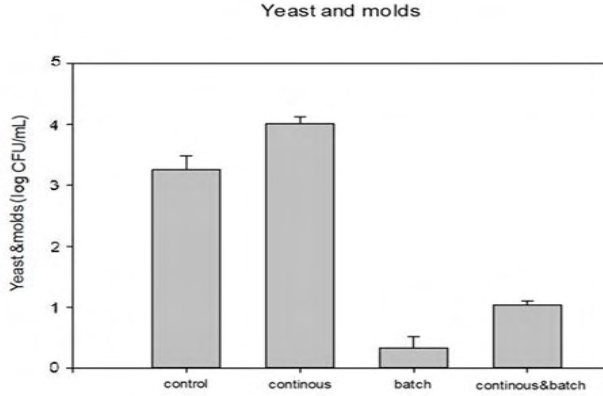
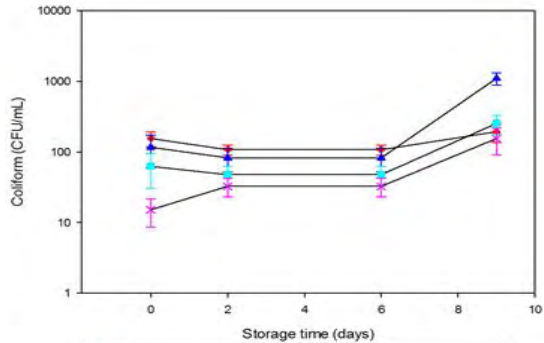
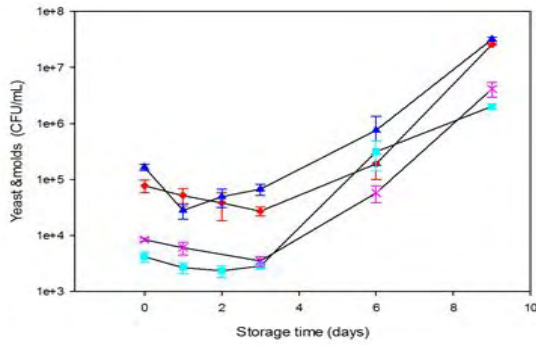
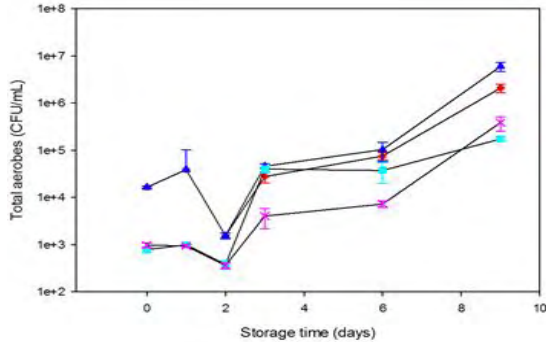


그림 39. 연속식(continuous), Batch식 광촉매 반응기를 이용한 케일 바실러스, yeast and mold 의 살균력 측정

(나) Batch식 및 연속식 반응기로 처리한 케일 주스의 품질변화 확인

광촉매 반응이 케일의 색과 pH에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 관찰된. 그러나 광촉매 처리 후 당도가 현저히 낮아짐. 이는 자외선-광촉매 반응이 과당, 포도당, 맥아당 등 당도에 영향을 미치는 당성분의 분해에 관여했다고 볼 수 있음. 또한 광촉매 반응 후 케일주스 내 페놀성분(phenolic compounds)의 감소도 관찰됨. 이는 자외선-광촉매 반응은 식품 내 세균의 살균뿐만 아니라 당체, 페놀성분 등 분자량이 큰 영양성분의 분해에도 영향을 미침.





- Control
- ▲ Continuous TiO₂-UV treatment
- Pilot-scale batch TiO₂-UV system
- × Combined continuous TiO₂-UV and Pilot-scale batch TiO₂-UV system

그림 40. 연속식, 배치식을 이용해 처리된 케일주스의 저장성 실험
(위부터 호기성 균, 대장균, 효모)

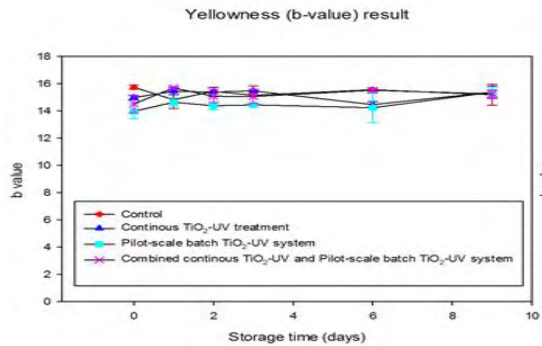
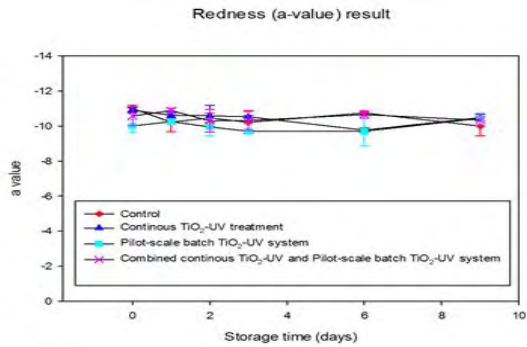
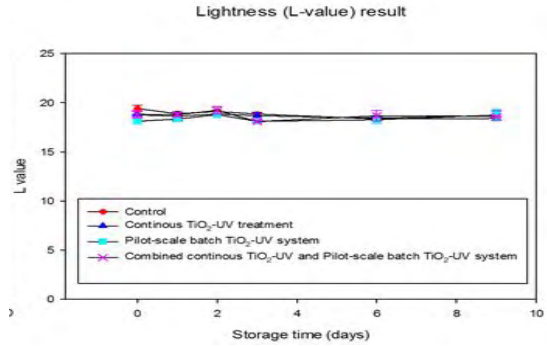


그림 41. UV-광촉매 처리한 케일 주스의 저장 기간 중 색 변화 (위부터 L, a, b value)

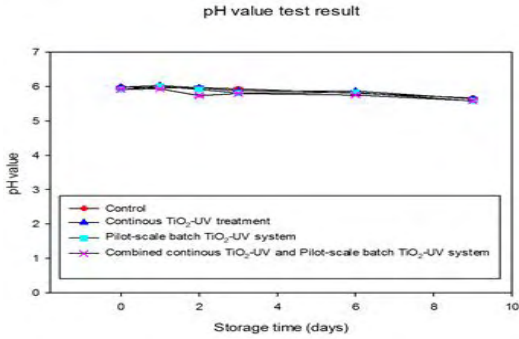


그림 42. UV-광촉매 처리한 케일 주스의 저장 기간 중 pH 변화

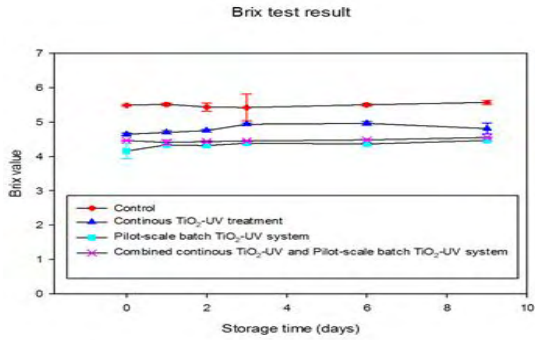


그림 43. UV-광촉매 처리한 케일 주스의 저장 기간 중 당도 변화

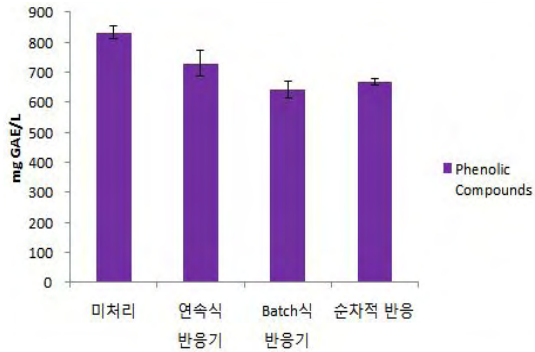


그림 44. UV-광촉매 처리한 케일 주스의 저장 기간 중 phenolic compounds 변화

나. UV-광촉매 산화 반응과 초음파 조사법 병합 살균 연구

(1) 초음파 조사법과 UV-광촉매 산화 반응 병합 처리의 위해미생물 지해 효과 확인

(가) Surface model을 이용한 동시 병합 처리의 감균 효과 확인

실험 결과에 따르면, dark와 초음파 처리한 시료가 비슷한 감소율을 보였고($0.8 \log \text{CFU/cm}^2$), UV-초음파 병합, UV-광촉매-초음파 병합과 UV-광촉매 처리는 비슷한 감소율을 보였으나, UV-광촉매 단독으로 처리 한 것이 가장 효율적임 ($4.1 \log \text{CFU/cm}^2$).

초기균은 $6.0 \log \text{CFU/cm}^2$ 로 관찰됨. air pump 단독 처리 하였을 때, $0.8 \log \text{CFU/cm}^2$ 감소함. 이는 surface model에 잘 붙어 있지 않은 균들이 씻겨 나가는 washing 효과임. 20초 이후에 더 이상 감소 효과가 보이지 않은 것을 보아, 약 $5.2 \log \text{CFU/cm}^2$ 정도의 균이 안정적으로 surface model에 붙어 있는 것을 확인 가능함. 이 결과 surface model이 실험용 model로서 우수한 소재인 것으로 결론지을 수 있음. 또한 초음파 단독으로 처리 하였을 때 dark sample와 같은 washing 효과 정도로 보임. Batch식 UV-광촉매 반응기의 초음파 단독 처리는 살균 효과를 갖지 않음.

UV 단독 처리 했을 경우와, UV-광촉매와 초음파를 동시 병합 처리하였을 때 추가적으로 감균 효과가 보이지 않음.

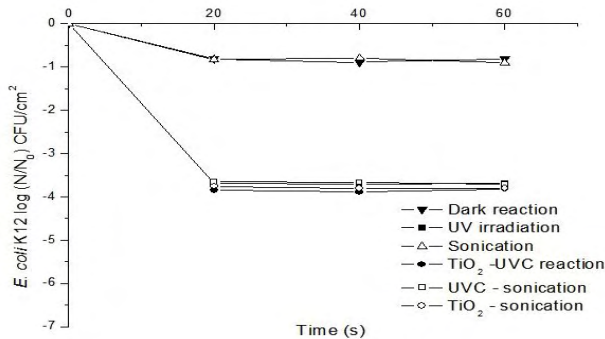


그림 45. 초음파 조사법과 UV-광촉매 산화 반응 동시 병합 처리의 감균 결과

(나) Surface model을 이용한 연속 병합 처리의 감균 효과 확인

본 실험은 초음파로 1분 처리 후, 각 0, 20, 40, 60초로 air pump 단독(dark condition), UV 단독과 UV-광촉매 단독 처리와 같이 실험을 순차적으로 진행함. (초음파 → air pump 단독, 초음파 → UV 단독, 초음파 → UV-광촉매 단독) 초음파로 처음 1분 처리한 결과, 0.8 log CFU/cm²의 감소율이 보임. 그 후, air pump 단독 처리(dark treatment)시 더 이상의 추가적인 감소율이 없음.

UV 단독 처리와 UV-광촉매 처리 시 각 최대 3.5 log CFU/cm², 4.0 log CFU/cm²의 추가적인 감소율이 보임. 이는 동시병합 처리한 결과와 비슷한 감소율이 보이고, 초음파의 작용은 다른 살균 방식의 추가적인 효과를 부여하기 어려울 것으로 보임.

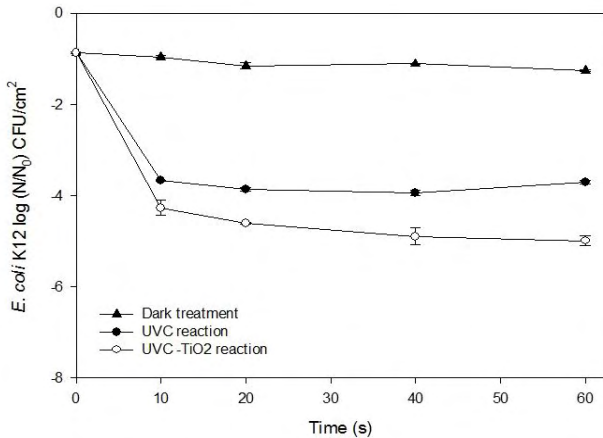


그림 46. Surface model을 이용한 연속 병합 처리의 감균 결과

(다) 신선편이 제품 케일을 이용한 병합 처리의 감균 효과 및 저장성 실험

감균 효과의 결과, 초음파를 단일 처리한 경우가 호기성 세균 및 효모에서 가장 높은 감소율을 보였고 (각각 0.82 log CFU/mL, 1.46 log CFU/mL 감소), 광촉매 및 초음파를 동시에 처리한 경우는 대장균에 대한 살균력 (0.54 log CFU/mL 감소)이 가장 효율적임.

병합처리가 예상보다 낮은 균감소율을 보인 것은 이산화티타늄 광촉매의 라디칼 형성에 대해 초음파 에너지가 간섭하여 라디칼 형성 저해를 일으켰거나 초음파 에너지가 자외선 광자의 이동에 영향을 주었기 때문으로 사료됨.

또한, 각 처리된 케일 주스의 저장성 결과, 호기성 세균의 경우 저장 9일후 처리된 시료에서 더 많이 측정되었음. 이는 광촉매-초음파 병합 처리가 호기성 세균에 아치사 피해(sub-lethal injury)를 입혔다고 볼 수 있으며, 대장균의 경우 두 군수가 꾸준히 감소하였는데 이는 처리 시 대장균이 치사 피해(lethal damage)를 받았다고 볼 수 있음.

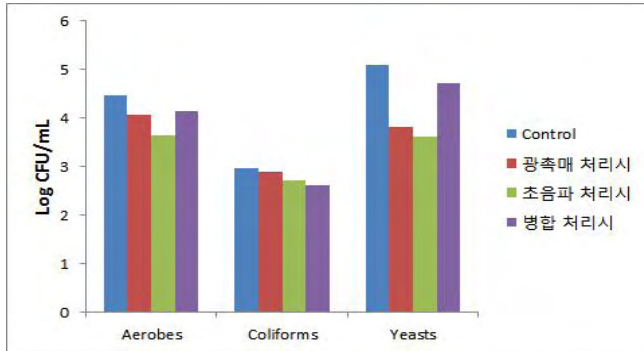


그림 47. 광촉매, 초음파, 병합 처리 시 3가지 균종의 균수 변화율

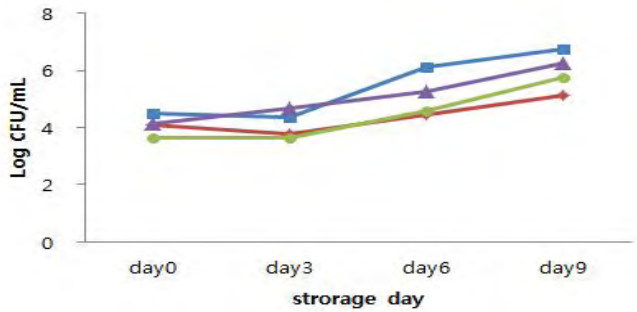


그림 48. 처리된 케일 주스의 저장 기간에 따른 호기성 세균 변화

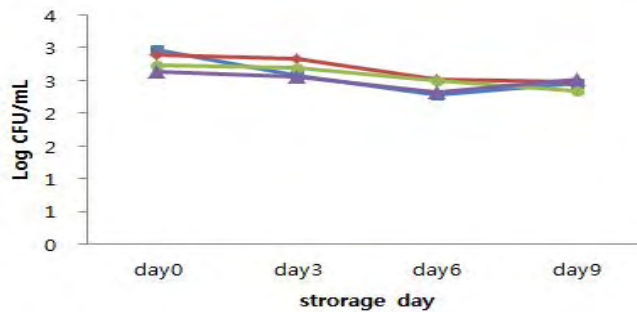


그림 49. 처리된 케일 주스의 저장 기간에 따른 대장균 변화

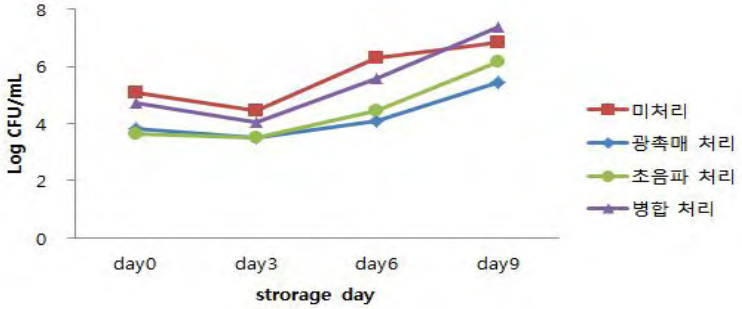


그림 50. 처리된 케일 주스의 저장 기간에 따른 효모 변화

(라) 신선편이 제품 오이를 이용한 병합 처리의 감균 효과 및 저장성 실험

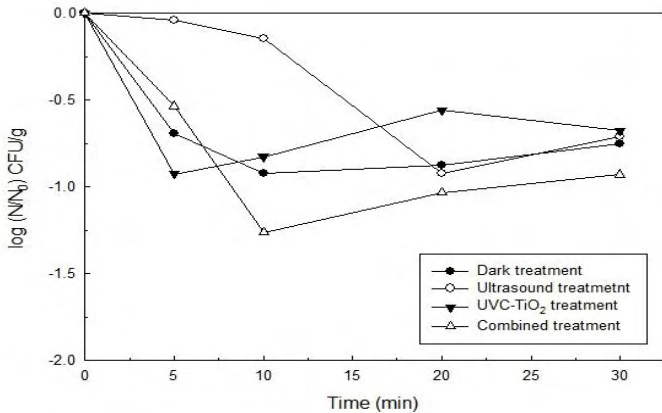


그림 51. 오이의 초음파 조사법 UV-광촉매 산화 반응
동시 병합 처리의 감균 효과

결과에 따르면, 초음파 단독처리 시 최대 감소율은 0.9 log CFU/cm²이며 감균 air pump 단독 처리 한 것과 비슷한 감소율을 보임. 초음파-UV-광촉매 병합의 감소율은 1-1.3 log CFU/cm²에 그침.

오이에 초기 균수가 많음에도 불구하고(6.2 log CFU/cm²), 0.9-1.3 log CFU/cm² 정도의 작은 감소율 보임. 또한 처리한 오이를 저장 관찰한 결과, 초음파 단독 처리 한 오이는 가스 생성, 조직 연화 등 가장 빠르게 변화가 일어나는 것으로 보임.(결과 그래프 미삽입) 이는 초음파는 오이표면에 심한 상처를 입혀, 더 빠르게 부패를 일으킴. 또한 오이 자체 다공성 표면을 지니고 있어, 초음파 조사나 UV-광촉매 처리에는 적합하지 않음.

다. 위해미생물 제거를 위한 화학적, 물리적 방법 효과 비교

(1) 신선편이식품에 존재하는 미생물 확인 조사

(가) 문헌검색

① 국내 신선편이 식품에 사용되고 있는 신선 농산물

구 분		품 목
식재료 농산물에서 차지하는 비중	5% 미만	당근, 생강, 무, 양배추, 멜론, 파인애플, 브로콜리, 도라지, 우엉, 연근채, 쪽파, 부추, 파슬리, 레몬, 단호박
	5-10% 미만	마늘, 생강, 감자, 야채 모듬, 미나리
	10-15% 미만	양상추, 양파, 파프리카, 콩나물, 호박, 오이
	15-20% 미만	대파
	20% 이상	피망, 배
용도	조리용 우세	양파, 마늘, 당근, 생강, 무, 감자, 대파, 피망, 파프리카, 브로콜리, 도라지, 우엉, 연근채, 쪽파
	샐러드용 우세	양배추, 야채 모듬, 부추, 파슬리, 멜론, 파인애플, 배, 레몬
	양자 비슷하게 사용	양상추
신선편이 처리 상태	1차 처리 우세	대파, 브로콜리, 부추
	2차 처리 우세	양상추, 생강, 감자, 멜론, 파인애플, 피망, 야채 모듬, 도라지, 우엉, 연근채, 쪽파, 배, 파슬리, 레몬, 미나리, 콩나물, 호박, 오이, 단호박
	양자 비슷	양파, 마늘, 당근, 무, 양배추, 파프리카

자료 : 신선편이농산물 시장의 기회와 과제 -이용선,김성훈,김동훈,한국농촌경제연구원

② 신선편이 식품에 존재 가능성 높은 식중독 미생물

Bacteria	Produce
Total aerobic bacteria	Potato Chinese cabbage, Cucumber, Sesame leaf, Cabbage, Green paper, Balloonflower, Strawberry, Paprika, Tomato
Coliform	Carrot, Potato, Lettuce, Chinese cabbage, Cucumber, Eggplant, Celery, Sesame leaf, Cabbage, Balloonflower, Strawberry, Paprika, Tomato
<i>Escherichia coli</i>	Carrot, Potato, Lettuce, Chinese cabbage, Dropwort, Cucumber, Eggplant, Celery, Chicory, Korean leek, Sesame leaf, Crown daisy, Balloonflower
Enterobacteriaceae	Carrot, Potato, Korean leek, Sesame leaf, Cabbage,
<i>Staphylococcus aureus</i>	Lettuce, Chinese cabbage, Chicory, Sesame leaf, Balloonflower
<i>Salmonella</i>	Carrot, Potato, Lettuce, Chinese cabbage, Cucumber, Eggplant, Celery
<i>Clostridium perfringens</i>	Carrot, Potato, Lettuce, Chinese cabbage, Dropwort, Cucumber, Red pepper, Eggplant, Korean leek
<i>Bacillus cereus</i>	Lettuce, Dropwort, Chicory, Korean leek, Sesame leaf

<Young-Min Bae and Sun-Young Lee. Safe Food. Vol.4 Num.4. 2009>

③ 신선편이 식품에 존재하는 식중독 미생물 오염도

Produce	Microbial count (CFU/g)				
	Total aerobic bacteria	Coliform	<i>E. coli</i>	Pathogen	Reference
Carrot	6.6 log 2.58×10 ⁶	5.16×10 ⁴		<i>C. perfringens</i> 1.02×10 ⁴	Jo et al., 2002/Kim et al., 2004/Kim and Cha, 2002
Lettuce	6.9×10⁶ 8.01 log	1.2×10⁶ 7.13 log 6.0 log	1.00-2.30 log	<i>C. perfringens</i> 3.0×10²	Jo et al., 2002/Jung et al., 2006/Choi et al., 2005/Kim et al., 2004
Chinese cabbage	8.8×10 ⁶	4.1×10 ⁵		<i>C. perfringens</i> 3.2×10 ²	Jo et al., 2002/Jung et al., 2006
Cabbage	2.05×10 ⁵ 9.21 log	6.9 log 2.40×10 ⁴ 6.60 log			Kim et al., 2004/Kim and Cha, 2002/Jo et al., 2004
Dropwort	1.6×10 ⁷	3.7×10 ⁶		<i>C. perfringens</i> 1.4×10 ⁵	Jo et al., 2002/Jung et al., 2006
Sesame leaf	3.0×10 ⁶ 7.65 log	9.5×10 ⁵ 7.05 log	1.18-3.45 log		Jung et al., 2006/Choi et al., 2005
Cucumber	6.57 log 2.45×10 ⁵	5.42 log 1.03×10 ⁴	1.38-1.41 log	<i>C. perfringens</i> 3.0×10 ²	Jo et al., 2002/Choi et al., 2005/Kim and Cha, 2002
Korean leek	1.6×10 ⁷	9.8×10 ⁶			Jung et al., 2006
Red lettuce	7.48 log			<i>S. aureus</i> 6.94 log	Choi et al., 2009
Romaine	6.86 log			<i>S. aureus</i> 8.09 log	Choi et al., 2009
Red chard	6.47 log			<i>S. aureus</i> 6.95 log	Choi et al., 2009
Crown daisy	9.6×10 ⁶	1.6×10 ⁶			Jung et al., 2006
Pimpinella brachycarpa	2.2×10 ⁶	8.3×10 ⁵			Jung et al., 2006
Chicory	6.6×10 ⁷	4.7×10 ⁶			Jung et al., 2006
Potato	6.14 log	4.69 log		<i>C. perfringens</i> 2.6×10 ⁴	Jo et al., 2002/Kim et al., 2007
Balloonflower	9.15×10 ⁶ 5.2×10 ⁶	1.74×10 ⁵ 3.6×10 ⁶	1.0×10	<i>S. aureus</i> 3.4×10 ² <i>S. aureus</i> 1.7×10 ³	Kim and Cha, 2002 Kim et al., 2009

(나) 유통 중인 신선편이식품에 존재하는 미생물 균총 확인

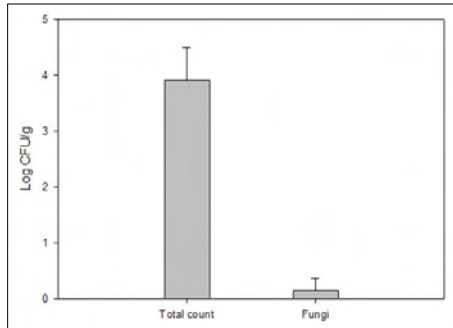


그림 52. Microbial contamination levels in Lettuce

안성시내 대형 유통마트에서 구매한 총 10개의 양상추 시료를 대상으로 미생물 측정 시험을 진행 한 결과, 총균수 평균 3.92 ± 0.59 Log CFU/g 수준으로 검출되었고, 진균류는 2건, 0.15 ± 0.21 Log CFU/g, *E. coli*, *C. sakazakii*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *Salmonella* spp.는 검출되지 않았음.

(2) 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인(*in vitro*)

(가) 초음파 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인

① 파장별 차이 확인 실험

초음파 세기 1200 W로 고정하여 37, 80 kHz의 초음파에 broth를 노출.

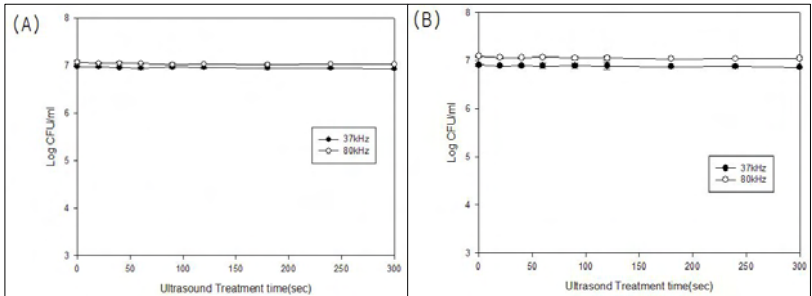


그림 53. Effect of both wavelength and treatment times of ultrasound to reduce (A) *E. coli* and (B) *S. aureus* *in vitro*

초음파 37과 80 kHz의 차이는 식중독 미생물의 살균에 유의적 효과를 주지 못했음.

② 세기 별 차이 확인 실험

초음파 파장 37 kHz로 고정하여 360, 600, 840, 1200 W의 초음파에 broth를 노출.

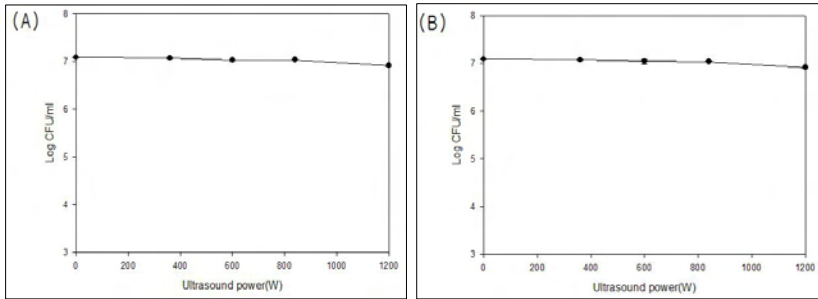


그림 54. Effect of both power and treatment times of ultrasound to reduce (A) *E. coli* and (B) *S. aureus* in vitro

초음파 37 kHz의 파장에서 0-1200 W까지의 세기 차이를 주었을 때, 초음파는 식중독 미생물살균에 유의적 영향을 주지 못함을 확인하였음.

③ In broth

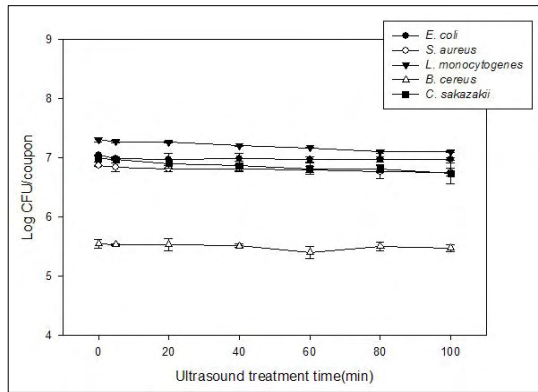


그림 55. Effects of ultrasound treatment against *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii* in broth

5개 균주는 최대 100분까지 초음파 처리에서 유의적 차이를 보이지 못하여 초음파가 식중독 미생물의 파괴에 직접적인 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

④ On stainless steel (STS) surface

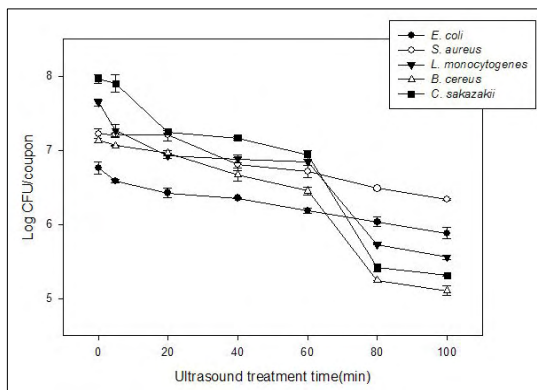


그림 56. Effects of ultrasound treatment against *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii* on STS surfaces

E. coli, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii*는 STS위에서 초음파 처리시간이 증가할수록 꾸준한 균의 감소를 보였고, 각각 최대 0.88, 0.88, 2.09, 2.03, 2.65 Log CFU/coupon 수준의 감소가 관찰되었음.

(나) 살균소독제(염소계 등) 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인

① In broth

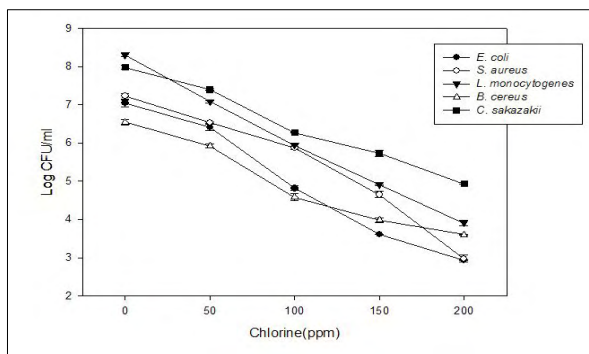


그림 57. Effects of disinfectant treatment against *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii* in broth

화학적 살균소독제인 NaClO 0-200(ppm) 농도의 범위에서 처리된 5개 균주 모두에서 3.06~4.10 Log CFU/ml 수준의 살균력을 확인하였음.

② On stainless steel(STS) surface

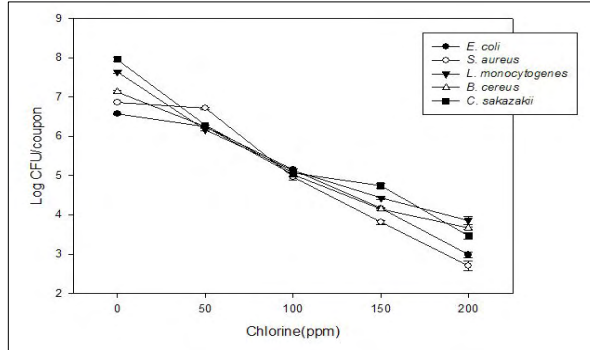


그림 58. Effects of disinfectant treatment against *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii* on STS surfaces.

5개 균주 모두 유사한 감소형태를 보였으며, 최대 200 ppm의 농도에서 3.46~4.16 Log CFU/coupon 수준의 감소량을 나타내었음.

(3) 신선편이 식품에서 초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸효과 확인

(가) 초음파 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인

① 양상추에서 초음파의 detachment 평가 결과 확인

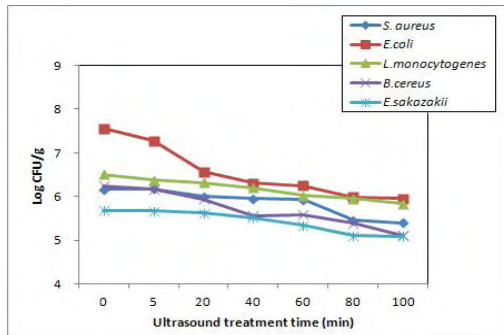


그림 59. Effect of ultrasound treatment against *S. aureus*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii* on the iceberg lettuce

E. coli, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii*는 양상추 표면에서 초음파 처리시간이 증가할수록 꾸준한 균의 감소를 보였고, 각각 최대 0.71, 1.57, 0.56, 0.86, 0.57 Log CFU/g 수준의 감소가 관찰되었음.

(나) 살균소독제(염소계 등) 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인

① 양상추에서 살균소독제의 살균소독력 평가 결과 확인

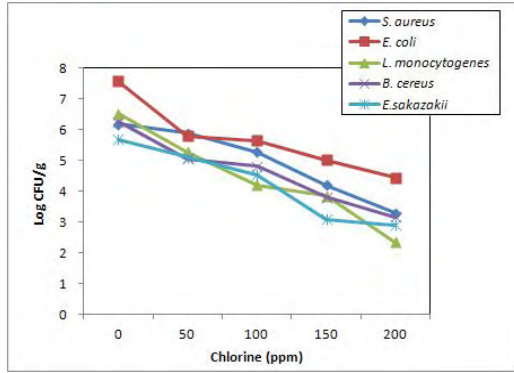


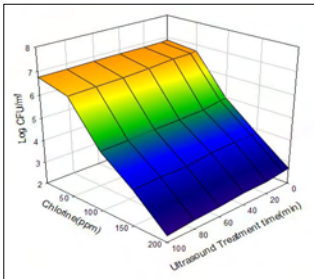
그림 60. Effect of disinfectant treatment against *S. aureus*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazkii* on the iceberg lettuce

E. coli, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii*는 양상추에서 화학적 살균소독제인 NaClO를 0-200 (ppm) 농도의 범위로 처리했을 때, 각각 최대 2.88, 3.13, 4.17, 3.09, 2.77 Log CFU/g 수준의 살균력을 나타냈음.

(4) Hurdle technology를 이용한 위해 미생물 최적화 제어법 개발

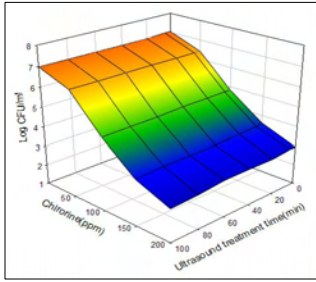
(가) *In vitro*에서 미생물 사멸 효과 확인

① In broth



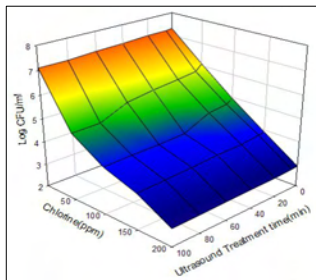
Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.00	0.00	0.11	0.17	0.17	0.20
	100	0.01	0.13	0.19	0.20	0.23	0.25
	150	0.02	0.04	0.02	0.13	0.09	0.14
	200	0.01	0.10	0.11	0.19	0.21	0.31

그림 61. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *S. aureus* *in vitro* (Broth)



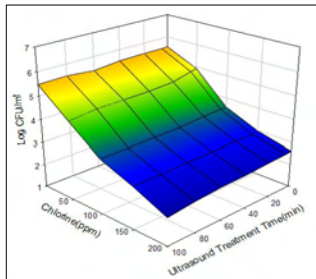
Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.00	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05
	100	0.01	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05
	150	0.07	0.07	0.12	0.14	0.12	0.20
	200	0.00	0.04	0.00	0.01	0.13	0.20

그림 62. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *E. coli in vitro* (broth)



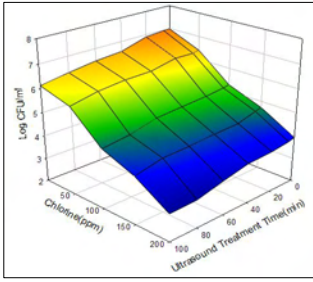
Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.23	0.33	0.39	0.53	0.97	0.99
	100	0.14	0.24	0.69	0.72	0.67	0.71
	150	0.01	0.10	0.07	0.11	0.11	0.16
	200	0.00	0.03	0.02	0.04	0.08	0.07

그림 63. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *L. monocytogenes in vitro* (broth)



Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.05	0.27	0.31	0.22	0.34	0.44
	100	0.00	0.04	0.11	0.02	0.14	0.14
	150	0.04	0.04	0.04	0.06	0.08	0.06
	200	0.02	0.06	0.11	0.02	0.22	0.33

그림 64. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *B. cereus in vitro* (broth)

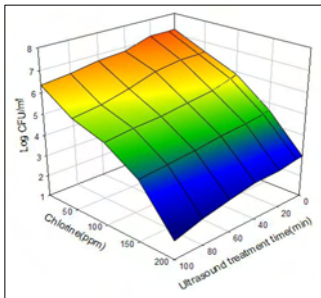


Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.05	0.05	0.48	0.63	0.72	0.71
	100	0.04	0.01	0.03	0.00	0.01	0.06
	150	0.06	0.23	0.42	0.34	0.35	0.31
	200	0.07	0.58	0.62	0.65	0.68	0.61

그림 65. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *C. sakazakii* in vitro (broth)

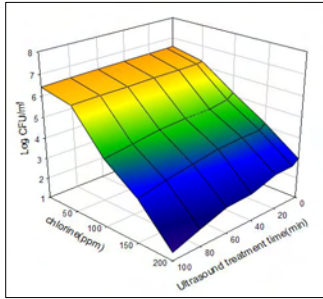
세포 현탁액의 초기균수는 *S. aureus*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii*는 각각 6.87, 7.04, 7.31, 5.55, 6.98 Log CFU/g 수준이었음. *S. aureus*의 경우, 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 4.58 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과 값은 동일한 조건에서 0.31 Log CFU/g를 나타내었음. *E. coli*에서는 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 4.37 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과 값은 동일한 조건에서 0.20 Log CFU/g를 나타내었음. *L. monocytogenes*의 경우, 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 4.54 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과값 초음파 60분-살균소독제 100 ppm에서 0.72 Log CFU/g를 나타내었음. *B. cereus*는 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 3.34 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과값 초음파 80분-살균소독제 50 ppm에서 0.33 Log CFU/g를 나타내었음. *E. sakazakii*는 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 3.92 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과값 초음파 80분-살균소독제 50 ppm에서 0.72 Log CFU/g를 나타내었음.

② On stainless steel(SUS) surface



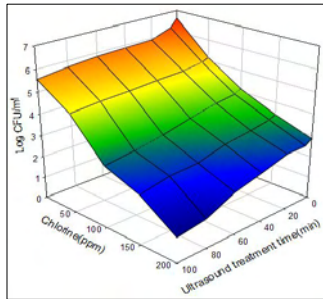
Synergy Effect (Log CFU/mL)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.02	0.03	0.17	0.14	0.24	0.29
	100	0.10	0.37	0.14	0.24	0.10	0.12
	150	0.07	0.20	0.08	0.19	0.10	0.11
	200	0.01	0.17	0.19	0.25	0.29	0.45

그림 66. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *S. aureus* in vitro (SUS)



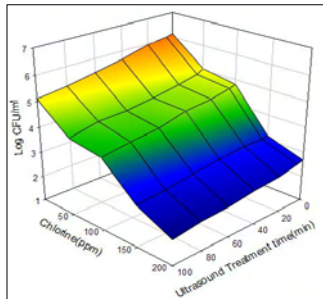
Synergy Effect (Log CFU/mL)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.13	0.27	0.25	0.30	0.36	0.26
	100	0.07	0.07	0.02	0.07	0.02	0.02
	150	0.06	0.08	0.08	0.07	0.03	0.16
	200	0.06	0.07	0.26	0.14	0.41	0.71

그림 67. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *E. coli* *in vitro* (SUS)



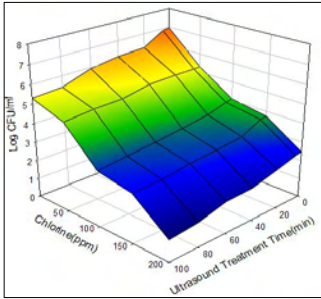
Synergy Effect (Log CFU/mL)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.24	0.44	0.42	0.38	0.44	0.50
	100	0.23	0.45	0.21	0.05	0.17	0.17
	150	0.24	0.42	0.29	0.01	0.04	0.06
	200	0.16	0.49	0.18	0.10	0.59	0.62

그림 68. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *L. monocytogenes* *in vitro* (SUS)



Synergy Effect (Log CFU/mL)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.00	0.03	0.25	0.35	0.45	0.40
	100	0.04	0.03	0.24	0.43	0.55	0.51
	150	0.03	0.16	0.34	0.44	0.48	0.54
	200	0.00	0.07	0.15	0.22	0.38	0.36

그림 69. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *B. cereus* *in vitro* (SUS)



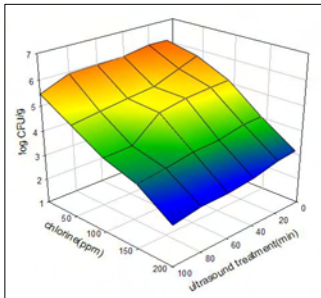
Synergy Effect (Log CFU/ml)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.05	0.70	0.73	0.65	1.14	1.10
	100	0.02	0.33	0.20	0.23	0.60	0.53
	150	0.02	0.13	0.06	0.17	0.48	0.53
	200	0.00	0.35	0.07	0.24	0.38	0.33

그림 70. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *C. sakazakii* in vitro (SUS)

SUS 표면에서 초음파 및 소독제를 병용 처리한 경우에는 초음파 또는 소독제만을 단독으로 사용할 경우보다 시너지 효과가 나타나는 것을 알 수 있었음. SUS chip 표면에 접종된 *S. aureus*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii*는 각각 7.22, 6.76, 6.65, 6.14, 6.96 Log CFU/g 수준이었음. *S. aureus*의 경우, 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 5.36 Log CFU/g가 감소하였으며, 동일한 조건에서 최대 시너지 효과값은 0.45 Log CFU/g를 나타내었음. *E. coli*에서는 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 5.37 Log CFU/g가 감소하였으며, 동일한 조건에서 최대 시너지 효과값은 0.71 Log CFU/g를 나타내었음. *L. monocytogenes*의 경우, 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 5.50 Log CFU/g가 감소하였으며, 동일한 조건에서 최대 시너지 효과값은 0.62 Log CFU/g를 나타내었음. *B. cereus*는 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 4.14 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과값 초음파 80분-살균소독제 100 ppm에서 0.55 Log CFU/g를 나타내었음. *E. sakazakii*는 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 5.81 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과값 초음파 80분-살균소독제 50 ppm에서 1.14 Log CFU/g를 나타내었음.

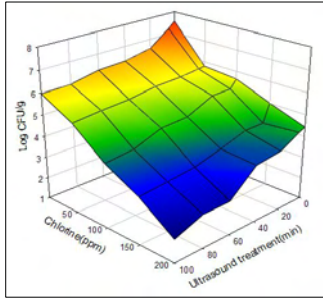
(나) 신선편이 식품에서 화학적-물리적 병용처리 효과

① On iceberg lettuce surface



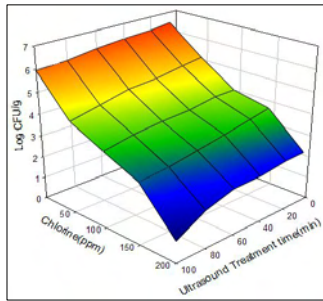
Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.32	0.54	0.64	0.75	0.45	0.54
	100	0.06	0.03	0.14	1.00	0.58	0.85
	150	0.05	0.09	0.12	0.27	0.04	0.29
	200	0.10	0.16	0.25	0.24	0.03	0.42

그림 71. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *S. aureus* on the iceberg lettuce



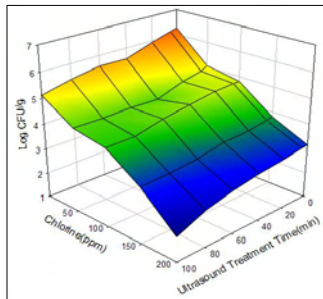
Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.24	0.44	1.04	0.90	1.09	1.00
	100	0.10	0.59	0.29	0.28	0.06	0.04
	150	0.57	0.14	0.01	0.26	0.12	0.20
	200	0.15	0.35	0.47	0.56	0.30	0.74

그림 72. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *E. coli* on the iceberg lettuce



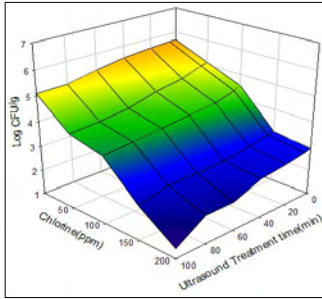
Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.00	0.15	0.13	0.25	0.46	0.43
	100	0.12	0.02	0.03	0.08	0.10	0.34
	150	0.06	0.25	0.35	0.39	0.44	0.52
	200	0.10	0.00	0.06	0.11	0.77	1.66

그림 73. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *L. monocytogenes* on the iceberg lettuce



Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.08	0.02	0.15	0.02	0.13	0.14
	100	0.01	0.06	0.32	0.01	0.08	0.19
	150	0.03	0.14	0.46	0.21	0.31	0.54
	200	0.05	0.15	0.41	0.21	0.14	0.06

그림 74. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *B. cereus* on the iceberg lettuce



Synergy Effect (Log CFU/g)		Ultrasound Treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorine (ppm)	50	0.06	0.30	0.36	0.53	0.44	0.50
	100	0.12	0.31	0.33	0.27	0.16	0.25
	150	0.05	0.16	0.22	0.08	0.13	0.12
	200	0.06	0.15	0.18	0.43	0.20	0.93

그림 75. Synergistic effect of combined ultrasound-chlorine against *C. sakazakii* on the iceberg lettuce

양상추 표면에 접종된 *S. aureus*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *C. sakazakii* 는 각각 6.17, 7.56, 6.51, 6.25, 5.68 Log CFU/g 수준이었음. 사용할 경우보다 시너지 효과가 나타나는 것을 알 수 있었음. *S. aureus*의 경우, 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 4.08 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과 값 초음파 60분-살균소독제 100 ppm에서 1 Log CFU/g를 나타내었음. *E. coli*에서는 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 5.48 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과 값 초음파 80분-살균소독제 50 ppm에서 1.09 Log CFU/g를 나타내었음. *L. monocytogenes*의 경우, 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 6.51 Log CFU/g가 감소하였으며, 동일한 조건에서 최대 시너지 효과 값은 1.66 Log CFU/g를 나타내었음. *B. cereus*는 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 최대 4.27 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과 값 초음파 100분-살균소독제 150 ppm에서 0.54 Log CFU/g를 나타내었음. *E. sakazakii*는 초음파 100분 - 살균소독제 200 ppm에서 최대 4.29 Log CFU/g가 감소하였으며, 최대 시너지 효과 값 초음파 100분-살균소독제 200 ppm에서 0.93 Log CFU/g를 나타내었음.

위 결과들을 바탕으로 broth, sus chip, 양상추에서 초음파-살균소독제 간의 병용처리 효과를 살펴본 결과, 초음파 및 살균소독제를 병용처리 한 경우에는 초음파 또는 소독제만을 단독으로 사용했을 때보다 시너지 효과가 나타나는 것을 알 수 있었음. 또한 *in vitro*에서보다 *in food*에서 감소효과 및 시너지 효과가 높게 나타났으며, broth보다 sus chip 또는 양상추 표면에서의 감소효과 및 시너지 효과가 높게 나타났음. 이는 초음파가 살균력 보다는 detachment 효능을 가지기 때문인 것으로 사료됨. 그리고 5종의 위해미생물에 중에서 broth에서는 *S. aureus*와 *L. monocytogenes* 균에 대한 제어 효과가 높았고, sus chip에서는 *C. sakazakii*, 양상추에서는 *L. monocytogenes*에 대한 제어 효능이 좋게 나타났음. 이러한 결과들을 바탕으로 초음파 및 살균소독제의 병용처리는 화학적 살균소독제인 염소계 소독제의 처리 농도를 저감화 시킬 수 있고, 초음파 처리 시간을 단축시킴으로써 물리적인 충격에 노출을 줄여 신선편이 식품의 상품적 가치를 유지할 수 있을 것으로 사료됨.

(다) 최적화된 위해미생물 제어법 처리에 따른 신선편이 식품의 품질 평가

① 살균 소독제 단일처리에 의한 pH 변화

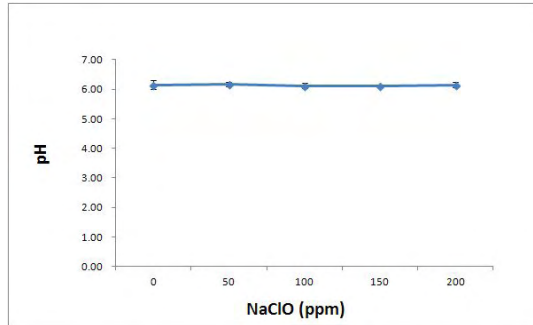


그림 76. pH of iceberg lettuce in NaClO treatment concentration

양상추에 살균소독제를 0, 50, 100, 150, 200 ppm을 단일 처리 한 결과 pH 값은 큰 변화가 없음을 관찰할 수 있었음. ($p>0.05$)

② 초음파 단일처리에 의한 pH 변화

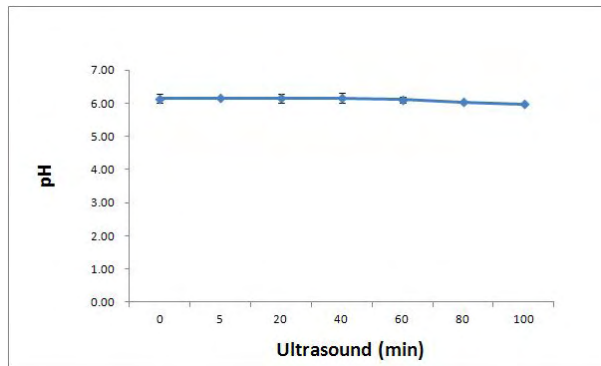


그림 77. pH of iceberg lettuce in ultrasound treatment time

양상추에 초음파를 0, 5, 20, 40, 60, 80, 100 min 동안 단일 처리 한 결과 pH 값은 큰 변화가 없음을 관찰할 수 있었음. ($p>0.05$)

③ 초음파-살균소독제 병용치리에 따른 pH 변화

표 8. pH value of combined ultrasound-chlorine in iceberg lettuce

pH		Ultrasound treatment (min)					
		5	20	40	60	80	100
Chlorin (ppm)	50	6.16 ± 0.12 ^a	6.14 ± 0.13 ^a	6.12 ± 0.22 ^a	6.08 ± 0.05 ^a	6.04 ± 0.03 ^a	6.03 ± 0.03 ^a
		6.16 ± 0.12 ^a	6.09 ± 0.12 ^a	6.09 ± 0.13 ^a	6.12 ± 0.02 ^a	6 ± 0.01 ^a	6.06 ± 0.01 ^a
	100	6.16 ± 0.16 ^a	6.13 ± 0.19 ^a	6.13 ± 0.02 ^a	6.06 ± 0.01 ^a	6.06 ± 0.02 ^a	6.01 ± 0.01 ^a
		6.17 ± 0.05 ^a	6.08 ± 0.14 ^a	6.13 ± 0.06 ^a	6.07 ± 0.02 ^a	6.04 ± 0.04 ^a	6.04 ± 0.04 ^a

1) Mean ± standard deviation

2) Means in a column are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

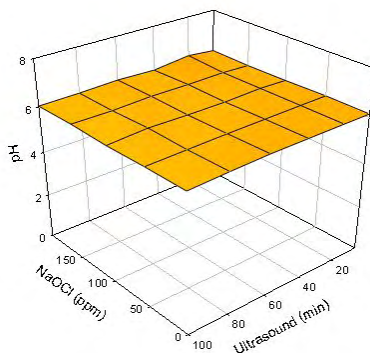


그림 78. pH of combined ultrasound-chlorine in iceberg lettuce

양상추에 초음파(0-100min)-살균소독제(0-200 ppm)를 병용 처리하여 pH 값을 측정 한 결과 p-값은 0.615로 유의수준 0.05보다 크게 나왔으며 병용치리에 따른 유의적 차이는 없음을 관찰할 수 있었음. ($p > 0.05$)

④ 살균 소독제 단일처리에 의한 당도 변화

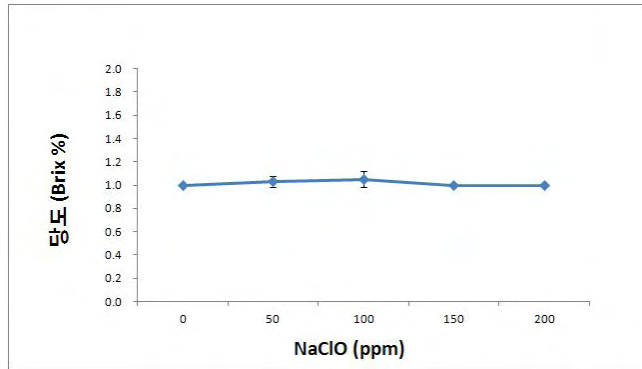


그림 79. Brix% of iceberg lettuce in NaClO treatment concentration

양상추에 살균소독제를 0, 50, 100, 150, 200 ppm을 단일 처리 한 결과 당도 값은 큰 변화가 없음을 관찰할 수 있었음. ($p>0.05$)

⑤ 초음파 단일처리에 의한 당도 변화

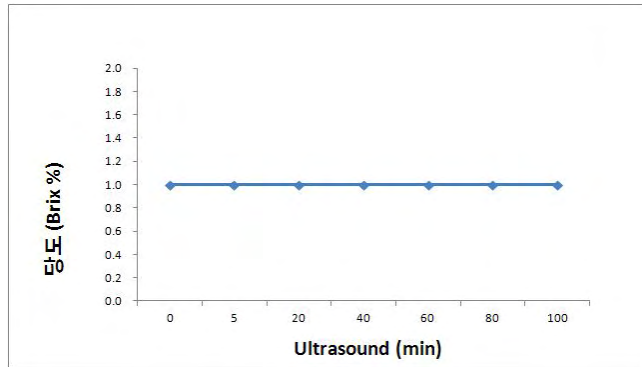


그림 80. Brix% of iceberg lettuce in ultrasound treatment time

양상추에 초음파를 0, 5, 20, 40, 60, 80, 100 min 동안 단일 처리 한 결과 당도는 큰 변화가 없음을 관찰할 수 있었음. ($p>0.05$)

⑥ 초음파-살균소독제 병용처리에 따른 당도 변화

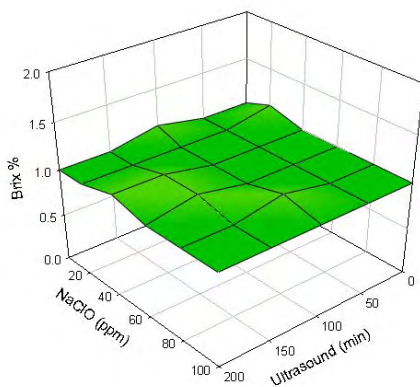


그림 81. Brix% of combined ultrasound-chlorine in iceberg lettuce

양상추에 초음파-살균소독제를 병용처리한 결과 당도는 모두 1.0-1.2 Brix% 범위로 나타났으며 병용처리에 의해 유의적인 차이는 나타나지 않았음. ($p>0.05$)

⑦ 살균 소독제 단일처리에 의한 색도 변화

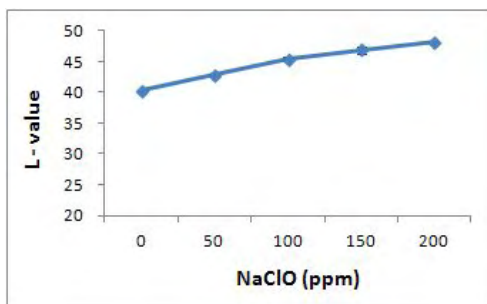


그림 82. L-value of Iceberg lettuce in NaClO treatment at various concentrations.

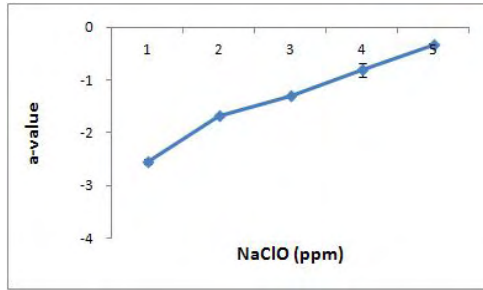


그림 83. a-value of iceberg lettuce in NaClO treatment at various concentrations.

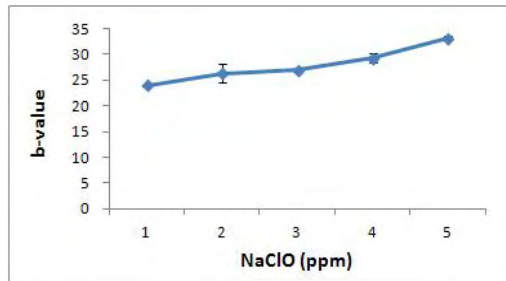


그림 84. b-value of iceberg lettuce in NaClO treatment at various concentrations.

L 값은 명도를 나타내는 것으로 (+)일 경우 밝은 것을 의미하고 (-)인 경우 어두운 것을 의미함. a 값은 (+)일 경우 red 를 의미하고 (-)인 경우 green 을 의미함. b 값은 (+)일 경우 yellow 를 의미하고 (-)인 경우 blue 를 의미함. 양상추에 살균소독제를 0, 50, 100, 150, 200 ppm을 단일 처리한 결과 L, a, b값 모두 증가하는 경향이 나타났음. 이러한 결과는 양상추에 살균소독제를 처리하면 표백 영향에 의하여 명도가 밝아진 것으로 사료되며, a와 b값은 색차를 찍기 전에 마쇄 절차에 따른 시간적 오차로 인하여 값 변화가 일어난 것으로 사료됨. ($p < 0.05$)

⑧ 초음파 단일처리에 의한 색도 변화

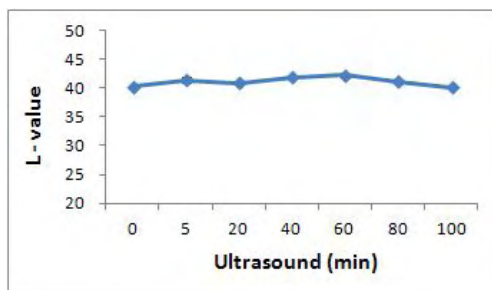


그림 85. L-value of iceberg lettuce at various times of ultrasound treatment.

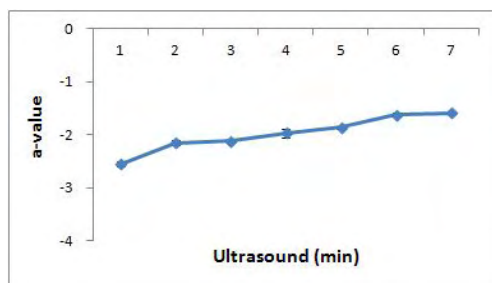


그림 86. a-value of iceberg lettuce at various times of ultrasound treatment.

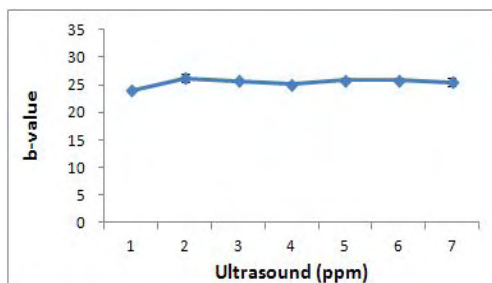


그림 87. b-value of iceberg lettuce at various times of ultrasound treatment.

양상추에 초음파를 0, 5, 20, 40, 60, 80, 100 min 동안 단일 처리한 결과 L과 b값은 초음파 시간에 따라 큰 변화가 없음을 관찰할 수 있었음. 반면 a값은 증가하는 경향이 나타났음. ($p < 0.05$)

⑨ 초음파-살균소독제 병용처리에 따른 색도 변화

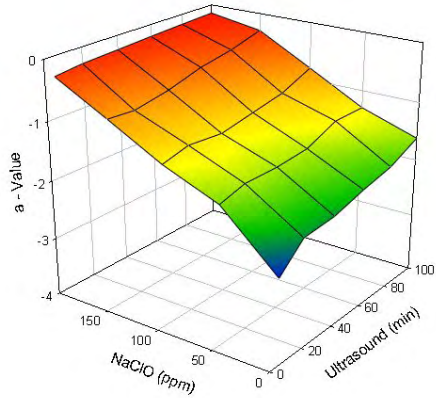


그림 88. a-value of combined ultrasound-chlorine of iceberg lettuce

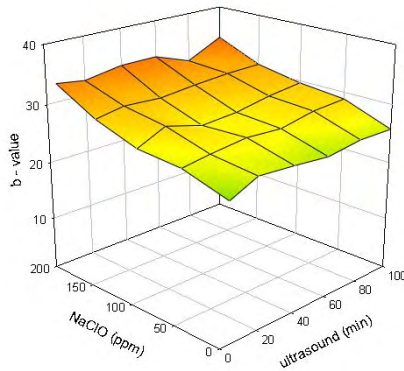


그림 89. b-value of combined ultrasound-chlorine of iceberg lettuce

양상추에 초음파-살균소독제를 병용처리한 결과 L, a, b 값 모두 초음파와 살균소독제의 처리 조건이 증가할수록 값이 증가하였음. 하지만 L값과 b값의 변화는 살균소독제의 영향 때문인 것으로 사료되며 a값은 초음파와 살균소독제 모두 영향을 미친 것으로 사료됨. ($p < 0.05$)

⑩ 살균 소독제 단일처리에 의한 조직감 변화

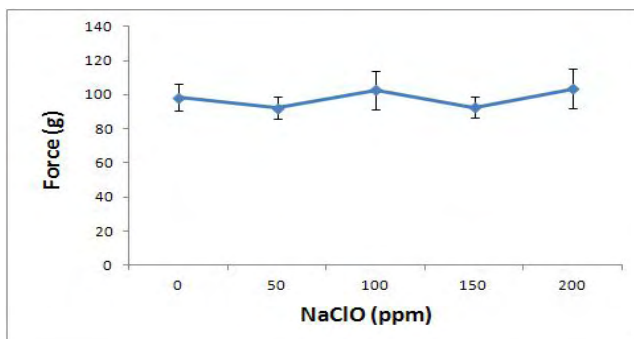


그림 90. Texture of iceberg lettuce in NaClO treatment at various concentrations

양상추에 살균소독제를 0, 50, 100, 150, 200 ppm을 단일 처리 한 결과 texture analyzer를 이용한 양상추 찢는 힘(g)의 유의적인 차이는 나타나지 않았음. ($p > 0.05$)

⑪ 초음파 단일처리에 의한 조직감 변화

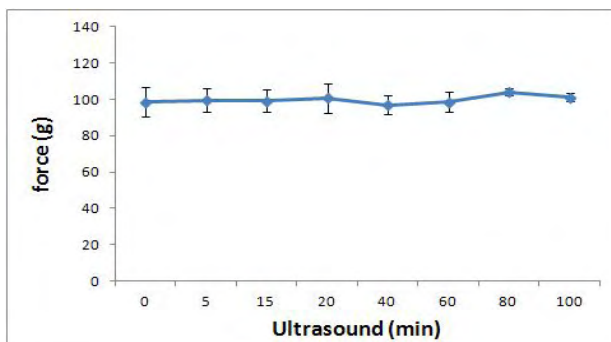


그림 91. Texture of iceberg lettuce at various treatment times of ultrasound.

양상추에 초음파(0-100 min)-살균소독제(0-200 ppm)를 병용 처리하여 양상추를 찢는 힘(g)을 측정 한 결과 p-값은 0.267로 유의수준 0.05보다 크게 나왔으며 병용처리에 따른 유의적 차이는 없음을 관찰할 수 있었음. ($p > 0.05$)

라. Hurdle technology의 현장 적용 및 실제 test

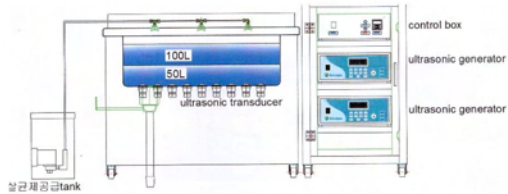
(1) 최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 pilot scale의 현장에 simulation 적용

(가) Pilot scale 현장 안에서의 화학적-물리적 처리효과

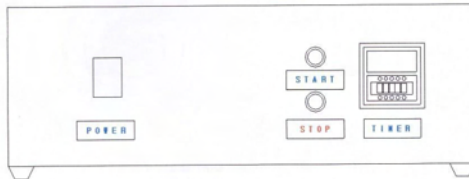
① 병용처리 조건을 갖춘 장비 제작



그림 92. Pilot-scale ultrasound base washing and disinfection system.



3. Control panel



POWER : 본 시스템의 전체 전원 ON/ OFF
 START : 살균수 공급 펌프 ON
 STOP : 살균수 공급 펌프 OFF
 TIMER : 살균수 공급관련 TIME CONTROL

그림 93. Pilot-scale ultrasound base washing and disinfection system.

본 제품은 auto tuning 기능을 탑재한 디지털 방식의 ultrasonic Cleaner 대면적 LCD 화면을 채용하였으며 time, power, frequency, detect(sensor기능)의 조정 및 설정방식을 사용자의 편의를 위하여 멤브레인 키패드 시스템을 탑재.

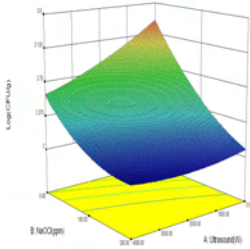
< 제품사양 >

Ultrasonic generator: 최대 2000 W (STH-2000S)를 100%까지 1% 단위로 조절가능.

- MODEL No : SH-2000S
- Input Power : AC220 V, 10A
- Output Power : 2000 W
- Interface : 로터리 엔코더, RS232 커멘드
- LCD Display : 24Character X 4Lines LCD
- RS232 통신(Optional)
- 온도센서(Optional)
- Frequency : 29.8 kHz
- Dimension(HXWXD) : 150*350*440(mm)
- Cable length : 3m
- Eletric Requirement : 220v/60Hz(접지콘센트)

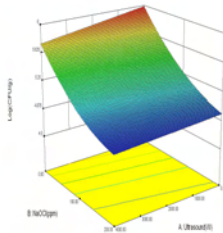
- ② RSM으로 동시처리 최적 조건 설정한 후 Pilot scale 현장 안에서의 화학적 - 물리적 처리효과

A



Reduction (Log CFU/g)		Ultrasound power(W)		
		0	2000	4000
NaClO (ppm)	0	0.00	0.68	0.73
	100	1.00	1.08	1.26
	200	1.30	1.38	1.39

B



Reduction (Log CFU/g)		Ultrasound power(W)		
		0	2000	4000
NaClO (ppm)	0	0	0.15	0.52
	100	0.81	0.85	0.91
	200	0.97	1.04	1.27

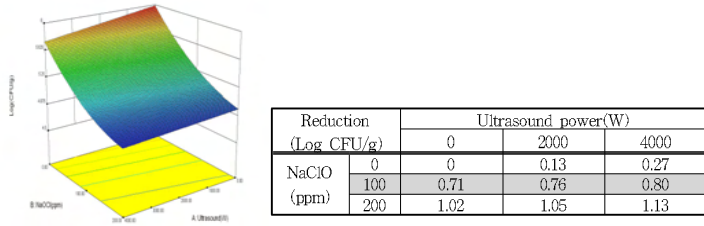


그림 94. The reduction values of treatment with NaClO and ultrasound on the numbers of total aerobic bacteria

(A) *Escherichia coli* (B) and *Bacillus cereus* (C) on head lettuce

양상추에 접종한 세포懸탁액의 초기 균수는 *E. coli*, *B. cereus* 는 각각 6.02, 6.00 Log CFU/g 수준이었고 대상 식품에 들어 있는 total aerobic bacteria는 3.40 Log CFU/g 수준이었음. Pilot scale에 최적 조건 처리 결과, 최대 1 log 감소값을 보였음.

(나) Pilot scale의 현장에 적용한 신선편이 식품의 물리적 품질 평가

① 초음파-소독제 처리에 의한 양상추의 색도 변화

표 9. Changes in color of head lettuce at the treatment of ultrasound-disinfectants

Treatments		Color		
NaOCl(ppm)	Ultrasound (W)	L*	a*	b*
0	0	71.67 ± 2.57	-9.03 ± 0.36	40.53 ± 0.68
0	2000	69.06 ± 2.51	-8.95 ± 0.55	40.05 ± 1.64
0	4000	71.21 ± 2.11	-8.88 ± 0.36	40.79 ± 1.40
100	0	70.28 ± 0.89	-8.69 ± 0.21	39.85 ± 1.34
100	2000	73.40 ± 0.74	-8.60 ± 0.23	38.45 ± 0.17
100	4000	72.82 ± 2.68	-8.80 ± 0.96	42.93 ± 0.11
200	0	74.06 ± 0.68	-9.20 ± 0.09	39.89 ± 0.85
200	2000	72.83 ± 0.70	-9.20 ± 0.18	41.00 ± 1.03
200	4000	73.43 ± 1.30	-9.00 ± 0.24	40.74 ± 1.94

- Mean values in column were not significantly ($P > 0.05$) different by Duncan's multiple range test. L*: lightness, a*: redness, b*: yellowness.

양상추에 RSM 조건을 이용해 초음파-소독제를 병용 처리하여 양상추를 찢는 힘(g)을 측정된 결과 p-값은 0.079로 유의수준 0.05보다 크게 나왔으며 병용처리에 따른 유의적 차이는 없음을 관찰할 수 있었음. ($p > 0.05$)

② 초음파-소독제 처리에 의한 조직감 변화

표 10. Changes in texture of head lettuce at the treatment of ultrasound disinfectants

Treatments		Shear force Force(g)
NaOCl(ppm)	Ultrasound(W)	
0	0	88.02 ± 0.25
0	2000	87.42 ± 1.34
0	4000	89.63 ± 0.01
100	0	87.32 ± 1.03
100	2000	88.92 ± 0.37
100	4000	88.27 ± 1.23
200	0	89.52 ± 0.67
200	2000	87.62 ± 0.46
200	4000	87.53 ± 1.32

양상추에 RSM 조건을 이용해 초음파-소독제를 병용 처리하여 양상추를 찢는 힘(g)을 측정할 결과 p-값은 0.0581로 유의수준 0.05보다 크게 나왔으며 병용처리에 따른 유의적 차이는 없음을 관찰할 수 있었음. ($p>0.05$)

(다) SEM 사진을 통한 Pilot scale 조건에 적용한 위해 미생물 관찰

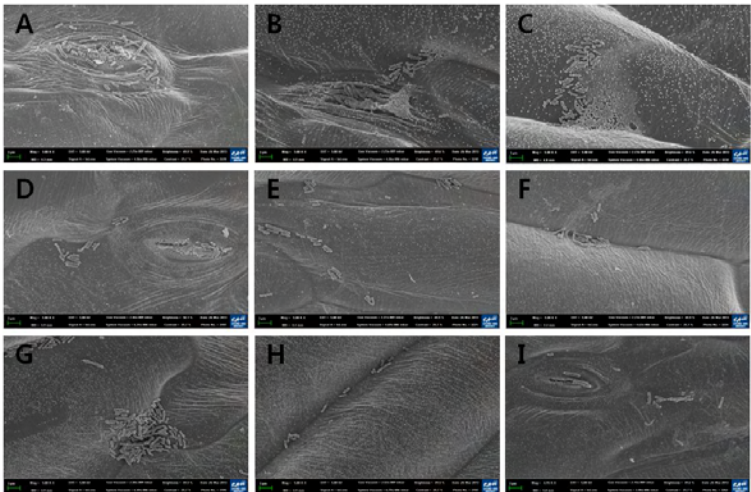


그림 95. SEM images of *Escherichia coli* inoculated on head lettuce.

A: Control B: Ultrasound 2000 W C: Ultrasound 4000 W, D: Chlorine 100 ppm
E: Chlorine 100 ppm + US 2000 W, F: Chlorine 100 ppm + US 4000 W G:
Chlorine 200 ppm, H: Chlorine 200 ppm + US 2000 W I: Chlorine 200 ppm +

US 4000 W

E.coli 접종된 양상추에 RSM 조건을 이용해 초음파-소독제를 병용 처리하여 SEM 촬영 결과 초음파의 세기 4000 W와 소독제 농도 200 ppm을 병용 처리한 조건에서 미생물 수가 크게 감소한 것을 볼 수 있었음. 또한 단독 처리보다 병용처리 하였을 때 미생물 수가 더욱 감소되는 것을 볼 수 있음.

(2) 실제 대상 식품의 생산 공정을 simulation 적용

(가) 양상추 세척공정을 Pilot scale현장에 적용



그림 96. 신선편이식품 생산 공정 도식도



그림 97. 실제 대상 식품의 생산 공정을 simulation 적용

일반적인 양상추 가공공정의 순서 중 초음파-소독제 처리를 이용할 수 있는 소독 공정의 전 후 부분을 pilot scale 현장에 적용하였음. 소독과정, 세척 과정 부분에 초음파와 소독제의 동시처리의 효과를 기대할 수 있음.

4. 결론

자외선의 파장 변화에 따른 미생물 저해 효과

- 자외선 파장별 위해 미생물 살균 효과를 확인한 결과, 파장이 가장 짧은 UVC로 처리하였을 때 감균 속도와 세포벽 손상도가 최대로 나타남.
- 단 시간 내에 최대 살균 효율을 갖는 UVC가 비가열 처리 공정에 적합함.

UV-광촉매 산화 반응의 미생물 저해 효과

- UV-광촉매 공정으로 미생물의 처리할 경우, 많은 양의 유리 라디칼이 생성되어 위해 미생물의 DNA, RNA, 단백질과 지질을 손상시켜 자외선 단일 처리보다 더욱 강한 감균 효과($1.5 \log \text{CFU}/\text{cm}^2$)를 보임.
- 신선초 주스와 당근 주스를 pilot-scale UV-광촉매 반응기로 처리한 결과, 저장 기간 8일 동안 대조군에 비하여 $0.8 \log$ 의 감균 효과가 있었으며, 품질 변화는 대조군과 거의 차이가 없었음.

연속식 UV-광촉매 반응기를 이용한 액상 식품의 위해 미생물 저해 효과

- 액체 시료에 대한 연속식 광촉매 반응기는 자외선 총 노출 면적이 증가할수록, 시료의 유속이 느릴수록 그 살균력이 증가하는 것으로 관찰됨.
- 살균 대상의 색이 진할 경우와 탁도가 높을 경우는 시료가 자외선을 흡수하여 자외선의 투과도가 현저히 저하되어 살균 효과가 감소함.
- 따라서, 탁도가 높은 신선초, 당근과 같은 시료의 경우, 초기 균수를 감소시킬 수 있는 전처리 세척 과정이 필요함.

Batch식 반응기와 초음파 조사법 병합 처리의 미생물 저해 효과

- Batch식 UV-광촉매 반응기로 신선초를 전 처리한 후, 주스를 연속식으로 처리할 경우, 추가적으로 $1.0 \log$ 의 감균 효과를 보임.
- Batch식 UV-광촉매 반응기와 초음파 조사법을 병용하여 처리한 결과, 추가적인 살균 효과가 보이지 않음.
- 병합처리가 예상보다 낮은 균감소율을 보인 것은 광촉매의 라디칼 형성을 초음파 에너지가 간섭하여 라디칼 형성 저해를 일으켰거나 초음파 에너지가 자외선 광자의 이동에 영향을 주었기 때문으로 사료됨.

신선편이식품에 존재하는 미생물 확인 조사

- 신선편이 식품에 존재 가능성 높은 식중독으로 *E. coli*, Enterobacteriacease, *S. aureus*, *Salmonella*, *B. cereus*, *C. perfringens* 등 다수의 미생물 검출된다는 문헌

검색 및 자료 조사가 이루어졌음.

- 대형마트에서 구매한 양상추를 대상으로 균총 확인 결과 *E. coli*, *C. sakazakii*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *Salmonella* spp.는 검출되지 않았음. (ND < 10 CFU/g)

초음파와 살균소독제 처리 시 미생물 사멸 효과 및 품질 변화

- Broth, sus chip, 양상추에서 초음파-살균소독제 간의 병용처리 효과를 살펴본 결과, 초음파 및 살균소독제를 병용처리 한 경우에는 초음파 또는 소독제만을 단독으로 사용했을 때보다 시너지 효과가 나타나는 것을 알 수 있었음.
- 또한, *in vitro*에서보다 *in food*에서 감소효과 및 시너지 효과가 높게 나타났으며, broth보다 SUS chip 또는 양상추 표면에서의 감소효과 및 시너지 효과가 높게 나타났다. 이는 초음파가 살균력 보다는 detachment 효능을 가지기 때문인 것으로 사료됨.
- 양상추에 초음파-살균소독제를 병용 처리한 결과 신선편이 식품의 당도, pH, 조직감 등의 품질 변화는 대조군과 유의적 차이가 없었음.
- 그러나 색도 L, a, b 값 모두 초음파와 살균소독제의 처리 조건이 증가할수록 값이 증가하였음. 하지만 L값과 b값의 변화는 살균소독제의 영향 때문인 것으로 사료되며 a값은 초음파와 살균소독제 모두 영향을 미친 것으로 사료됨.

최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 pilot scale의 현장에 simulation 적용

- 양상추를 pilot scale의 초음파-소독제 장비에 적용된 초음파-소독제 동시처리 결과 총 균수, *E. coli*, *B. cereus*의 미생물 수가 최대 1 log이상의 감소값을 보였으며, 품질변화는 대조군과 거의 차이가 없었음.

실제 대상 식품의 생산 공정을 simulation 적용

- 일반적인 양상추 가공공정의 순서 중 초음파-소독제 처리를 이용할 수 있는 소독공정의 전 후 부분을 Pilot scale 현장에 적용하였음. 소독과정, 세척 과정 부분에 초음파와 소독제의 동시처리의 효과를 기대할 수 있음
- 이러한 결과들을 바탕으로 초음파 및 살균소독제의 병용처리는 화학적 살균소독제인 염소계 소독제의 처리 농도를 저감화 시킬 수 있고, 초음파 처리 시간을 단축시킴으로써 물리적인 충격에 노출을 줄여 신선편이 식품의 상품적 가치를 유지할 수 있을 것으로 사료됨.

제 2 절 저온 플라즈마와 UV 광펄스를 이용한 식품 표면 살균

1. 연구 내용

가. 저온 플라즈마를 이용한 식품표면 살균기술 개발

- (1) 저온플라즈마 장치 및 특성
 - (가) LPDP 처리장치
 - (나) 유전체장벽방전플라즈마(DBDP) 처리장치
 - (다) 코로나방전플라즈마제트(CDPJ) 처리장치
- (2) 저온 플라즈마 살균력 검증
 - (가) 감압방전플라즈마(LPDP) 처리장치
 - (나) 유전체장벽방전플라즈마(DBDP) 처리장치
 - (다) 코로나방전플라즈마제트(CDPJ) 처리장치
- (3) 저온플라즈마를 이용한 식품 살균
 - (가) 곡류
 - (나) 과채류
 - (다) 김
- (4) 저온플라즈마 현장적용 모델
 - (가) 현장적용 가능 저온플라즈마시스템 개발
 - (나) R-CDPJ시스템의 표면 살균력 조사
 - (다) 식품적용 시험

나. 자외선 광펄스를 이용한 식품표면살균 시스템 개발 및 신선식품의 비가열 처리기술 개발

- (1) UV 광펄스 기술에 대한 문헌고찰
- (2) UV 광펄스 시스템의 Set-Up
- (3) UV 광펄스 이용한 신선 식품의 표면 살균 적용
 - (가) 방사선 저항 세균 *Micrococcus roseus*의 광펄스 살균
 - (나) UV 광펄스 처리에 의한 마른 김의 비가열 살균
 - (다) UV 광펄스 처리에 의한 파프리카의 이화학적 변화
 - (라) UV 광펄스 처리에 의한 새싹 채소의 미생물 저감 효과

다. 저온 플라즈마와 UV 광펄스 병합 처리에 의한 미생물 저감 효과

2. 연구 방법

가. 저온 플라즈마를 이용한 식품 표면 살균 기술 개발

(1) 저온플라즈마 장치 및 특성

(가) 저온플라즈마 처리장치

① 감압방전플라즈마(LPDP, low pressure discharge plasma) 처리장치

감압방전플라즈마장치(Cute-100LF, Femto Science Co., Hwaseong, Korea)는 그림 100과 같이 플라즈마 처리실에 진공펌프를 연결하여 감압하고 가스탱크와 연결하여 생성기체를 공급하는 방식임. 기체공급 장치를 통하여 유량을 조절하며 특정 기체를 주입함으로써 일정압력을 유지하면서 저주파(LF) 글로우 방전 방식을 사용하여 LPDP를 생성하였음.



그림 98. LPDP system 사진

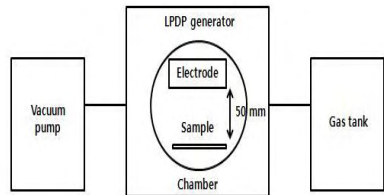


그림 99. LPDP system 구조

② 유전체장벽방전플라즈마(DBDP, dielectric barrier discharge plasma) 처리장치

DBDP 처리장치는 그림 101과 같이 전원장치, 플라즈마 방전부, 시료이동 시스템 등 3부분으로 구성되었고, 각 부분의 주요 특성과 제원은 표 11과 같았음. 전원은 220 V 단상 교류를 사용하고, 펄스형 구형파 형태로 주파수 10,000 - 50,000 Hz로 가변가능하며, 주파수에 따라 전류가 연동하여 변환됨. 플라즈마 방전부는 전극을 세라믹으로 감싸서 유전체장벽방전이 되도록 하였으며 전극의 제원은 길이 22 cm x 너비 2 cm이었음. 시료처리판은 슬라이딩기어를 사용하여 선형이동이 가능하도록 하였으며 모터의 회전수를 조절함으로써 0 - 5 cm/s 사이의 속도로 이동하였음.



그림 100. DBDP system 사진

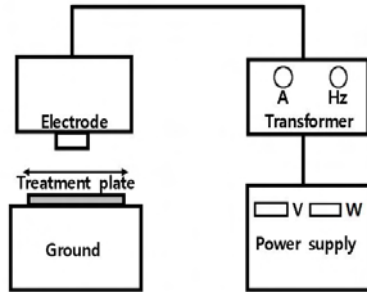


그림 101. DBDP system 구조

표 11. DBDP 처리장치 구성요소 및 제원

Components	Characteristics	Values
Power supply	Electrical source	220 V AC, single phase
	Output voltage	10.0 - 50.0 kV
	Output frequency	10.0 - 50.0 kHz
	Wave form	Pulsed sine wave
	Maximum power	2 kW
Plasma generator	Electrode dimension	Length 22 cm × Width 2 cm
	Dielectric barrier material	Ceramic
	Cooling	Air cooling
Treatment system	Ground electrode	Aluminum plate
	Moving mechanism	Linear sliding type
	Moving speed	0 - 5 cm/s

③ 코로나방전플라스마제트(CDPJ, corona discharge plasma jet)장치

CDPJ 처리장치는 그림 102과 같이 전원장치, 송풍장치, 플라스마 방전부, 시료처리관 등 4부분으로 구성하였고, 각 부분의 주요 특성과 제원은 표 12와 같았음. 전원은 220 V 단상 교류를 사용하고, 주파수 10-58 kHz 범위에서 가변하여 펄스형 구형파 형태로 전류를 공급하였으며, 출력은 DC 1-20 kV 범위로 하였음. 플라스마 방전부는 한 쌍의 텅

스텐 리드(지름 3 mm, 길이 20 mm)를 전극으로 배치하고 방전부 전체를 두께 5 mm 테프론 실드에 매립하였음. 시료 처리판은 슬라이딩기어를 사용하여 0-5 cm/s의 속도로 선형 이동이 가능하도록 하였음. CDPJ 처리장치의 작동은 먼저 송풍장치를 가동하여 풍속 2.5 m/s로 공기를 유입한 후 전류를 인가함으로써 코로나방전에 의한 플라즈마를 생성하고, 풍압에 의해 제트(jet)를 형성토록 하였음. 생성 플라즈마제트의 전체 길이는 4.0 cm 정도였음.

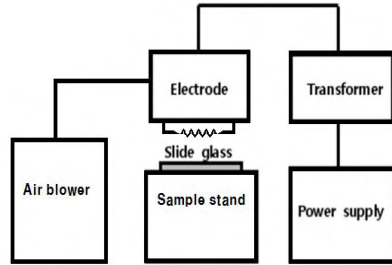


그림 102. CDPJ system 사진과 구조

표 12. CDPJ 장치 구성 및 제원

Components	Characteristics	Values
Power supply	Electrical source	220 V AC, single phase
	Output voltage	1.0 - 20.0 kV DC
	Output frequency	10.0 - 58.0 kHz
	Wave form	Pulsed sine wave
	Maximum power	2 kW
Air blower	Type	Centrifugal
	Impeller rotating speed	3312 rpm
	Power	0.18 kW
	Air velocity at plasma exit	2.5 m/s
Plasma generator	Electrode material	Tungsten lead
	Electrode dimension	Φ 3 mm x L 20 mm
	Discharge method	Corona discharge
Sample treatment	Moving mechanism	Linear sliding type
	Moving speed	0 - 5 cm/s

(나) 처리장치 특성 측정

① 소요전력

플라즈마 생성 시 소요되는 전력은 교류 단상 2선식 일반전력량계(Watt-hour meter, 600 rev/kWh, LSIS Co. Ltd, Anyang, Korea)를 사용하여 회전반의 10회 회전 시 소요되는 시간을 측정하여 이로부터 10회 회전에 해당하는 소비전력량을 산출하고 이를 시간으로 나누어 단위시간당 소비되는 전력(W)을 구하였음.

② 플라즈마 정상

LPDP 처리장치의 생성조건(생성기체 종류, 생성기체 압력, 플라즈마 출력)을 달리하여 발생시킨 플라즈마 정상을 촬영하였음.

③ 플라즈마 처리지점 온도

플라즈마 처리 시 처리지점의 시간에 따른 온도변화를 적외선온도계(TN408LC ThermaTwin, ZyTemp, HsinChu, Taiwan)를 사용하여 측정하였음.

(2) 저온플라즈마 살균력 측정

(가) 사용균주 및 배양

① 사용균주

사용균주는 표준균주로 세균은 *Escherichia coli* ATCC 25922, *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43894, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311, *Bacillus cereus* ATCC 14579, *Listeria monocytogenes* KCTC 3569, *Vibrio parahaemolyticus* KCTC 2729를 사용하였음. 효모는 *Saccharomyces cerevisiae*(La Parisienne, S.I. Lesaffre, Marcq-en-Baroeul, France)를 사용하였음.

② 균주 배양

세균은 tryptic soy broth(Becton, Dickinson and Company(BD Co.), Sparks, MD, USA)를 사용하여 증균배양(37 °C, 20-24 h)하고, 효모는 potato dextrose broth (BD Co.)를 사용하여 배양(30 °C, 36-40 h)한 배양액을 사용하였음.

(나) 살균 및 생균수 측정

① 플라즈마 살균

증균 한 배양액 20 µL를 슬라이드글라스 위에 지름 15 mm 정도의 원이 되도록 고르게 분산시킨 후 무균 상에서 2시간 상온 건조하였음. 슬라이드글라스를 저온플라즈마 처리장치 내 처리지점에 놓고 플라즈마별 생성조건을 달리하여 일정시간 처리하였음.

② 균수 측정

플라즈마 처리 후 clean bench 내에서 시험관에 담긴 멸균 생리식염수 10 mL 를 사용하여 자동피펫으로 슬라이드글라스로부터 균체를 씻어내어 회수하는 조작을 5회 이상 반복하여 시험관에 옮기고 이를 단계별 희석하였음. 희석액 100 µL 를 *Escherichia coli*

와 *Escherichia coli* O157:H7은 eosin methylene blue(EMB) agar(BD Co.)에, *Staphylococcus aureus*는 mannitol salt agar(MSA, BD Co.)에, *Salmonella typhimurium*은 xylose lysine desoxychlorate agar(XLD agar, BD Co.)에, *Bacillus cereus*는 mannitol-egg yolk-polymyxin(MYP) agar(BD Co.)에, *Listeria monocytogenes*는 Palcam agar(Oxoid, Hampshire, United Kingdom)에, *Vibrio parahaemolyticus*는 thiosulfate-citrate-bile salt-sucrose(TCBS) agar(BD Co.)에 도말하고 37 °C에서 20-24 시간 배양 후 30-300개의 집락을 선택하여 계수하고 희석배수를 곱하여 균수를 산출하였음. *Saccharomyces cerevisiae*는 potato dextrose agar(PDA, BD Co.)에 도말하고 25 °C에서 36-40시간 배양하여 측정하였음.

③ 살균패턴 조사

플라스마 살균패턴은 우선 식 (1)과 같은 1차 반응으로 해석을 시도하였음(Chun et al., 2002). 살균패턴이 구간에 따라 2 개의 직선으로 나뉘진 경우는 구간별로 회귀직선을 구하고, 각각의 기울기로부터 각 구간의 살균 속도상수(k_1 , k_2)를 구하였음. 의사 1차 반응(pseudo 1st order reaction)으로 전 구간에 걸쳐 적용하도록 제안된 식 (2)와 같은 Singh-Heldman(2009) 모델을 식 (3)과 같이 변형하여 $\log(t)$ vs. $\log[\log(N_0/N)]$ 에 대한 회귀직선을 구하고, 절편과 기울기로부터 곡선 형상 계수 n 과 D-like value(D' -값)를 산출하였음.

$$\ln \frac{N_0}{N} = kt \quad (1)$$

$$\log \frac{N_0}{N} = \left[\frac{t}{D'} \right]^n \quad (2)$$

$$\log[\log(\frac{N_0}{N})] = n \log(t) - n \log(D') \quad (3)$$

N_0 : initial microbial number

N : microbial number at time t

t : time (min)

k : sterilization rate constant (min^{-1})

D' : D-like value (min)

n : curve shape factor

④ 통계분석

실험결과는 Microsoft Excel을 사용하여 추세선식을 구하였고, 동일 실험변수 내 조건별 결과 간 비교를 위한 유의차 검정은 SAS 9.1(SAS Institute Inc., 2004)을 사용하여 Duncan 중범위검정을 실시하였음.

(3) 저온플라스마를 이용한 식품 살균

(가) 살균대상 식품

① 곡류

생식원료로 사용되는 곡류 중 백미, 현미, 보리(암맥)을 성남시 소재 재래시장 3곳과 대형마트 2곳에서 각각 5점씩 구입하였음.

② 새싹

새싹은 성남시 소재 대형마트 3곳에서 5점을 구입하여 사용하였음.

③ 김

건조 김은 성남에 위치한 재래시장 3 곳과 이마트, 홈플러스에서 각각 1 점씩 5 점을 구입하였음.

(나) 위해미생물 분석

① 총균수

곡류와 새싹은 10 g을 스토마커용 필터백(Filter bag, B01348, Nasco Whirl-pak, Atkinson, WI)에 넣고 90 mL 의 멸균 생리식염수를 가한 후 Stomacher(Masticator Silver, IUL Instruments, Königswinter, Germany)를 사용하여 균질하였음. 김은 1 g에 생리식염수 99 mL 를 가하여 균질하였음. 균질한 시료 1 mL 를 취하여 멸균 생리식염수로 단계별로 희석한 후 희석액 100 μ L 를 plate count agar(PCA, BD Co.)에 도말한 후 37 $^{\circ}$ C에서 20-24시간 배양하고 30-300개 사이의 집락수를 보인 Petri-dish를 선별하여 계수하였음. 김은 해양유래세균(marine bacteria)을 추가적으로 marine agar(BD Co.)에 도말하여 측정하였음.

② 진균류

위의 방법으로 조제하여 희석한 희석액 100 μ L 를 PDA(BD Co.)에 도말한 후 30 $^{\circ}$ C에서 36-40시간 배양하여 계수하였음.

③ 식중독균

대장균군은 희석액 100 μ L 를 EMB agar(BD Co.)에, 살모넬라는 XLD agar(BD Co.)에, 바실러스는 MYP agar(BD Co.)에, 포도상구균은 MSA(BD Co.)에, 리스테리아는 Palcam agar(Oxoid)에 도말한 후 37 $^{\circ}$ C에서 20-24시간 배양하여 계수하였음. 김의 비브리오는 TCBS agar(BD Co.)를 사용하여 측정하였음.

(다) 품질변화 측정

① 외관

저온플라스마 처리한 시료의 외관은 디지털카메라로 촬영하였음.

② 색

플라스마 처리한 시료의 색은 색차계(Color difference meter, CR-200, Minolta, Osaka, Japan)를 사용하여 L(lightness), a(redness) 및 b(yellowness)값을 측정하고 무처리 시료와의 색차(ΔE)를 식 (4)에 의해 계산하였음.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (4)$$

③ 산가

곡류 10 g을 분쇄기(HR2860, Philips Electronics Korea Ltd., Yongsan, Korea)에 넣고 10 초간 분쇄한 후 ethanol/ethyl ether 혼합액 100 ml에 1:2 비율로 분산시켰음. 분산액에 지시약으로 페놀프탈레인시약을 첨가한 후 엷은 홍색이 30 초간 지속될 때까지 0.01 N KOH으로 적정하여 식 (5)를 사용하여 산가를 계산하였음.

$$Acid\ value = \frac{\text{적정량} \times 5.611 \times 0.01N - KOH\text{역가}}{\text{시료채취량}(g)} \quad (5)$$

④ TBA가

위의 방법으로 분쇄한 곡류시료 2 g에 trichloro acetic acid(TCA) 200 g과 2M H₃PO₄를 1:4로 혼합한 TCA solution 2 mL와 TBA solution(thiobarbituric acid 1.471 g/1000 ml) 4 ml을 혼합하여 90 °C에서 15 분간 증탕한 후 ice bath에서 15 분간 냉각하였음. 이후 isoamyl alcohol/pyridine solution 혼합액(2:1) 6 mL 가하고 2000 x g에서 15 분간 원심 분리하였음. 원심분리 후 상층액 1 mL를 취하여 분광광도계(T60U, PG Instruments Ltd., Beijing, China)에서 550 nm 흡광도로부터 식 (6)을 사용하여 TBA가를 계산하였음.

$$TBA\ value = absorbance \times 100 \times 1.5 \quad (6)$$

⑤ 폴리페놀

해조류의 폴리페놀은 Dewanto et al.(2002) 방법을 사용하여 분석하였음. 시료 1 g을 95% 에탄올 30 mL에 가하여 교반기(MX-RL-Pro, Pioneer)를 사용하여 50 rpm으로 교반하면서 24시간 추출하여 얻어진 상층액을 증발원심분리기(Centra-Vac VS-802, Vision Scientific Co. Ltd., Daejeon, Korea)에서 완전히 증발하였음. 농축 후 에탄올 1.0 mL를 가하여 녹인 시료 0.1 mL를 취하고 여기에 Folin-Ciocalteu 시약(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 0.2 mL을 첨가하여 23 °C에서 1분간 방치하였음. 이후 5% sodium carbonate 용액 3 mL을 가하여 23 °C에서 2시간 반응시키고 분광광도계(T60U, PG Instruments Ltd.)에서 765 nm에서 흡광도를 측정하고 gallic acid(Sigma Co.) 검량 곡선을 사용하여 gallic acid 농도(ppm)로 산출하였음.

⑥ DPPH(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl)라디칼 소거능

해조류의 DPPH라디칼 소거능은 Kim & Lee(2007) 방법으로 측정하였음. 위의 폴리페놀 분석방법과 같이 추출하여 농축한 후 에탄올로 녹인 시료 1 ml에 0.2 mM DPPH(Sigma Co.)용액 1 ml을 첨가하고 교반기(SK-330L-Pro, Pioneer, Anyang,

Korea)에서 350 rpm으로 30분간 교반하면서 반응시켰음. 반응액의 517 nm에서의 흡광도를 분광광도계(T60U, PG Instruments Ltd.)로 측정하여 식(7)에 의해 DPPH라디칼 소거능을 계산하였음.

$$DPPH \text{ radical scavenging activity}(\%) = \left(\frac{\text{시료 흡광도}}{\text{공시료 흡광도}} \right) \times 100 \quad (7)$$

(4) 저온플라스마 현장적용 모델

(가) 현장적용시스템 개발

- ① 원격코로나방전플라스마제트(R-CDPJ, remote corona discharge plasma jet)처리장치
 식품의 크기와 모양에 관계없이 저온플라스마를 처리하려면 상압에서 운영이 가능하고 처리공간이 충분히 커야 하므로 그림 103와 같이 대용량 처리실로 CDPJ를 작동시킨 공기를 유입하여 식품과 접촉하게 하는 방식으로 처리하는 after glow remote CDPJ(R-CDPJ) 장치를 고안하였음.

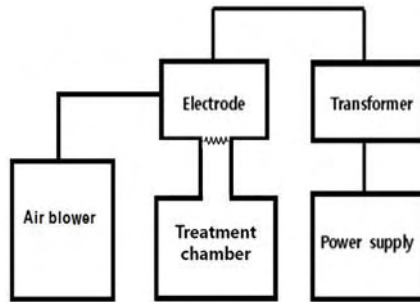


그림 103. R-CDPJ 장치 구조

- ② R-CDPJ 처리실 온도 및 습도

R-CDPJ 처리실 내의 온도와 습도는 온습도계(TR-74UI, T&D Co., Matsumoto, Japan)를 처리지점에 설치하여 측정하였음.

(나) 표면 살균력 조사

표준균주를 접종하여 증균한 배양액 20 μ l를 슬라이드글라스 위에 지름 15 mm 정도의 원이 되도록 고르게 분산시킨 후 건조한 슬라이드글라스를 R-CDPJ 처리실 내에 위치하고 일정시간 처리한 후 살균정도를 조사하였음.

(다) 식품적용 시험

① 시료 선정

R-CDPJ 처리대상 시료로는 곡류로는 백미, 현미, 압맥을, 과채류로는 새싹, 파프리카, 고추, 토마토를, 해조류로는 김과 다시마를 성남시 소재 재래시장 3곳과 대형마트 2곳에서 구입하여 사용하였음.

② 오염도 조사

선택 시료에 존재하는 총균, 진균, 대장균군, 살모넬라, 바실러스, 포도상구균, 리스테리아, 비브리오를 앞의 방법으로 조사하였음.

③ 품질변화 조사

R-CDPJ 처리한 식품의 외관과 색도를 측정하였고, 곡류는 산가와 TBA가를, 김은 폴리페놀함량과 DPPH라디칼 소거능을, 과채류는 경도를 추가하여 분석하였음. 경도는 과일경도계(fruit hardness tester, FHR-5, Takemura Denki Seisakusho Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였음.

나. UV 광펄스를 이용한 식품 표면 살균 기술의 개발

(1) UV 광펄스 기술에 대한 문헌 고찰

(2) UV 광펄스 시스템의 Set-up

(3) UV 광펄스를 이용한 신선 식품의 표면 살균 적용

(가) 방사선 저항 세균 *Micrococcus roseus*의 광펄스 살균

① 시료 및 사용균주

실험에 사용한 김은 시중에서 유통되고 있는 다섯 종류(서해김, 진도김, 해남김, 파래김, 재래김)를 재래시장과 대형유통매장에서 구입하여 냉동보관하면서 사용하였음.

실험에 사용한 *M. roseus*는 파래김을 생리식염수로 10배 가수한 후 고르게 현탁한 다음 단계적 희석방법으로 Nutrient agar (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 평판 배지에 도말하여 37 °C에서 48시간 배양 한 후 평판배지에 붉은 색의 균락을 순수분리 하고 계대 배양하여 냉장보관하면서 사용하였음.

사멸실험에 사용한 *M. roseus*는 배양액으로 Nutrient broth (Difco Laboratories)를 사용하여 37 °C에서 24시간 전 배양 한 후 50 mL의 배지에 1 mL 접종한 후 37 °C에서 분 배양하여 대수증식기 후반기의 균체를 수거하여 사용하였으며, 수거한 배양액은 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 세포를 침전시킨 후 0.85% 멸균생리식염수로 재현탁하고 원심분리 하는 과정을 2회 반복한 후 실험에 사용하였고, 균체 배양액은 매번 동일한 조건에서 새로이 배양하여 사용하였음.

② 광펄스 처리 장치 및 방법

본 연구에 사용된 광펄스 처리장치는 전원 공급부, 펄스 발생기, 램프 그리고 처리용기 등으로 구성되어 있다. 전원 공급부는 일반 상용 전원을 사용할 수 있도록 구성하여 AC 220V, 50/60 Hz의 단상의 전원을 사용하였으며, 소비전력은 1.2 kW로 설계되었

음.

출력부는 DC 전원으로 0-1200 V의 상시 전압을 출력할 수 있도록 하였으며, 전류는 안전을 고려하여 1 A 미만이 되도록 하였고, 사용가능한 주파수(pulse number)는 1-50 Hz이고, 1회 작동할 수 있는 최대 시간은 60분으로 하였음.

처리용기는 광원과 처리 시료간의 거리를 조정할 수 있도록 칸을 나누어 spacer를 활용하도록 제작하였음.

사용된 광원은 Xenon XAP series의 flash 램프(NL 4006, Heraeus Noblelight, Cambridge, UK)로 무수한 xenon 가스로 충전되어 있어 램프로부터 빛을 이끌어내기 위해서는 xenon 가스를 여기시켜 플라즈마를 형성시켜야하며, xenon 가스를 여기시키기 위한 triggering 최소 전압은 16 kV이며, 상시적으로 600-1200 V의 전압이 공급되어야 하기 때문에 이에 맞는 전원 공급부를 제작하여 사용하였음.

*M. roseus*의 사멸처리는 균체가 도달된 평판배지를 전압 500-1000V, 평판배지와 램프사이의 거리 6.0-9.7 cm, 펄스수 3-10 Hz의 범위에서 광펄스 처리를 하였으며, 처리시간은 1-10분 사이에서 임의의 시간을 선택하여 처리하였음.

③ 생균수의 측정

Nutrient broth 배지에서 배양한 *M. roseus*를 평판배지에 도달하고 균주가 도달된 평판배지를 광펄스 처리한 후 37 °C에서 48-72시간 배양하여 평판배지에 형성된 균락수를 계수하였으며, 균락수는 30-300개 사이의 것을 계수하였으며 CFU/mL로 나타내었음.

광펄스 처리에 따른 균체의 생존율은 초기균수(N_0)에 대한 처리 후 생균수(N)의 비율로 표시하였으며, 모든 실험은 각 시료당 3회 반복 실험하여 측정하였음.

④ 사멸속도(k) 및 D값

광펄스 처리에 따른 *M. roseus*의 빛의 세기, 펄스수, 거리에 따른 사멸 속도(k)와 D값은 각 변수에서 시간에 따른 사멸곡선에서 직선부분을 선택하여 회귀분석을 통해 분석하였음.

(나) UV 광펄스 처리에 의한 마른 김의 비가열 살균

① 실험 재료

실험에 사용된 김은 시중에서 유통되고 있는 다섯 종류(서해김, 진도김, 해남김, 과래김, 재래김)를 재래시장과 대형유통매장에서 2차례에 걸쳐 구입하였으며, 모든 시험에 사용된 시료는 -18 °C의 냉동실에 보관하면서 사용하였다. 5종류의 김에 존재하는 총균수를 측정한 후 가장 많은 균의 분포를 보인 과래김을 실험의 주시료로 사용하였음.

② 광펄스 처리 장치 및 시료 처리 방법

본 연구에 사용된 광펄스 처리장치는 전원 공급부, 펄스 발생기, 램프 그리고 처리용기 등으로 구성되어 있음.

전원 공급부는 일반 상용 전원을 사용할 수 있도록 구성하여 AC 220V, 50/60 Hz의 단상의 전원을 사용하였으며, 소비전력은 1.2 kW로 설계되었다. 출력부는 DC 전원으로 0-1,200 V의 상시 전압을 출력할 수 있도록 하였으며, 전류는 안전을 고려하여 1 A 미

만이 되도록 하였고, 사용가능한 주파수(pulse number)는 1-50 Hz이고, 1회 작동할 수 있는 최대 시간은 60분으로 하였음.

처리용기는 광원과 처리 시료간의 거리를 조정할 수 있도록 칸을 나누어 spacer를 활용하도록 제작하였으며, 사용된 광원은 Xenon XAP series의 flash 램프(NL 4006, Heraeus Noblelight, Cambridge, UK)로 무수한 xenon 가스로 충전되어 있어 램프로부터 빛을 이끌어내기 위해서는 xenon 가스를 여기시켜 플라즈마를 형성시켜야 하며, xenon 가스를 여기시키기 위한 triggering 최소 전압은 16 kV이며, 상시적으로 600-1,200 V의 전압이 공급되어야 함.

병원성 대장균인 *Escherichia coli* O157:H7의 사멸처리는 균체가 도달된 평판배지를 전압 500-1000 V, 평판배지와 램프사이의 거리 6.0-9.7 cm, 펄스수 3-10 pps의 범위에서 광펄스 처리하였으며, 처리시간은 10-120초 사이에서 임의의 시간을 선택하여 처리하였음.

마른 김은 가로 10 cm × 세로 5 cm의 크기로 절단한 후 전압 1000 V, 5 pps의 조건에서 1-10분 사이에서 임의의 시간을 선택하여 처리하였으며, 빛이 절단된 김 전체에 조사될 수 있도록 7.9 cm의 거리에서 실시하였음.

③ 생균수의 측정

Tryptic soy broth(TSA, Difco Laboratories, Sparks, MD, USA) 배지에서 배양한 *E. coli* O156:H7을 평판배지에 도말하고 균주가 도달된 평판배지를 광펄스 처리한 후 37 °C에서 12-24시간 배양하여 평판배지에 형성된 균락수를 계수하였음.

마른 김은 250 mL의 삼각플라스크에 시료 3 g과 멸균 생리 식염수에 27 mL를 넣고 5분 동안 진탕 배양하여 적절한 희석배수로 희석한 후 평판배지에 도말하여 37 °C에서 48-72시간 배양하여 평판배지에 형성된 균락수를 계수하였음.

균락수는 30-300개 사이의 것을 계수하였으며 CFU/mL로 나타내었으며, 광펄스 처리에 따른 균체의 생존율은 초기균수(N_0)에 대한 처리 후 생균수(N)의 비율로 표시하였으며, 모든 실험은 각 시료당 3회 반복 실험하여 측정하였음.

④ 색도 및 온도 측정

광펄스 처리 전후의 마른 김의 색도 변화는 색차계(Chroma meter R-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며, hunter scale에 의한 L(lightness), a(redness) 및 b(yellowness) 값을 측정하고 아래식을 이용하여 색차(ΔE)를 계산하였음.

이 때 사용한 표준색판의 값은 L=98.31, a=1.01, b=2.32이었음.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

마른 김의 시료 표면 온도는 T-type의 thermocouple을 시료 표면에 부착하고 datalogger (GI 200-UM-851, Graphtec, Santa Ana, CA, USA)를 이용하여 측정하였음.

⑤ 사멸 속도 및 D값

광펄스 처리에 따른 *E. coli* O157:H7의 빛의 세기, 펄스 수, 거리에 따른 사멸 속도 (K)와 D 값은 각 변수의 시간에 따른 사멸곡선에서 tailing 부분을 제외한 직선부분을 선택하여 회귀분석을 통해 분석하였음.

(다) UV 광펄스 처리에 의한 파프리카의 이화학적 변화

① 실험 재료

실험에 사용된 파프리카는 실험 때마다 시중 대형마트에서 신선한 것을 선별하여 구매를 하였으며, 파프리카의 원산지는 국내산으로 한정하여 구매하였음.

실험에 사용된 파프리카의 품종은 적색 품종은 Special (*Capsicum annuum* L. cv. Cupra), 황색 품종은 Fiesta (*Capsicum annuum* L. cv. Chelsa), 주황색 품종은 President (*Capsicum annuum* L. cv. Orange glory)였음.

② 광펄스 처리 장치 및 방법

본 연구에 사용된 고강도 광원 처리 장치(광펄스 처리 장치)는 전원 공급부, 펄스 발생기, 광원(램프) 그리고 처리용기 등으로 구성되어져 있음.

전원 공급부는 일반 상용 전원을 사용할 수 있도록 구성하여 AC 220 V, 50/60 Hz 단상의 전원을 사용하였으며, 소비전력은 1.2 kW로 설계되었고, 출력부는 DC 전원으로 0-1,200 V의 상시 전압을 출력할 수 있도록 하였으며, 전류는 안전을 고려하여 1 A 미만이 되도록 하였고, 사용가능한 주파수(frequency)는 1-50 Hz로 제작되었으며, 1회 작동할 수 있는 시간은 최대 60분으로 하여 장치에 무리가 가지 않도록 하였음.

처리용기는 광원과 처리 시료간의 거리를 조정할 수 있도록 칸을 나누어 spacer를 활용하도록 하였으며, 사용된 광원은 xenon XAP series의 flash 램프(NL 4006, Heraeus Noblelight, Cambridge, UK)로 무수은 xenon 가스로 충전되어 있어 램프로부터 빛을 이끌어 내기 위해서는 xenon gas를 여기시켜 플라즈마를 형성시켜야 하며, Xenon 가스를 여기시키기 위한 triggering 최소 전압은 16 kV이며, 상시적으로 600-1200 V의 전압이 공급되어야 함.

실험장치의 전체적인 구성도는 그림 104과 같으며, xenon 램프에서 발생하는 광원의 파장과 강도는 Radiometer (ILT 900, Internationallight technologies, Peabody, MA, USA)로 측정하였으며 Fig. 2와 같음.

파프리카의 광펄스 처리는 시료를 각각 25 g을 취하여 빛의 세기 1000 V, 펄스폭 10 μ s, 펄스 수 5 pps, 광원과 시료와의 거리 6 cm에서 파프리카의 겉면과 안쪽면을 각각 10분씩 처리하였음.

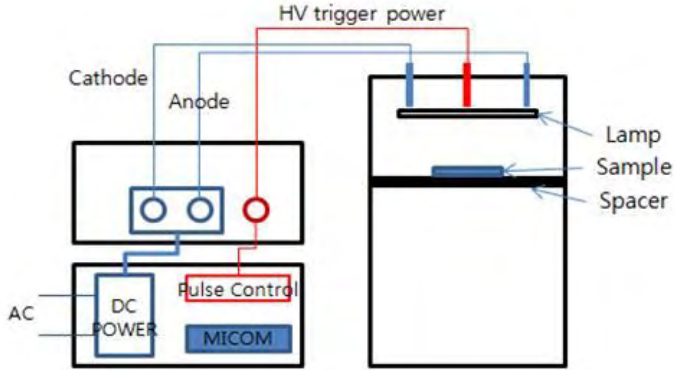


그림 104. 고강도광펄스 장치의 개략도

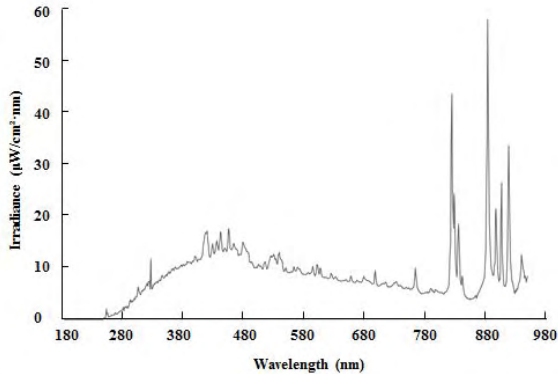


그림 105. 고강도광펄스 장치 광원의 에너지 밀도와 파장범위

③ 생균수의 측정

광펄스 처리하지 않은 시료와 처리한 시료를 각각 25 g을 취하여 멸균 생리 식염수 (NaCl 0.85%) 225 mL를 넣고 stomacher (Stomacher Lab Blender, 400, Seward, NY, USA)를 이용하여 약 40초간 중속으로 균질화 시킨 후 멸균 생리 식염수를 사용하여 단계적 희석법에 의해 적절한 배수로 희석하였으며, 희석한 시료 1 mL를 취하여 pouring method법으로 PCA 배지에 plating을 한 후 37 °C에서 24-48시간동안 배양한 후 집락수가 30-300개가 되는 평판을 계수하여 측정하였음.

④ Firmness의 측정

광펄스 처리 전후의 파프리카를 5×4 cm의 크기로 동일하게 자른 후 texture analyser (TAXT Express-Enhanced, Stable Microsystems Ltd., London, England)를 이용하여

측정하였으며, 이 때 지름 3 mm의 plunger를 이용하여 firmness를 측정하였고, 분석 조건은 pre-test speed 2.0 mm/sec, test speed 1.0 mm/sec, post-test speed 10 mm/sec, distance 10 mm/sec, trigger force 5 g 으로 하여 3 곳을 측정한 후 평균값을 구하였음.

⑤ 비타민 C 함량 측정

시료 2 g에 20 mL의 10% 메타인산용액을 가하여 10분간 현탁시킨 후 적당량의 5% 메타인산용액을 넣어 균질화한 후 시료를 100 mL 메스플라스크에 옮기고 소량의 5% 메타인산용액으로 용기를 씻은 후 메스플라스크에 합하여 100 mL로 정용한 후 0.22 μ m membrane filter로 여과한 후 HPLC (1100 series, Hewlett-Packard Co., Palo Alto, CA, USA)로 분석하였음.

Column은 μ -Bondapak NH₂ (3.9 \times 30 cm, I.D.)를 사용하였고, solvent와 flow rate은 각각 0.05 M KH₂PO₄:acetonitrile (60:40)과 1 ml/min으로 하였으며, UV 파장과 injection volume은 254 nm와 20 μ l였음.

⑥ 총 폴리페놀 함량 측정

광펄스 처리한 시료와 처리하지 않은 시료를 각각 10 g씩 취한 후 멸균 생리 식염수 90 mL를 넣고 균질기로 균질화한 후 4,000 rpm에서 10분간 원심분리(Gyro 406G, Gyrozen Co. Ltd., Seoul, Korea)하여 상등액 1 mL에 Folin-ciocalteu 시약 및 10% Na₂CO₃ 용액을 1 mL씩 차례로 가한 후 실온에서 1시간 정지한 다음 분광광도계 (Optizen 2120 UV, Mecasys Co. Ltd., Daejeon, Korea)를 이용하여 735 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로는 gallic acid (Kanto Chemical Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 얻은 표준 검량곡선으로부터 추출물의 총 페놀함량을 산출하였음.

⑦ 색도 측정

광펄스 처리 전후의 시료를 5 \times 4 cm의 크기로 동일하게 자른 후 색차계(Chroma meter R-400, Minolta Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 색도를 측정하였으며, 이 때 백색 판의 L (Lightness), a (redness), b (yellowness) 값은 각각 97.31, -1.01, 2.32였고, 모든 실험은 3회 반복 측정하였으며 그 평균값을 hunter scale에 따라 값을 나타내었음.

⑧ pH 및 당도 측정

pH는 광펄스 처리 전후의 시료를 각각 10 g씩 취한 후 멸균 생리식염수 90 mL를 넣고 균질기로 균질화한 후 삼각플라스크에 넣고 pH meter (Docu-pH meter, Satorius, Gottingen, Germany)를 이용하여 측정하였으며, 당도는 광펄스 처리 전후 시료를 즙을 내어 당도계(RA-252H, Kyoto Electronics Mfg. Co. Ltd., Kyoto, Japan)를 사용하여 3번 측정한 후 평균값을 사용하였음.

⑨ 수분 함량 측정

광펄스 처리 전후의 시료를 2 \times 2 cm의 크기로 동일하게 자르고 칭량접시에 담아 칭량한 후 105-110 $^{\circ}$ C로 조절된 dry oven에 2시간 가열한 다음 desiccator로 옮겨 30분간 방냉한 후 칭량하였고, 전후의 칭량값의 차이가 0.03 mg이하가 될 때까지 반복한 후 광펄스 처리 전후의 수분함량을 측정하였음.

⑩ 통계처리

광펄스 처리에 의한 과프리카의 이화학적 변화에 실험은 3회 측정하여 SPSS ver. 17.0을 이용하여 통계 처리하였고, ANOVA 분석과 Duncan's multiple range test에 의한 다중비교를 실시하였으며, 유의 수준은 $p < 0.05$ 수준임.

(라) UV 광펄스 처리에 의한 새싹채소의 미생물 저감효과

① 실험 재료

실험에 사용한 새싹채소는 시중에서 유통되고 있는 유채, 다채, 콜라비, 적무싹 4종의 새싹이 들어있는 새싹 비빔밥용 새싹을 대형유통매장에서 구입하여 사용하였다. 4종류의 새싹에 존재하는 총균수를 측정된 후 가장 많은 균의 분포를 보인 유채를 실험의 주시료로 사용하였음.

② 광펄스 처리 장치 및 시료처리 방법

본 연구에 사용된 광펄스 처리 장치는 전원 공급부, 펄스 발생기, 램프 그리고 처리용기 등으로 구성되어 있음.

전원 공급부는 일반 상용 전원을 사용할 수 있도록 구성하여 AC 220 V, 50/60 Hz 단상의 전원을 사용하였으며, 소비전력은 1.2 kW로 설계되었다. 출력부는 DC 전원으로 0-1200 V의 상시 전압을 출력할 수 있도록 하였으며, 전류는 안전을 고려하여 1 A 미만 이 되도록 하였고, 사용가능한 주파수(pulse number)는 1-50 Hz이고, 1회 작동할 수 있는 시간은 최대 60분으로 하였음.

처리용기는 광원과 처리 시료간의 거리를 조정할 수 있도록 칸을 나누어 spacer를 활용하도록 하였으며, 사용된 광원은 Xenon XAP series의 flash 램프(NL 4006, Heraeus Noblelight, Cambridge, UK)로 무수한 xenon 가스로 충전되어 있어 램프로부터 빛을 이끌어 내기 위해서는 xenon gas를 여기시켜 플라즈마를 형성시켜야 하며, Xenon 가스를 여기시키기 위한 triggering 최소 전압은 16 kV이며, 상시적으로 600-1,200 V의 전압이 공급되어야 함.

유채 3 g을 plate에 얇게 깔아 전압 700 V, 850 V, 1000 V, 거리 6.7-9.7 cm, 5 pps의 조건에서 120-600초 사이에서 임의의 시간을 선택하여 처리하였음.

③ 생균수의 측정

광펄스 처리한 유채는 3 g을 9 mL 생리식염수에 넣어 균질화 시켜 희석배수로 희석한 후 Plate count Agar, Desoxycholate Lactose Agar, MacConkey Sorbitol Agar (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 평판배지에 도말하여 37 °C에서 24시간 배양하여 평판배지에 형성된 균락수를 계수하였음.

균락수는 30-300개 사이의 것을 계수하였으며 CFU/mL로 나타내었으며, 광펄스 처리에 따른 균체의 생존율을 초기균수(N_0)에 대한 처리 후 생균수(N)의 비율로 표시하였으며, 모든 실험은 각 시료당 3회 반복 실험하여 측정하였음.

다. 저온 플라즈마와 UV 광펄스 병합처리에 의한 미생물 저감 효과

① 실험 재료

실험에 사용한 새싹채소는 시중에서 유통되고 있는 유채, 다채, 콜라비, 적무싹 4 종의 새싹이 들어있는 새싹 비빔밥용 새싹을 대형유통매장에서 구입하여 사용하였다. 4 종류의 새싹에 존재하는 총균수를 측정할 후 가장 많은 균의 분포를 보인 유채를 실험의 주시료로 사용하였음.

② 광펄스 및 저온플라즈마의 병합처리

본 연구에 사용된 광펄스 처리 장치는 전원 공급부, 펄스 발생기, 램프 그리고 처리용기 등으로 구성되어 있음.

전원 공급부는 일반 상용 전원을 사용할 수 있도록 구성하여 AC 220 V, 50/60 Hz 단상의 전원을 사용하였으며, 소비전력은 1.2 kW로 설계되었다. 출력부는 DC 전원으로 0-1200 V의 상시 전압을 출력할 수 있도록 하였으며, 전류는 안전을 고려하여 1 A 미만 이 되도록 하였고, 사용가능한 주파수(pulse number)는 1-50 Hz이고, 1회 작동할 수 있는 시간은 최대 60분으로 하였음.

처리용기는 광원과 처리 시료간의 거리를 조정할 수 있도록 칸을 나누어 spacer를 활용하도록 하였으며, 사용된 광원은 Xenon XAP series의 flash 램프(NL 4006, Heraeus Noblelight, Cambridge, UK)로 무수한 xenon 가스로 충전되어 있어 램프로부터 빛을 이끌어 내기 위해서는 xenon gas를 여기시켜 플라즈마를 형성시켜야 하며, Xenon 가스를 여기시키기 위한 triggering 최소 전압은 16 kV이며, 상시적으로 600-1,200 V의 전압이 공급되어야 함.

유채 3g을 Plate에 얇게 깔아 전압 1000V, 거리6.7cm, 5pps의 조건에서 120-600초 사이에서 임의의 시간을 선택하여 처리하였음.

저온플라즈마는 코로나방전플라즈마체트(CDPJ)처리장치에서 전류 1.5 A에서 플라즈마를 발생시키고 토출구 하단 25 mm 지점에서 페트리접시에 유채새싹 3 g을 넓게 펴서 담아 일정시간 처리하였음.

③ 생균수 측정

광펄스 처리한 유채는 3g을 9mL 생리식염수에 넣어 균질화 시켜 희석배수로 희석한 후 Plate count Agar, Desoxycholate Lactose Agar, MacConkey Sorbitol Agar(Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 평판배지에 도말하여 37 °C에서 24시간 배양하여 평판배지에 형성된 균락수를 계수하였음.

균락수는 30-300개 사이의 것을 계수하였으며 CFU/mL로 나타내었으며, 광펄스 처리에 따른 균체의 생존율을 초기균수(N_0)에 대한 처리 후 생균수(N)의 비율로 표시하였으며, 모든 실험은 각 시료당 3회 반복 실험하여 측정하였음.

3. 연구 결과

가. 저온 플라즈마를 이용한 식품표면 살균기술 개발

(1) 저온플라즈마 장치 및 특성

(가) LPDP 처리장치

① 출력

출력조절장치(power rate control volume)를 조절하여 LPDP를 생성할 때 인가되는 전력을 측정된 결과 그림 104와 같이 power volume 20%에서부터 전력이 인가되었으며, 이후 power volume에 비례하여 전력이 공급되었음.

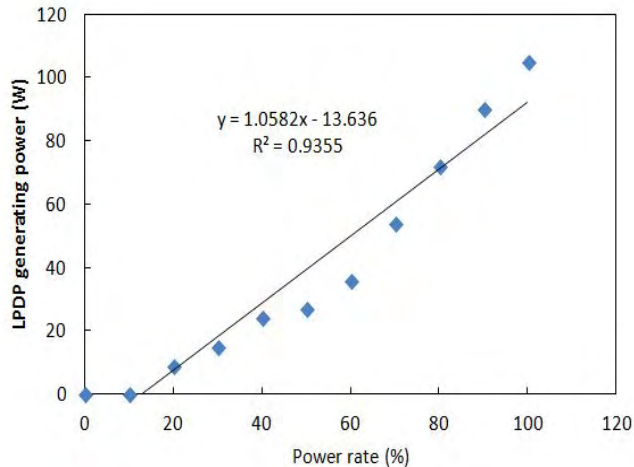


그림 106. LPDP 생성 시 인가동력레벨에 따른 소비전력

② 소비전력

LPDP 처리장치 운전 시 단계별 소비전력과 전극에 전류를 인가하는 동력비율에 따른 소비전력을 측정된 결과 그림 105과 같았음. LPDP 장치 가동을 기본 동력으로 467 W가 소요되었으며, 이는 장치 특성 상 주전원스위치를 켜는 순간 감압펌프가 공회전을 시작하기 때문이었음. 밸브를 열어 처리실 내의 공기가 배출될 때는 503 W가, 플라즈마 생성기체를 유입할 때는 507 W가 소비되었음. 이후 전극에 인가하는 동력비율을 32 - 36%로 높이면 LPDP 생성이 개시되었고, 인가동력레벨을 40, 60, 80%로 높임에 따라 소비전력은 각각 526, 563, 602 W로 증가하였으며, 100%(full power)로 높인 경우는 675 W가 소비되었음.

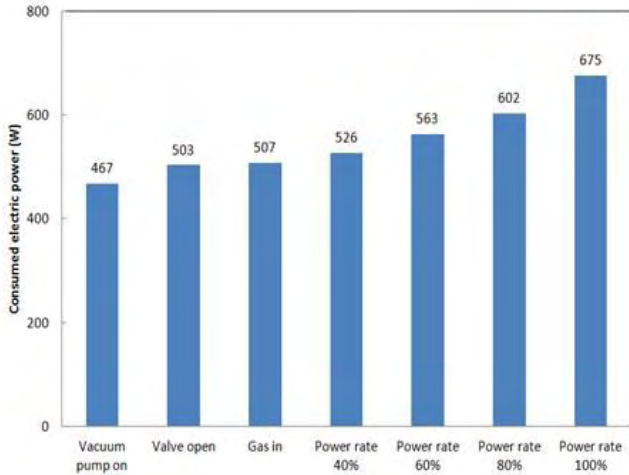


그림 107. LPDP 처리장치 구동 단계별 소비전력

③ LPDP 성장

기체 종류별 LPDP 성상은 그림 106과 같이 기체 종류에 따라 각기 다른 색을 나타내었음. 생성기체로 산소를 사용한 경우는 아주 옅은 보라색을 나타내었고, 질소를 사용한 경우는 청색이 가미된 분홍색을 보였음. 공기의 경우는 질소와 산소의 중간색인 보라색이 가미된 분홍색을 나타내었음. 이러한 색깔의 차이는 플라즈마를 구성하고 있는 물질이 다르기 때문에 나타난 현상으로 질소의 경우는 질소원자, N-라디칼, 자외선 등에 의해 분홍색을 보이며, 산소의 경우는 산소원자, 일중항산소(singlet oxygen), 초과산화물(superoxides), 오존 등 무색의 물질이 주류를 이루며 함께 발생한 자외선 부근의 파장의 광선에 의해 보라색을 나타내었음. 일반적으로 인가전력이 높을수록 밝은 색의 플라즈마가 생성되었음.

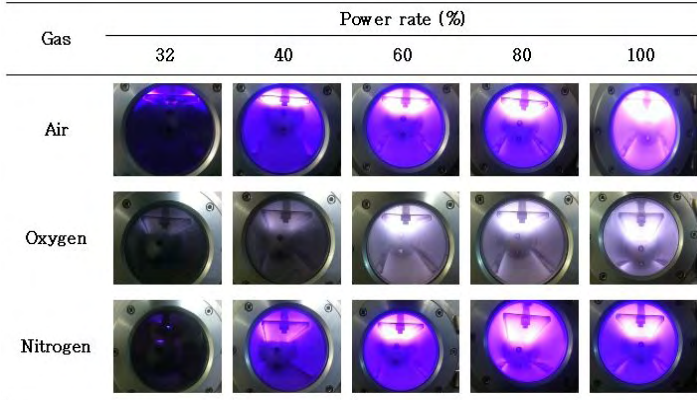


그림 106. 생성기체를 달리한 동력별 LPDP 성상

플라스마 생성기체로 공기를 사용하고 감압정도(절대압력)를 달리하여 생성한 LPDP의 성상은 그림 107과 같이 압력 0.7 - 2.0 Torr 범위에서는 안정한 플라스마가 생성되었으며 압력 1.0 Torr에서 플라스마 생성량이 풍부하여 가장 밝은 빛을 띠었음. 그러나 5.0 Torr이상의 압력에서는 플라스마 생성이 매우 불안정하고 생성량도 낮았음. 이로부터 LPDP 발생에 적합한 기체압력은 1.0 Torr로 확인되었음. 또한 인가전력에 비례하여 LPDP 생성량이 증가하였음.

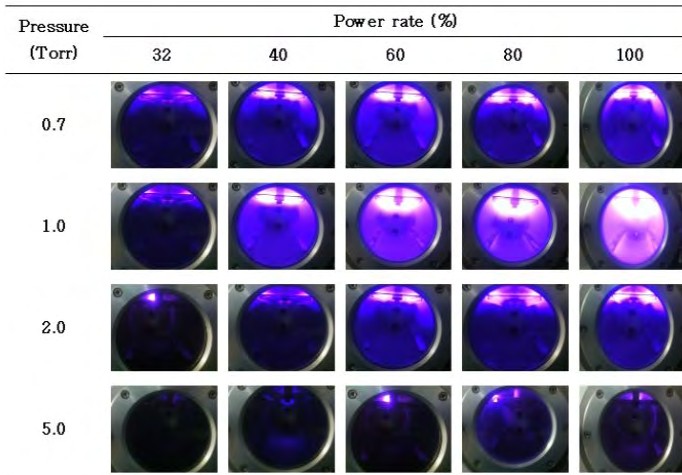


그림 107. 감압정도(절대압력)와 동력별 공기 LPDP 성상

④ LPDP 처리실 온도

생성기체의 압력을 달리하고 최대 출력에서 기체 종류별로 LPDP를 발생시킨 후 시간에 따른 처리실 내 온도변화를 조사한 결과 그림 108와 같이 처리시간에 따라 온도가 상승하여 10분 처리 후에는 45 ℃ 부근까지 상승하였음. 생성기체 종류와 압력에 따른 온도상승 정도의 차이는 거의 없었음.

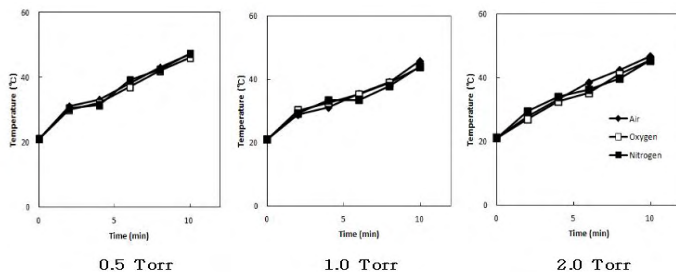


그림 108. 압력 및 생성기체별 LPDP 처리실 내 온도변화

생성기체별로 압력을 1.0 Torr로 설정하고 인가동력을 달리하여 처리시간별 처리실 내 온도를 측정된 결과는 그림 109와 같이 생성기체에 따른 차이는 없었으나 인가동력에 따라 온도가 상승하여 최대동력으로 10분간 처리 시 처리실 온도는 45 ℃까지 상승하였음.

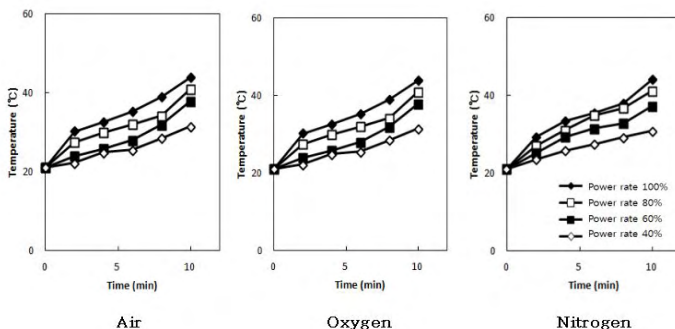


그림 109. 생성기체 및 인가동력별 LPDP 처리실 온도변화

(나) 유전체장벽방전플라즈마(DBDP) 처리장치

① 주파수와 전극-그라운드 간격별 소비전력

전극-그라운드 간격(이하 전극간격으로 칭함)과 주파수를 달리하여 DBDP 생성할 때 전류의 변화는 그림 110과 같이 30 kHz 이상에서 플라즈마가 생성되었으며 이후 주파수

에 비례하여 전류가 직선적으로 높아졌음. DBDP 발생에 필요한 전류는 전극간격에 따라서도 높아졌음.

소비전력량은 그림 111와 같이 주파수 30 kHz 이상에서는 주파수에 비례하여 소비전력이 높아졌으며, 전극간격 0.85 mm와 1.85 mm에서는 비교적 낮은 전력소비를 보인 반면 2.65 mm 이상에서는 전력소비량이 급격하게 증가하였음.

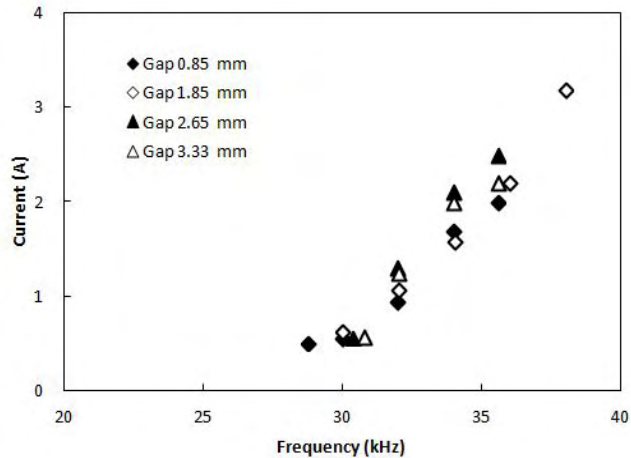


그림 110. DBDP 생성 시 주파수에 따른 인가 전류

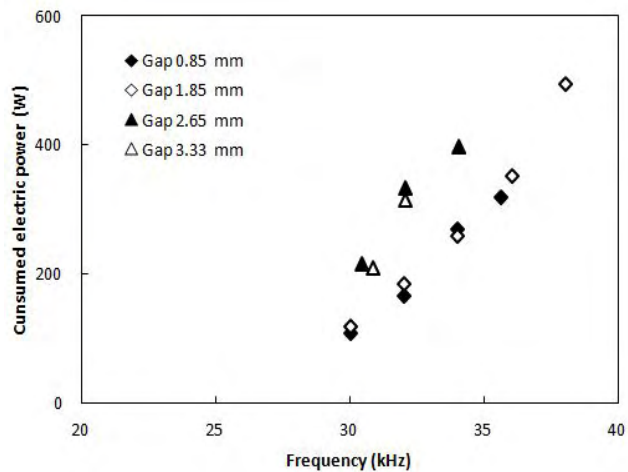


그림 111. DBDP 생성 시 주파수와 전극간격에 따른 소비전력 변화

② DBDP 성장

전류세기와 전극간격을 달리하여 발생시킨 DBDP의 형상은 그림 112과 같으며 발생된 플라즈마는 밝은 보라색을 띤다. 전극간격 1.85 mm부터 플라즈마가 생성되었고, 2.65 mm에서 가장 안정된 플라즈마가 생성되었음. 전극간격이 3.33 mm를 초과하면 플라즈마가 고르게 발생하지 않고 한곳으로 집중되는 현상을 보여주었으며, 4.00 mm 이상에서는 플라즈마의 생성이 정상적으로 이루어지지 않고 아크가 발생하였음.

전류세기별 DBDP 성상은 0.75 A부터 플라즈마가 발생하기 시작하여 전류세기에 따라 플라즈마의 생성이 풍부해져 최대 1.25 A까지 안정된 플라즈마를 생성하였음. 이와 같은 결과를 바탕으로 전극간격 2.65 mm, 전류세기 1.25 A가 최적 DBDP 생성조건으로 확인되었음.

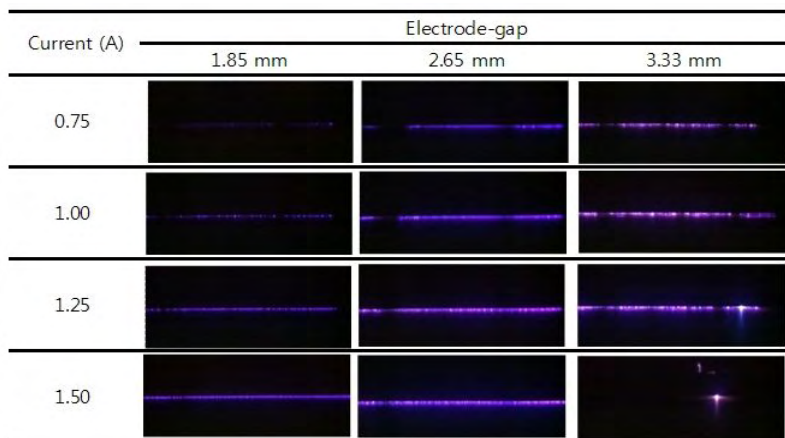


그림 112. 전류와 전극간격에 따른 DBDP 성상

③ DBDP 온도

전극간격을 2.65 mm로 고정하고 전류세기를 달리하여 생성한 DBDP 온도는 그림 113와 같이 전류세기에 따라 온도상승이 높아졌으며, 1.25 A로 5분 처리 시 최대 40 ℃까지 상승하였음. 전류 1.25 A에서 전극간격별 온도변화는 그림 114와 같이 2.65 mm에서 온도상승이 가장 컸고, 1.85 mm와 3.33 mm의 온도상승은 유사하였음.

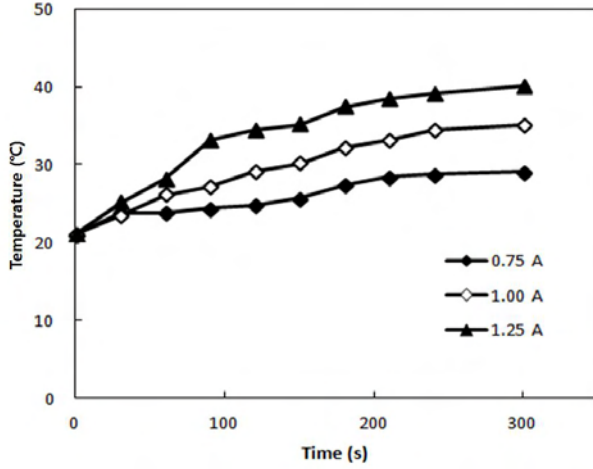


그림 113. 전류세기별 DBDP 온도변화

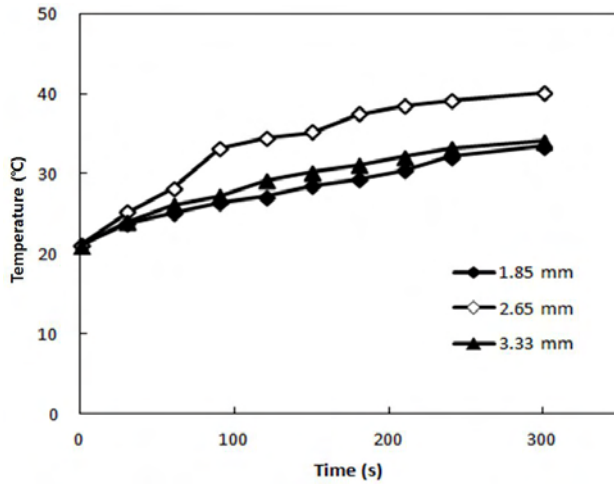


그림 114. 전극 간격별 DBDP 처리 시 온도변화

DBDP의 처리 시 시료 처리판의 이동 및 이동방향에 따른 온도변화는 그림 115과 같이 시료 처리판을 고정된 경우의 온도상승이 가장 컸으며 시료 처리판을 이동하며 처리한 경우의 온도상승은 미미하였고, 이동방향에 따른 차이는 보이지 않았음.

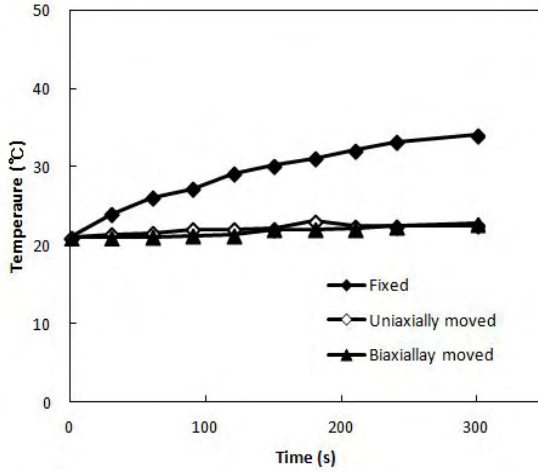


그림 115. 시료 처리판의 이동 및 이동방향이 온도변화에 미치는 영향

(다) 코로나방전플라스마제트(CDPJ) 처리장치

① 소비전력

CDPJ 생성에 소요되는 전력량을 측정한 결과는 그림 116과 같이 송풍기를 가동하였을 때 소비전력은 107 W였으며, 전류세기를 달리하여 CDPJ를 생성할 때 소비되는 총 전력량은 1.0, 1.25, 1.5 A에서 각각 286, 333, 353 W이었음. 전류 1.25 A에서 CDPJ를 생성할 때 소비되는 전력은 송풍기 작동에 107 W, 플라스마 생성에 226 W가 소비되는 것으로 나타났음.

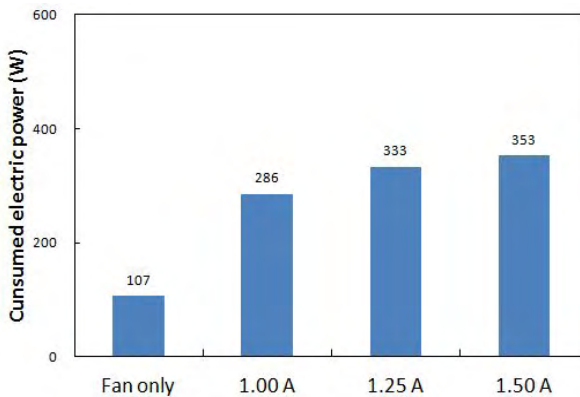


그림 116. 전류세기별 CDPJ 생성 소비전력

② CDPJ 정상

전류세기과 토출구-처리판 간 거리(이하 토출거리로 칭함.)에 따른 CDPJ 정상은 그림 117과 같이 전류세기에 따라 플라즈마체의 길이가 증가하여 1, 1.25, 1.5 A에서 각각 5, 12, 20 mm 정도의 값을 보였음. 토출거리 25 mm에서 플라즈마의 길이는 최대치를 보였으며 송풍에 의해 플라즈마가 원활히 토출되었음. 토출거리 35 mm에서도 25 mm와 마찬가지로 양호한 결과를 보여주었으나 플라즈마가 처리판까지 도달하지는 않았음. 토출거리 25 mm, 전류세기 1.5 A에서 플라즈마가 가장 원활하게 생성되어 처리판까지 도달하므로 이 조건을 CDPJ 생성 적정조건으로 결정하였음.





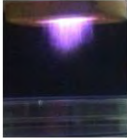




Span length (mm)	Current (A)		
	1.00	1.25	1.50
15			
25			
35			

그림 117. 전류세기 및 토출거리에 따른 CDPJ 정상

③ CDPJ 온도

토출거리 25 mm에서 CDPJ 처리 시 온도변화는 그림 118와 같이 전류세기와 처리시간에 따라 온도가 높아졌음. CDPJ 5 분간 처리 후 온도는 전류 1.5 A에서 처리 전에 비해 33 °C 정도 상승하여 53 °C에 도달하였으나, 1.25 A와 1.0 A에서는 25 °C 이하의 상승을 보였음. CDPJ 2분간 처리한 후의 온도상승 정도는 모든 전류세기에서 25 °C 미만으로 가열에 의한 생물학적 효과는 없을 것으로 추정되었으며, 따라서 저온플라즈마의 조건에 부합함을 알 수 있었음.

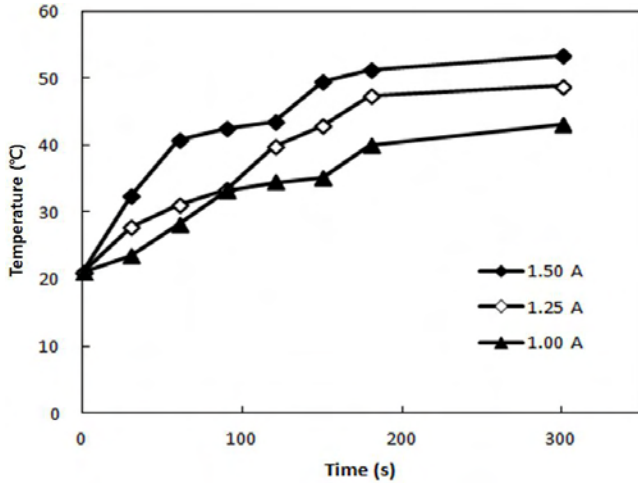


그림 118. CDPJ 처리 시 전류세기별 온도변화

토출거리에 따른 온도상승은 그림 119과 같이 토출구에 가까워질수록 온도상승은 심하였음. 토출거리 15 mm 지점은 5분간 처리 후 50 °C 정도의 온도상승을 보여 가열에 의한 효과를 배제할 수 없었으나 25 mm 지점에서는 30 °C 정도, 35 mm 지점에서는 25 °C 내외의 온도상승을 보였음. 이로부터 25 mm 이상의 토출거리에서는 처리 후 온도가 50 °C를 초과하지 않으므로 열에 의한 생물학적 영향을 배제할 수 있는 비가열 살균처리 범주에 해당함을 확인하였음.

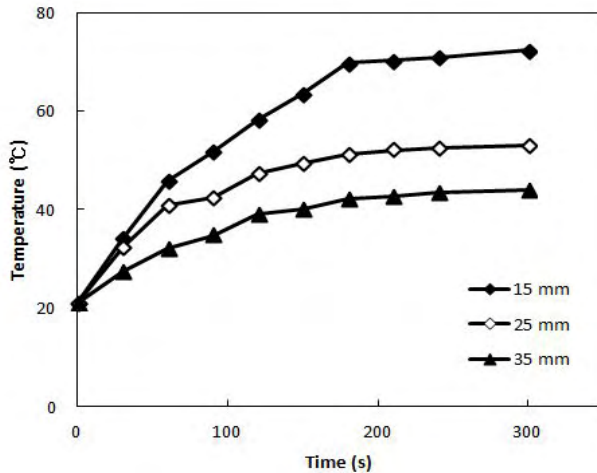


그림 119. 전류세기 1.5 A에서 CDPJ 처리 시 토출거리별 온도변화

(2) 저온 플라즈마 살균력 검증

(가) 감압방전플라즈마(LPDP) 처리장치

① LPDP 살균효과

플라즈마 생성기체를 달리하여 LPDP 처리 시 출력에 따른 *Escherichia coli*의 살균치 변화를 보면 그림 120과 같이 출력에 따라 살균효과가 증가하였음. 출력 105 W에서 10분 처리 시 5 log(CFU/g) 이상의 미생물 감소를 보였음. 생성기체별로는 공기와 질소 플라즈마는 유사한 살균력을 보인 반면 산소플라즈마는 약간 낮은 살균력을 보였음.

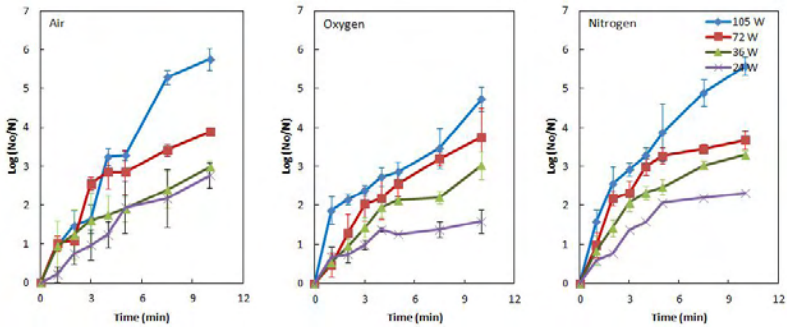


그림 120. 생성기체 및 출력 별 LPDP의 *Escherichia coli* 살균효과

② LPDP 살균패턴

처리시간에 따른 살균패턴은 그림 121와 같이 초기에는 살균효과가 크고 이후에는 살균효과가 감소하는 경향을 보였으며, 각 구간에서는 처리시간에 따라 살균치가 직선적으로 증가하여 2단계 1차 반응을 나타냄.

플라즈마에 의한 미생물 사멸은 자외선, 자외선 광자에 의해 방출된 휘발성 물질, 플라즈마 내 반응성 화합물의 흡착 등에 의해 복합적으로 이루어지는 것으로 알려져 있음 (Moisan et al., 2002). 이 중 자외선 조사효과는 신속하게 나타나 초기 사멸에 관여하고, 휘발성 물질의 방출과 반응성 물질의 흡착은 시간을 요하기 때문에 후기 사멸에 관여하므로 플라즈마 살균은 2단계 또는 그 이상의 패턴을 보이기도 함(Moisan et al., 2001).

이와 같은 2 구간 1차 반응 패턴은 저온플라즈마(Moisan et al., 2001; Mok & Song, 2010) 뿐만 아니라 자외선(Mok & Lee, 2009), 고전장플라스(Oshima & Sato, 2004) 등 각종 비열살균에서 보편적으로 관측되는 현상임.

이러한 경향은 플라즈마 살균효과가 살균대상물체의 표면에 있는 미생물에는 매우 효과적이어서 단시간 처리로 살균이 가능하지만 내부에 있는 미생물은 플라즈마의 침투력이 낮으므로 장시간 처리해야 사멸되는 그림자효과(shadow effect)로도 설명될 수 있음.

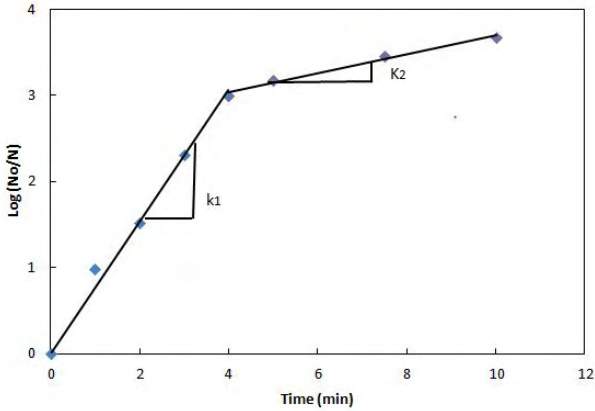


그림 121. *Escherichia coli*의 LPDP 살균 패턴

생성기체를 달리한 LPDP의 구간별 살균 속도상수는 표 13과 같이 1 단계 살균 속도 상수(k_1)는 질소 > 공기 > 산소 순으로, 2 단계(k_2)에서는 공기 > 질소 > 산소 순으로 높은 값을 보였다. 이러한 결과는 질소플라스마에서는 초기 살균력이 크고, 공기플라스마는 질소플라스마에 비해 초기 살균력은 낮지만 지속적인 살균력을 유지함을 의미함. 산소플라스마의 살균력은 공기 또는 질소플라스마에 미치지 못함을 보여주고 있음.

플라스마에서 미생물 작용을 나타내는 물질은 자외선, 이온과 활성종 등의 입자, 전자 등으로 알려져 있음. 산소플라스마에서는 자외선, 산소원자, 일중항산소, 오존, OH-라디칼 등이, 질소플라스마에서는 자외선과 N-라디칼이 살균작용을 하는 물질로 추정되며, 공기 플라스마는 이들 물질과 함께 NO, NO₂, NO₃ 등 NO_x 물질이 살균작용을 제공하는 것으로 추정됨(Fang, 2004; Mannick, 2006). 공기플라스마와 질소플라스마가 산소플라스마에 비해 높은 살균효과를 보인 것은 N-라디칼의 작용이 큼을 시사함.

표 13. 생성기체 및 출력별 *Escherichia coli* LPDP 살균 속도상수

Gas	Power (W)	Sterilization rate constant (min ⁻¹)	
		k ₁	k ₂
Air	105	1.657 ± 0.251 ^{a1)}	1.083 ± 0.293 ^a
	72	1.667 ± 0.274 ^a	0.425 ± 0.244 ^{cde}
	36	0.959 ± 0.296 ^{bc}	0.473 ± 0.363 ^{cde}
	24	0.745 ± 0.198 ^c	0.512 ± 0.069 ^{bcde}
Oxygen	105	1.375 ± 0.208 ^{ab}	0.763 ± 0.222 ^{abc}
	72	1.367 ± 0.283 ^{ab}	0.591 ± 0.164 ^{bcd}
	36	1.108 ± 0.283 ^{bc}	0.376 ± 0.081 ^{cde}
	24	0.708 ± 0.086 ^c	0.161 ± 0.129 ^e
Nitrogen	105	1.819 ± 0.086 ^a	0.869 ± 0.240 ^{ab}
	72	1.684 ± 0.109 ^a	0.238 ± 0.080 ^{de}
	36	1.353 ± 0.337 ^{ab}	0.391 ± 0.240 ^{cde}
	24	0.914 ± 0.361 ^{bc}	0.235 ± 0.100 ^{de}

¹⁾Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

*Escherichia coli*의 LPDP 살균에 대한 2 구간 1차반응 패턴, 즉 의사 1차 반응을 단일 모델로 해석하기 위하여 식 (2)와 같은 Singh-Heldman 모델을 적용한 결과 그림 122에서 보는 바와 같이 직선으로 작도되어 이 모델에 부합하는 것으로 확인되었음. Singh-Heldman 모델의 살균 곡선 형상 계수(n)는 표 14에서 보는 바와 같이 대부분 1.0 보다 작은 값을 보여 처리시간에 따른 살균치 곡선은 위로 볼록한 convex형의 그래프로 그려지며 살균패턴은 1차 반응으로부터 벗어남을 알 수 있었음.

D'-값은 출력 105 W인 산소플라스마를 제외하고는 전반적으로 질소플라스마가 가장 작은 값을 보였으며, 이어서 공기플라스마, 산소플라스마 순으로 값이 커져 살균효과는 질소 > 공기 > 산소 플라스마 순으로 우수하였음.

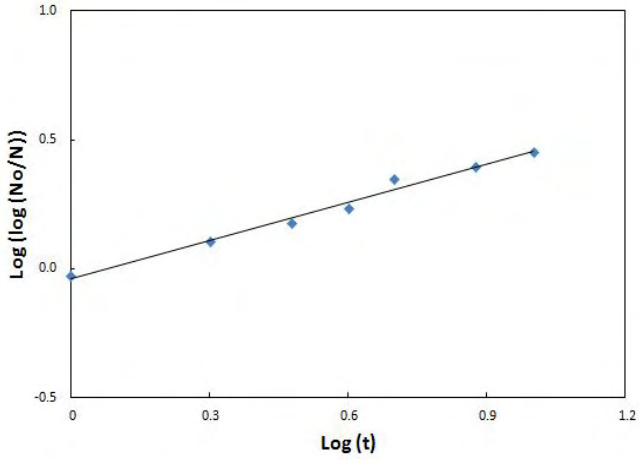


그림 122. Singh-Heldman 모델에 의한 *Escherichia coli*의 LPDP 살균패턴 해석

표 14. *Escherichia coli* LPDP 살균에 대한 Singh-Heldman 모델의 곡선형상계수와 D'-값

Gas	Power (W)	n	D'-value (min)
Air	105	0.857 ± 0.082	1.236 ± 0.268 ^{a1)}
	72	0.662 ± 0.180	1.072 ± 0.421 ^b
	36	0.561 ± 0.323	1.674 ± 1.411 ^b
	24	1.227 ± 0.278	3.603 ± 1.216 ^b
Oxygen	105	0.376 ± 0.024	0.279 ± 0.244 ^b
	72	0.923 ± 0.288	1.909 ± 0.967 ^b
	36	0.803 ± 0.271	2.185 ± 0.943 ^b
	24	0.486 ± 0.333	3.017 ± 2.301 ^b
Nitrogen	105	0.550 ± 0.142	0.463 ± 0.347 ^b
	72	0.558 ± 0.172	0.715 ± 0.413 ^b
	36	0.633 ± 0.246	1.232 ± 0.805 ^b
	24	0.827 ± 0.547	2.427 ± 1.635 ^b

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

③ LPDP를 이용한 각종 오염균 살균

최적 처리조건(생성기체: 공기, 압력: 1 Torr, 출력: 100%)에서 표준균주 8 종에 대한 LPDP 살균효과를 Singh-Heldman 모델에 의거하여 분석한 결과 표 15와 같이 D'-값은 *Staphylococcus aureus*가 가장 작은 값을 보여 가장 높았고 *Vibrio parahaemolyticus*가 가장 큰 값을 보여 살균효과가 가장 낮았음.

표 15. 표준균주의 LPDP 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (min)
<i>Escherichia coli</i>	1.657 ± 0.251	1.083 ± 0.293 ^{d1)}
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0.330 ± 0.169	0.966 ± 0.537 ^d
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.661 ± 0.077	0.871 ± 0.064 ^d
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.488 ± 0.301	3.311 ± 1.602 ^e
<i>Bacillus cereus</i>	0.147 ± 0.042	3.669 ± 0.498 ^e
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.509 ± 0.099	7.602 ± 1.694 ^b
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0.131 ± 0.063	13.556 ± 1.154 ^a
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.684 ± 0.258	1.430 ± 0.705 ^d

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

(나) 유전체장벽방전플라스마(DBDP) 처리장치

① DBDP 살균효과

전극간격을 달리하여 DBDP 처리 시 전류세기에 따른 *Escherichia coli*의 살균치 변화는 그림 123와 같이 전류세기에 비례하여 살균효과가 높아졌으며, 전극간격별로는 2.65 mm에서의 살균효과가 가장 양호하였음.

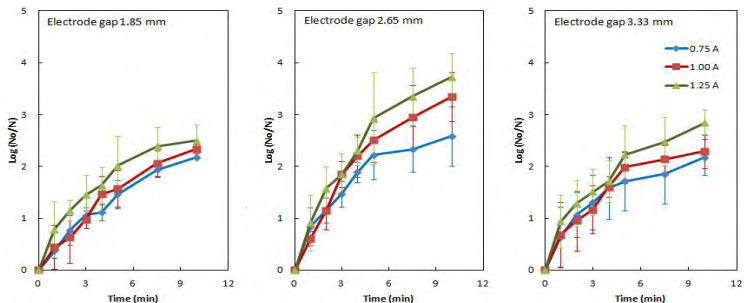


그림 123. 전류세기와 전극간격이 *Escherichia coli*의 DBDP 살균에 미치는 영향

DBDP에 의한 *Escherichia coli*의 살균패턴을 1차 반응으로 해석한 경우 앞의 LPDP의 경우와 마찬가지로 2 구간으로 구분되었음. DBDP의 구간별 살균 속도상수는 표 16

과 같이 k_1 은 전류세기에 따라 증가하였으나 k_2 는 전류세기에 따라 일률적인 경향을 보이지 않았음. 전극간격별 k_1 은 2.65 mm에서 가장 높은 값을 보였고, 3.33 mm, 1.85 mm 순으로 낮아졌음. 최대 k_1 은 전극간격 2.65 mm에서 전류 1.25 A에서 관측되었으며 1.443 min^{-1} 을 보였음.

표 16. 전극간격과 전류세기에 따른 *Escherichia coli* LPDP 살균 속도상수

Electrode-gap (mm)	Current (A)	Sterilization rate constant (min^{-1})	
		k_1	k_2
1.85	0.75	0.733 ± 0.115 ^{blj}	0.396 ± 0.089 ^{abc}
	1.00	0.696 ± 0.265 ^b	0.350 ± 0.180 ^{abc}
	1.25	1.073 ± 0.261 ^{ab}	0.314 ± 0.077 ^{bc}
2.65	0.75	1.160 ± 0.134 ^{ab}	0.233 ± 0.118 ^c
	1.00	1.324 ± 0.215 ^a	0.428 ± 0.067 ^{abc}
	1.25	1.443 ± 0.149 ^a	0.501 ± 0.088 ^{ab}
3.33	0.75	0.997 ± 0.402 ^{ab}	0.216 ± 0.126 ^c
	1.00	0.955 ± 0.298 ^{ab}	0.229 ± 0.047 ^c
	1.25	1.142 ± 0.329 ^{ab}	0.387 ± 0.087 ^a

1) Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

*E. coli*의 DBDP 살균패턴에 Singh-Heldman 모델을 적용한 결과 그림 124에서 보는 바와 같이 결정계수 0.982의 직선으로 작도되어 이 모델이 잘 적용되는 것으로 확인되었음.

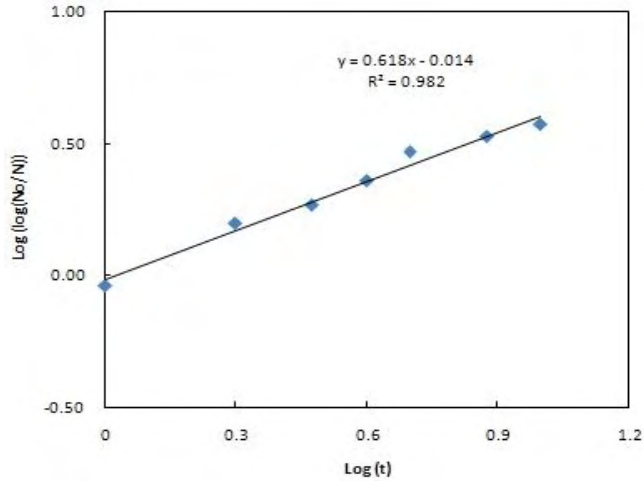


그림 124. Singh-Heldman 모델에 의한 *Escherichia coli*의 DBDP 살균패턴 해석

*Escherichia coli*의 살균곡선형상계수(n)와 D'-값은 표 17에서 보는 바와 같이 살균곡선형상계수는 0.531 - 0.783 범위의 값을 보였고, D'-값은 전류세기에 따라 뚜렷하게 작아졌으며, 전극간격에 따라서는 2.65 mm < 3.33 mm < 1.85 mm 순으로 나타나 2.65 mm에서의 살균력이 가장 우수하였음. 최소 D'-값은 전극간격 2.65 mm, 전류세기 1.25 A에서 0.565 min으로 나타났음.

표 17. *Escherichia coli* DBDP 살균에 대한 살균곡선형상계수와 D'-값

Electrode-gap (mm)	Current (A)	n	D'-value (min)
1.85	0.75	0.783 ± 0.160	3.268 ± 0.512 ^{s1)}
	1.00	0.601 ± 0.091	2.445 ± 0.632 ^{ab}
	1.25	0.618 ± 0.328	1.772 ± 1.477 ^{ab}
2.65	0.75	0.531 ± 0.267	1.368 ± 0.812 ^{ab}
	1.00	0.748 ± 0.033	1.686 ± 0.293 ^{ab}
	1.25	0.680 ± 0.411	0.565 ± 0.119 ^b
3.33	0.75	0.683 ± 0.485	3.192 ± 0.858 ^a
	1.00	0.744 ± 0.559	2.271 ± 1.720 ^{ab}
	1.25	0.545 ± 0.229	1.457 ± 1.254 ^{ab}

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

DBDP 처리 시 시료이동이 살균효과에 미치는 영향을 조사하기 위하여 플라즈마 처리 시 시료의 이동여부 및 이동방식에 따른 살균력을 비교한 결과 그림 125에서 보는 바와 같이 이동식 처리가 고정식 처리에 비해 살균력이 유의하게 높았으며, 이동식 처리방식 간에는 양방향 처리가 단일방향 처리에 비해 살균효과가 우수하였음. 이러한 차이는 전극에서 플라즈마가 발생하는 지점들이 일정한 간격을 두고 떨어져 있고, 발생지점에 에너지가 집중되어 국부적으로 다른 플라즈마 밀도를 갖기 때문임. 이러한 플라즈마 밀도의 불균일성은 시료를 이동시키면서 처리함으로써 개선 가능하였음.

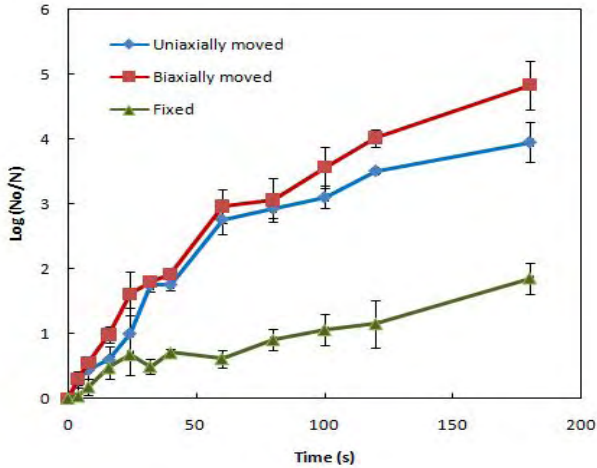


그림 125. DBDP 처리 시 시료이동 및 이동방식이 살균력에 미치는 영향

위의 살균 결과를 Singh-Heldman 모델에 적용하여 살균곡선형상계수와 D'-값을 산출한 결과 표 18과 같이 곡선형상계수는 양방향 이동식 처리 > 단일방향 이동식 처리 > 고정식 처리 순으로 큰 값을 보여 양방향 이동식 처리가 가장 직선에 근접한 경향을 나타냄으로써 살균 효과의 지속력이 컸으며, 고정식 처리가 가장 작은 값을 보여 처리시간이 경과함에 따라 살균 효과가 둔화됨을 알 수 있었음. D'-값은 고정식 처리에서 유의하게 큰 값을 보였고, 이동방식 간에는 양방향 처리와 단일방향 처리 사이의 유의차는 없었음. 결론적으로 이동식 처리가 고정식 처리에 비해 살균효과가 우수하였음.

표 18 전류세기 10 A, 전극간격 265 mm에서 DBDP 처리 시 시료 이동 및 이동방식이 살균효과에 미치는 영향

Sample movement	n	D' (min)
Fixed	0.627 ± 0.089	1.934 ± 0.503 ¹⁾
Uniaxially moved	0.733 ± 0.040	0.281 ± 0.040 ^b
Biaxially moved	0.776 ± 0.134	0.373 ± 0.118 ^b

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

② DBDP를 이용한 각종 오염균 살균

DBDP 처리 시 최적 조건이었던 전류세기 1.25 A, 전극간격 2.65 mm에서 양방향 이동처리를 하여 발생시킨 플라즈마를 이용하여 8 종의 미생물에 대한 살균효과를 분석한 결과 표 19와 같이 유의적인 차이는 없었으나 *Escherichia coli*가 가장 0.373 min으로 가장 작은 D'-값을, *Salmonella typhimurium*이 0.912 min으로 가장 큰 값을 보였음.

표 19. 표준균주의 DBDP 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (min)
<i>Escherichia coli</i>	0.776 ± 0.134	0.373 ± 0.118 ^{ad}
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0.884 ± 0.228	0.428 ± 0.089 ^a
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.917 ± 0.112	0.421 ± 0.131 ^a
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.482 ± 0.242	0.912 ± 0.224 ^a
<i>Bacillus cereus</i>	0.998 ± 0.421	0.632 ± 0.442 ^a
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.814 ± 0.332	0.752 ± 0.135 ^a
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	1.041 ± 0.448	0.668 ± 0.192 ^a
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.425 ± 0.224	0.394 ± 0.181 ^a

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

(다) 코로나방전플라즈마제트(CDPJ) 처리장치

① CDPJ 살균효과

토출거리 25 mm 지점에서 전류세기를 달리하여 CDPJ 처리 시 *Escherichia coli*의 살균결과는 그림 126과 같았음. 전류세기 1.5 A에서 1 분 간 처리 후 살균치는 4.0 이상으로 나타나 우수한 살균력을 보였으며 1.25 A와 1.0 A에서도 각각 2.5, 1.0 이상의 살균치를 보였음. 처리시간 1 분 이상에서는 살균효과가 감소하는 2 단계 1차반응 양상을 보였음.

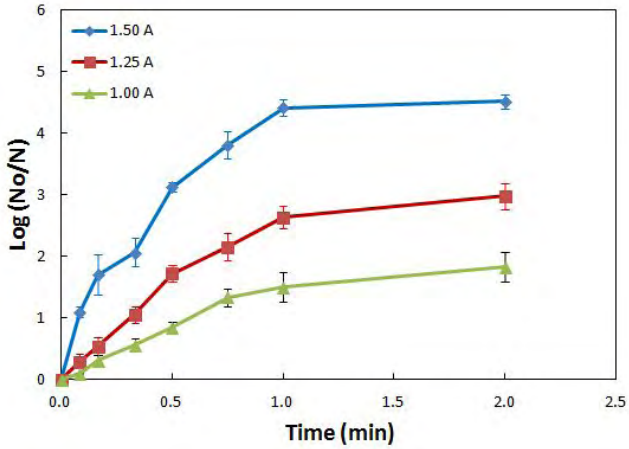


그림 126. *Escherichia coli*에 대한 토출거리 25 mm에서 전류별 CDPJ 살균패턴

전류세기에 따른 구간별 CDPJ 살균 속도상수는 표 20에서 보는 바와 같이 k_1 , k_2 모두 전류세기에 비례하여 유의적으로 증가하였으며, 특히 1.5 A에서 k_1 은 12.810 min^{-1} 으로 매우 높은 값을 보였음. 이러한 결과는 앞의 LPDP의 $k_1(0.708 - 1.684 \text{ min}^{-1})$ 또는 고정식 DBDP의 $k_1(0.696 - 1.443 \text{ min}^{-1})$ 에 비해 월등하게 높은 값으로써 CDPJ의 살균력이 LPDP와 고정식 DBDP에 비해 우수함을 보여주고 있으며, 이동식 DBDP의 $k_1(6.402 - 7.202 \text{ min}^{-1})$ 에 비해서도 양호하였음.

표 20. 토출거리 25 mm에서 전류세기에 따른 *Escherichia coli* CDPJ 살균 속도상수

Current (A)	Sterilization rate constant (min^{-1})	
	k_1	k_2
1.00	3.976 ± 0.803^{c1}	1.289 ± 0.553^a
1.25	7.787 ± 1.014^b	1.750 ± 0.834^a
1.50	12.810 ± 0.465^a	1.789 ± 0.238^a

¹⁾Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

*Escherichia coli*에 대한 CDPJ 살균 곡선 형상 계수(n)는 표 21과 같이 0.483 - 0.896의 범위의 값을 보였으며 전류세기에 따라 감소하는 경향을 보였음. CDPJ의 D'-값은 0.161 - 0.714 min으로 LPDP(0.463 - 3.603 min) 또는 고정식 DBDP(0.565 - 3.268 min)에 비해 월등히 작은 값을 보여 CDPJ의 살균효과가 LPDP와 고정식 DBDP에 비해 우

수함을 알 수 있었음. 전류세기 1.25 A의 D'-값은 0.347 min으로 이동식 DBDP의 0.281 - 0.373 min과 유사한 수준이었음. 특히 전류 1.5 A의 D'-값은 0.163 min으로써 이동식 DBDP보다도 우수한 살균력을 보였음.

표 21. *Escherichia coli*의 CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Current (A)	n	D'-value (min)
1.00	0.896 ± 0.102	0.714 ± 0.097 ^{a1)}
1.25	0.802 ± 0.141	0.347 ± 0.065 ^b
1.50	0.483 ± 0.061	0.163 ± 0.053 ^c

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

CDPJ 처리 위치가 살균에 미치는 영향을 보기 위해서 플라즈마 토출거리를 달리하여 살균한 결과 그림 127과 같이 살균력은 25 mm > 15 mm > 35 mm 순으로 낮아져 토출거리 25 mm에서 가장 높은 살균효과를 보였음. 이상의 결과로부터 시료의 적정 처리 지점은 토출구 하부 25 mm 지점임을 확인하였음.

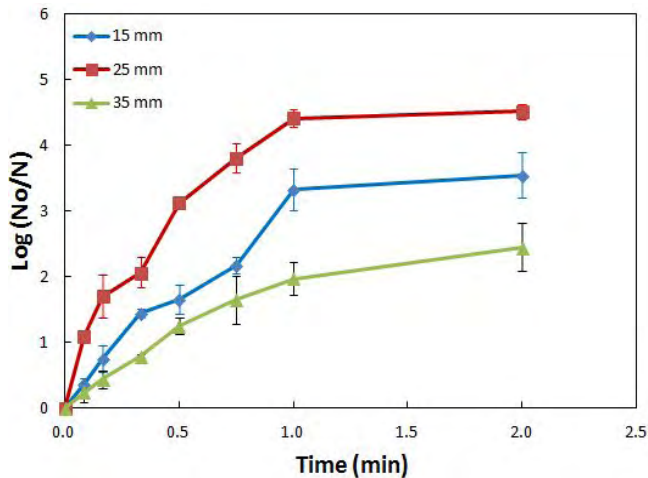


그림 127. 전류세기 1.5 A에서 토출거리가 *Escherichia coli*의 CDPJ 살균에 미치는 영향

토출거리에 따른 CDPJ 살균 곡선 형상 계수(n)는 표 22와 같이 0.489 - 0.746의 범위를 보였으며 25 mm에서 가장 낮았음. D'-값은 토출거리 25 mm에서 가장 작은 0.163 min, 그 다음은 15 mm에서 0.247 min을 보였으며, 가장 높은 수치는 토출거리 35 mm

에서 0.464 min이었음.

표 22. 토출거리별 *Escherichia coli*의 CDPJ 살균변수

Span length (mm)	n	D'-value (min)
15	0.708 ± 0.112	0.247 ± 0.017 ^{b1)}
25	0.489 ± 0.068	0.163 ± 0.053 ^c
35	0.746 ± 0.079	0.464 ± 0.131 ^a

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

② CDPJ를 이용한 각종 오염균 살균

최적조건인 플라스마 전류세기 1.50 A, 토출거리 25 mm에서 발생시킨 CDPJ를 이용하여 8 종의 오염균에 대한 살균효과를 조사한 결과 표 23과 같이 살균 곡선 형상 계수 (n)는 0.323 - 0.866의 범위를 보였음. D'-값은 *Escherichia coli*가 가장 낮은 0.163 min을 보여 CDPJ에 가장 민감하게 반응하였으며, *Vibrio parahaemolyticus*가 가장 높은 0.761 min을 보여 저항력이 큰 것으로 나타났음.

표 23. 표준균주의 CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (min)
<i>Escherichia coli</i>	0.489 ± 0.068	0.163 ± 0.053 ^{e1)}
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0.418 ± 0.183	0.198 ± 0.057 ^{de}
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.780 ± 0.368	0.221 ± 0.146 ^{cde}
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.481 ± 0.218	0.347 ± 0.218 ^{bcd}
<i>Bacillus cereus</i>	0.323 ± 0.163	0.484 ± 0.059 ^{abc}
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.408 ± 0.216	0.581 ± 0.159 ^{ab}
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0.611 ± 0.220	0.761 ± 0.256 ^a
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.866 ± 0.322	0.641 ± 0.121 ^a

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

(3) 저온플라스마를 이용한 식품 살균

(가) 곡류

① 곡류 오염도 조사

㉞ 백미

가열처리가 불가능한 생식의 제조 원료로 가장 높은 비중을 차지하는 곡류를 살균대상 식품으로 선정하였고 시판 중인 곡류 중 백미, 현미, 압맥의 오염도를 조사하였음. 시판 중인 백미 5 종의 오염도를 조사한 결과 표 24와 같이 일반 세균은 $9.71 \times 10^5 - 8.70 \times 10^6$ CFU/g 수준이었으며, 진균류는 $3.13 \times 10^5 - 6.51 \times 10^5$ CFU/g 수준의 오염도를 보였다. 대장균군은 $6.67 \times 10^2 - 2.25 \times 10^4$ CFU/g 수준으로 나타났으며, 바실러스와 포도상구균은 일부 시료에서만 낮은 수준으로 검출되어 일반적인 오염은 아닌 것으로 나타났으며, 살모넬라와 리스테리아는 발견되지 않았음.

표 24. 시판 백미의 미생물 오염

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Products					Positive mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	8.70×10^5	6.26×10^5	4.20×10^5	3.83×10^5	9.71×10^5	4.80×10^5
	±	±	±	±	±	±
	7.11×10^5	2.18×10^5	5.31×10^5	1.74×10^5	1.21×10^5	3.52×10^5
Molds	6.51×10^5	2.12×10^5	1.10×10^5	5.32×10^5	3.13×10^5	1.30×10^6
	±	±	±	±	±	±
	2.54×10^4	8.40×10^4	2.34×10^4	1.54×10^5	6.54×10^4	7.07×10^4
Coliform bacteria	2.25×10^4	6.21×10^3	1.42×10^4	3.27×10^3	6.67×10^2	9.40×10^3
	±	±	±	±	±	±
	2.54×10^3	1.54×10^3	5.14×10^3	6.81×10^2	1.53×10^2	2.02×10^3
<i>Salmonella</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Bacillus</i>	2.00×10^2	3.00×10^2				2.51×10^2
	±	±	N/D	N/D	N/D	±
	1.00×10^2	1.41×10^2				1.21×10^2
<i>Staphylococcus</i>	3.00×10^2					3.00×10^2
	±	N/D	N/D	N/D	N/D	±
	1.00×10^2					1.00×10^2
<i>Listeria</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

㉞ 현미

현미 5 종의 오염도를 조사한 결과는 표 25와 같이 일반세균은 $3.85 \times 10^6 - 3.50 \times 10^7$ CFU/g, 진균류는 $1.85 \times 10^6 - 1.77 \times 10^7$ CFU/g, 대장균군은 $3.11 \times 10^4 - 3.17 \times 10^5$ CFU/g 수준을 나타내어 백미보다는 다소 높은 오염수준을 보였음. 바실러스는 $3.11 \times 10^3 - 8.30 \times 10^3$ CFU/g 수준으로 백미보다는 높은 수준이었고, 포도상구균도 5 점의 시료 중 2

점에서 확인되어 백미보다 높은 비율로 나타남. 살모넬라와 리스테리아는 백미에서와 마찬가지로 발견되지 않았음.

표 25. 시판 현미의 미생물 오염도

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Products					Positive mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	3.50x10 ⁷ ± 5.56x10 ⁶	4.48x10 ⁷ ± 3.78x10 ⁶	6.54x10 ⁶ ± 7.32x10 ⁵	5.17x10 ⁶ ± 7.18x10 ⁵	3.85x10 ⁶ ± 5.67x10 ⁵	1.91x10 ⁷ ± 2.28x10 ⁶
Molds	1.77x10 ⁷ ± 7.47x10 ⁶	8.81x10 ⁶ ± 7.18x10 ⁵	5.50x10 ⁶ ± 4.76x10 ⁵	4.51x10 ⁶ ± 7.38x10 ⁵	1.85x10 ⁶ ± 7.11x10 ⁵	7.70x10 ⁶ ± 2.02x10 ⁶
Coliform bacteria	3.17x10 ⁵ ± 3.21x10 ⁴	2.14x10 ⁵ ± 8.27x10 ⁴	4.87x10 ⁴ ± 6.11x10 ³	6.12x10 ⁴ ± 4.99x10 ³	3.11x10 ⁴ ± 2.12x10 ³	1.35x10 ⁵ ± 2.56x10 ⁴
<i>Salmonella</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Bacillus</i>	8.30x10 ³ ± 2.11x10 ³	7.11x10 ³ ± 1.11x10 ³	3.71x10 ³ ± 9.22x10 ²	3.11x10 ³ ± 1.78x10 ³	N/D	3.57x10 ³ ± 1.49x10 ³
<i>Staphylococcus</i>	4.55x10 ³ ± 1.59x10 ³	N/D	3.90x10 ³ ± 9.16x10 ²	N/D	N/D	4.23x10 ³ ± 1.26x10 ³
<i>Listeria</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

㉔ 압맥

시판 압맥 5 종의 오염도를 조사한 결과 표 26과 같이 일반세균은 5.27x10⁶ - 1.77x10⁷ CFU/g 수준으로 나타났으며, 진균류는 2.22x10⁶ - 8.14x10⁶ CFU/g 으로, 대장균군은 7.47x10⁴ - 2.27x10⁶ CFU/g 으로 현미와 유사한 정도의 오염도를 보였음. 바실러스와 포도상구균은 각각 1.87x10³ - 9.11x10³ CFU/g과 3.12x10³ - 8.70x10³ CFU/g 으로 현미와 비슷한 오염도를 나타내었으나 바실러스는 조사한 시료 모두에서 검출되었고 포도상구균은 4 점에서 검출되어 오염빈도는 백미나 현미보다 높았음. 압맥에서도 백미, 현미와 마찬가지로 살모넬라와 리스테리아는 검출되지 않았음.

표 26. 시판 압맥의 미생물 오염도

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Product					Positive mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	1.77x10 ⁷	1.11x10 ⁷	8.95x10 ⁶	8.84x10 ⁶	5.27x10 ⁶	1.04x10 ⁷
	±	±	±	±	±	±
	4.12x10 ⁶	5.12x10 ⁶	9.23x10 ⁵	1.77x10 ⁶	3.89x10 ⁵	2.47x10 ⁶
Molds	8.14x10 ⁶	3.74x10 ⁶	2.11x10 ⁶	1.71x10 ⁶	2.22x10 ⁶	3.59x10 ⁶
	±	±	±	±	±	±
	6.27x10 ⁶	9.88x10 ⁵	7.66x10 ⁵	2.18x10 ⁵	4.64x10 ⁵	1.74x10 ⁶
Coliform bacteria	2.27x10 ⁶	2.74x10 ⁶	8.71x10 ⁵	4.89x10 ⁵	7.47x10 ⁴	1.29x10 ⁶
	±	±	±	±	±	±
	2.84x10 ⁵	3.89x10 ⁵	3.64x10 ⁵	7.14x10 ⁴	8.12x10 ³	2.24x10 ⁵
<i>Salmonella</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Bacillus</i>	9.11x10 ³	8.80x10 ³	4.82x10 ³	2.80x10 ³	1.87x10 ³	5.49x10 ³
	±	±	±	±	±	±
	3.33x10 ³	2.78x10 ³	7.98x10 ²	4.14x10 ³	5.22x10 ²	3.26x10 ³
<i>Staphylococcus</i>	8.70x10 ³	6.17x10 ³	4.71x10 ³		3.12x10 ³	4.82x10 ³
	±	±	±	N/D	±	±
	1.67x10 ³	2.27x10 ³	1.76x10 ³		1.12x10 ³	1.71x10 ³
<i>Listeria</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

② 저온플라스마를 이용한 곡류 살균

㉗ 백미

백미에 대해 플라스마 종류를 달리하여 살균한 결과는 그림 128와 같이 3분간 저온플라스마치리에 의해 LPDP, DBDP, CDPJ의 경우 각각 0.89, 1.34, 1.57 log(CFU/g) 감소하여 살균력은 CDPJ > DBDP > LPDP 순이었음.

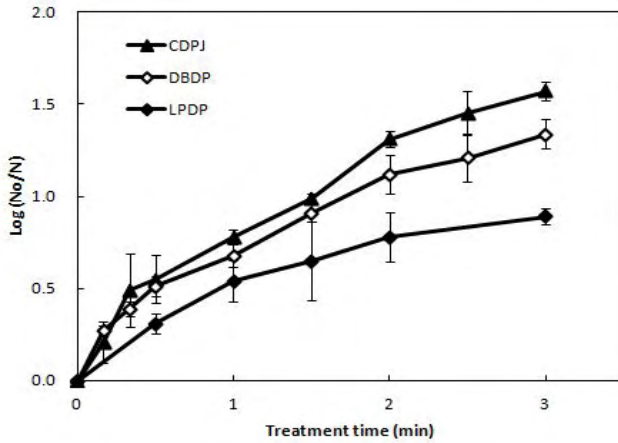


그림 128. 종류별 저온플라스마 처리에 의한 백미의 일반세균 살균

백미 살균패턴을 의사1차반응모델(Singh-Heldman model)에 의거해 분석한 결과 살균곡선형상계수는 표 27과 같이 0.328 - 0.384 범위의 값을 보였고 플라스마 종류와 미생물 간의 차이는 관찰되지 않았으며 모두 1.0 이하의 값을 보여 살균곡선은 convex형을 보였음.

표 27. 백미의 플라스마 살균곡선 형상계수

Microorganisms	Plasma type		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	0.774 ± 0.214	0.575 ± 0.243	0.357 ± 0.118
Molds	0.878 ± 0.175	0.664 ± 0.275	0.328 ± 0.102
Coliform bacteria	0.637 ± 0.208	0.490 ± 0.118	0.579 ± 0.204
<i>Bacillus</i>	0.384 ± 0.127	0.644 ± 0.112	0.884 ± 0.197
<i>Staphylococcus</i>	0.554 ± 0.108	0.455 ± 0.125	0.853 ± 0.141

플라스마 종류 및 미생물 종류별 백미의 D'-값은 표 28과 같이 LPDP의 경우 9.465 - 13.421 min, DBDP는 4.124 - 6.521 min, CDPJ는 3.484 - 6.876 min 범위의 값을 보여 LPDP보다는 DBDP와 CDPJ가 우수한 살균력을 보였음. DBDP와 CDPJ의 살균력은 유사한 것으로 나타났다.

균주별로는 세균이 진균에 비해 낮은 D'-값을 보여 세균이 플라스마에 민감한 것으로 나타났으며 세균 중에는 대장균군이 다른 세균에 비해 플라스마 살균이 용이하였음.

표 28. 백미의 플라스마 살균 D'-값

(unit: min)

Microorganisms	Plasma types		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	9.465 ± 2.315 ^{bl)}	4.124 ± 0.743 ^b	3.484 ± 0.423 ^b
Molds	11.871 ± 1.185 ^{ab}	5.193 ± 1.184 ^{ab}	5.581 ± 1.269 ^{ab}
Coliform bacteria	10.387 ± 1.384 ^{ab}	4.875 ± 0.912 ^{ab}	4.773 ± 0.769 ^{ab}
<i>Bacillus</i>	13.421 ± 2.128 ^a	6.521 ± 0.998 ^b	6.876 ± 1.413 ^a
<i>Staphylococcus</i>	12.425 ± 1.872 ^{ab}	5.381 ± 1.185 ^{ab}	5.215 ± 1.221 ^{ab}

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

㉠ 현미

종류별 저온플라스마 처리에 의한 현미의 일반세균 살균 결과는 그림 129과 같이 백미의 경우와 비슷한 수준으로 LPDP, DBDP, CDPJ로 3분간 처리했을 때 각각 0.81, 1.28, 1.39 log(CFU/g) 감소하였음.

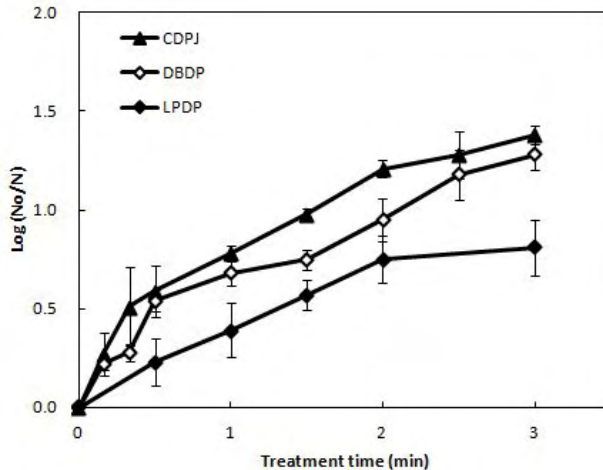


그림 129. 종류별 저온플라스마 처리에 의한 현미의 일반세균 살균

저온플라스마 종류에 따른 살균곡선형상계수는 표 29와 같이 현미의 경우에도 모든 플라스마 처리 시 1.0 이하의 값을 보였음. 미생물 종류별로는 모든 플라스마 처리에서 표 30과 같이 일반세균의 D'-값이 가장 낮은 값을 보였으며, 플라스마 종류에 따른 D'-값은 CDPJ ≤ DBDP < LPDP 순이었으며, DBDP와 CDPJ는 비슷한 수준의 살균력을 나타냄. 현미의 경우 모든 플라스마 처리에서 동일하게 세균의 살균이 진균보다는 수월

하였으며, 세균 중에는 바실러스의 저항성이 가장 큰 것으로 나타났음.

표 29. 현미의 플라스마 살균곡선 형상계수

Microorganisms	Plasma types		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	0.747 ± 0.235	0.655 ± 0.267	0.648 ± 0.175
Molds	0.457 ± 0.508	0.612 ± 0.292	0.594 ± 0.208
Coliform bacteria	0.716 ± 0.148	0.461 ± 0.236	0.534 ± 0.205
<i>Bacillus</i>	0.856 ± 0.122	0.791 ± 0.201	0.540 ± 0.220
<i>Staphylococcus</i>	0.739 ± 0.185	0.640 ± 0.103	0.739 ± 0.222

표 30. 현미의 플라스마 살균 D'-값 (unit: min)

Microorganisms	Plasma types		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	10.112 ± 1.812 ^{bl)}	3.871 ± 0.238 ^b	3.812 ± 0.512 ^b
Molds	13.715 ± 3.211 ^{ab}	4.781 ± 1.519 ^{ab}	5.812 ± 1.842 ^a
Coliform bacteria	11.411 ± 1.518 ^{ab}	4.631 ± 0.874 ^{ab}	4.662 ± 0.512 ^{ab}
<i>Bacillus</i>	16.114 ± 4.221 ^a	7.148 ± 2.114 ^a	5.318 ± 0.982 ^a
<i>Staphylococcus</i>	14.135 ± 1.772 ^{ab}	6.138 ± 1.358 ^{ab}	4.183 ± 1.321 ^{ab}

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

㉔ 압맥

저온플라스마 처리에 의한 현미의 일반세균 살균 결과는 그림 130과 같이 3분간의 LPDP, DBDP, CDPJ 처리에 의해 각각 0.99, 1.63, 1.45 log(CFU/g) 감소하여 압맥의 살균력은 앞의 백미와 현미의 경우와는 다르게 DBDP가 CDPJ보다 양호하였으며, LPDP가 가장 낮은 살균력을 나타냈음.

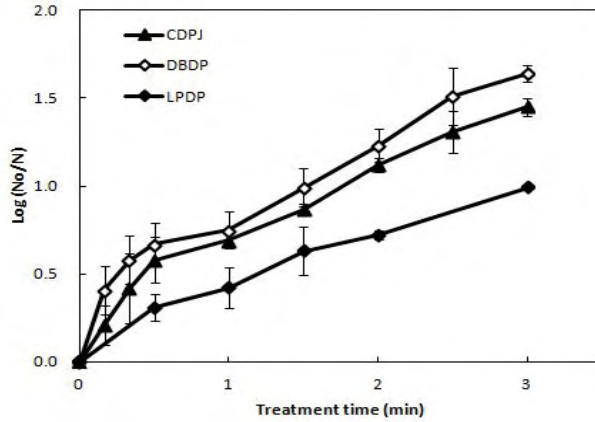


그림 130. 종류별 저온플라스마 처리에 의한 압맥의 일반세균 살균

압맥 미생물별 D'-값을 비교하면 모든 플라스마에서 일반세균이 가장 작은 값을 보여 플라스마 살균에 민감하였음. 세균 가운데는 *Bacillus*의 D'-값이 가장 높아 플라스마 살균에 저항력이 높음을 알 수 있었음.

플라스마 종류별 D'-값은 표 31과 같이 LPDP > CDPJ > DBDP 순서로 낮아져 알의 백미와 현미와는 달리 DBDP 살균효과가 CDPJ 보다 큰 것으로 나타났음. 이는 평판형의 압맥은 타원형의 백미나 현미와 달리 수직방향으로 쏟아지는 DBDP에 직각으로 놓이게 되므로 처리효과가 큰 것으로 사료됨.

표 31. 압맥의 플라스마 살균 D'-값 (unit: min)

Microorganisms	Plasma types		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	10.892 ± 2.135 ^{b1)}	3.357 ± 0.325 ^c	4.859 ± 0.144 ^{bc}
Molds	14.112 ± 2.675 ^{ab}	5.112 ± 1.867 ^{bc}	7.451 ± 0.778 ^{bc}
Coliform bacteria	11.872 ± 1.872 ^b	4.322 ± 0.991 ^{bc}	4.662 ± 0.512 ^c
<i>Bacillus</i>	18.212 ± 3.117 ^a	8.441 ± 1.187 ^c	9.823 ± 2.311 ^a
<i>Staphylococcus</i>	13.313 ± 1.887 ^b	6.821 ± 2.118 ^{ab}	6.891 ± 1.842 ^{bc}

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

③ 저온플라스마 처리한 곡류의 품질변화

㉔ 백미

저온플라스마 처리 후 백미의 외관 변화는 그림 131와 같이 처리 전과 처리 후의 외

관은 차이가 없었음. 저온플라스마 처리시간에 따른 광학특성은 그림 132과 같이 밝기, 적색도, 황색도, 색차 모두 변화가 없었음.

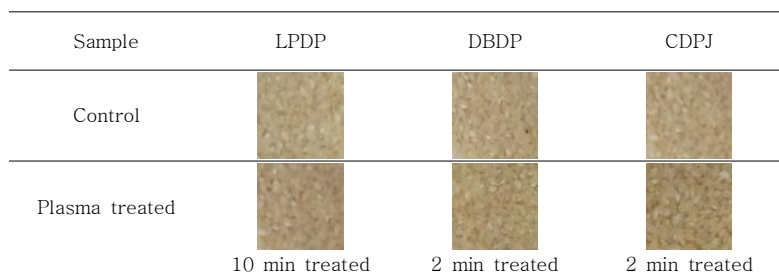


그림 131. 저온플라스마 처리가 백미 외관에 미치는 영향

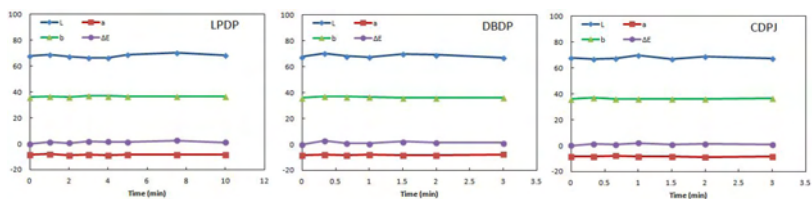


그림 132. 저온플라스마 처리에 의한 백미의 색과 색차 변화

저온 플라스마 처리한 백미의 이화학적 품질변화를 조사한 결과 그림 133와 같이 산가는 처리 전 0.95 ± 0.08 수준을 유지하여 플라스마 처리는 산가에 영향을 미치지 않았음. TBA가는 그림 134와 같이 초기 2.10 ± 0.14 nmol/g을 보였고 LPDP처리 시에는 약간 감소한 반면 DBDP와 CDPJ 처리 시에는 다소 증가하는 경향을 보였음.

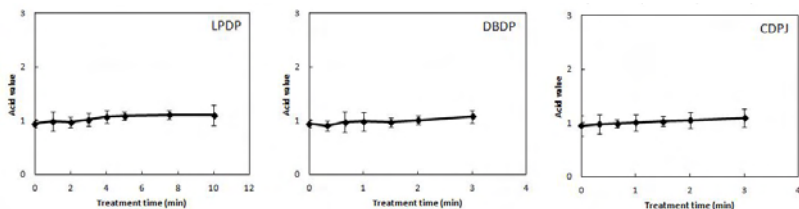


그림 133. 저온플라스마 처리가 백미의 산가에 미치는 영향

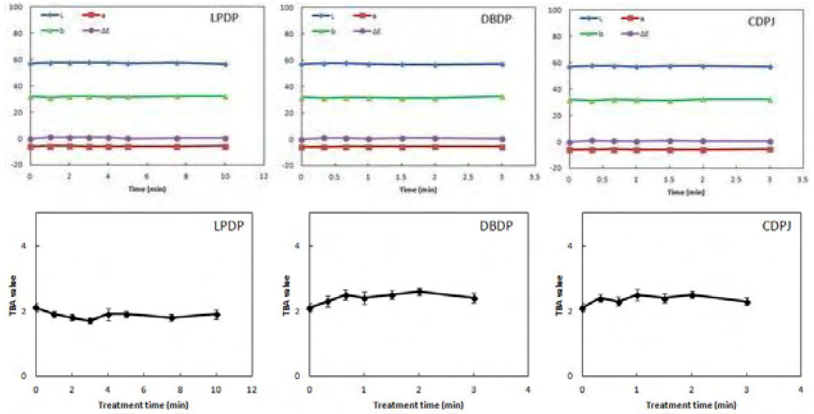


그림 134. 저온플라스마 처리가 백미의 TBA가에 미치는 영향

㉞ 현미

저온플라스마 처리 한 현미의 외관은 그림 135와 같이 처리 전과 처리 후의 차이가 없었으며, 색과 색차 역시 그림 136와 같이 변화 없이 초기 특성을 유지하였음.

저온플라스마 처리한 현미의 산가는 그림 137과 같이 처리 전 1.54 ± 0.17 로서 앞의 백미에 비해 높은 값을 보였음. 현미의 산가는 플라스마 처리시간에 따라 약간 증가하는 경향을 보였음. TBA가는 그림 138와 같이 처리 전에는 21.00 ± 1.12 nmol/g로서 백미에 비해 훨씬 높은 초기 값을 보였으나 플라스마 처리에 의해 변화하지 않았음.

Sample	LPDP	DBDP	CDPJ
Control			
Plasma treated			
	10 min treated	2 min treated	2 min treated

그림 135. 저온플라스마 처리한 현미의 외관

그림 136. 저온플라스마 처리가 현미의 색과 색차에 미치는 영향

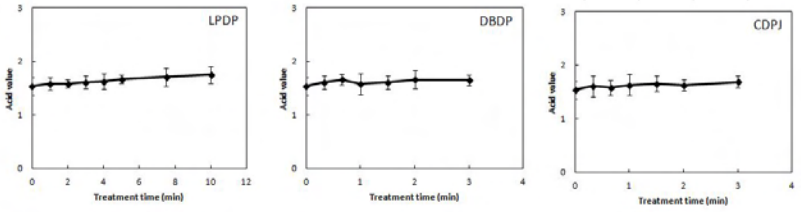


그림 137. 저온플라스마 처리가 현미의 산가에 미치는 영향

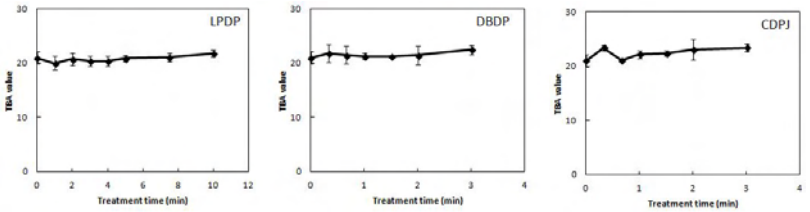


그림 138. 저온플라스마 처리가 현미의 TBA에 미치는 영향

㉔ 압맥

저온플라스마 처리 후 압맥의 품질변화는 그림 139과 같이 압맥의 외관은 처리 전과 처리 후에 큰 차이가 거의 없었음. 플라스마 처리시간에 따른 색과 색차를 비교한 결과 그림 140과 같이 플라스마 종류와 처리시간에 따른 변화 없이 처리 전 특성을 유지하였음.

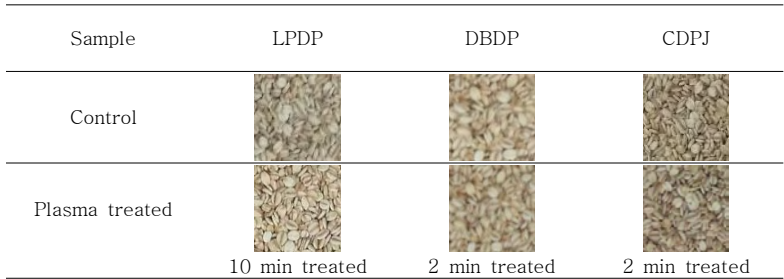


그림 139. 저온플라스마 처리한 압맥의 외관

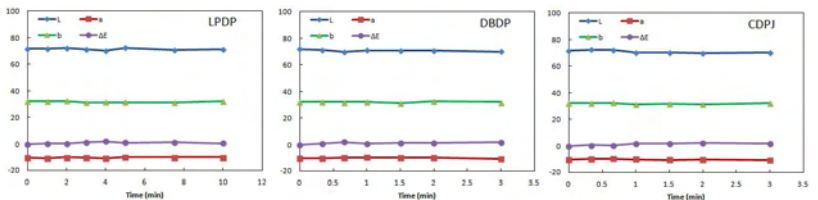


그림 140. 저온플라스마 처리가 압맥의 색과 색차에 미치는 영향

저온 플라스마 처리 후 압맥의 이화학적 품질변화를 조사한 결과 그림 141와 같이 초기 산가는 2.12 ± 0.17 로서 현미보다도 높아 곡류 중 가장 높은 값을 보였음. 플라스마 처리시간에 따라 압맥의 산가는 약간 증가하였으나, TBA가는 그림 142에 나타난 것처럼 초기 22.10 ± 1.81 nmol/g 수준을 유지하였음.

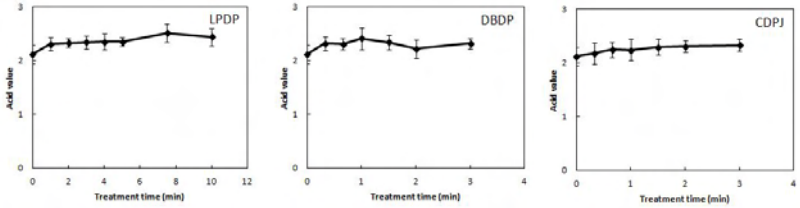


그림 141. 저온플라스마 처리가 압맥의 산가에 미치는 영향

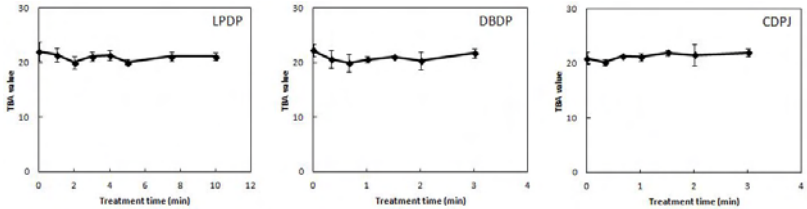


그림 142. 저온플라스마 처리가 압맥의 TBA가에 미치는 영향

(나) 과채류

① 과채류 오염도 조사

㉞ 새싹

시판 중인 새싹 5 종의 오염도를 조사한 결과 표 32와 같이 일반세균과 진균류가 각각 10^7 CFU/g 정도로 심각한 수준의 오염도를 보였으며, 대장균군과 살모넬라, 바실러스, 포도상구균과 리스테리아에 이르기까지 $10^3 - 10^6$ CFU/g 수준으로 존재하여 위생 개선이 시급함. 특히 새싹은 샐러드나 비빔밥 고명 등으로 익히지 않고 소비하므로 비가열 살균 기술의 적용이 필요함.

표 32. 시판 새싹제품의 미생물 오염

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Product					Mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	7.03×10^7 $\pm 1.67 \times 10^7$	6.10×10^7 $\pm 6.24 \times 10^6$	5.73×10^7 $\pm 1.33 \times 10^7$	3.10×10^7 $\pm 7.21 \times 10^6$	7.27×10^6 $\pm 2.05 \times 10^6$	4.54×10^7 $\pm 6.61 \times 10^6$
Molds	1.57×10^7 $\pm 4.16 \times 10^6$	2.03×10^7 $\pm 9.02 \times 10^6$	6.27×10^6 $\pm 1.89 \times 10^6$	5.50×10^6 $\pm 1.65 \times 10^6$	2.20×10^7 $\pm 1.06 \times 10^6$	1.40×10^7 $\pm 3.56 \times 10^6$
Coliform bacteria	6.10×10^6 $\pm 6.24 \times 10^6$	6.83×10^6 $\pm 7.64 \times 10^5$	4.93×10^6 $\pm 2.57 \times 10^6$	2.20×10^6 $\pm 1.06 \times 10^6$	2.87×10^6 $\pm 1.53 \times 10^6$	4.59×10^6 $\pm 2.44 \times 10^6$
<i>Salmonella</i>	2.20×10^5 $\pm 7.21 \times 10^4$	9.97×10^5 $\pm 2.08 \times 10^5$	1.87×10^5 $\pm 1.15 \times 10^5$	2.63×10^4 $\pm 4.62 \times 10^3$	2.50×10^5 $\pm 6.08 \times 10^4$	3.37×10^5 $\pm 9.26 \times 10^4$
<i>Bacillus</i>	2.23×10^3 $\pm 1.04 \times 10^3$	2.53×10^4 $\pm 1.53 \times 10^4$	2.97×10^4 $\pm 8.08 \times 10^3$	1.60×10^4 $\pm 5.00 \times 10^3$	2.77×10^5 $\pm 1.29 \times 10^5$	7.02×10^4 $\pm 3.14 \times 10^4$
<i>Staphylococcus</i>	3.12×10^3 $\pm 2.27 \times 10^3$	4.12×10^3 $\pm 1.12 \times 10^3$	1.20×10^3 $\pm 5.75 \times 10^2$	2.40×10^3 $\pm 1.00 \times 10^3$	1.00×10^3 $\pm 1.00 \times 10^2$	2.38×10^3 $\pm 1.02 \times 10^3$
<i>Listeria</i>	4.50×10^4 $\pm 2.00 \times 10^4$	1.60×10^4 $\pm 3.61 \times 10^3$	2.53×10^4 $\pm 1.53 \times 10^4$	3.20×10^4 $\pm 1.00 \times 10^4$	3.20×10^4 $\pm 2.00 \times 10^4$	3.01×10^4 $\pm 1.38 \times 10^4$

② 저온플라스마를 이용한 새싹 살균

초기 오염도가 가장 높았던 새싹제품 A를 사용하여 일반세균에 대한 저온플라스마 살균효과를 비교한 결과 그림 143와 같이 3분간 처리 후 LPDP는 0.95 log(CFU/g), DBDP는 1.48 log(CFU/g), CDPJ는 1.72 log(CFU/g) 감소를 보여 새싹의 경우도 CDPJ의 살균력이 가장 높았고 그 다음은 DBDP이었으며 LPDP의 살균력이 가장 낮았음.

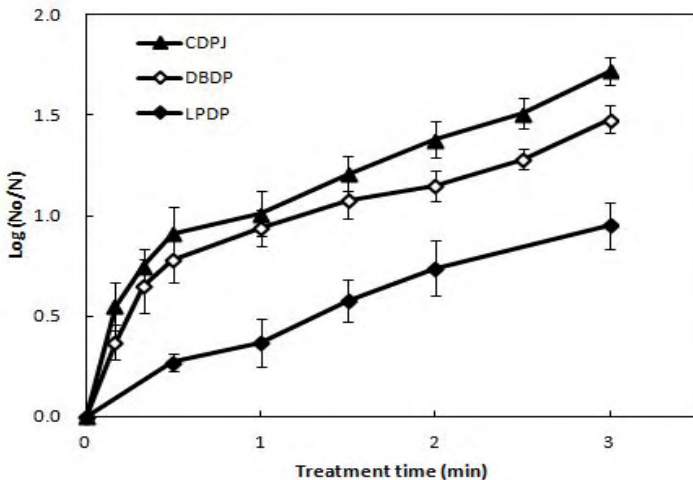


그림 143. 저온플라스마 종류별 새싹제품 내 일반세균 살균력 비교

일반세균에서의 살균속도상수는 1 단계에서 CDPJ > DBDP > LPDP 순서로 CDPJ의 살균효과가 모든 미생물에서 우수하게 나타났으며 2 단계에서는 플라즈마 종류에 따라 일정한 경향이 없었음. 미생물별 살균효과는 플라즈마 종류에 상관없이 일반세균에서 가장 높은 k_1 값을 보였음. 플라즈마 처리 시 새싹의 일반세균과, 진균류, 박테리아의 살균효과는 양호한 수준이었으나 바실러스, 포도상구균과 리스테리아는 살균력이 상대적으로 떨어지는 것으로 나타났음.

새싹에서 저온플라즈마 종류 및 미생물별 살균곡선형상계수는 표 33과 같이 모두 1.0 미만의 값을 보여 초기 살균속도는 높았다가 후기로 갈수록 낮아짐을 알 수 있었음.

표 33. 새싹 미생물의 플라즈마 살균 곡선 형상 계수

Microorganisms	Plasma type		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	0.491 ± 0.246	0.865 ± 0.108	0.664 ± 0.138
Molds	0.698 ± 0.251	0.522 ± 0.232	0.454 ± 0.182
Coliform bacteria	0.575 ± 0.124	0.567 ± 0.107	0.595 ± 0.160
<i>Salmonella</i>	0.557 ± 0.112	0.705 ± 0.101	0.719 ± 0.178
<i>Bacillus</i>	0.789 ± 0.120	0.564 ± 0.167	0.559 ± 0.131
<i>Staphylococcus</i>	0.458 ± 0.231	0.461 ± 0.173	0.682 ± 0.202
<i>Listeria</i>	0.814 ± 0.147	0.605 ± 0.244	0.457 ± 0.152

D'-값은 플라즈마 종류에 관계없이 일반세균이 진균보다 낮은 값을 나타내어 세균의 살균이 수월함을 알 수 있었으며, 세균 중에는 대장균군이 가장 낮은 D'-값을 보였고 리스테리아가 가장 높은 값을 보였음. 플라즈마 종류별로는 CDPJ가 가장 작은 값을 보여 높은 살균력을 가졌고, 그 다음이 DBDP이었으며, LPDP가 가장 낮은 살균력을 보였음.

표 34. 새싹 미생물의 플라즈마 살균 D⁻값

(unit: min)

Microorganisms	Plasma types		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	8.421 ± 1.671 ^{b1)}	3.128 ± 1.112 ^b	3.018 ± 0.754 ^c
Molds	10.442 ± 1.118 ^{ab}	4.987 ± 0.987 ^{ab}	4.120 ± 0.457 ^{bc}
Coliform bacteria	7.856 ± 2.442 ^b	3.418 ± 1.114 ^b	3.335 ± 1.112 ^{bc}
<i>Salmonella</i>	11.487 ± 1.975 ^{ab}	5.442 ± 1.512 ^{ab}	4.981 ± 1.228 ^{abc}
<i>Bacillus</i>	13.914 ± 2.114 ^a	6.121 ± 1.742 ^a	5.371 ± 1.381 ^{ab}
<i>Staphylococcus</i>	14.115 ± 2.354 ^a	4.484 ± 0.775 ^{ab}	4.124 ± 0.951 ^{bc}
<i>Listeria</i>	12.776 ± 2.876 ^a	6.812 ± 1.842 ^a	7.121 ± 1.425 ^a

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

③ 저온플라즈마 처리에 의한 새싹 품질변화

저온플라즈마 처리 시 새싹의 외관 및 색은 각각 그림 144와 그림 145에서와 같이 플라즈마 종류에 관계없이 변화를 수반하지 않았음.

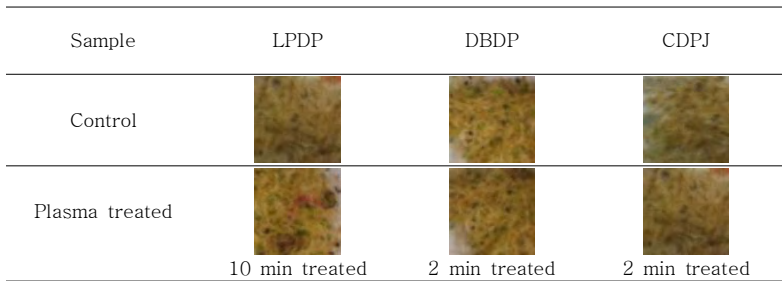


그림 144. 저온플라즈마 처리한 새싹의 외관

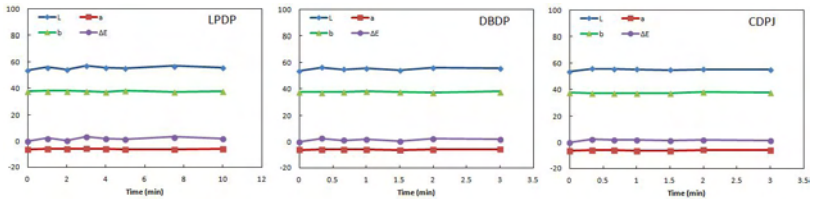


그림 145. 저온플라즈마 처리에 의한 새싹의 색 변화

(다) 김

① 김의 오염도 조사

시판 마른 김 5 종의 미생물 오염도를 조사한 결과 표 35와 같이 일반세균은 $1.36 \times 10^6 - 7.80 \times 10^6$ CFU/g, 진균류는 $2.00 \times 10^5 - 5.50 \times 10^6$ CFU/g 수준의 오염도를 보였으며, 해양유래세균은 $1.00 \times 10^6 - 5.50 \times 10^6$ CFU/g으로 일반세균의 주종을 이루었음. 리스테리아는 $1.20 \times 10^5 - 6.10 \times 10^5$ CFU/g 수준의 오염도를 보였으며, 대장균군, 살모넬라, 바실러스, 포도상구균 및 비브리오균은 검출되지 않았음.

표 35. 시판 김의 미생물 오염

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Products					Positive mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	7.80×10^6	5.20×10^6	2.10×10^6	1.38×10^6	1.36×10^6	3.57×10^6
	±	±	±	±	±	±
	1.72×10^5	2.12×10^5	1.35×10^5	3.12×10^5	6.22×10^5	2.91×10^5
Molds	5.50×10^6	1.00×10^5	1.00×10^6	8.00×10^4	2.00×10^5	1.38×10^6
	±	±	±	±	±	±
	1.98×10^5	6.21×10^4	1.24×10^5	7.88×10^3	6.32×10^4	9.10×10^4
Coliform bacteria	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Salmonella	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Bacillus	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Staphylococcus	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Listeria	6.10×10^5	1.40×10^5	1.20×10^5	5.50×10^4	5.50×10^5	4.09×10^5
	±	±	±	±	±	±
	1.12×10^5	4.22×10^4	5.11×10^4	2.12×10^4	2.21×10^5	8.95×10^4
Marine bacteria	5.50×10^6	2.90×10^6	1.93×10^6	1.00×10^6	1.36×10^6	2.54×10^6
	±	±	±	±	±	±
	3.55×10^5	1.11×10^5	2.75×10^5	3.34×10^5	2.12×10^5	2.57×10^5
Vibrio	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

② 저온플라스마를 이용한 마른김 살균

마른 김의 일반세균에 대한 종류별 저온플라스마 살균력을 비교한 결과 그림 146과 같이 3분 처리 후 LPDP, DBDP, CDPJ의 경우 각각 0.78, 1.21, 1.39 log(CFU/g)의 감소를 보여 마른 김의 경우도 CDPJ 살균효과가 가장 우수하였으며, DBDP, LPDP 순으로 살균력이 낮아졌음.

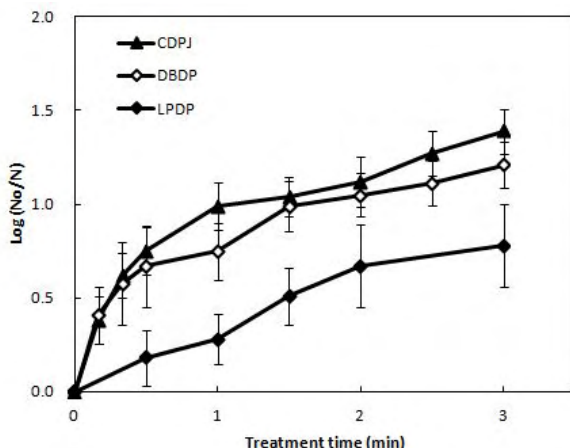


그림 146. 저온플라스마 종류별 마른 김의 일반세균에 대한 살균력 비교

저온플라스마 종류에 따른 미생물별 살균곡선형상계수는 표 36과 같이 모든 플라스마 처리에서 1.0 미만의 값을 나타내어 살균 속도가 시간에 따라 낮아짐을 알 수 있었음.

D'-값은 표 37과 같이 플라스마 종류에 관계없이 해양유래세균을 포함한 일반세균이 작은 값을 보였으며, 리스테리아는 상대적으로 큰 값을 보였음. 플라스마 종류별 D'-값은 LPDP가 가장 높았고, DBDP와 CDPJ 순으로 낮아져 CDPJ 살균효과가 가장 우수하였음.

표 36. 마른김 내 미생물의 플라스마 살균곡선형상계수

Microorganisms	Plasma type		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	0.790 ± 0.185	0.865 ± 0.108	0.664 ± 0.138
Molds	0.861 ± 0.151	0.522 ± 0.232	0.454 ± 0.182
<i>Listeria</i>	0.645 ± 0.170	0.461 ± 0.173	0.682 ± 0.202
Marine bacteria	0.757 ± 0.098	0.605 ± 0.244	0.457 ± 0.152

표 37. 마른김 미생물의 플라즈마 살균 D'-값

(unit: min)

Microorganisms	Plasma type		
	LPDP	DBDP	CDPJ
Bacteria	10.421 ± 2.215 ^{b1)}	0.312 ± 0.127 ^a	3.875 ± 0.652 ^a
Molds	12.187 ± 1.895 ^{ab}	0.254 ± 0.149 ^a	5.128 ± 0.528 ^a
<i>Listeria</i>	15.421 ± 1.485 ^a	0.228 ± 0.091 ^a	4.896 ± 1.125 ^a
Marine bacteria	11.028 ± 2.157 ^b	0.251 ± 0.084 ^a	4.152 ± 1.424 ^a

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

③ 저온플라즈마 처리에 의한 마른김 품질변화

저온플라즈마 처리 후 마른김의 외관과 색은 각각 그림 147과 그림 148와 같이 처리 전과 차이가 없었음. 저온플라즈마 처리가 김의 항산화력에 미치는 영향을 조사하기 위해 폴리페놀함량을 분석한 결과 그림 149과 같이 변동은 있었으나 일정한 경향은 볼 수 없었음. DPPH라디칼 소거능은 그림 150에서 보는 바와 같이 처리 전 71.4% 수준을 유지하여 플라즈마 처리는 마른김의 항산화능에 영향을 주지 않았음.

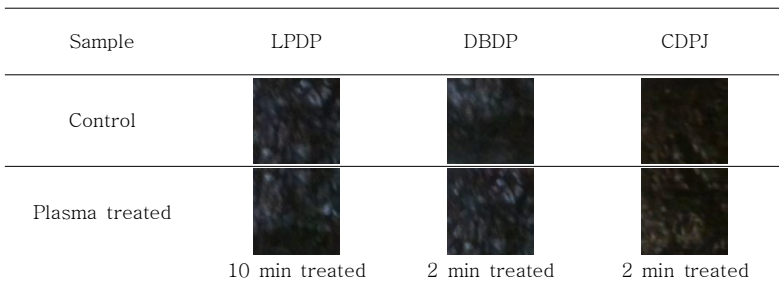


그림 147. 저온플라즈마 처리한 마른김 외관

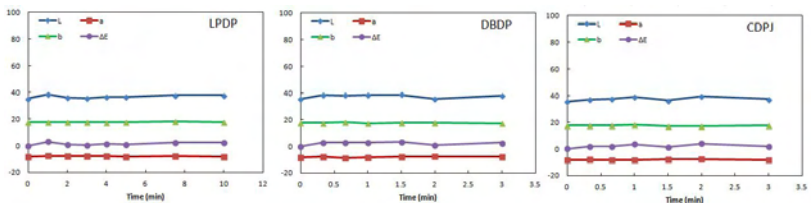


그림 148. 저온플라즈마에 의한 김의 색 변화

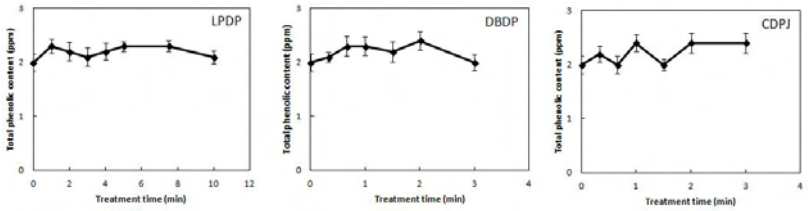


그림 149. 저온플라스마 처리가 김의 폴리페놀함량에 미치는 영향

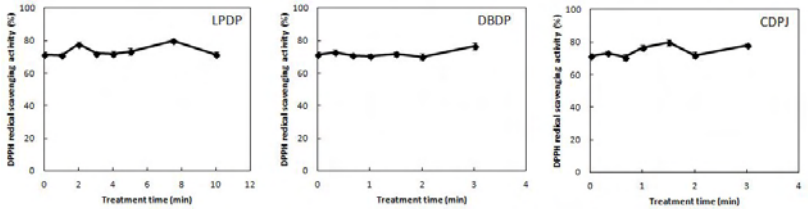


그림 150. 저온플라스마 처리가 김의 DPPH라디칼 소거능에 미치는 영향

(4) 저온플라스마 현장적용 모델

(가) 현장적용 가능 저온플라스마시스템 개발

본 연구를 통하여 저온플라스마를 이용한 식품위생 향상 기술을 개발하였고, 개발 기술을 다양한 크기와 모양의 농수산물 비가열 살균에 응용하고자 신선 농산물/식품 생산·처리 현장 상황에 적합하도록 시스템을 고안하였고 이를 활용하여 다양한 농산물/식품의 표면살균을 시도하였음.

① 현장적용 저온플라스마시스템 개발

처리대상 농산물/식품의 크기와 모양에 따른 제약 없이 저온플라스마를 처리하려면 상업에서 처리가 가능하고 처리될 공간이 충분해야 하므로 현장적용 저온플라스마 방식은 실용성과 살균력이 우수했던 CDPJ시스템을 바탕으로 설계하였음. 이러한 조건에 부합하도록 그림 151와 같이 CDPJ를 사용하여 공기를 처리하고 이를 별도의 처리실에 송입하는 시스템을 개발하였고 원격코로나방전플라스마제트(R-CDPJ, remote corona discharge plasma jet)시스템으로 명명하였음.

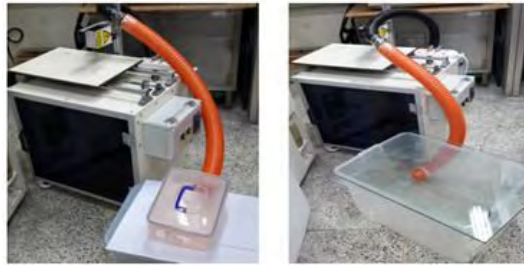
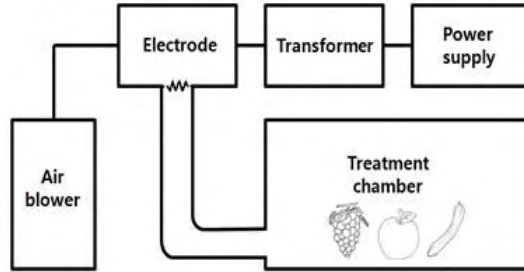


그림 151. 현장적용 R-CDPJ 시스템 구조 및 실험 사진

② R-CDPJ시스템 운전특성

㉞ 소비전력

R-CDPJ시스템의 플라즈마발생 기구 및 기본구조는 앞의 CDPJ를 바탕으로 하므로 주파수 37.0 kHz, 전류 1.5 A로 구동한 경우의 소비전력은 그림 152과 같이 CDPJ와 동일하였고 처리실 용량에 따른 차이도 없이 모두 353 W가 소요되었음.

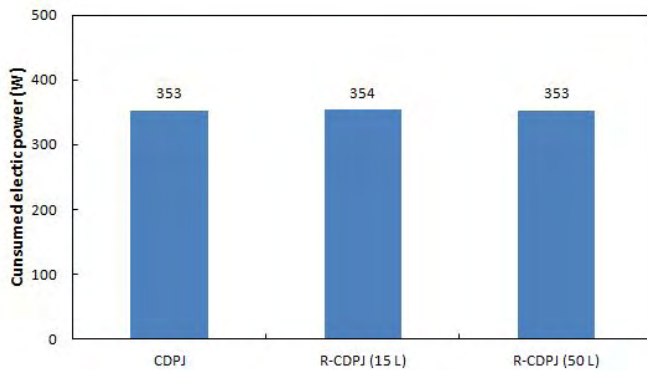


그림 152. CDPJ와 R-CDPJ 전력소모량

㉔ R-CDPJ 처리실 온도상승

R-CDPJ 시스템을 사용하여 원격으로 플라즈마 처리 시 용량 15 L 처리실 내부 온도 변화를 측정한 결과는 그림 153과 같았음. 원격으로 플라즈마를 처리한 경우 처리실 내부의 온도는 초기 2시간 동안 21 °C에서 43 °C까지 22 °C 정도 상승한 후 일정하게 유지되었음. 처리실 내 습도를 유지하기 위해 처리실 바닥에 증발접시를 장치하고 수분을 공급하면서 가동하면 처리실 내부의 온도는 39 °C로 유지되었음. 플라즈마 이송관 내부에 냉각장치(Cooler Chiller, CC-100, Thermo Neslab, Thermo Fisher Scientific Inc. Waltham, MA, USA)를 설치한 경우 처리실 내부의 온도는 33 °C 정도로 유지되었음. 냉각장치를 설치하고 동시에 습도를 조절할 경우 무처리구에 비해 처리실 내 온도상승을 10 °C 정도 낮출 수 있었음.

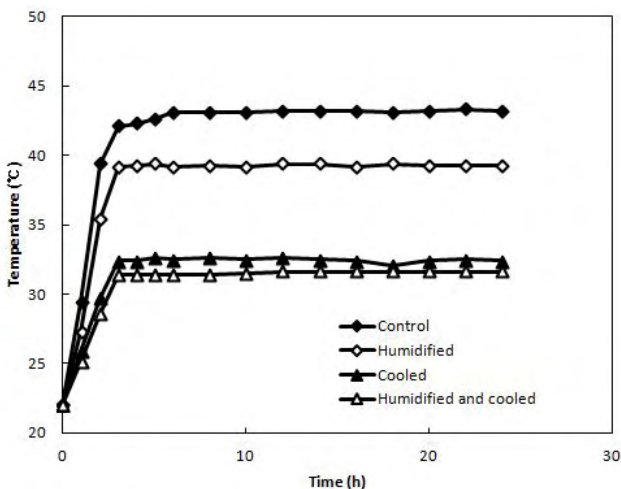


그림 153. R-CDPJ 처리 시 용량 15 L 처리실 내 온도 변화

R-CDPJ 처리실의 규모를 15 L에서 50 L로 늘린 경우의 처리실 내부의 온도 변화는 그림 154과 같았음. 처리실 내부의 온도는 초기 2시간 동안 21 °C에서 39 °C까지 증가하여 18 °C 정도의 온도 상승을 보였고 이후 39 °C를 유지하였음. 이는 앞의 용량 15 L 처리실의 경우 온도상승이 22 °C 인 것에 비하여 4 °C 정도 낮아진 것으로 처리실의 용량이 커지면 온도 상승정도가 감소하였음. 처리실 습도를 높이면 내부의 온도는 35 °C까지 유지되었음. 냉각기를 설치한 경우 처리실 내부의 온도는 28 °C 이하로 유지되어 냉각장치를 설치하지 않은 경우에 비해 11 °C 정도 낮아졌음. 습도유지와 냉각기를 함께 설치하면 온도 상승이 최대한 억제되어 27 °C 정도로 유지되었음. 이는 초기온도 21 °C에서 6 °C 정도 상승된 수치로써 처리실 용량을 키우고 가습과 냉각을 병용하면 온도상승을 크게 낮출 수 있었음.

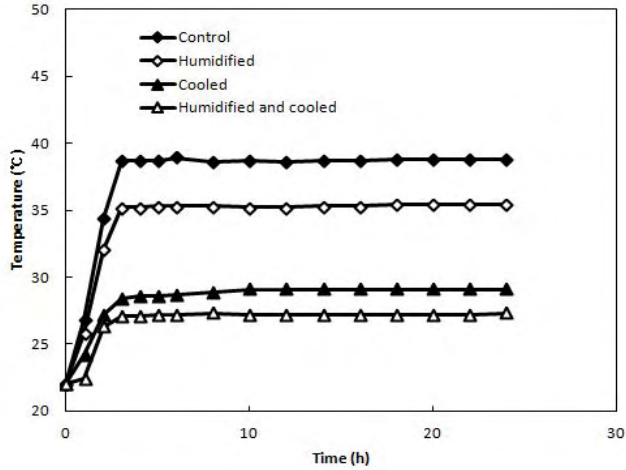


그림 154. R-CDPJ 처리 시 용량 50 L 처리실 내 온도 변화

㊤ R-CDPJ 처리실 습도변화

R-CDPJ 처리 시 용량 15 L인 처리실 내부의 습도변화는 그림 155과 같았으며 가습하지 않고 처리실 내부에 플라즈마를 처리한 경우 상대습도(RH)는 41%에서 최종 13%로 빠르게 감소하였고, 냉각기를 설치한 경우 RH 28% 수준으로 유지하였음. 습도조절을 한 경우는 처리실 내부의 상대 습도는 34%로 유지되었으며, 습도조절과 냉각기 설치를 병용한 경우에도 유사한 수준으로 유지되었음.

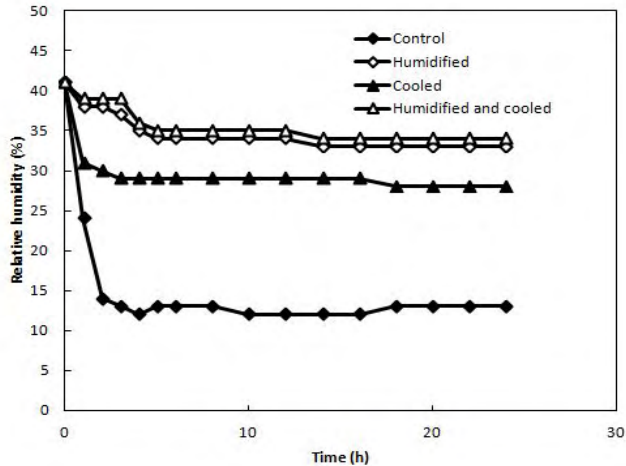


그림 155. R-CDPJ 처리 시 용량 15 L 처리실 내 상대습도 변화

용량 50 L 처리실의 RH 변화는 그림 156과 같이 R-CDPJ 처리한 후 처리실의 상대 습도는 40%에서 21%로 낮아졌으며, 냉각기를 설치한 경우 RH 25%로 유지되었음. 가습에 의해 습도를 조절한 경우 처리실 내부의 RH는 32%로, 습도조절과 공기냉각을 병용한 경우 상대습도가 37%로 유지되었음. 즉, 처리실 용량을 크게 하고 습도조절과 냉각을 병용하면 처리실 내부의 습도를 높게 유지할 수 있었음.

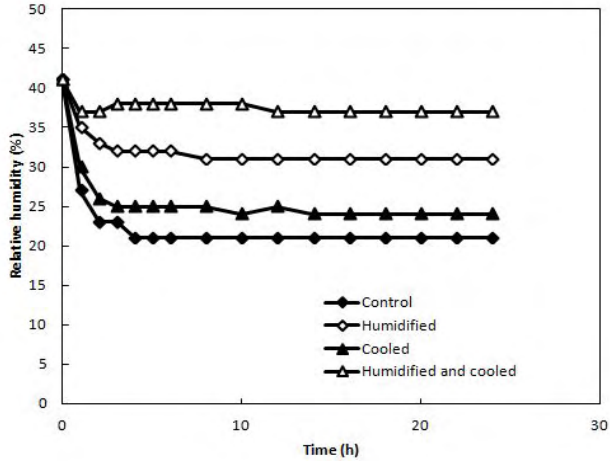


그림 156. R-CDPJ 처리 시 용량 50 L 처리실 내 상대습도 변화

(나) R-CDPJ시스템의 표면 살균력 조사

① R-CDPJ를 이용한 미생물 살균

처리실 용량과 공기조화 조건을 달리하여 R-CDPJ를 사용하여 *Escherichia coli*를 살균한 결과를 보면 그림 157과 같이 처리실 용량 및 공기조화에 의한 살균력의 차이는 없었음. 살균패턴은 그림 158와 같이 2 단계 1차 반응에 속하였음.

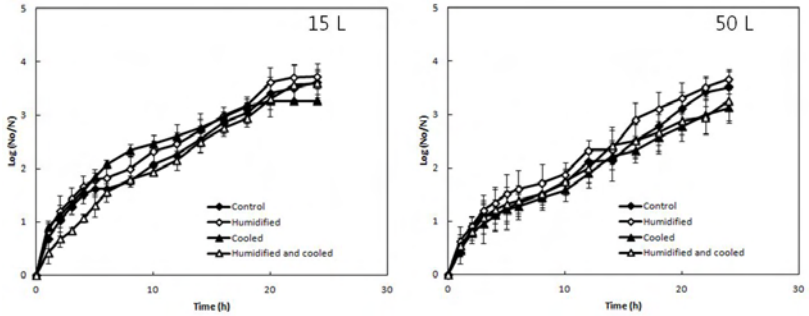


그림 157. 공기조화 및 처리실 용량이 *Escherichia coli*의 R-CDPJ 살균에 미치는 영향

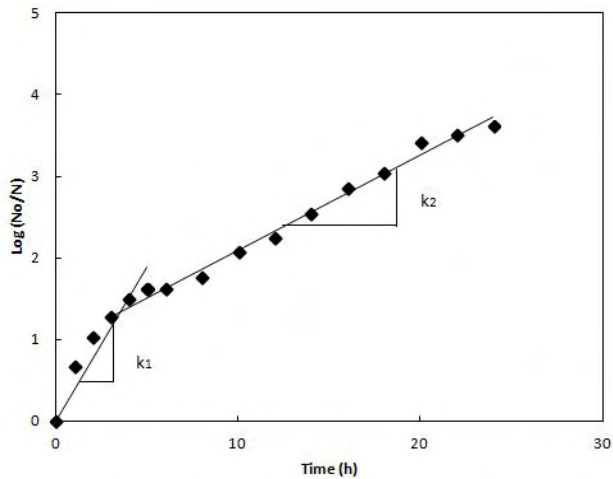


그림 158. *Escherichia coli*의 R-CDPJ 살균 패턴

살균패턴을 Singh-Heldman 모델에 적용한 결과 그림 159과 같이 직선으로 작도되어 의사1차반응에 속하였으며, 살균곡선형상계수는 표 39와 같이 0.581 - 0.811을 보였고 D'-값은 3.307 - 4.990 h로 유의적인 차이는 없어 처리실 용량 및 공기조화 조건은 살균력에 영향을 미치지 않았음.

R-CDPJ의 D'-값은 앞의 표 31과 표 32의 CDPJ에 비해 큰 값을 보여 살균력은 떨어졌지만 많은 용량을 한꺼번에 처리할 수 있고 대상 식품의 품질에 미치는 영향이 미미할 것이므로 처리실 또는 창고에 다량의 식품을 넣고 장시간 처리한 후 출하할 수 있을 것이므로 현장적용성이 있을 것으로 사료됨.

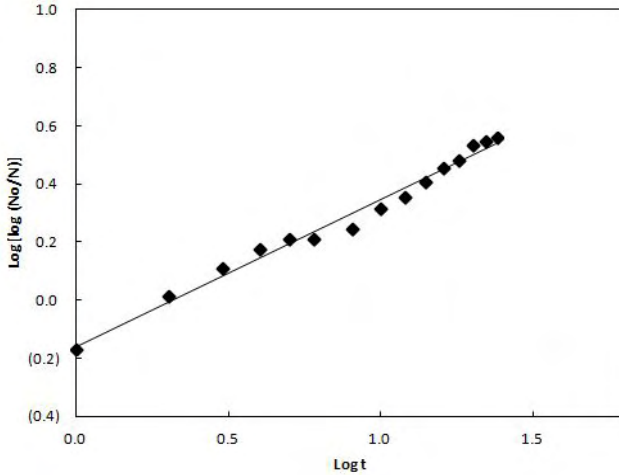


그림 159. Singh-Heldman 모델에 의한 *Escherichia coli*의 R-CDPJ 살균패턴 해석

표 39. 처리실 용량 및 공기조화 조건별 R-CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Chamber capacity (L)	Air condition	n	D' (h)
15	Control	0.681 ± 0.114	3.591 ± 0.865 ^{a1)}
	Humidified	0.787 ± 0.098	4.695 ± 1.243 ^a
	Cooled	0.617 ± 0.078	3.939 ± 1.357 ^a
	Humidified and cooled	0.712 ± 0.158	3.307 ± 1.524 ^a
50	Control	0.811 ± 0.147	3.792 ± 0.738 ^a
	Humidified	0.684 ± 0.128	4.574 ± 0.928 ^a
	Cooled	0.772 ± 0.224	4.990 ± 1.186 ^a
	Humidified and cooled	0.581 ± 0.342	3.901 ± 1.359 ^a

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

온도상승이 가장 적었던 조건(처리실 용량 50 L, 가습, 냉각)에서 R-CDPJ에 의한 미생물의 살균력을 평가한 결과 표 40과 같이 살균곡선형상계수는 *Vibrio parahaemolyticus*를 제외하고는 0.425 - 0.998로 1.0이하의 값을 보였고, D'-값은 *Escherichia coli*가 3.901 h로 가장 작은 값을 보여 살균효과가 가장 양호하였으며, *Vibrio parahaemolyticus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*는 큰 D'-값을 보여 저항성이 있는 것으로 나타났음.

표 40. 식중독균에 대한 R-CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (h)
<i>Escherichia coli</i>	0.581 ± 0.342	3.901 ± 1.359 ^{c1)}
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0.884 ± 0.228	4.412 ± 1.917 ^c
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.917 ± 0.112	4.783 ± 0.383 ^c
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.482 ± 0.242	7.788 ± 0.854 ^b
<i>Bacillus cereus</i>	0.998 ± 0.421	11.067 ± 2.018 ^a
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.814 ± 0.332	11.814 ± 1.275 ^a
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	1.041 ± 0.448	12.791 ± 2.245 ^a
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.425 ± 0.224	6.384 ± 1.125 ^{bc}

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

(다) 식품적용 시험

① 오염도 조사

㉞ 곡류

곡류의 오염도는 앞의 표 34 - 36과 같았음.

㉟ 과채류

파프리카 시료 5 점의 미생물 오염도는 표 41과 같이 일반세균수는 $6.33 \times 10^2 - 8.67 \times 10^2$ CFU/g으로 낮은 수준이었고, 진균류와 대장균군은 일부 시료에서만 검출되었으며, 살모넬라, 바실러스, 포도상구균, 리스테리아는 검출되지 않았음. 파프리카는 플라스마 살균 대상식품 중에서 가장 오염도가 낮아 미생물학적으로 비교적 안전한 식품이었음.

토마토 5 점에 대한 미생물 오염도 조사결과는 표 42와 같이 일반세균은 $7.00 \times 10^2 - 1.80 \times 10^3$ CFU/g, 진균류는 $1.33 \times 10^2 - 6.00 \times 10^2$ CFU/g 수준이었고, 일부 시료에서 대장균군과 포도상구균, 리스테리아가 검출되었으며, 살모넬라와 바실러스는 검출되지 않았음.

시중에서 구입한 고추 5 점의 미생물 오염도는 표 43과 같이 일반세균 $7.93 \times 10^4 - 3.00 \times 10^5$ CFU/g 이었으며, 진균류 $6.43 \times 10^3 - 1.70 \times 10^4$, 대장균군 $1.93 \times 10^3 - 3.33 \times 10^3$ CFU/g 수준이었음. 포도상구균과 리스테리아는 일부만 오염된 것으로 나타났으며, 살모넬라와 바실러스는 검출되지 않았음.

표 41. 파프리카의 미생물 오염

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Products					Positive mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	8.67×10^2 $\pm 3.06 \times 10^2$	7.67×10^2 $\pm 3.06 \times 10^2$	7.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	6.67×10^2 $\pm 2.08 \times 10^2$	6.33×10^2 $\pm 2.08 \times 10^2$	7.33×10^2 $\pm 2.26 \times 10^2$
Molds	5.67×10^2 $\pm 1.53 \times 10^2$	2.67×10^2 $\pm 1.53 \times 10^2$	4.67×10^2 $\pm 2.08 \times 10^2$	N/D	N/D	4.34×10^2 $\pm 1.71 \times 10^2$
Coliform bacteria	4.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	2.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	N/D	N/D	N/D	3.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$
<i>Salmonella</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Bacillus</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Staphylococcus</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Listeria</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

표 42. 토마토의 미생물 오염

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Products					Positive mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	1.80×10^3 $\pm 2.65 \times 10^2$	1.43×10^3 $\pm 3.06 \times 10^2$	1.30×10^3 $\pm 2.00 \times 10^2$	9.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	7.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	1.23×10^3 $\pm 1.94 \times 10^2$
Molds	6.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	3.33×10^2 $\pm 2.52 \times 10^2$	3.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	2.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	1.33×10^2 $\pm 5.77 \times 10$	3.13×10^2 $\pm 1.21 \times 10^2$
Coliform bacteria	2.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	N/D	3.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	4.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	N/D	3.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$
<i>Salmonella</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Bacillus</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Staphylococcus</i>	3.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	N/D	3.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	2.00×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$	N/D	2.87×10^2 $\pm 1.00 \times 10^2$
<i>Listeria</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

표 43. 고추의 미생물 오염

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Product					Positive mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	3.00x10 ⁵ ± 3.00x10 ⁴	2.33x10 ⁵ ± 2.08x10 ⁴	1.77x10 ⁵ ± 5.13x10 ⁴	7.10x10 ⁴ ± 2.65x10 ⁴	7.93x10 ⁴ ± 2.24x10 ⁴	1.72x10 ⁵ ± 3.02x10 ⁴
Molds	1.70x10 ⁴ ± 4.00x10 ³	9.50x10 ³ ± 6.08x10 ²	6.20x10 ³ ± 1.00x10 ³	5.80x10 ³ ± 3.61x10 ²	6.43x10 ³ ± 3.36x10 ³	8.98x10 ³ ± 1.87x10 ³
Coliform bacteria	3.33x10 ³ ± 2.25x10 ²	2.60x10 ³ ± 1.00x10 ²	2.33x10 ³ ± 8.50x10 ²	2.63x10 ³ ± 2.52x10 ²	1.93x10 ³ ± 5.51x10 ²	2.56x10 ³ ± 3.96x10 ²
<i>Salmonella</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Bacillus</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Staphylococcus</i>	1.70x10 ³ ± 9.54x10 ²	N/D	1.33x10 ³ ± 1.53x10 ²	6.33x10 ² ± 1.53x10 ²	N/D	1.22x10 ³ ± 4.19x10 ²
<i>Listeria</i>	2.17x10 ³ ± 1.76x10 ³	1.37x10 ³ ± 3.79x10 ²	N/D	N/D	N/D	1.77x10 ³ ± 1.07x10 ³

㉔ 해조류

시판 마른김의 오염도 조사결과는 앞의 표 45와 같았고, 다시마의 미생물 오염도는 표 46과 같음. 다시마의 일반세균은 1.57x10³ - 2.97x10³ CFU/g 범위를 보였고, 바실러스, 포도상구균, 해양유래세균은 10² - 10³ CFU/g 수준으로 김에 비하여 다소 낮은 오염수준이었음. 그러나 시료에 따라서는 진균류, 대장균군, 리스테리아가 검출되어 김보다 다양한 미생물에 오염되어 있는 것으로 나타났고, 살모넬라와 비브리오는 검출되지 않았음.

표 46. 다시마의 미생물 오염

(unit: CFU/g)

Microorganisms	Product					Positive mean
	A	B	C	D	E	
Bacteria	2.97x10 ³ ± 4.16x10 ²	2.93x10 ³ ± 1.53x10 ²	2.53x10 ³ ± 2.52x10 ²	2.10x10 ³ ± 2.00x10 ²	1.57x10 ³ ± 2.31x10 ²	2.42x10 ³ ± 2.51x10 ²
Molds	5.00x10 ² ± 2.00x10 ²	4.33x10 ² ± 1.53x10 ²	N/D	N/D	N/D	4.66x10 ² ± 1.76x10 ²
Coliform bacteria	9.33x10 ² ± 2.08x10 ²	N/D	N/D	7.67x10 ² ± 5.03x10 ²	N/D	8350x10 ² ± 3.56x10 ²
<i>Salmonella</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Bacillus</i>	1.77x10 ³ ± 1.08x10 ³	8.00x10 ² ± 1.00x10 ²	1.20x10 ³ ± 1.00x10 ²	1.10x10 ³ ± 1.00x10 ²	1.17x10 ³ ± 3.81x10 ²	1.21x10 ³ ± 3.52x10 ²
<i>Staphylococcus</i>	7.00x10 ² ± 1.08x10 ²	5.33x10 ² ± 1.53x10 ²	6.67x10 ² ± 5.77x10 ²	4.67x10 ² ± 1.53x10 ²	9.63x10 ² ± 1.53x10 ²	6.60x10 ² ± 1.23x10 ²
<i>Listeria</i>	4.00x10 ² ± 1.08x10 ²	N/D	N/D	3.00x10 ² ± 1.08x10 ²	N/D	3.50x10 ² ± 1.08x10 ²
Marine bacteria	1.86x10 ³ ± 7.42x10 ²	1.37x10 ³ ± 5.31x10 ²	1.71x10 ³ ± 4.21x10 ²	1.42x10 ³ ± 1.67x10 ²	1.42x10 ³ ± 3.40x10 ²	156x10 ³ ± 4.40x10 ²
<i>Vibrio</i>	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

② R-CDPJ 살균

㉔ 곡류

R-CDPJ처리에 의한 곡류의 일반세균 감소는 그림 160과 같이 24 시간 경과 후 백미, 현미, 압맥에서 각각 1.36, 1.56, 1.77 log(CFU/g) 감소를 보여 압맥이 가장 양호한 결과를 보였음. 백미보다는 현미의 살균효과가 높은 것으로 나타났음.

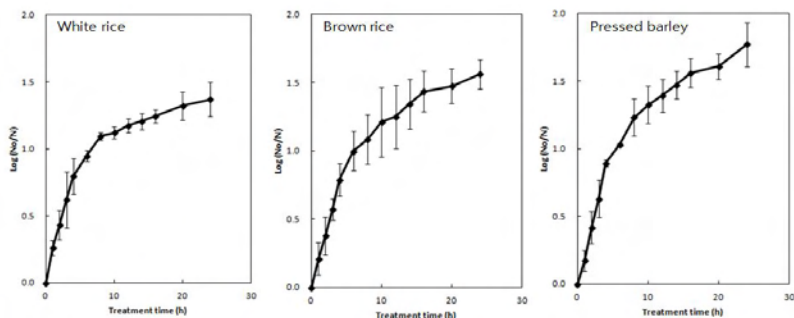


그림 160. R-CDPJ에 의한 곡류 살균 결과

R-CDPJ 처리한 곡류의 미생물별 살균곡선형상계수는 표 47과 같이 0.457 - 0.845 범위의 값을 보여 처리시간에 따라 살균속도가 저하하는 의사1차반응에 속하였음. D'-값은 표 48과 같이 백미, 현미, 압맥 모두 서로 유사하였으며, 미생물 가운데 바실러스의 D'-값이 가장 커서 높은 저항성을 보였음.

표 47. 곡류의 R-CDPJ 살균 곡선 형상계수

Microorganisms	Grain		
	White rice	Brown rice	Pressed barley
Bacteria	0.656 ± 0.101	0.641 ± 0.173	0.790 ± 0.199
Molds	0.751 ± 0.109	0.601 ± 0.110	0.464 ± 0.193
Coliform bacteria	0.650 ± 0.203	0.831 ± 0.080	0.457 ± 0.101
<i>Bacillus</i>	0.845 ± 0.212	0.675 ± 0.120	0.581 ± 0.171
<i>Staphylococcus</i>	0.673 ± 0.267	0.627 ± 0.111	0.726 ± 0.103

표 48. 곡류의 R-CDPJ 살균 D'-값

(unit: h)

Microorganisms	Grain		
	White rice	Brown rice	Pressed barley
Bacteria	5.321 ± 0.664 ^{c1)}	6.112 ± 0.951 ^a	5.621 ± 1.089 ^c
Molds	7.324 ± 1.133 ^{bc}	7.598 ± 1.821 ^a	8.123 ± 1.258 ^{bc}
Coliform bacteria	6.854 ± 0.876 ^{bc}	6.912 ± 0.451 ^a	6.124 ± 0.481 ^{bc}
<i>Bacillus</i>	17.442 ± 1.503 ^a	15.324 ± 2.124 ^c	12.524 ± 1.874 ^a
<i>Staphylococcus</i>	8.642 ± 1.465 ^b	9.892 ± 2.312 ^b	8.654 ± 2.184 ^b

¹⁾Values with different letters differ significantly (p<0.05).

㊤ 과채류

새싹, 파프리카, 고추, 토마토 등 과채류의 R-CDPJ 처리시간에 따른 일반세균 변화는 그림 161와 같이 24 시간 처리에 의해 각각 1.89, 1.07, 1.31, 1.26 log(CFU/g) 감소하여 초기 오염이 심했던 새싹에 대한 살균효과가 가장 높았음.

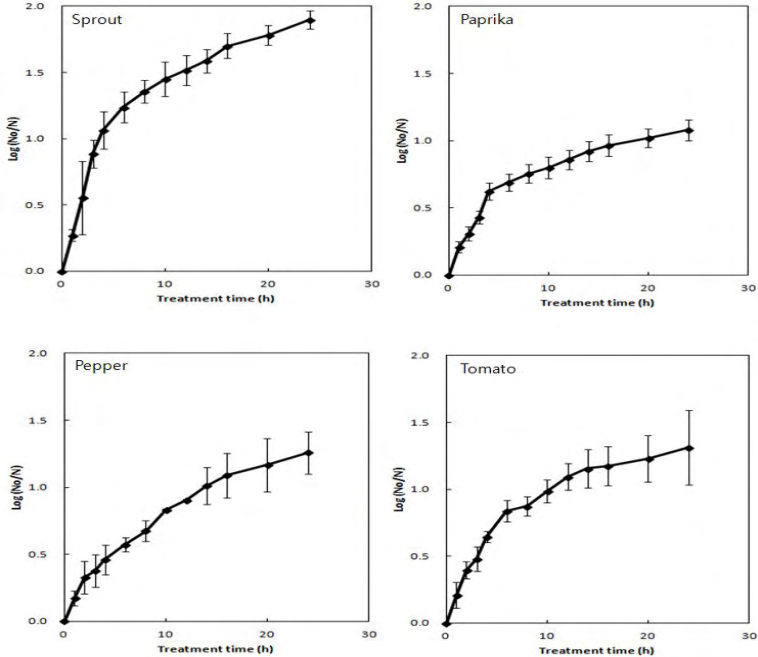


그림 161. 과채류에 대한 R-CDPJ 살균효과

새싹의 R-CDPJ 살균곡선형상계수는 표 49와 같이 0.496 - 0.877 범위의 값을 보였으며, D'-값은 6.12 - 11.241 h로 나타났다. 일반세균의 D'-값은 6.122 h, 진균류는 9.048 h를 보여 진균의 저항성이 세균에 비해 높았음. 그러나 바실러스와 리스테리아는 진균류보다 높은 D'-값을 보여 R-CDPJ 저항성이 큰 것으로 나타났다.

표 49. 새싹의 R-CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (h)
Bacteria	0.496 ± 0.240	6.122 ± 1.215
Molds	0.846 ± 0.110	9.048 ± 1.684
Coliform bacteria	0.804 ± 0.181	6.851 ± 1.852
<i>Salmonella</i>	0.843 ± 0.183	9.884 ± 2.124
<i>Bacillus</i>	0.661 ± 0.214	10.486 ± 2.321
<i>Staphylococcus</i>	0.877 ± 0.126	7.421 ± 1.542
<i>Listeria</i>	0.760 ± 0.208	11.241 ± 2.247

Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

R-CDPJ를 이용하여 파프리카에 있는 미생물의 살균력을 검증한 결과는 표 50과 같이 살균곡선형상계수는 0.507 - 0.729 사이의 값을 보였으며 D'-값은 일반세균이 7.765 h, 진균류가 9.234 h를 보여 진균류가 높은 값을 보였으나 차이에 대한 유의성은 없었음.

표 50. 파프리카의 R-CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (h)
Bacteria	0.673 ± 0.244	7.765 ± 1.790 ^a
Molds	0.729 ± 0.143	9.234 ± 2.145 ^a
Coliform bacteria	0.507 ± 0.241	8.148 ± 1.751 ^a

Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

R-CDPJ의 토마토 미생물에 대한 살균력을 검증한 결과 표 51과 같음. 토마토 역시 살균곡선형상계수가 1.0 이하로 초기살균속도가 후기에 비해 높았고, D'-값은 8.123 - 9.618 h 범위의 값을 보였으며 미생물 간의 유의차는 없었음.

표 51. 토마토의 R-CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (h)
Bacteria	0.752 ± 0.205	8.123 ± 1.333 ^a
Molds	0.801 ± 0.240	9.991 ± 1.542 ^a
Coliform bacteria	0.705 ± 0.218	8.842 ± 0.912 ^a
<i>Staphylococcus</i>	0.565 ± 0.113	9.618 ± 0.812 ^a

Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

고추 미생물의 R-CDPJ 살균 결과는 표 52와 같이 살균곡선형상계수는 0.556 - 0.850 사이의 값을 보였으며 D'-값은 일반세균이 10.441 h, 진균류가 12.551 h를 보였으나 유의차는 없었음. 미생물 중 리스테리아의 D'-값이 15.115 h로 가장 높은 값을 보여 R-CDPJ 저항성이 컸음.

표 52. 고추의 R-CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (h)
Bacteria	0.786 ± 0.213	10.441 ± 1.589 ^b
Molds	0.645 ± 0.285	12.551 ± 1.427 ^{ab}
Coliform bacteria	0.556 ± 0.159	11.315 ± 0.998 ^{ab}
<i>Staphylococcus</i>	0.850 ± 0.233	14.481 ± 3.441 ^{ab}
<i>Listeria</i>	0.583 ± 0.164	15.115 ± 2.212 ^a

Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

㉔ 해조류

마른김과 건조다시마의 R-CDPJ 살균효과는 그림 162과 같이 24 시간 처리에 의해 각각 1.21과 1.39 log(CFU/g) 감소하여 건조다시마에 대한 살균효과가 약간 더 크게 나타났다.

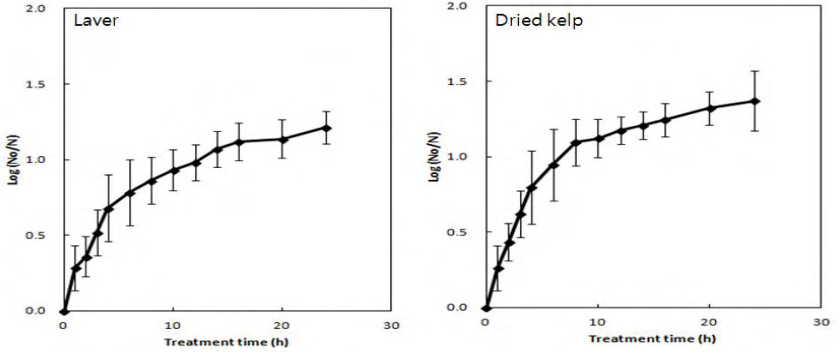


그림 162. R-CDPJ에 의한 해조류 살균

마른김을 R-CDPJ 처리하여 살균력을 조사한 결과 표 53과 같이 살균곡선형상계수는 1.0 이하로 위로 볼록한 형태를 이루고 시간이 경과함에 따라 살균속도가 둔화되는 것으로 나타났음. D'-값은 일반세균이 6.328 h로 가장 낮아 살균효과가 우수했으며, 그 다음이 해양유래세균으로 8.482 h였음. 진균류의 D'-값은 10.351 h로 세균에 비해 큰 값을 보였으며, 리스테리아가 12.112 h로 가장 R-CDPJ 저항성이 큰 것으로 나타났음.

표 53. 마른김의 R-CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (h)
Bacteria	0.537 ± 0.129	6.328 ± 1.312
Molds	0.774 ± 0.197	10.351 ± 1.125
<i>Listeria</i>	0.469 ± 0.185	12.112 ± 2.421
Marine bacteria	0.747 ± 0.132	8.482 ± 2.128

Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

건조다시마의 R-CDPJ 살균결과는 표 54와 같음. 건조다시마의 살균곡선형상계수 역시 1.0 이하로 나타나 의사1차반응에 속하였으며, D'-값은 일반세균과 대장균군에서는 비교적 낮게 나타났고, 진균류는 세균보다 약간 높은 값을 보였음. 반면, 바실러스, 리스테리아, 해양미생물은 13.124 - 14.628 h로 높게 나타나 R-CDPJ 살균에 대한 저항력이 컸음.

표 54. 건조다시마의 R-CDPJ 살균곡선형상계수와 D'-값

Microorganisms	n	D'-value (h)
Bacteria	0.748 ± 0.121	7.124 ± 0.951 ^c
Molds	0.559 ± 0.150	9.011 ± 1.511 ^c
Coliform bacteria	0.591 ± 0.181	8.421 ± 3.112 ^c
<i>Bacillus</i>	0.665 ± 0.113	14.628 ± 2.185 ^a
<i>Staphylococcus</i>	0.473 ± 0.228	10.448 ± 1.524 ^{bc}
<i>Listeria</i>	0.806 ± 0.205	13.541 ± 1.224 ^{ab}
Marine bacteria	0.647 ± 0.164	13.124 ± 3.251 ^{ab}

Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

③ R-CDPJ 처리에 의한 식품 품질변화

㉔ 곡류

R-CDPJ 처리한 곡류의 외관은 그림 163와 같이 처리 전과 24 시간 처리 후 간에 차이가 없었음. 색은 그림 164와 같이 처리 전 백미는 L값 67.71, a값 -8.46, b값 36.01이었으며 처리 후에도 처리 전의 색이 유지되어 처리에 따른 색차(ΔE)는 없었음. 현미 역시 초기 L값 57.08, a값 -5.78, b값 32.05 에서 처리에 따른 색 변화는 없었으며, 압맥에 경우도 처리시간에 따른 색 변화를 거의 보여주지 않아 R-CDPJ 처리는 곡류의 색에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었음.

R-CDPJ 처리한 곡류의 이화학적 품질변화를 조사한 결과 산가는 그림 165과 같이 처리 후에도 처리 전 수준(백미 0.95 ± 0.08 , 현미 1.54 ± 0.17 압맥 2.12 ± 0.12)을 유지하였음. TBA가는 그림 166과 같이 백미는 초기수준 2.10 ± 0.13 nmol/g을 유지한 반면 현미와 압맥은 다소 증가하는 경향을 보였음.

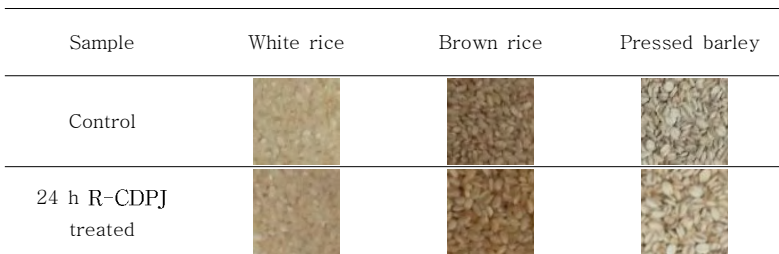


그림 163. R-CDPJ 처리한 곡류 외관

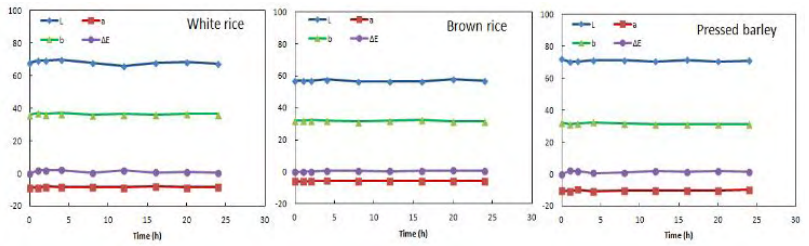


그림 164. R-CDPJ 처리에 의한 곡류의 색 변화

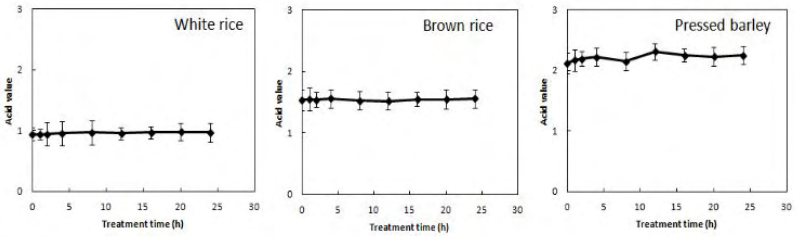


그림 165. R-CDPJ 처리에 의한 곡류의 산가 변화

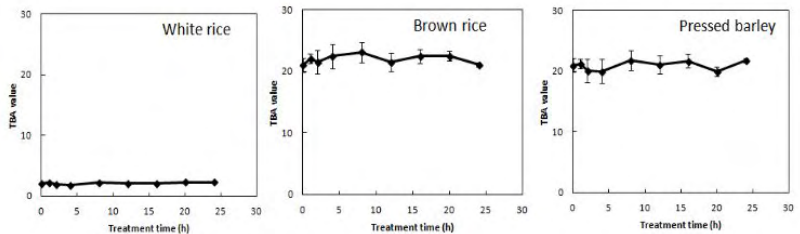


그림 166. R-CDPJ 처리가 곡류의 TBA가에 미치는 영향

㉔ 과채류

R-CDPJ 처리한 과채류의 외관과 색은 각각 그림 167, 168와 같이 처리 전과 처리 후의 차이는 거의 없었음.









Sample	Sprout	Paprika	Pepper	Tomato
Control				
24 h R-CDPJ treated				

그림 167. R-CDPJ 처리한 과채류 외관

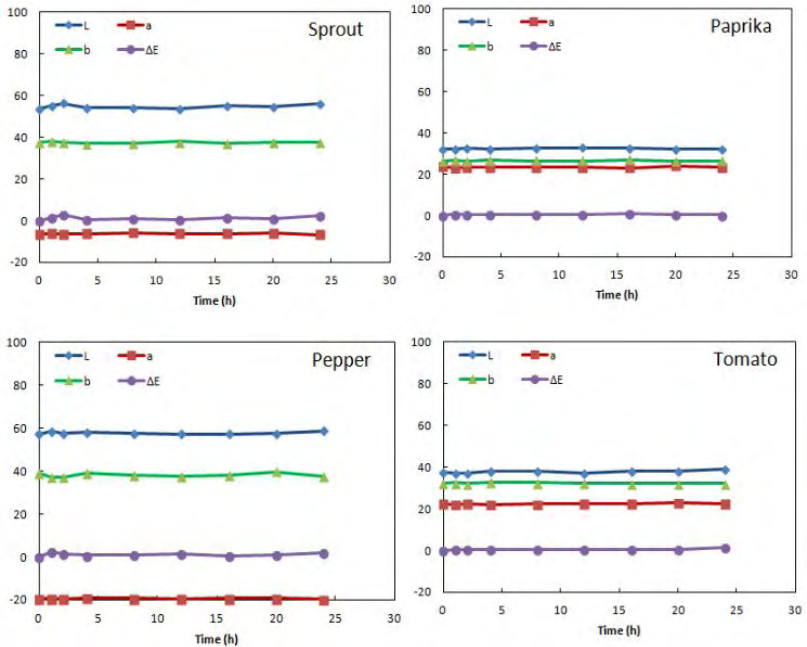


그림 168. R-CDPJ 처리가 과채류 색에 미치는 영향

R-CDPJ 처리에 따른 과채류의 경도의 변화를 보면 그림 169과 같이 파프리카는 초기 2.3 kg에서 24 시간 처리 후에도 2.3 kg으로 초기 수준을 유지하였음. 고추는 초기 2.2 kg에서 처리 24 시간 후 2.0 kg으로 낮아져 조직이 연화되는 것으로 나타났음. 토마토도 초기 1.3 kg에서 24 시간 처리 시 1.0 kg으로 경도가 낮아졌음. 경도가 낮아진 이유는 플라즈마에 의한 영향이라기보다는 건조에 의한 영향으로 추정됨.

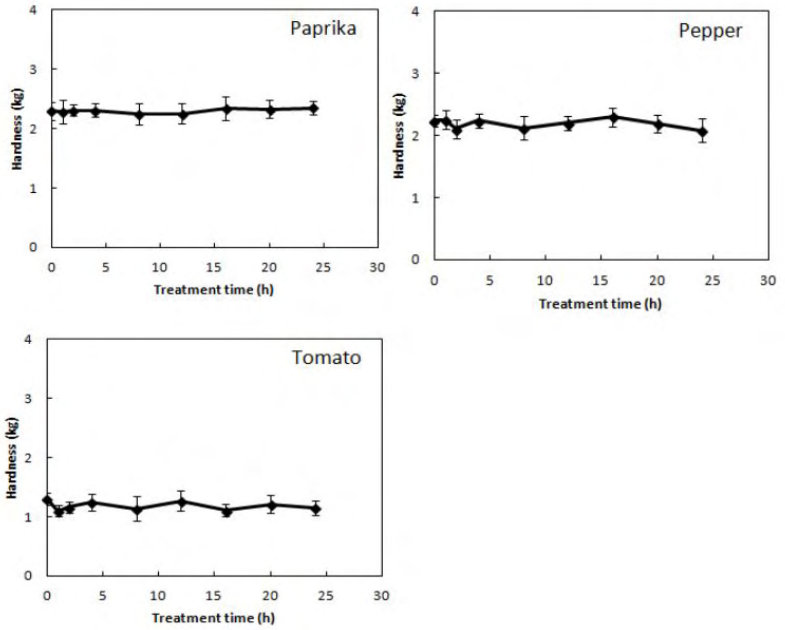


그림 169. R-CDPJ 처리에 의한 과채류 경도변화

㊤ 해조류

R-CDPJ 처리한 해조류의 외관과 색도는 각각 그림 170 및 171와 같이 처리 전과 차이가 거의 없었음. 항산화능과 DPPH라디칼 소거능 역시 각각 그림 172, 173와 같이 대체로 초기수준을 유지하여 R-CDPJ에 의해 크게 영향을 받지 않았음.



Sample	Laver	Dried kelp
Control		
24 h R-CDPJ treated		

그림 170. R-CDPJ 처리한 과채류 외관

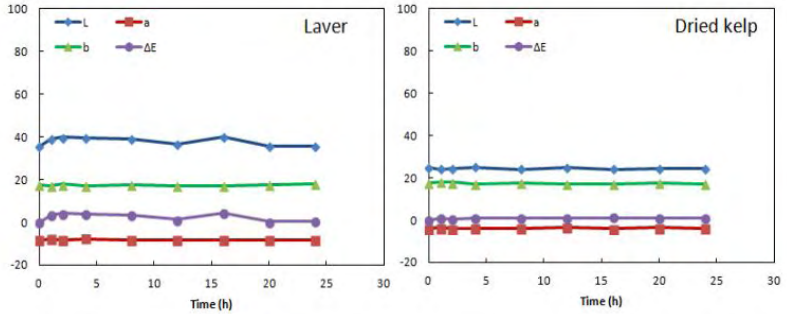


그림 171. R-CDPJ 처리가 과채류 색에 미치는 영향

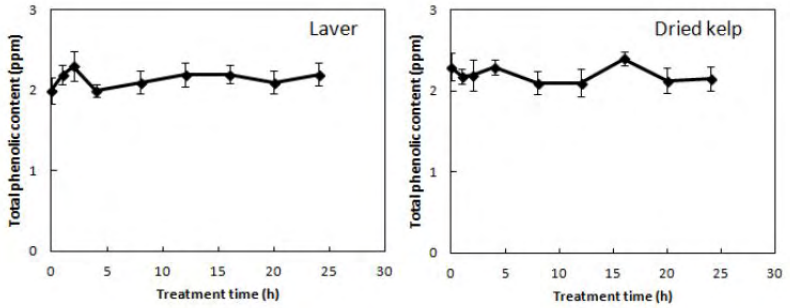


그림 172. R-CDPJ 처리가 해조류의 폴리페놀함량에 미치는 영향

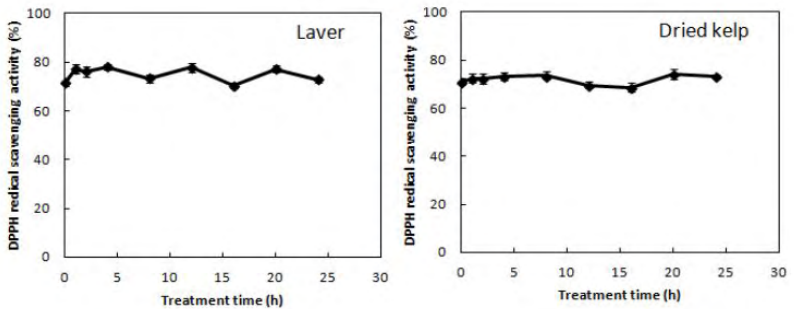


그림 173. R-CDPJ 처리가 해조류의 DPPH라디칼 소거능에 미치는 영향

나. UV 광펄스를 이용한 식품 표면 살균 기술의 개발

(1) UV 광펄스 기술에 대한 문헌 고찰

광펄스 기술은 UV (ultraviolet)부터 근적외선(near infrared)부분까지의 넓은 범위의 빛을 짧은 시간동안 강하게 조사하여 식품의 표면에 존재하는 미생물을 사멸시킴으로서 보존기간을 늘리는 기술로서, 'intense pulsed-light, IPL', 'pulsed white light, WHL', 'high intensity broad-spectrum pulse light', 'pulsed UV light', 'pulse light' 등의 여러 가지 이름으로 불리고 있음.

UV IPL system의 개략도는 그림 174. 과 같음.

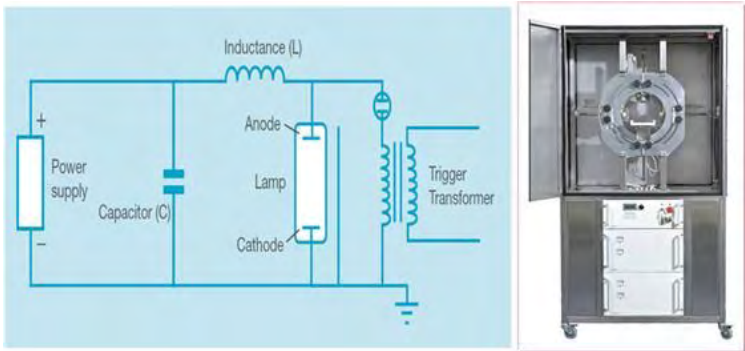


그림 174. 고강도광펄스 장치의 개략도와 사진

장치의 전체적인 개념은 고전압 펄스 전기장 시스템과 비슷하여, 고전압을 발생시킬 수 있는 전원 장치, 전기 에너지를 저장할 수 있는 축전지, 그리고 기체로 충전 되어 있는 lamp로 구성되어 있음.

IPL 장치의 작동 원리는 DC의 전원 장치에 발생된 전기 에너지는 축전지에 충전되고 일정량의 전원이 지속적으로 램프에 흐르고, xenon과 같은 불활성 가스가 충전되어 있는 램프에는 trigger 전원이 연결되어 있음.

Trigger 전원이 아주 짧은 시간(수 μs)동안 램프에 인가가 되면 일정량의 전원에 의해 약간의 여기 상태에 있던 가스는 순간적으로 크게 발광을 하면서 강한 빛을 발생하게 됨.

(가) 사멸기작

현재 광펄스 처리에 가장 많이 쓰이는 램프는 xenon flash lamp로 미생물의 불활성화에 가장 중요한 부분은 UVC part임.

Rowan 등은 식품과 밀접한 미생물(*Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Pseudomonas aereginosa*, *Saccharomyces cerevisiae*)의 불활성화에 대해서 보고하였는데 pulsed UV

flash 처리의 경우에는 약 5~6 log의 사멸 효과를 보였으나, continuous UV light(cw uv)에 의해서는 1-2 log 정도의 사멸효과만을 나타내었음.

단색화장기(monochromator)를 사용한 Wang등의 실험에 의하면 *E. coli*의 불활성화에 효과가 높은 파장은 230~360 nm로 측정되었는데 270 nm 부근에서 최대 사멸율을 보였으며, 300 nm 이상에서는 별 효과가 없었음.

광펄스에 의한 미생물의 살균 작용은 광열(photothermal) 또는 광화학(photochemical) 효과에 의한 것으로 어느 하나에 의한 것이라기보다는 두 효과가 함께 영향을 미치는데, 많은 연구자들은 주된 살균 기작을 photochemical 효과에 의한 것으로 보고하고 있으며, 일부의 실험 결과에 의하면 광펄스 처리시 온도 상승은 1 °C 미만으로 photothermal 효과는 거의 없는 것으로 나타났음.

광펄스에 의한 미생물의 사멸은 CW UV에 의한 미생물 사멸처럼 pyrimidine dimers의 형성에 의한 세포 복제 저해, photoproduct의 형성에 의한 single strand와 double strand의 파괴, cyclobutane dimer의 형성 등에 의한 것으로 보고되고 있음.

Photothermal 효과를 주장하는 연구결과도 있는데 Hiramoto나 Dunn 등은 미생물이 열을 흡수하여 사멸하게 되고, 식품의 표면층이 광펄스의 에너지를 흡수하여 식품 내의 미생물을 사멸시킨다고 보고하였으나, 이 에너지의 양이 식품 전체를 가열시킬 정도의 열은 아니라고 하였음.

Wekhof 등은 램프로부터의 나오는 에너지가 0.5 J/cm²를 넘을 경우, 세포의 변형과 파괴를 일으키는 열 사멸 효과를 보인다고 하였으며, photochemical, photothermal 효과 이외에 DNA의 구조 변화, 세포막의 손상등도 사멸 기작으로 보고되고 있음.

(나) UV 광펄스 처리의 영향 요인

광펄스의 처리 시 미생물의 사멸에 영향을 미치는 요인은 램프로부터 나오는 빛의 세기, 식품 또는 미생물의 빛에 대한 민감성, 램프와 시료사이의 거리, 빛의 전달 매체 등임.

IPL 처리 시 시료가 광원으로부터의 거리가 가까울수록 그 효과는 더욱 커짐.

시료의 두께도 사멸 효과에 영향을 미치는데, 시료의 두께가 두꺼울수록 효과가 감소하게 되는데 이는 UV의 투과성에 제한이 따르기 때문이며, 특히 불투명한 시료일 경우 그 효과는 더욱 감소하게 됨.

IPL 처리가 빛에 의해 미생물을 사멸시키는 방법이기 때문에 그림자 효과(shadow effect)도 미생물의 사멸에 크게 영향을 미치는데, 즉 미생물의 접종량이 많아져서 중층이 될 경우 그 효과는 크게 떨어지게 됨.

식품의 성분 조성도 사멸효과에 큰 영향을 미치게 되는데, Gómez-López등은 여러 식품 성분을 포함하는 한천 배지에 *Photobacterium phosphoreum*, *L. monocytogenes*, *Candida lambica*등을 도말하여 처리하였는데, 단백질이나 지방이 첨가되었을 경우 사멸 효과가 감소하고, 반면에 물이나 전분이 추가된 배지에서의 사멸효과는 큰 영향을 받지 않았음.

(다) 미생물의 사멸효과

광펄스에 의한 미생물의 사멸효과에 대한 보고는 많지는 않으나 최근 들어 연구가 활발히 진행되고 있음.

MacGregor 등은 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*에 512 μ s, 380 kW/cm²의 에너지를 가하였을 경우 약 6~7 log의 사멸 효과를 얻었으며, Krishnamurthy 등도 완충용액이나 평판 배지 상에서 *S. aureus*에 광펄스 리를 5초 동안 하였을 경우 약 7~8 log 사멸시킬 수 있다고 보고하였음.

Fine과 Gervais는 glass bead와 quartz plates에 접종한 *S. cerevisiae*를 광펄스 처리하였을 경우 약 7 log 정도의 사멸율을 얻을 수 있음을 보고하였으며, Cho등은 *L. plantarum*, *L. brevis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Pediococcus pentosaceus*와 같은 유산균에 광펄스처리를 하여 각 7 log 이상의 사멸율을 얻었다고 보고하였음.

액체 시료에 대한 광펄스 처리의 미생물 사멸 효과를 보면, *Klebsiella*는 약 7 log, 바 이러스나 *Cryptosporidium parvum*은 약 4 log 정도의 사멸 효과를 보이는 것으로 보고 하였으며, Ghasemi 등은 *E. coli*와 *Salmonella*를 액체에 현탁하여 약 900 J의 에너지를 가하여 9 log의 사멸율을 얻을 수 있다고 보고하였음.

광펄스 처리와 다른 처리방법과의 병합처리에 의한 사멸 효과에 대한 연구 결과도 일부 보고가 되고 있는데, MacDonald 등은 *Bacillus* spore에 pulsed UV light과 hydrogen peroxide를 병합 처리하여 pulsed UV light 단독 처리시보다 2 log 이상 사멸 상승효과를 얻었다고 보고하였음.

(라) 식품에의 적용

광펄스 처리의 식품 적용 사례로 가장 많이 연구되고 있는 것은 과일 및 야채류에 존재하는 미생물을 사멸시키는 것임.

Hoonstra 등은 배추, 부추, 파프리카, 당근, 케일등의 야채에 0.6 J/cm²의 광펄스 처리를 한 결과 1.6~2.6 log CFU/cm²의 미생물수를 감소시켰으며, 각 야채의 관능적 품질에는 큰 영향을 주지 않고, 7 °C와 20 °C의 온도에서 7일 이상을 유지하였다고 보고하였음.

Marquenie 등은 딸기와 체리같은 과일류에 존재하는 곰팡이인 *B. cinerea*와 *M. fructigena*에 IPL 처리를 하여 최대 3~4 log 감소되었으며, 딸기의 품질에는 아무런 영향을 주지 않았다고 보고하였음.

광펄스 처리가 분말 식품이나 종자의 오염을 처리하는 기술 적용도 연구가 되고 있는데, Choi 등은 분말 이유식에 *Listeria monocytogenes*, *Enterobacter sakazakii*를 접종하여 광펄스 처리한 결과 각각 4 log, 5 log 이상의 사멸효과를 보이는 것으로 보고하였으며, Jun 등은 옥수수에 접종한 *A. niger* 포자를 처리하여 약 5 log, Fine 과 Gervais는 밀가루와 후추의 *S. cerevisiae*를 처리하여 1 log 정도의 사멸 효과를 거두었다고 보고하였음.

또 다른 적용분야로서 최근 수산물의 오염균을 저감하는 기술 개발이 이루어지고 있는데, Shin 등은 연어, 광어, 새우등에 *E. coli*, *L. monocytogenes*, *P. aeruginosa*등을 접종해서 광펄스를 처리했을 경우 1~3.5 log 정도 사멸하는 결과는 얻었으며, Ozer과

Demrci도 연어의 *L. monocytogenes*가 0.86~1.09 log 정도 사멸한다고 보고하였음.

이 이외에도 육류, 치즈, 케익, 새우등에 적용하는 연구사례가 보고되고 있음.

(마) 국내 기술 개발 현황

현재 광펄스 살균 기술은 짧은 연구기간에도 불구하고 가열 살균을 적용하기 어려운 많은 식품을 살균할 수 있는 대체 기술로서의 적용성 여부가 큰 관심으로 떠오르고 있으나, 우리나라의 경우에는 광펄스 살균 기술에 관한 연구가 매우 적은 실정임.

Cho 등은 광펄스와 UVC 및 열(heat)과의 병합치리에 의한 *Botritis cinerea*와 *Monilia Fructigena*의 불활성화 정도에 대한 연구를 수행하였으며, 연구 결과 광펄스만 처리하였을 때 미생물의 불활성화가 3-4 log 정도인 것에 비해 UVC 및 열을 함께 처리했을 때 상대적으로 불활성화 정도가 2-3 log 정도 크게 나타났음을 보고하였음.

Cho 등은 또한 발효식품에 널리 산재되어 있는 젖산균을 대상으로 하여 광펄스 처리 기술의 주요공정요인인 광의 세기, 처리 시간, 시료 표면과의 거리 등에 의한 살균 효과에 대해 연구결과를 발표하였는데, 수행된 연구에 따르면 광펄스의 빛의 세기가 증가할수록 처리시간이 길수록, 시료 표면과의 거리가 짧을수록 높은 살균효과를 나타내었음 (그림 175-177).

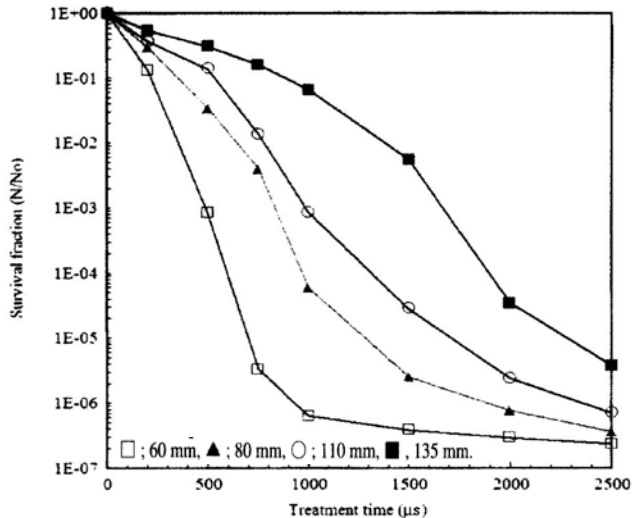


그림 175. 고강도광펄스 처리에 의한 효모의 불활성화에 대한 시료와 거리사이의 영향

L. plantarum, 상온, 펄스폭 1μm

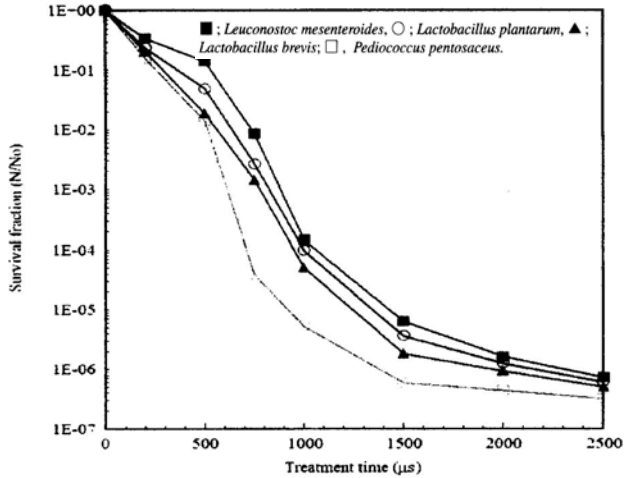


그림 176. 고강도광펄스에 의한 *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*의 불활성화 상온 15kV

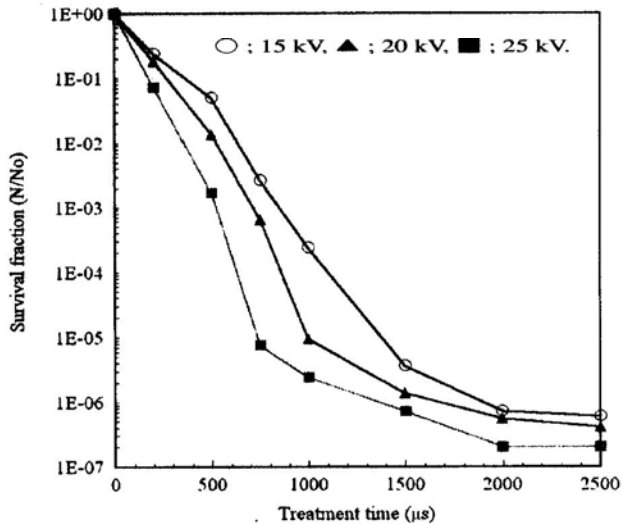


그림 177. 고강도광펄스 처리에 의한 *L. plantarum*의 불활성에 대한 시료와 거리사이의 영향 *L. plantarum*, 상온 25 kV

Choi 등은 광펄스에 의한 *Listeria monocytogenes* (KCCM 40307)의 사멸 효과를 살펴본 결과 보고하였는데, 그 결과를 살펴보면 다음과 같음.

광펄스의 처리 조건을 15 Hz에서 10, 15, 20, 25 kV로 전압을 달리하여 처리한 후 *L. monocytogenes*의 생균수를 측정된 결과, 처리 전압이 높아지고 처리 시간이 길어질수록 높은 사멸률을 나타냄(그림 178). 처리 전압이 높아질수록 사멸속도 또한 빨라지는 결과를 얻을 수 있었음. 처리 전압과 사멸속도 간에는 지수적(exponential)의 관계를 나타냄. 10, 15, 20 kV에서는 임계처리시간을 나타냄.

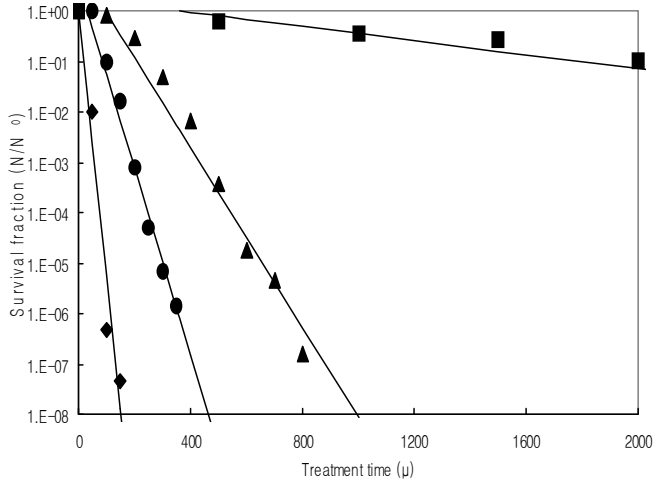


그림 178. 고강도광펄스에 의한 *L. monocytogenes*의 불활성화
(■ 10 kV, ▲ 15 kV, ● 20 kV, ◆ 25 kV)

Choi 등은 또한 *Enterobacter sakazakii* (ATCC 51329)의 광펄스 살균효과에 대한 결과도 보고하였는데, 그 결과는 다음과 같음.

광펄스의 처리 조건을 15 Hz에서 10, 15 kV로 전압을 달리하여 처리한 후 *E. sakazakii*의 생균수를 측정된 결과, 처리 전압이 높고 처리 시간이 길어질수록 높은 사멸률을 나타냄(그림 179). 낮은 전압에서도 임계처리시간을 나타내지 않는 결과를 얻을 수 있었음.

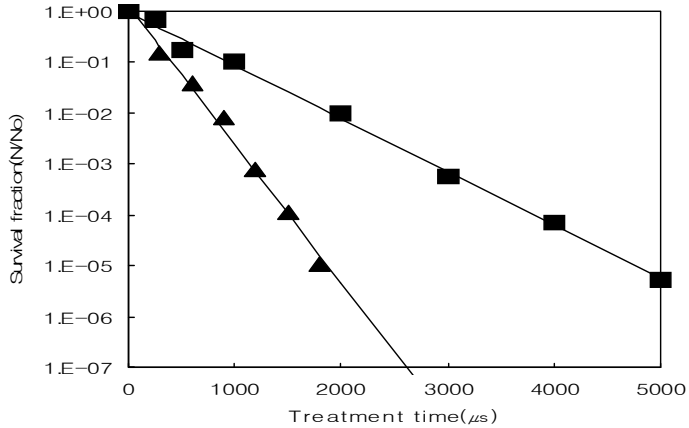


그림 179. 고강도광펄스 처리에 의한 *E. sakazakii*의 불활성화에 대한 빛의 세기의 영향 (■ 10 kV, ▲ 15 kV)

광펄스에 의한 식품의 살균은 shin에 의해 'Nonthermal pasteurization of lactic acid bacteria by high intensity light pulse'에 대한 연구가 이루어졌으며, shin과 chung에 의해 '광펄스 기술을 이용한 식품 중 위해세균 저감화 연구'를 통하여 '식중독균 살균을 위한 광펄스 기술의 응용', '광펄스 처리가 *Listeria monocytogenes*의 불활성화에 미치는 영향' 등에 대한 연구가 이루어졌음.

(바) 국외 기술 개발 현황

광펄스를 이용한 살균 기술은 1990년대에 들어와서 본격적인 연구가 시작되었으며 이 살균법은 오랫동안 사용되어온 자외선 살균의 원리와 최근 들어 비열 살균 기술로서 관심을 끌고 있는 고전압 펄스 전기장 살균 기술의 원리를 병합한 기술로서 미생물의 사멸기작은 자외선 살균과 비슷한 것으로 알려져 있음.

외국의 경우 광펄스를 이용한 식품, 포장재 등의 살균에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음.

Anderson 등은 광펄스 처리에 의한 여러 종류의 세균 및 곰팡이의 불활성화 정도를 확인하였으며 (그림 180), 살균 효과가 광의 세기에 비례한다는 사실을 보고하였음.

Gomez-Lopez 등은 최소 가공된 야채의 광펄스 살균 효과와 유통기한에 관한 연구가 이루어졌으며, 광펄스 처리 후 최소 가공된 야채의 저장기간이 증가했다는 연구 결과를 발표하였음.

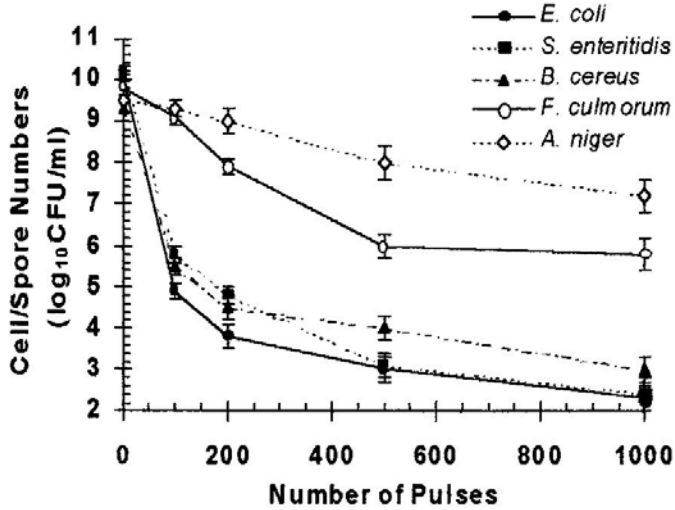


그림 180. 고강도광펄스에 의한 병원성 대장균과 변태 곰팡이의 불활성화

Dunn 등은 빵 제품, 어류, 육류, 생수 등의 광펄스 처리에 관한 연구결과를 발표하였는데 그들에 연구결과에 의하면, 빵 제품의 경우 광펄스 처리가 되지 않은 sample의 경우 5-7일이 지나자 mold colonies가 나타났고 11일이 지나자 심해졌으나 광펄스를 처리한 sample의 경우에는 11일이 지나서도 mold colonies의 증식이 발견되지 않음.

또한 어류의 경우는 광펄스 처리를 한 새우가 7일 정도 먹을 수 있는 상태로 보존되었지만 광펄스 처리를 하지 않은 경우엔 변색되고 심한 이취가 발생하였으며, 육류의 경우에는 역시 광펄스 살균한 결과 2 log 정도 살균 효과가 있음을 보고하였음.

광펄스에 의한 식품 유래 병원성 세균의 불활성화에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있는데, Rowan 등은 high UV와 low UV의 처리 시 불활성화 정도를 비교함으로써 high UV 시 미생물의 불활성화 정도가 더 크다는 연구결과를 발표하였으며(그림 181), Huffman 등은 다양한 세균 및 바이러스의 불활성화에 광펄스 처리가 효과가 있음을 밝혔음.

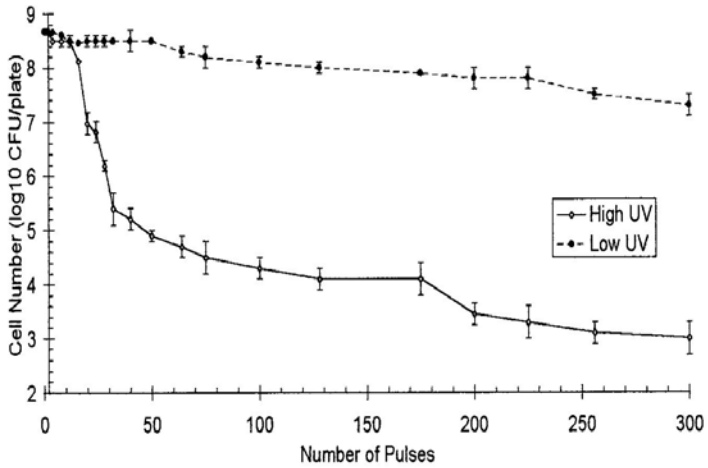


그림 181. 고강도광펄스에 의한 대장균의 불활성화에 대한 광원의 UV 함량차이 효과

Marquenie 등은 UVC, heat과 함께 광펄스를 병합 처리함으로써 strawberry의 부패 시기를 연장시키는 연구를 수행하였으며, 처리 결과 저장 기간이 2일 정도 늘어났다는 연구결과를 발표하였음.

Turtoi 등은 paper-polyethylene packaging material의 표면에 존재하는 곰팡이 포자를 불활성화하는 대안으로 광펄스를 이용한 포장재 살균 처리 연구가 수행하였으며, 연구 결과 광펄스 처리는 곰팡이 포자의 불활성화에 매우 효과적이었고, 이로써 광펄스에 의한 packaging material 표면 살균 효과를 기대할 수 있게 되었음(그림 182-183).



그림 182. 고강도광펄스에 의한 *A. cinnamomeus*의 불활성화, 처리시간 20×10^{-3} s
 (a) control sample, (b) 0.497 J/cm^2 , (c) 0.716 J/cm^2 and (d) 0.977 J/cm^2

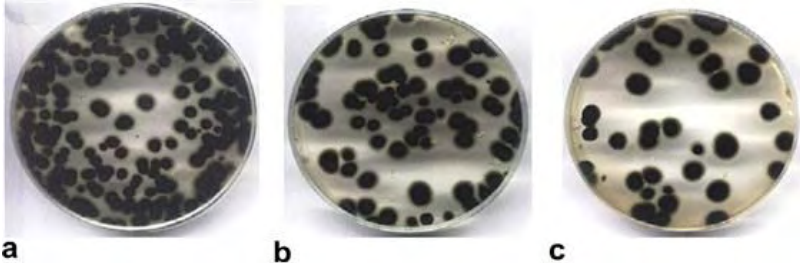


그림 183. 고강도 광펄스에 의한 *C. herbarum*의 불활성화, 에너지 밀도 0.497 J/cm^2
 (a) $10 \times 10^{-3} \text{ s}$, (b) $20 \times 10^{-3} \text{ s}$, and (c) $30 \times 10^{-3} \text{ s}$

미국의 PurePulse Technologies사는 광펄스 장치인 *PureBright*[®] 를 개발하여 이를 의약품, 의료기기, 포장재, 생수 등의 살균에 적용하고 있으며, 이 회사에서 개발된 장치에 의해 발생하는 펄스의 세기는 지구표면에 작용하는 태양광선에 비해 20,000배 정도가 되는 것으로 보고되고 있음. 또한 이 장치를 이용하여 다양한 종류의 세균(숙주세포 및 포자), 곰팡이, 바이러스 등 각종 미생물에 대한 살균효과를 광범위하게 고찰하고 있는 것으로 알려지고 있음.

이 장치는 여러 종류의 식품 및 포장재 살균에 적용하였는데, 일반적으로 토마토는 냉장보관을 해도 금방 물러지기 쉽지만, *PureBright* 장치를 적용한 후 냉장보관을 하였을 때 토마토가 30일 정도 신선하게 보관이 되었으며, 식빵의 포장지를 광펄스 살균한 후 사용하였을 경우에는 식빵이 2주 이상 신선한 상태를 유지하였으나, 광펄스 살균을 하지 않은 포장지에 넣은 식빵의 경우엔 같은 기간에 곰팡이가 많이 발생했다는 연구 결과를 발표하였음.

최근에는 이 장치를 의료기의 살균에 적용하고 있음(그림 184).



그림 184. 의료목적의 고강도광펄스 시스템

<http://www.pharmaceuticalonline.com/product.mvc/Sterilization-Technology-0001?VNETCOOKIE=NO>

Sterilization Technology

The PureBright system from PurePulse Technologies, Inc. uses pulsed light sterilization technology and provides a method for terminal sterilization of pharmaceutical products on-line at production speeds.

The treatment time and design time of this system make the process amenable to high throughput and allow it to be integrated into packaging lines. The system consists of a lamp unit and a power unit, which generates high voltage/high current pulses used to energize the lamp unit. The lamp unit, which consists of one or more xenon gas lamps and reflectors, is no bigger than a small suitcase.

This system offers a real-time verification of process lethality which may ultimately satisfy pharmaceutical manufacturers' parametric release requirements, thus eliminating the warehousing of product pending confirmation of sterilization. A computerized data logger enables the system to monitor and document each light pulse. The system can be equipped with a feedback system to stop the line if proper treatment is not provided.

PurePulse Technologies, Inc., 4241 Ponderosa Ave., San Diego, CA, 92123-1506. Tel: 619-496-4100; Fax: 619-576-1377.



미국의 Maxwell사는 *PureBright* system을 개발하여 pharmaceutical products의 살균에 이용하고 있으며, 독일의 steribeam system이 일부 상용화 되고 있음. (<http://www.steribeam.com>)

Dunn 등은 다양한 빵류의 제품에 광펄스 살균을 적용하여 곰팡이를 효과적으로 살균함으로써 유통기한을 연장할 수 있다는 연구결과를 보고하였고, 새우를 광펄스 처리를 한 후 7일간 냉장 저장하였을 때는 양호한 상태를 유지하였으나, 광펄스 처리를 하지 않고 냉장 저장하였을 때는 변색, 이취 등이 발생하여 식용할 수 없는 상태가 된 것으로 보고하였음.

Dunn 등은 또한 계육, 핫도그, 치즈 등 여러 종류의 식품에 존재하는 *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Listeria innocua*, *Salmonella*, *Pseudomonas* 등의 살균에 광펄스 기술을 적용하여 관능적 변화를 최소화하면서 효과적으로 유통기한을 연장할 수 있다는 연구결과를 발표하였음.

미국 FDA에서는 광펄스 살균 기술의 사용 권고 기준을 마련해 놓았는데 (Food and Drug Administration Issues Approval for Pulsed UV Light in the Production, Processing and Handling of Food [Code 21CFR179.41]), 여러 문헌에서의 광펄스 살균 기술의 기준과 미국 FDA의 권고 기준의 차이는 다음 표 55과 같음.

표 55. 식품살균을 위한 광원의 특성

	이론상 기준	FDA 권고 기준
wavelength	170 - 2600 nm	200 - 1000 nm
가해지는 에너지 밀도	0.01 - 50 J/cm ²	12 J/cm ² 이하
pulse range	1 μm - 0.1 s	2 ms 이하

* FDA의 권고 기준에는 기대하는 효과를 얻기 위해서 최소한의 pulsed light만을 사용해야 한다는 점도 명시되어 있음.

2000년 이후부터 광펄스의 미생물 사멸작용에 대한 mechanism을 규명하기 위하여 여러 연구팀들이 이에 대한 연구를 시작하였음.

초기에는 광펄스에 의한 미생물 사멸작용이 UV 파장에 속하는 광펄스에 의해 UV에 의한 살균효과와 동일한 것으로 판단하였음.

차후 다양한 실험에 의해 광펄스에 의한 사멸작용이 photothermal mechanism과 photochemical mechanism이 동시에 작용하여 나타난다고 보고되었음.

그러나 광펄스에 의해 시료의 온도가 상승하지 않는 것으로 볼 때 photothermal mechanism에 대한 이견이 대두되어 현재까지도 정확한 사멸기구를 해명하지 못하고 있는 실정임.

광펄스 적용 시, DNA 상에서의 thymine dimer 생성, DNA single strand break에 의해 미생물이 사멸되는 것으로 현재 이론이 정립되고 있으며, 미생물 세포막의 파괴에 의해 세포 내용물이 유출되면서 미생물이 사멸되는 data도 보고되고 있음.

최근에는 photosensitizer를 사용하여 광펄스를 적용시켰을 때 미생물의 사멸율이 상승한다는 보고가 있어 photosensitization에 관한 연구가 대두되고 있음.

(2) UV 광펄스 시스템의 Set-Up

(가) 전원 발생 장치

지금까지 국내에서 사용되던 UV 광펄스 발생장치는 고전압 펄스 전기장(high voltage pulsed electric fields) 시스템에서 사용되던 고전압 발생 장치를 사용하여 왔으며, 주요 구성은 고전압 전원 발생장치, 펄스 발생망, CPEN, pulse forming net work 램프, 처리용기 등으로 구성되어 있음.

이러한 기존의 고전압 펄스 전기장에 사용되던 전원 발생장치를 활용한 광펄스 시스템은 광원(xenon lamp)에 직접 고전압의 전원을 가하여 빛을 발생시키는 방식으로 항상 높은 전압을 램프에 가해야하기 때문에 고용량의 전원 발생장치를 필요로 하며, 높은 전압을 램프에 인가하기 때문에 램프가 불안정해지며, 전원발생장치도 규모가 크고, 제작비용도 높은 단점이 있음.

실제 중소기업이나 소규모 농가 또는 업체에서 손쉽게 광펄스 살균 장치를 설치하고 구입하기 위해서는 소형화된 장치의 set-up이 필요하며, 짧은 램프의 수명을 늘리기 위한 새로운 장치가 필요함. 이러한 단점을 극복하기 위해서는 램프에 직접적으로 고전압을 인가하는 direct triggering 방식을 피하고 저전압의 전압을 램프에 인가하고 trigger로서 고전압을 사용하는 external triggering 방식을 이용하는 것이 유용함(그림. 185)

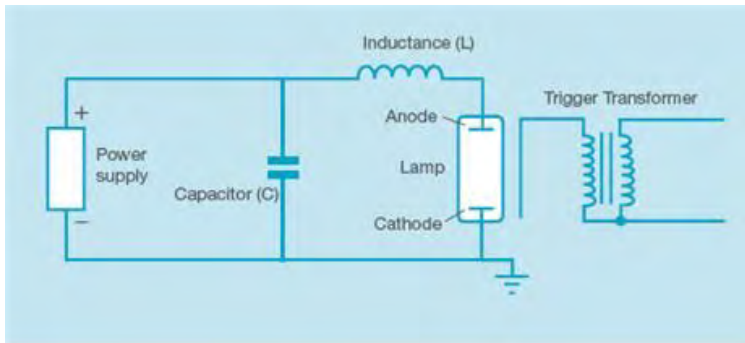


그림 185. External triggering 방식을 이용한 고강도광펄스 시스템

본 연구에서 사용한 광펄스 시스템의 장치 개략도는 그림 186, 장치는 그림 187과 같음.

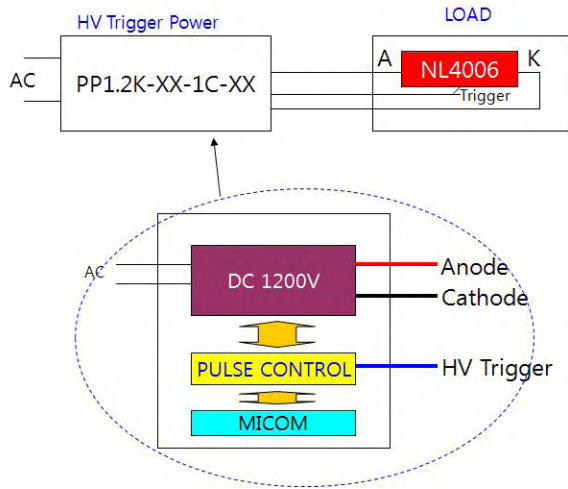


그림 186. 소형화된 고강도광펄스 시스템의 개략도



그림 187. 소형화된 고강도광펄스 시스템의 전원 장치

이 장치의 사양은 일반 전원을 사용할 수 있도록 상용 전원인 AC 220V 50/60 Hz의 단상의 전원을 사용하도록 하였으며, 소비전력은 약 1.2 kW로 설계되었음. 출력부는 DC 전원으로 0-1200 V의 상시 전압을 출력할 수 있도록 하였으며, 전류는 안전을 고려하여 1 A 미만이 되도록 하였음. 사용가능한 주파수(frequency, Hz)는 1-50 Hz로 설정하였으며, duty 비는 135-233 μ s로 총 8단계로 나누어 사용할 수 있도록 하였으며, 1회 operation할 수 있는 시간은 최대 60분으로 설정하여 장치에 무리가 가지 않도록 하였음. 장치 설계에 사용된 duty table은 표 56와 같음.

표 56. 소형화된 고강도광펄스 시스템의 duty table

step	capacitor tap (μF)	Pulse width (μs)
1	2.2	135.1
2	2.8	152.4
3	3.3	165.4
4	4.4	191.0
5	5.0	203.6
6	5.5	213.5
7	6.1	224.9
8	6.6	233.9

$$\text{DUTY (t)} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}} \quad (\mu\text{s})$$

Display를 위한 window는 frequency, duty, time을 표시하도록 하였으며, control button은 safety switch, main power, setup, memory, upper button, low button등으로 구성하였음.

이렇게 제작된 소형화 전원 발생 장치는 기존에 사용되었던 장비에 비해 그 크기에 있어서는 1/20정도로 작은 공간에 설치가 가능하며, 이동성을 부여하였음.

회분식 처리에 사용한 batch treatment chamber는 광원과 처리 시료간의 거리를 조정할 수 있도록 칸을 나누어 spacer를 활용하도록 하였음 (그림 188).

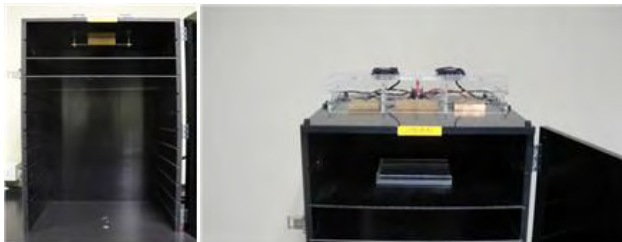


그림 188. 고강도광펄스 처리를 위한 회분식 처리 장치

생균 시료 및 식품시료는 단계적으로 회석한 시료를 plate (petridish)에 도말 또는 담아 램프 아래에 위치하여 빛을 쏘일 수 있도록 하여 처리하였음.

(3) UV 광펄스를 이용한 신선 식품의 표면 살균 적용

(가) 방사선 저항 세균 *Micrococcus roseus*의 광펄스 살균

① 빛의 세기(voltage)에 따른 사멸 효과

광펄스 살균에 있어서 빛의 세기는 미생물의 사멸에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 이는 높은 펄스 전압을 사용함으로써 발생하는 빛 에너지의 밀도가 높아짐에 따라 조사되는 빛의 양도 많아지게 되어 미생물의 사멸에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있음.

빛의 세기에 따른 *M. roseus*의 사멸효과는 그림 189에 나타내었음.

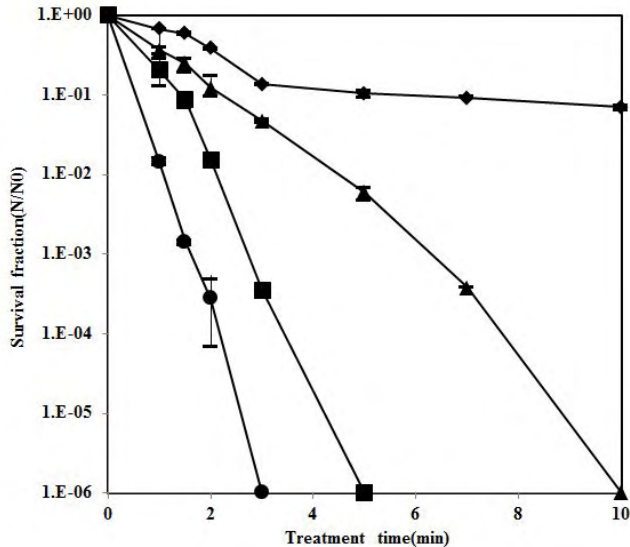


그림 189. 고강도광펄스 처리에 의한 *M. roseus*의 불활성화에 대한 빛의 세기의 영향
 광펄스 처리 조건: 5 pps, 7.9 cm. ◆ 500 V, ▲ 650 V, ■ 800 V, ● 1000 V

*M. roseus*는 500 V에서 10분 처리 후 약 1.1 log, 1000 V에서 3분 처리 후에는 6.4 log의 감소를 보였으며, 그 이상의 처리 시간에서는 모든 균이 사멸하는 것을 관찰할 수 있었으며, 빛의 세기가 증가함에 따라 생존 균수는 shoulder line이나 tailing 없이 지수적으로 감소하였는데, 이는 일반적으로 UV살균이 균체 분포의 불균일성이나 multi-hit 현상 등으로 tailing 현상을 나타내지만 광펄스 살균의 경우에는 tailing 현상이 없는 것을 특징으로 한다는 보고와 일치하였음.

빛의 세기에 따른 균의 사멸속도(K)와 D값을 보면 500 V에서 0.28 min^{-1} , 8.35분, 1000 V에서 4.16 min^{-1} , 0.55분으로 나타났는데 (표 57), 즉 빛의 세기가 증가함에 따라 D 값이 감소하여 미생물의 사멸효과가 커지는 것을 알 수 있었음.

표 57. 고강도광펄스 처리에 의한 *M. roseus*의 불활성화에 대한 빛의 세기, 펄스 수, 시료와의 거리에 따른 사멸속도상수와 D값

	Light intensity (V)				Pulse number (pps)				Distance (cm)		
	500	650	800	1000	3	5	7	10	6	7.9	9.7
Inactivation rate constant(k , min^{-1})	0.28	1.11	2.64	4.16	1.21	4.16	5.01	5.70	5.94	4.16	3.27
D value (min)	8.35	2.07	0.87	0.55	1.90	0.55	0.46	0.40	0.39	0.55	0.70

② 펄스 수(pulse number)에 따른 사멸효과

펄스 수(pps, pulse/sec)는 초당 점멸되는 빛의 수로 이에 대한 사멸효과를 그림 190에 나타내었음.

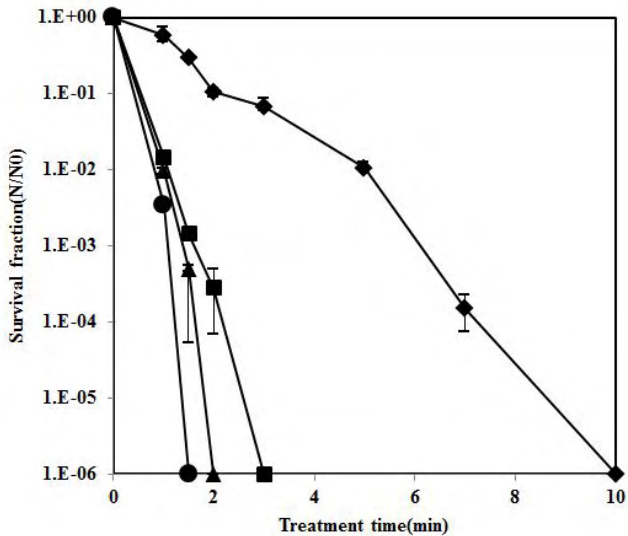


그림 190. 고강도광펄스 처리에 의한 *M. roseus*의 불활성화에 대한 펄스수의 영향
광펄스 처리조건: 1000 V, 7.9 cm. ◆ 3 pps, ■ 5 pps, ▲ 7 pps, ● 10 pps

그림 190에서 보듯이 3, 5, 7 pps에서 각각 2분 처리를 했을 경우 1.0 log, 3.6 log, 6.4 log의 사멸효과를 나타냈었으며, 모든 균이 사멸하기 위해 필요한 처리시간은 각각 10분, 3분, 2분이었고, 10 pps에서는 2분이되기 전에 모든 균이 사멸하였음.

펄스 수에 따른 사멸속도 상수(k)와 D값(표 57)을 보면 펄스의 수가 증가함에 따라서 같은 시간을 처리하였을 때 사멸효과가 증가함을 알 수 있는데 광펄스 처리에서 펄스 수에 따른 사멸효과의 영향을 보고한 논문은 없었으나 고전압 펄스 전기장 처리시 펄스

수에 따른 사멸 효과를 보면 처리시간을 같이 하였을 경우 펄스수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가한다는 보고와 일치하였으며, 펄스수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것은 펄스수가 높을 경우 짧은 시간 안에 살균매체에 전달되는 에너지가 많아지면서 미생물의 세포막 지질 이중층에 전달된 에너지가 유동성에 영향을 주어 사멸효과가 증가될 수 있는 것으로 보임.

③ 광원과 시료사이의 거리에 따른 사멸효과

광원과 시료사이의 거리는 광펄스 처리에 있어서 미생물 살균에 영향을 미치는 중요한 인자 중 하나임.

광원과의 거리에 따른 *M. roseus*의 사멸효과는 그림 191에 나타내었음.

그림 191에서 보듯이 시료와 광원사이의 거리가 가까울수록 사멸율이 증가하는 경향을 보였으며, 균 전체가 사멸하는데 필요한 시간은 6 cm, 7.9 cm, 9.7 cm의 거리에서 각각 2분, 3분, 5분으로 나타났으며, 사멸속도상수는 5.94 min^{-1} , 4.16 min^{-1} , 3.27 min^{-1} , 그리고 D값은 0.39분, 0.55분, 0.70분이었음 (표 57).

광원과 시료사이의 거리에 따른 사멸효과의 차이는 광원에서 발생하는 에너지가 시료 표면에 전달되는 양의 차이로 거리가 가까워짐에 따라 표면에 도달하는 에너지의 밀도가 커지면서 photothermal에 의한 효과가 커지기 때문인 것으로 보임.

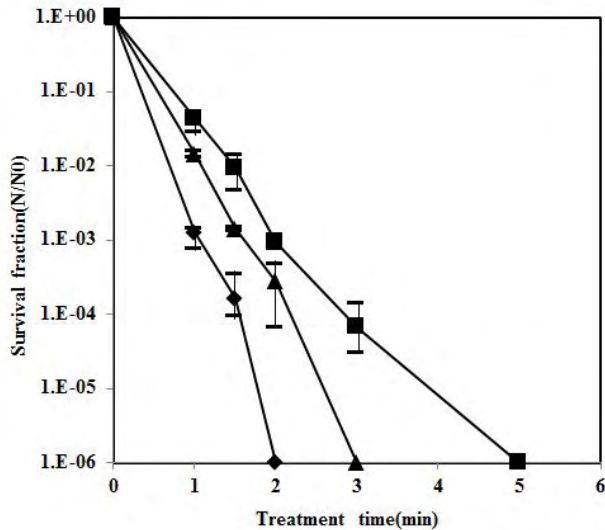


그림 191. 고강도광펄스 처리에 의한 *M. roseus*의 불활성화에 대한 거리의 영향
 광펄스 처리조건: 1000 V and 5 pps. ◆ 6 cm, ▲ 7.9 cm, ■ 9.7 cm

(나) UV 광펄스 처리에 의한 다른 김의 비가열 살균

① 빛의 세기에 따른 병원성 대장균의 사멸 효과

광펄스 살균에 있어서 빛의 세기는 가열 살균에서의 온도처럼 사멸효과에 가장 큰 영향을 미치는 인자이며, 광원에 인가되는 상시 전압의 세기가 높을수록 광원의 빛의 세기 또는 에너지 밀도가 높아져 시료에 조사되는 양이 많아지게 되고 미생물의 사멸에 영향이 커짐

빛의 세기에 따른 *E. coli* O157:H7의 사멸효과는 그림 192에 나타내었음.

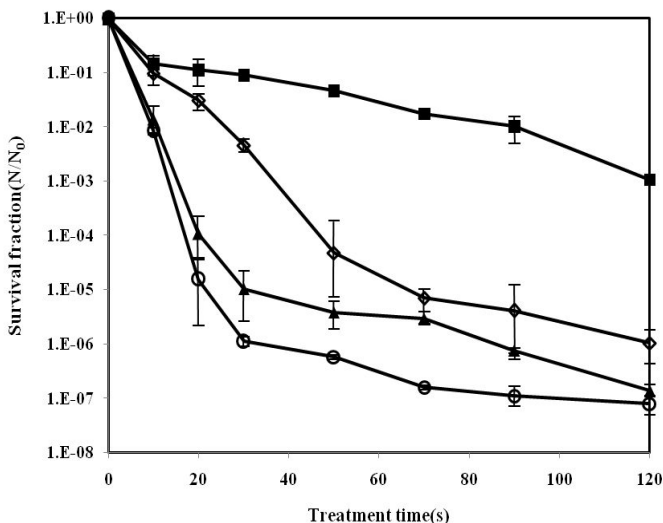


그림 192. 고강도광펄스 처리에 의한 *E. coli* O157:H7의 불활성화에 대한 빛의 세기의 영향

광펄스 처리조건: 5 pps and 7.9 cm. ■ 500 V, ◇ 650 V, ▲ 800 V, ○ 1000 V

E. coli O157:H7은 500 V에서 120초 처리 후 약 2.9 log CFU/mL, 1000 V에서는 120초 처리 후 7.1 log CFU/mL의 사멸율을 보여 처리 전압이 높아짐에 따라서 미생물의 사멸율이 증가하는 것을 관찰할 수 있었으며, 1000 V의 빛의 세기에서 보면 10초, 30초 처리시 각각 2 log CFU/mL, 5.9 log CFU/mL의 감소를 나타내어 처리시간이 길어짐에 따라서 사멸율도 함께 증가하는 현상을 확인할 수 있었음.

또한 *E. coli* O157:H7의 경우 광펄스에 의한 사멸 곡선을 보면 shoulder line은 없고 tailing의 현상을 보이는 것을 알 수 있었다. 광펄스에 의한 미생물 살균의 지금까지의 연구를 보면 대부분의 경우 shoulder line은 나타나지 않았으나 tailing의 현상은 연구 결과에 따라 다르게 나타나고 있음.

Tailing이 발생하는 원인을 살펴보면 균의 불균일한 분포(Xiong et al., 1999), multi-hit 현상, 부유물의 존재, DNA mutation의 repair 능력이나 UVC 민감도가 다른

균주의 공존, 위상학적 차이 또는 그림자 효과(shading effect)에 의한 것으로 보고되고 있음.

본 실험에서 나타나는 *E. coli* O157:H7의 경우에는 높은 초기 균수(ca. 10^9 CFU/mL)에 의한 위상학적 차이 또는 그림자 효과에 의한 것으로 보이며, 이외에도 일부 평균위균의 불균일한 분포나 multi-hit 현상에 의한 것으로 판단됨.

빛의 세기에 따른 균의 사멸속도(k)와 D값을 보면 500 V에서 0.07 s^{-1} , 31.17초, 1000 V에서 0.47 s^{-1} , 4.86초로 나타났음 (표 58). 즉 빛의 세기가 증가함에 따라 D값이 감소하여 미생물의 사멸효과가 커지는 것을 알 수 있었음.

표 58. 고강도광펄스 처리에 의한 *E. coli* O157:H7의 불활성화에 대한 빛의 세기, 펄스수, 시료와의 거리에 대한 사멸속도상수와 D값

	Light intensity (V)				Pulse number (pps)				Distance (cm)		
	500	650	800	1000	3	5	7	10	6	7.9	9.7
Inactivation rate constant (k, s^{-1})	0.07	0.17	0.39	0.47	0.32	0.47	0.51	0.55	0.64	0.47	0.44
D value (sec)	31.17	13.32	5.87	4.86	7.25	4.86	4.53	4.16	3.60	4.86	5.20

② 펄스 수(pulse number)에 따른 병원성 대장균의 사멸효과

펄스 수(pps, pulse/sec)는 초당 점멸되는 빛의 수로 병원성 대장균에 대한 펄스 수의 사멸 효과를 그림 193에 나타내었음.

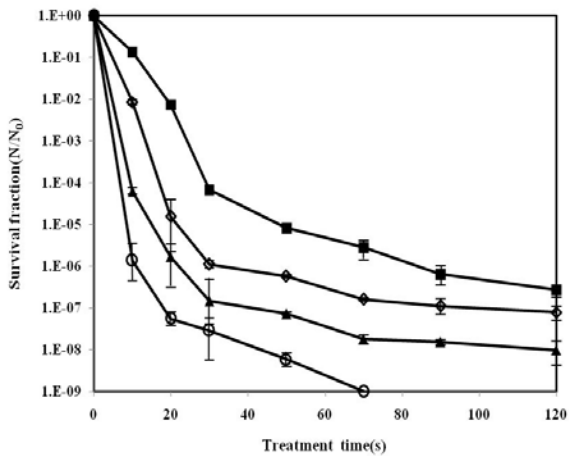


그림 193. 고강도광펄스 처리에 의한 *E. coli* O157:H7의 불활성화에 대한 펄스수의 영향

광펄스 처리 조건: 1000 V and 7.9 cm. ■ 3 pps, ◇ 5 pps, ▲ 7 pps, ○ 10 pps

그림 193에서 보듯이 3 pps와 10 pps에서 10초 처리하였을 경우 각각 0.9 log CFU/mL, 5.9 log CFU/mL, 50초 처리하였을 경우에는 5.1 log CFU/mL, 8.2 log CFU/mL의 사멸율을 보였으며, 10 pps에서 70초 처리하였을 경우 모든 균이 사멸하는 것으로 나타났음.

펄스 수에 따른 사멸속도 상수와 D값 (표 58)을 보면 펄스의 수가 증가함에 따라서 같은 시간 처리하였을 때 사멸효과가 증가함을 알 수 있음. 광펄스 처리시 펄스 수에 따른 사멸 효과에 대한 보고는 지금까지 거의 없으나 고전압 펄스 전기장의 경우 초당 펄스 수(frequency)가 많아지면 처리시간이 같더라도 사멸효과가 증가하는 것으로 보고되고 있으며, Luksiene 등은 펄스 수가 높더라도 처리시간이 같으면 사멸 효과는 동일하다고 보고하고 있음.

본 실험에서는 직선구간에서의 사멸율을 비교해 보았을 경우 처리시간이 동일하여도 초당 펄스 수가 높아질수록 사멸효과가 증가하는 것으로 나타났음. 단위시간 당 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것은 펄스 수가 높을 경우 짧은 시간 안에 살균 매체에 전달되는 에너지가 많아지면서 미생물의 세포막 지질 이중층에 전달된 에너지가 영향을 주어 사멸효과가 증가될 수 있는 것으로 보임.

③ 광원과 시료사이의 거리에 따른 병원성 대장균의 사멸효과

광원과 시료 사이의 거리는 광원으로부터 시료에 전달되는 에너지의 양이 달라져 미생물의 사멸에 큰 영향을 줌. 광원과 병원성 대장균이 도말되어 있는 평판배지 사이의 거리에 따른 병원성 대장균의 사멸효과는 그림 194에 나타내었음.

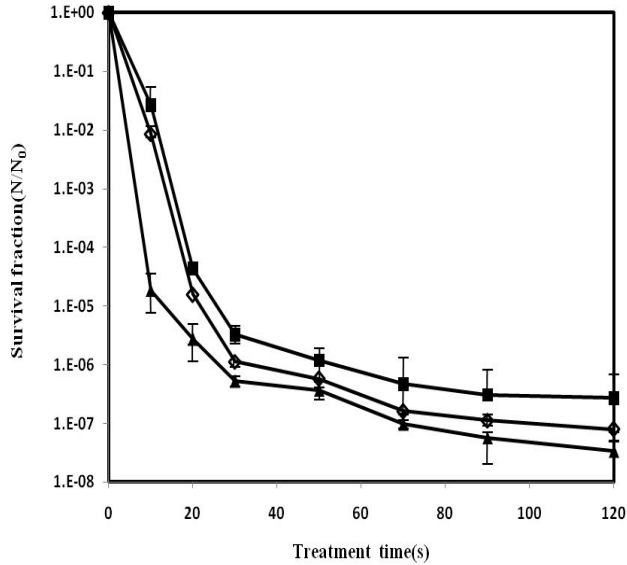


그림 194. 고강도광펄스 처리에 의한 *E. coli* O157:H7의 불활성화에 대한 거리의 영향
 광펄스 처리조건: 1000 V and 5 pps. ▲ 6 cm, ◇ 7.9 cm, ■ 9.7 cm

그림 194에서 보듯이 시료와 평판 배지사의 거리가 가까울수록 사멸율은 증가하는 경향을 보였으며, 6 cm의 거리에서 10초 동안 광원을 조사하였을 경우 약 4.7 log CFU/mL, 7.9 cm와 9.7 cm에서는 각각 2.1 log CFU/mL, 1.6 log CFU/mL의 사멸율을 나타내었음.

그러나 조사시간 30초 이후에는 거리별에 따른 사멸율은 크게 차이가 나지 않았으며, 모든 거리에서 tailing 현상을 보였다. 거리에 따른 사멸속도는 6 cm, 7.9 cm, 9.7 cm에서 각각 0.64 s^{-1} , 0.47 s^{-1} , 0.44 s^{-1} 이었으며, D 값은 각각 3.60초, 4.86초, 5.20초로 광원과 시료사이의 거리가 가까울수록 초기 사멸속도가 큰 것을 알 수 있었음.

광원과 시료 사이의 거리에 따른 사멸효과와의 차이는 광원에서 발생하는 에너지가 시료 표면에 전달되는 에너지 량의 차이로 거리가 가까워짐에 따라 표면에 도달하는 에너지의 밀도가 커지면서 미생물에 대한 photothermal 효과가 커지기 때문인 것으로 판단됨.

④ 자외선 흡수물질 유출

광펄스의 파장 중 200-320 nm의 UV 영역은 미생물을 불활성화시키는데 효과적인 것으로 보고되고 있으며, 320-400 nm의 UV 영역은 single strand와 photoproduct의 형성에 의한 single strand와 double strand의 파괴, pyrimidin dimers 형성에 의한 세포 복제 저해 등 DNA의 손상을 유발함.

또한 UV 영역은 미생물의 세포막 파괴 및 투과성의 변화를 유발하며, 이로 인해

purine이나 pyrimidine과 같이 특별한 과정에서 흡광을 나타내는 물질들이 세포 외액으로 유출되어 증가하게 됨.

220 nm에서는 peptide bond, 260 nm에서는 purine, pyrimidine, ribonucleotide, 280 nm에서는 tyrosine, tryptophan과 같은 물질로 인해 단백질이 최대 흡수를 나타내게 됨.

광펄스 처리로 인한 미생물의 물리적 손상 정도를 확인하기 위하여 *E. coli* O157:H7를 1000 V, 5 Hz, 7.9 cm의 거리에서 2분간 처리하였음.

그림 195은 *E. coli* O157:H7의 손상도를 나타냈으며 처리 시간이 길어질수록 세포 내액의 유출량이 증가하는 것을 확인할 수 있었음.

그림 195에서 보는 바와 같이 *E. coli* O157:H7 균주 모두 purine, pyrimidine, ribonucleotide와 같은 물질들이 유출된 것을 확인하였으며, peptide bond의 유출은 적은 것을 알 수 있었으며, 광펄스 처리가 미생물의 세포막 파괴와 같은 물리적 손상을 일으키는 것을 확인하였음.

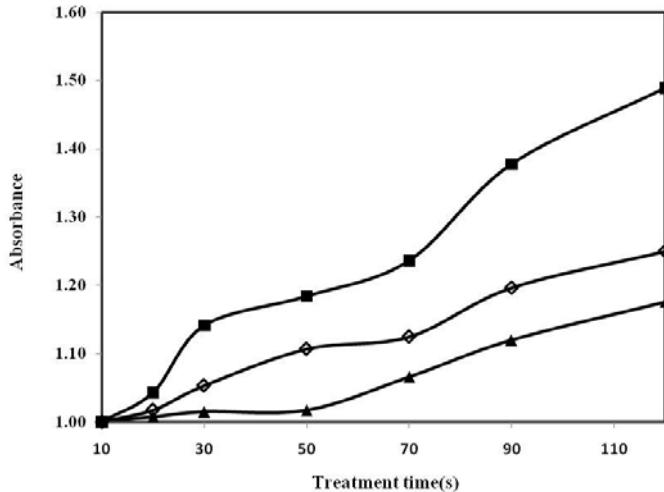


그림 195. 고강도광펄스 처리에 의한 처리시간에 따른 *E. coli* O157:H7의 UV 흡수물질의 양
 광펄스 처리조건: 1000 V, 5 Hz and 7.9 cm. ▲ 220 nm, ■ 260 nm, ◇ 280 nm

⑤ 세포의 회복도

가열, 가공, 방사선 조사 등 외부로부터 상해를 입은 세포들은 세포 내 물질을 유실하는 물리적 손실을 입게 되거나 정상적인 상태에서는 필요하지 않았던 성장인자가 필요해져서 대사 활동 제한을 받게 되는 생화학적 상해를 나타냄.

손상 받은 세포들은 상해가 회복되기까지 자기 복제를 충분히 할 수 없고 비정상적으로 긴 유도기를 가지게 됨.

미생물의 손상 정도를 파악하기 위해서 1000 V, 5 Hz, 7.9 cm의 조건에서 2분 동안 광펄스 처리한 균주를 tryptic soy broth, nutrient broth에 접종시킨 후 37 °C에서 배양 하면서 시간에 따른 세포의 회복 정도를 그림 196에 나타냈었음.

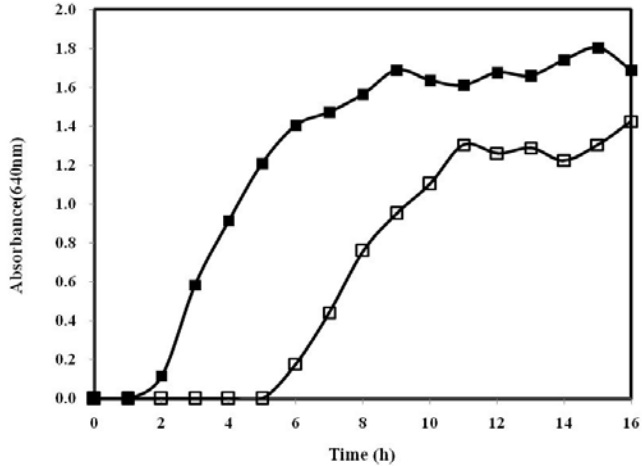


그림 196. 광펄스 처리된 *E. coli* O157:H7의 성장곡선
 광펄스 처리조건: 1000 V, 5 pps 7.9 cm, 120 s. ■ Untreated, □ Treated

E. coli O157:H7은 정상적인 생육에서 유도기(lag phase)는 1시간이며, 손상된 세포의 유도기는 5시간으로 손상된 세포가 상해를 회복하기 위해 필요한 시간은 4시간으로 확인됨.

이러한 세포의 회복도 관찰을 통해 미생물이 광펄스 처리로 인한 물리적 손실 및 생화학적 상해를 입은 것으로 판단되며, 일부 DNA 손상이나 다른 기작에 의해 미생물 회복이 일어나지 않은 것으로 생각됨.

⑥ 세포의 형태학적 변화

비가열 식품 공정에서의 가장 공통적인 구조적 손상은 세포벽(cell wall)과 세포막(cell membrane)의 손상이며, 이 중 광펄스 처리에 의해 충격을 받은 미생물은 DNA의 손상과 동시에 세포 내액의 유출과 구조적 변화가 일어나게 됨.

Takeshita 등은 광펄스 처리 후 효모의 세포에서 액포의 확장과 세포막의 붕괴, 세포의 형태 변화를 관찰하였고, Krishnamurthy 등은 광펄스 처리에 의해 세포질 막을 포함한 구조적 손상이 발생하였음을 보고하였음.

또한 이들은 자외선 처리에 의한 미생물의 불활성화는 DNA 손상이 주된 원인을, 처리 후 세포의 구조적 변화는 크게 나타나지 않았으며, 광 펄스 처리한 세포가 자외선 처리한 세포보다 균체 성분의 유출이 많음을 보고하였음.

또 다른 일부 연구 결과에 의하면 그람 양성의 균은 얇은 층의 peptidoglycan층이 두

겹게 감싸고 있으나 그람 음성의 균은 peptidoglycan 층이 한 겹으로 매우 얇으며 이층 외부에는 phosphatide, lipopolysaccharide, lipoprotein 등의 외막으로 되어 있고 그람 양성균의 균이 그람 음성균에 비해 광펄스에 저항성이 강하다고 보고하였음.

본 실험은 광펄스 처리에 의한 미생물의 사멸 기작의 하나인 광물리적(photophysical) 효과를 규명하기 위해 1000 V, 5 Hz, 7.9 cm의 거리에서 *E. coli* O157:H7은 10초 동안 광펄스 처리하여 세포 내부의 변화 및 형태학적 변화를 관찰하였음.

그림 197은 투과전자현미경 (TEM, transmission electron microscope)을 이용하여 *E. coli* O157:H7의 형태학적인 변화를 나타낸 것으로 세포막 및 세포벽의 파괴로 인해 세포 내액의 유출을 확인할 수 있었음.

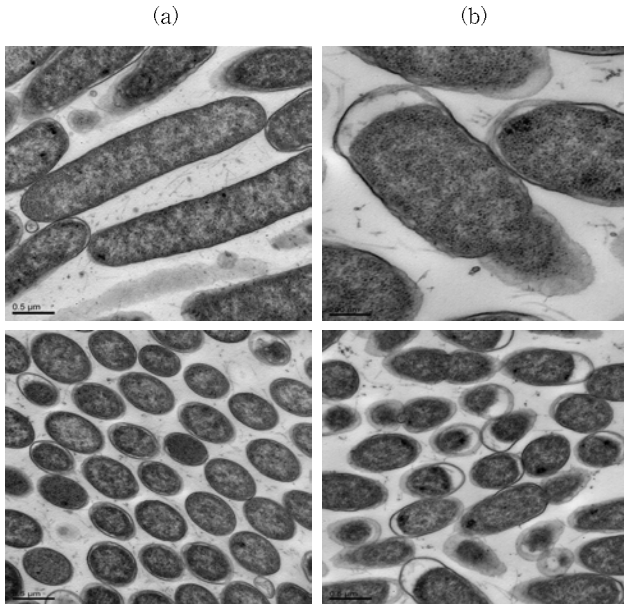


그림 197. 고강도광펄스 처리전후의 *E. coli* O157:H7의 투과전자현미경 사진
광펄스 처리조건: 1000 V, 5 pps, 7.9 cm, 10 s. (a) control, (b) intense pulsed light

⑦ 마른 김의 살균 효과

광펄스에 의해 마른 김의 표면에 존재하는 미생물의 사멸 효과를 그림 198에 나타내었음.

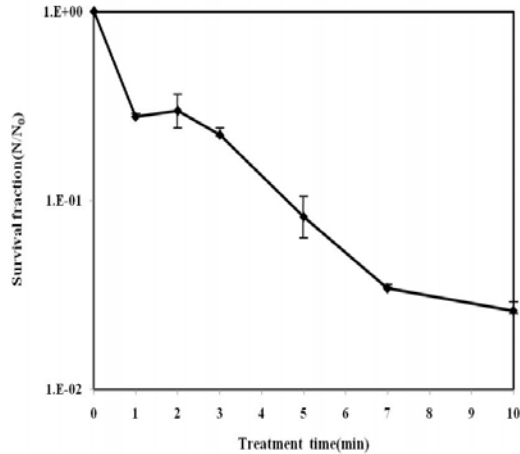


그림 198. 고강도광펄스 처리에 의한 마른 김 표면의 미생물수 변화
광펄스 처리조건: 1000 V, 5 pps, 7.9 cm.

마른 김에 광펄스를 조사한 후 생존수는 1분 후에는 약 0.6 log CFU/mL, 10분후에는 1.6 log CFU/mL의 사멸율을 나타내었다. 광펄스 살균에 있어서 미생물의 사멸에 영향을 미치는 요인으로는 시료의 투명도, 색, 표면의 거친 정도, 식품 성분 등이 있는데, Gomez-Lopez 등은 한천 배지에 단백질이나 지방이 첨가된 경우 사멸효과가 감소한다고 보고하였음.

Han에 의하면 마른 김은 30% 이상의 단백질이 함유되어있는 식품으로 검붉은 색의 불투명한 표면은 미생물의 사멸효과가 다소 낮은 것으로 보고하고 있어 본 실험에서 광펄스 처리에 의한 마른 김의 살균효과가 낮게 나타나는 것으로 판단됨.

또한 마른 김의 울퉁 불퉁한 표면은 그림자 효과(shadow effect)를 유발하고, 건조과정에서 농축된 미생물의 UV의 투과성 제한으로 인하여 미생물의 사멸이 낮게 나타나는 것으로 생각됨.

그러나 자외선을 이용한 마른 김의 살균의 경우 20 W의 자외선을 10분 동안 김의 단면에 조사하였을 경우 약 0.6 log CFU/mL의 세균이 감소하였으며, 양면을 조사한 경우 약 1 log CFU/mL 감소하고, 마른 김에 감마선을 조사한 경우에는 약 1-2 log CFU/mL 감소하는 것으로 나타나 광펄스 처리가 다른 살균방법과 비교하였을 때 동등이상의 살균력을 보이는 것으로 확인되었음.

⑧ 마른 김의 표면 온도 변화

마른 김을 광펄스 조사하는 동안 마른 김의 표면 온도의 변화를 측정된 결과를 그림

199에 나타내었음.

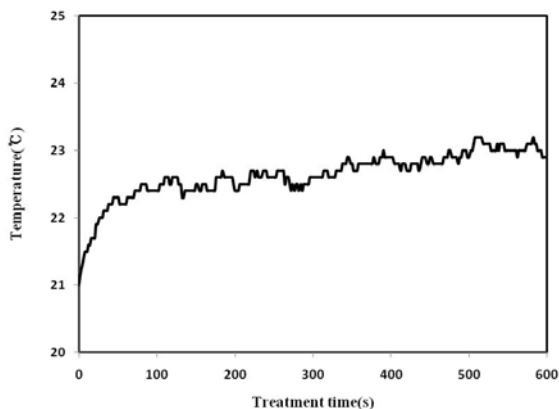


그림 199. 고강도광펄스 처리 동안 마른 김 표면의 온도변화
광펄스 처리조건: 1000 V, 5 pps, 7.9 cm.

특정항 가공 공정 중 시료의 온도 변화는 식품 중 영양성분의 손실, 색, 향미 등의 품질에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요인임.

Mertens 과 Knorr에 의하면 높은 에너지를 갖는 광펄스의 빛은 순간적으로 시료의 표면 온도를 상승시켜 식품 내 미생물, 효소, 바이러스 등을 불활성화 시킨다고 보고하였으며, 반면에 Barbosa-Canovas 등은 광펄스에 의한 식품의 온도 상승은 표면층에서만 국한되고, 열처리 공정에서 필요한 열에 비하여 아주 적은 열이라고 보고 하였음.

마른 김에 광펄스를 1000 V, 5 pps의 조건으로 7.9 cm의 거리에서 조사하였을 경우, 초기 온도 21 °C에서 10분 처리 후 22.9 °C로 1.9 °C의 온도 상승을 보여 마른 김의 품질의 변화나 미생물의 사멸을 일으킬 정도가 아닌 낮은 온도 상승만이 이루어졌음을 알 수 있었음.

⑨ 마른 김의 색도 변화

광펄스 처리 시간, 그리고 빛의 세기(전압)에 따른 마른 김의 표면의 색도변화를 표 5, 6에 나타내었음.

표 59. 고강도광펄스 처리시간에 따른 마른 김 표면의 색도 변화

Treatment time (min)	L		a		b		ΔE
	Untreated	Treated	Untreated	Treated	Untreated	Treated	
1	27.71 ±	27.82 ±	1.25 ±	1.21 ±	4.01 ±	3.78 ±	0.26 ±
	2.25 ¹⁾	1.92	0.74	0.75	0.52	0.73	0.28
2	28.46 ±	28.63 ±	1.31 ±	1.23 ±	3.62 ±	3.28 ±	0.39 ±
	2.07	1.71	0.46	0.41	0.83	0.84	0.28
3	28.62 ±	29.35 ±	1.74 ±	1.71 ±	3.97 ±	3.51 ±	0.86 ±
	1.64	1.95	0.58	0.52	1.34	1.00	0.60
5	26.82 ±	27.81 ±	1.64 ±	1.58 ±	3.82 ±	3.60 ±	1.01 ±
	2.76	1.61	1.11	1.01	1.21	0.74	0.40
7	27.37 ±	28.79 ±	1.05 ±	0.95 ±	4.29 ±	4.18 ±	1.42 ±
	3.45	2.62	1.09	1.14	1.18	1.24	1.00
10	27.02 ±	28.95 ±	2.03 ±	1.96 ±	4.36 ±	4.35 ±	1.93 ±
	1.54	0.53	0.10	0.19	0.77	0.80	1.18

Treatment condition: 1000 V, 5 Hz, 7.9 cm

¹⁾ mean ± SD

표 60. 고강도광펄스의 빛의 세기에 따른 마른 김 표면의 색도 변화

Light intensity (Voltage)	L		a		b		ΔE
	Untreated	Treated	Untreated	Treated	Untreated	Treated	
500V	31.62 ±	31.49 ±	4.21 ±	4.31 ±	3.20 ±	3.37 ±	0.24 ±
	1.29 ¹⁾	2.36	1.14	0.97	1.16	1.43	0.53
650V	28.06 ±	28.51 ±	1.06 ±	1.15 ±	5.36 ±	4.86 ±	0.67 ±
	2.80	2.12	1.43	1.36	0.63	0.41	0.33
800V	26.85 ±	27.54 ±	0.89 ±	0.99 ±	5.63 ±	5.59 ±	0.70 ±
	3.51	2.68	0.74	0.48	0.91	0.62	0.45
1000V	27.02 ±	28.95 ±	2.03 ±	1.96 ±	4.36 ±	4.35 ±	1.93 ±
	1.54	0.53	0.10	0.19	0.77	0.80	1.18

Treatment condition: 5 Hz, 7.9 cm, 10 min

¹⁾ mean ± SD

마른 김에는 녹색의 chlorophyll과 황색의 carotenoid 및 phycobilin 등의 세 가지 색소가 혼합되어 홍자색을 나타냄. 이 색소 중 phycobilin은 홍자색의 색소인 phycoerythrin이라는 색소와 청색 색소 및 chlorophyll이 포함되어 있는 phycocyan을 총칭함. 이 phycobilin 성분을 가열하게 되면 붉은 색의 phycoerythrin이 청색인 phycocyan으로 변하여 적자색이 손실됨과 동시에 chlorophyll의 선명한 색이 나타나 녹색을 띠게 되는데 김을 햇빛에 쪼이면 이러한 변화가 짧은 시간에 일어나고 이 때 습기가 존재하면 더욱 빠른 속도로 진행됨.

본 실험에서는 햇빛과 비슷한 과장을 가지고 있는 광펄스의 에너지가 마른 김의 색도에 미치는 영향을 살펴 본 결과 광 펄스 처리 후 명도(L)는 증가하였고, 적색도(a)와 황

색도(b)는 감소하였으며, 처리시간이 길어질수록 전체적인 색도의 차이가 크게 나타났음(표 59). 표 59에서 알 수 있듯이 광펄스 처리 직후 명도(L)는 증가하였고, 적색도(a)와 황색도(b)는 감소하였음.

처리시간이 길어짐에 따라 명도(L)는 증가하였고, 적색도(a)는 큰 변화가 없었으며, 황색도(b)는 3분 처리 후 -0.46까지 감소했다가 그 이상의 처리시간에서는 다시 증가하는 경향을 보였으며, 처리 시료의 ΔE 값은 점차 증가하는 것을 확인할 수 있었음.

표 60에서 각각의 전압에서 처리 전후의 색도를 비교했을 때 명도(L)는 500 V에서 감소하였지만 그 이상의 전압에서는 모두 증가하였고, 적색도(a)는 1000 V에서 감소하는 것을 알 수 있었음.

반면 황색도(b)는 500 V에서 증가하였고, 650 V 이상의 전압에서는 모두 감소한 것을 확인할 수 있었음. 전압의 세기가 증가함에 따라 명도(L)는 증가하였고, 적색도(a)는 감소하는 경향을 보였으며, 황색도(b)의 값을 감소되었다가 다시 증가하였음. 이러한 색소의 변화는 열에 의해 phycoerythrin의 청색인 phycocyan으로 변하여 적자색이 손실됨과 동시에 chlorophyll의 선명한 색깔이 나타나 녹색을 띠는 것으로 보이며, chlorophyll과 carotenoid의 빛에 의한 산화 또는 변색이 원인이라 판단됨.

또한 650 V 이상의 처리 전압과 3분 이상의 처리 시간은 시료 표면에 닿는 많은 양의 열에너지로 인해 갈변이 일어나 황색도(b)가 증가한 것으로 판단됨. 따라서 마른 김의 표면에 광 펄스를 처리함으로써 그 변화를 살펴 본 결과 명도(L)와 적색도(a), 황색도(b)의 변화를 확인할 수 있었으나 그 값은 매우 미미하여 광펄스 처리가 마른 김의 색도에 크게 영향을 주지 않는 것으로 확인됨.

(다) UV 광펄스 처리에 의한 파프리카의 이화학적 변화

① 총균수의 변화

국내에서 유통되고 있는 파프리카에는 총호기성 세균이 $1.3-2.2 \times 10^2$ CFU/g, 대장균군은 $1.4-2.1 \times 10^3$ CFU/g 존재하는 것으로 보고되고 있음. 광펄스 처리 전후의 파프리카의 미생물수의 변화를 살펴본 결과 실험에 사용된 파프리카는 평균 $4.8 \pm 0.9 \times 10^3$ CFU/g의 총균수가 존재하였으며, 빛의 강도 1000 V, 펄스 수 5 pps에서 10분간 광펄스 처리한 파프리카에서는 $4.5 \pm 0.7 \times 10^2$ CFU/g의 세균이 검출되어 93% (1 log)의 총균수의 감균 효과가 있었음.

다른 연구 보고에 따르면 파프리카를 고압 CO₂ 처리를 하였을 경우 50 °C, 300 bar의 압력 하에서 처리하였을 경우 약 50% 정도의 감균을 보였으며, 80 °C의 온도 하에서도 1.5 log 정도만의 감균 효과를 보였음. 그리고 고온순간살균에 의한 파프리카 처리 시에도 152 °C에서 6초간 처리하였을 경우 약 80%정도의 살균효과를 보여 비가열 살균인 광펄스 처리가 고온순간살균이나 고압 CO₂ 처리와 비슷하거나 약간 높은 살균효과를 나타내었음.

② Firmness의 변화

광펄스 처리 방법은 넓은 범위의 파장을 가진 강한 빛으로 시료를 처리하는 것으로 시료의 색에 따라 파장을 흡수하는 양이나 처리 효과가 다를 것으로 생각됨. 실험에 사

용된 파프리카는 노란색, 주황색, 붉은색의 파프리카이고 파프리카는 다른 고추과의 작물과는 달리 보다 아삭하고 단단한 식감과 단맛을 가진 것을 특징으로 하기 때문에 광펄스 전후의 시료의 firmness의 변화가 중요한 품질 측정 인자 중 하나임.

광펄스 처리 전후의 firmness를 측정된 결과를 그림 200에 나타내었음.

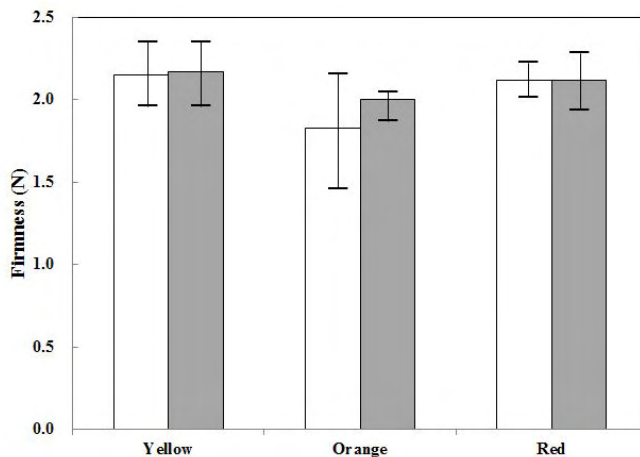


그림 200. 고강도광펄스 처리에 의한 파프리카의 경도 변화

□ before IPL treatment, ■ after IPL treatment

노란색과 붉은 색 파프리카의 경우에는 firmness가 약간 증가하는 경향을 보였지만 유의적인 차이를 나타내지는 않았으며, 주황색 파프리카의 경우에는 광펄스 처리 후 firmness가 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었음($P < 0.05$).

Manzocco 등은 fresh-cut apple을 UVC 처리하였을 경우 firmness에 차이를 보이지 않았으며, Fava 등은 grape berry에 UVC를 처리하였을 경우 처리하지 않은 것에 비해 처리한 것이 firmness가 조금 증가한 결과를 보였다고 보고하였고, Ana 등은 fresh-cut watermelon에 광펄스를 처리하였을 때 firmness가 감소하는 결과를 보였다고 보고하고 있음.

이처럼 광펄스 처리가 firmness에 미치는 영향은 시료에 따라 다르게 나타나고 일정한 경향을 보이지는 않음. 파프리카의 경우에도 광펄스 처리가 firmness에 큰 영향을 미치는 않지만 파프리카의 색에 따라 다른 경향을 보이고 있는데 이는 파프리카가 가지고 있는 색에 따라 흡수하는 에너지가 다르고 이에 따라 나타나는 경향도 다른 것으로 보임.

③ 비타민 C의 함량 변화

파프리카의 광펄스 처리 전후의 비타민 C의 함량을 조사한 결과를 그림 201에 나타내었음.

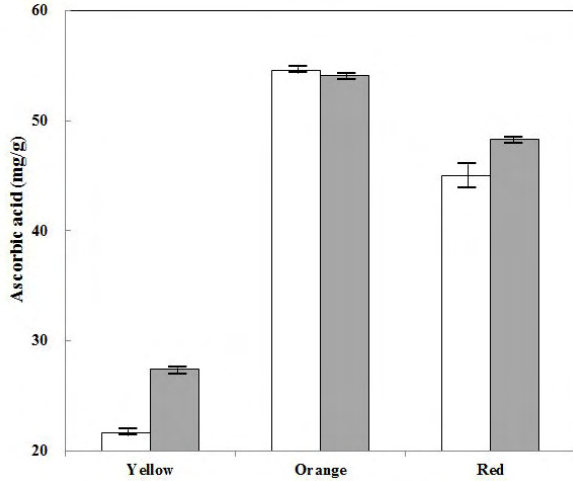


그림 201. 고강도광펄스 처리에 의한 파프리카 비타민C의 변화
 □ before IPL treatment, ■ after IPL treatment

비타민 C의 함량의 변화는 노란색과 붉은색 파프리카는 증가하고 주황색 파프리카는 거의 변화가 나타나지 않았음.

처리 전의 시료의 경우 노란색, 주황색, 붉은색의 경우 각각 21.6, 54.6, 45.0 mg/g의 함량을 보였으나, 광펄스 처리 후에는 각각 27.4, 54.0, 48.3 mg/g의 함량을 보여 노란색의 파프리카의 비타민 C 증가량이 가장 큰 것으로 나타났음.

광펄스 처리에 의한 영양소의 변화에 대한 연구 결과는 지금까지 보고된 바가 없어 비교할 수는 없으나 UV 처리에 의한 비타민의 변화에 대한 연구 결과를 보면 fresh-cut watermelon이나 딸기의 경우에는 low UVC 처리 후에 비타민 C의 함량에는 변화가 없었으며, 사과주스의 경우에는 UV 처리 후에 비타민 C의 함량이 다소 감소하는 경향을 보이는 것으로 보고되고 있으며, LED가 부착된 냉장고내에서 양배추의 비타민 C 함량이 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고되고 있는데 그 원인을 LED 빛의 파장에 의해 저장 기간 동안 비타민 C의 합성이 이루어져 함량이 증가하는 것으로 보고하고 있음.

광펄스 처리에 의해 파프리카의 비타민 C 함량이 증가하는 이유도 광펄스가 가진 파장의 빛을 파프리카가 흡수하면서 일부의 성분이 비타민의 증가되었거나 파프리카 내의 기관에서 일부는 합성이 되었을 것으로 판단되며, 색에 따라 비타민의 증가량이 다른 이유도 파프리카가 가지고 있는 색소의 색에 따른 흡수되는 양이 달라지기 때문인 것으로 판단됨.

④ 폴리페놀 함량

국내에서 생산되고 있는 파프리카는 종류별로는 다르지만 항산화물질인 polyphenol을 함유하고 있는 것으로 보고되고 있음. 본 실험에서는 광펄스 처리 전후의 파프리카의 폴리페놀 함량의 변화를 살펴보았음.(그림 202)

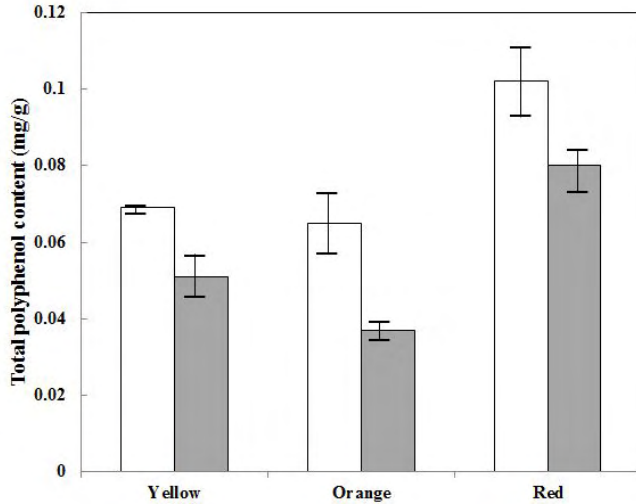


그림 202. 고강도광펄스 처리에 의한 파프리카의 폴리페놀 함량 변화
 □ before IPL treatment, ■ after IPL treatment

광펄스 처리 전의 폴리페놀의 함량은 노란색, 주황색, 붉은색이 각각 0.069, 0.065, 0.102 mg/g이었으며, 광펄스 처리 후의 노란색, 주황색, 붉은색 파프리카의 폴리페놀 함량은 0.051, 0.037, 0.080 mg/g으로 감소하는 경향을 나타내었음.

Ana 등에 의하면 딸기를 UVC 처리하였을 경우 딸기내의 폴리페놀의 함량이 소량 감소하는 결과를 보였으며, Noci 등도 사과주스를 UV 처리하였을 경우에도 폴리페놀의 함량이 소량 감소하는 결과를 나타내어 광펄스 처리시 폴리페놀함량이 감소하는 것과 같은 결과를 나타내었음.

⑤ 색도, pH, 당도, 수분함량의 변화

광펄스 처리 전후의 파프리카의 색도, pH, 당도 그리고 수분함량의 변화를 살펴보았음(표 61).

표 61. 고강도광펄스 처리에 의한 파프리카의 색도, pH, 당함량, 수분함량의 변화

		Yellow		Orange		Red	
		before	after	before	after	before	after
Color	L	50.8 ± 0.8	50.02 ± 0.8	46.82 ± 2.3	45.81 ± 2.8	34.98 ± 1.3	35.04 ± 1.1
	a	-2.49 ± 0.1	-2.2 ± 0.2	22.31 ± 1.5	21.91 ± 1.9	31.52 ± 2.0	31.65 ± 2.1
	b	38.95 ± 1.3	38.45 ± 2.6	37.70 ± 2.7	35.47 ± 3.8	18.26 ± 1.0	18.44 ± 1.2
pH		5.26 ± 0.06	5.32 ± 0.05	5.04 ± 0.23	5.15 ± 0.08	5.27 ± 0.04	5.31 ± 0.02
Sugar content (Brix)		5.4 ± 0.4	5.4 ± 0.3	9.3 ± 0.1	9.5 ± 0.7	7.4 ± 0.3	6.9 ± 0.2
Water content (%)		91.72 ± 0.47	91.11 ± 0.21	91.34 ± 0.38	90.67 ± 0.15	92.20 ± 0.23	92.53 ± 0.41

광펄스 처리 전후의 모든 파프리카의 색도는 오차 범위 내에서 차이가 나타나지 않았으나 노란색 파프리카는 황색도는 감소하고 적색도는 증가하는 경향을 보였으며, 주황색 파프리카는 명도, 적색도, 황색도 모두 감소하였으며, 붉은색 파프리카는 반대로 명도, 적색도, 황색도 모두 증가하였음.

Fresh-cut watermelon의 광펄스 처리에 의한 색의 변화를 본 연구결과에 의하면 180-1100 nm의 full spectrum, UVC가 제외된 full spectrum, 가시광선 영역의 파장을 조사하였으나 파장에 상관없이 모두 명도, 적색도, 황색도가 감소하는 경향을 보였으며, 그 이유는 fresh-cut watermelon의 색을 나타내는 carotenoid의 산화가 색의 연화를 일으키고 그 이외에도 UVC가 몇몇 성분에 영향을 미쳐서 일어나는 현상으로 보고하였음.

광펄스 처리 전후의 pH를 살펴본 결과 파프리카의 색과 상관없이 처리 후 시료의 pH는 모두 증가하였음.

광펄스 처리가 pH의 증가를 가져오는 이유는 광펄스 파장내의 UV가 유기산의 분해를 일으켜 시료의 산 함량이 줄어들어 발생하는 것으로 실제 처리 전후의 파프리카의 유기산 함량은 노란색 4.5%, 주황색 3.8%, 빨간색 12.0%씩 감소하였음(data not shown).

당도는 파프리카의 색과는 관계없이 광펄스 처리 후에 모두 큰 변화를 보이지 않았으나 약간 증가하는 경향을 보였음.

광펄스 처리 후 파프리카의 수분함량은 파프리카의 종류와는 상관없이 모두 감소하는 경향을 보였으며, 이는 fresh-cut apple의 UVC 처리가 사과 세포의 세포막 손상을 일으켜 수분을 손실을 촉진시켜 수분함량이 감소하였다는 결과와 일치하였으며, 세포막의 손상이 주된 원인이라는 것은 Cheigh등이 광펄스의 세포 사멸 기작이 세포막의 손상에 의한 것이라는 보고와도 일치하는 것으로 광펄스 처리가 파프리카의 세포막의 손상을 일으켜 수분 손실을 촉진시켜 수분함량을 감소시킨 것으로 판단됨.

(라) UV 광펄스 처리에 의한 새싹 채소의 미생물 저감 효과

① 일반세균의 저감 효과

새싹 채소 중 유채의 UV 광펄스 처리에 의한 일반세균의 저감 효과를 그림 203에 나타내었음.

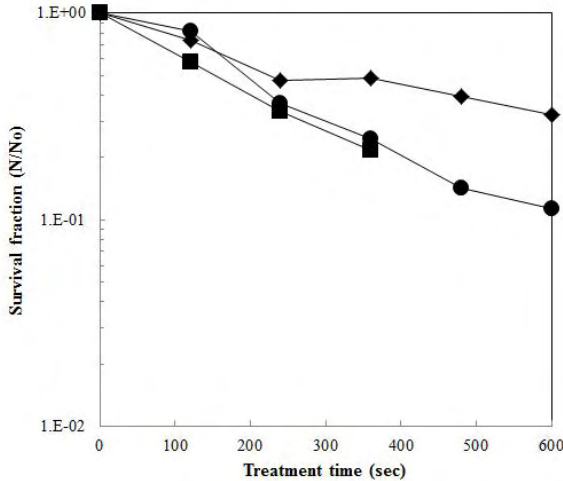


그림 203. 고강도 광펄스처리에 의한 유채싹 총균수 변화에 대한 빛의 세기의 영향
 광펄스 처리조건: 5 pps and 6.7 cm. ◆ 700 V, ● 850 V, ■ 1000 V

빛의 세기 1000 V, 펄스 수 5 pps, 시료와의 거리 6.7 cm에서 10분 처리하였을 경우 유채 새싹의 일반 세균수는 약 92%정도 감소를 나타내었으며, 700 V의 빛의 세기에서 10분 처리하였을 때는 약 70%, 850 V에서는 90% 정도의 감균 효과를 보였다.

빛의 세기에 따라서는 1000 V와 850 V에 있어서는 감균 효과의 차이가 크지 않았으나, 700 V에서는 비교적 낮은 감균 효과를 보임.

박 등에 의하면 무 새싹을 이산화염소수와 열수로 처리하였을 경우 이산화염소수의 농도에 따라 다르게 나타났지만 실험조건에서 가장 높은 이산화염소수 농도인 200 ppm에서 20분 처리하였을 경우 일반 세균이 약 90% 정도의 감균 효과를 나타내었으며, 열수 처리에 의해서도 55 °C에서 20분간 처리하였을 경우 90%에 못 미치는 감소효과를 나타내어 광펄스 처리가 이산화염소수나 열수처리에 비해 약간 높거나 비슷한 일반세균 저감 효과가 있는 것으로 나타났음.

② 대장균군의 저감 효과

UV 광펄스 처리에 의한 유채 새싹의 대장균군의 감소효과는 그림 204에 나타내었음.

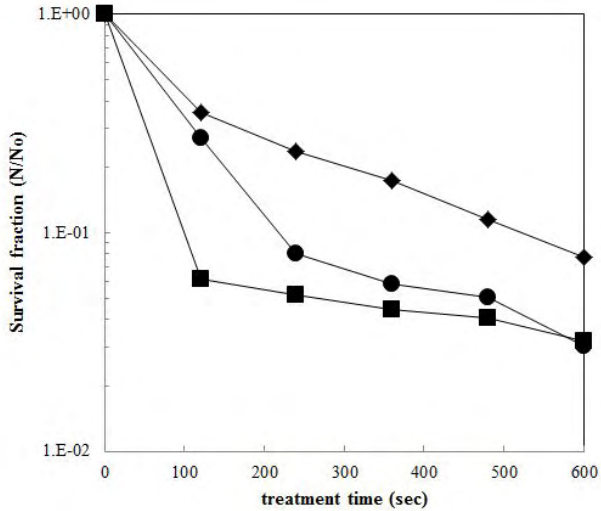


그림 204. 고강도광펄스 처리에 의한 유채색 대장균군의 변화에 대한 빛의 세기의 영향, 광펄스 처리조건: 5 pps and 6.7 cm. ◆ 700 V, ● 850 V, ■ 1000 V

광펄스 처리에 의한 대장균군의 감균 효과는 일반 세균보다는 약간 높은 감균 효과를 나타내어 1000 V, 5 pps, 6.7 cm에서는 약 97%의 감균효과를 보였으며, 800 V에서도 97%, 700 V에서는 93% 정도의 감균 효과를 보였음. 앞선 일반 세균의 감균 효과와 마찬가지로 1000 V와 850 V에서는 감균 효과의 차이가 거의 없었으나 700 V에서는 다소 낮은 감균 효과를 나타내었음.

③ 병원성 대장균의 저감 효과

UV 광펄스 처리에 의한 유채 새싹의 병원성 대장균의 감균 효과를 그림 205에 나타내었음.

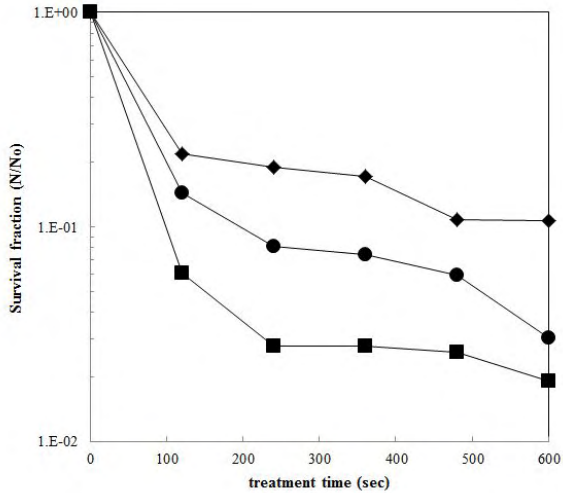


그림 205. 고강도광펄스 처리에 의한 유채싹 병원성대장균의 변화에 대한 빛의 세기의 영향, 광펄스 처리조건: 5 pps and 6.7 cm. ◆ 700 V, ● 850 V, ■ 1000 V

UV 광펄스 처리에 의한 유채 새싹의 병원성 대장균의 감균 효과는 일반세균이나 대장균군에 비해서 높은 효과를 나타내어 1000 V에서는 98%, 850 V에서는 97%, 700 V에서도 90%의 높은 감균 효과를 나타내었음.

일반세균과 대장균군의 경우 850 V와 1000 V의 감균 효과의 차이가 크지 않았으나, 병원성 대장균의 경우 빛의 세기에 따라서 큰 차이를 나타내어 다른 균과는 달리 빛의 세기에 따라 민감한 영향을 받는 것으로 보임.

박 등의 보고에 의하면 이산화염소수 처리를 통해 식중독균인 *Sal. typhimurium*을 처리하였을 경우 이산화염소수 200 ppm으로 10분 처리 후 약 90%정도의 감균 효과를 나타내었으며, glycerin, 구연산, 이산화염소수를 병합 처리하였을 경우 99% 정도가 감균되는 것으로 나타나, 광펄스 처리가 병원성 대장균에 대해 이산화염소수보다는 높은 감균 효과를 보였으며, 병합 처리한 것보다는 다소 낮은 효과를 나타내었음.

④ 시료와의 거리에 따른 병원성 대장균의 감균 효과

광원과 시료사이의 거리에 따른 병원성 대장균의 감균 효과를 그림 206에 나타내었음.

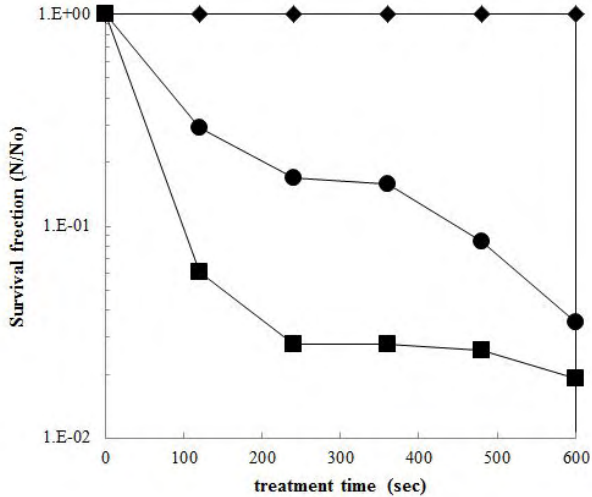


그림 206. 고강도광펄스 처리에 의한 유채쌈 병원성대장균의 변화에 대한 거리의 영향, 광펄스 처리조건: 1000 V, 5 pps. ◆ 9.7cm, ● 7.9 cm, ■ 6.7 cm

광원과 시료사이의 거리에 따른 병원성 대장균의 감균 효과를 보면 시료와 광원 사이의 거리가 가까울수록 감균 효과가 크게 나타나 6.7 cm일 경우 99%, 7.9 cm일 경우 96%의 감균 효과를 보였지만, 9.7 cm의 경우에는 감균 효과가 거의 나타나지 않았음.

이 결과로 미루어 볼 때 새싹이나 기타 채소류의 표면 살균에 있어 시료와 광원사이의 거리는 8 cm 이하의 거리를 두어야 일정정도의 감균 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단됨.

다. 저온 플라즈마와 UV 광펄스 병합 처리에 의한 미생물 저감 효과

저온플라즈마(Low Temperature Discharge Plasma)와 UV 광펄스의 병합처리에 의한 새싹의 미생물 저감효과를 살펴보았음.

새싹을 광펄스 처리를 먼저 한 후 저온플라즈마를 처리하는 방법으로 처리를 하였으며, 새싹은 3 g을 칭량한 후 처리 용기에 담아 시료와의 거리 6.7 cm에서 광펄스 처리를 한 후 1.5 A의 전류, 2.5 cm의 거리에서 저온 플라즈마를 처리하였음.

UV 광펄스와 저온 플라즈마를 병합처리한 후 미생물의 저감 효과를 그림 207-209에 나타내었음.

그림 207은 일반 세균의 저감 효과를 나타낸 것으로 광펄스 처리 시간 및 저온플라즈마의 처리시간이 길어짐에 따라 일반세균의 수가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 광펄스 단독으로 처리하였을 경우와 비교하면 광펄스 단독으로 1000 V, 5 pps로 10분 처리하였을 때에는 92%정도의 감균 효과를 보였지만, 광펄스 처리 후 추가적으로 저온플라즈마

를 1.5 A, 25 m 거리에서 120초 처리를 한 후에는 99%정도의 감균 효과를 나타내어 병합치리에 의한 사멸효과의 증가가 있는 것으로 나타남.

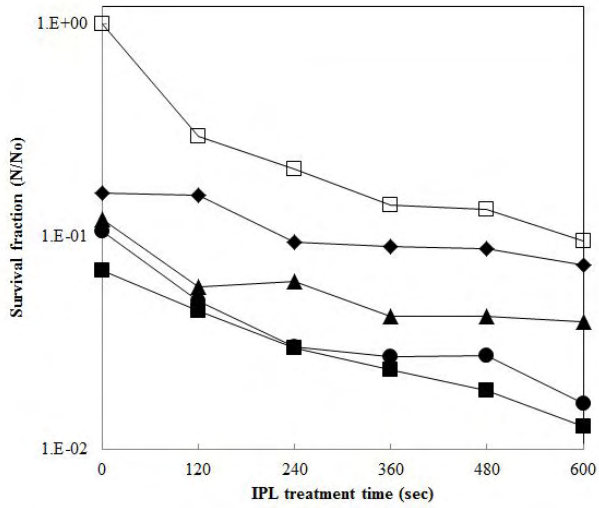


그림 207. 저온플라스마와 고강도광펄스 병합치리에 의한 새싹의 총균수 변화
 □ only IPL treatment, ◆ IPL treatment + LTDP treatment 30 s, ▲ IPL treatment + LTDP treatment 60 s, ● IPL treatment + LTDP treatment 90 s, ■ IPL treatment + LTDP treatment 120 s

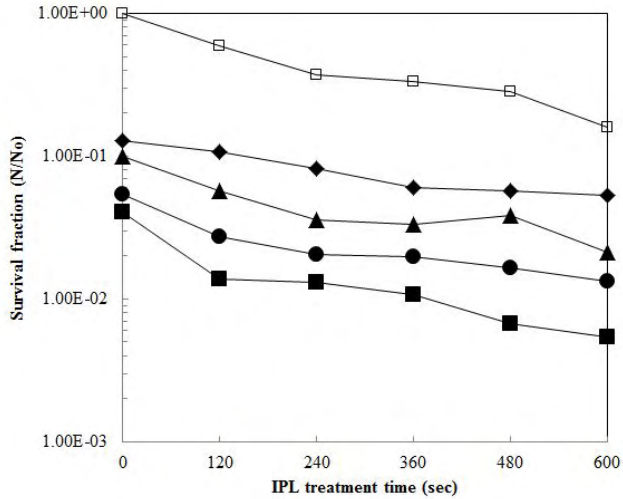


그림 208. 저온플라스마와 고강도광펄스 병합치리에 의한 새싹의 대장균군 변화
 □ only IPL treatment, ◆ IPL treatment + LTDP treatment 30 sec, ▲
 IPL treatment + LTDP treatment 60 sec, ● IPL treatment + LTDP
 treatment 90 sec, ■ IPL treatment + LTDP treatment 120 sec

그림 208은 병합치리에 의한 대장균군의 저감 효과를 나타낸 것으로 광펄스 처리 시간 및 저온플라스마의 처리시간에 따라 대장균군의 수가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 광펄스 단독으로 처리하였을 경우와 비교하면 광펄스만 처리하였을 경우 앞선 실험보다 다소 낮은 80%정도의 사멸율을 보였으나, 광펄스 처리 후 저온플라스마를 처리하였을 때에는 99%이상의 사멸율을 보여 병합 처리시 저온플라스마에 의한 감균 효과의 상승이 높은 것으로 나타남.

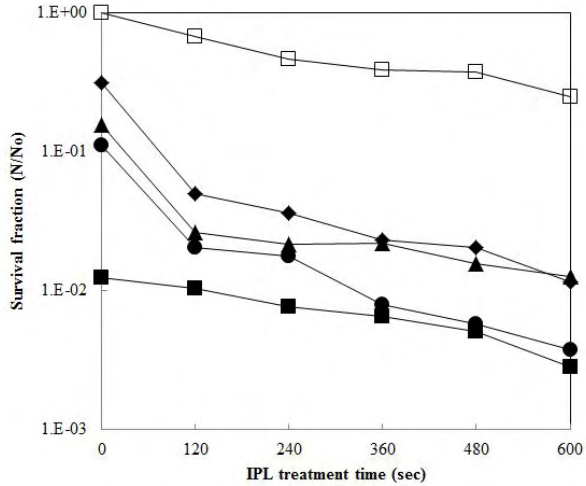


그림. 209. 저온플라스마와 고강도광펄스 병합치리에 의한 새싹의 병원성대장균 변화
 □ only IPL treatment, ◆ IPL treatment + LTDP treatment 30 sec,
 ▲ IPL treatment + LTDP treatment 60 sec, ● IPL treatment + LTDP
 treatment 90 sec, ■ IPL treatment + LTDP treatment 120 sec

그림 209은 병원성대장균의 저감 효과를 나타낸 것으로 앞서 두 병합치리 결과와 마찬가지로 광펄스 처리 시간 및 저온플라스마의 처리시간이 길어짐에 따라 병원성대장균의 수가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 광펄스 단독으로 처리하였을 때에는 사멸율이 크지 않았으나 저온플라스마와 병합 처리하였을 경우에는 99.5%이상의 높은 사멸율을 보여 단독으로 처리하였을 때보다 병합치리에 의한 사멸율 상승효과가 있는 것으로 나타남.

4. 결론

저온 플라즈마 살균력 검증

- 저온플라즈마를 이용한 식품살균시스템을 개발하고자 감압방전플라즈마(LPDP), 유전체장벽방전플라즈마(DBDP), 코로나방전플라즈마제트(CDPJ) 등 3 종류의 플라즈마 생성장치를 제작하여 기계특성, 살균력을 검증하고 식품품질에 미치는 영향을 조사하였음.
- LPDP 생성에 적합한 감압조건은 절대압력 1.0 Torr 이었고, 살균력은 출력에 비례하였으며, 생성기체별 살균효과는 질소 > 공기 > 산소 플라즈마 순으로 우수하였음.
- DBDP 살균효과는 전류세기에 비례하였으며, 전극간격에 따라서는 2.65 mm > 3.33 mm > 1.85 mm 순이었음. 최소 D'-값은 전극간격 2.65 mm, 전류세기 1.25 A에서 0.565 min 이었음. DBDP 처리 시 이동식 처리가 고정식 처리에 비해 살균력이 유의하게 높았으며, 이동식 처리방식 간에는 양방향 처리가 단일방향 처리에 비해 살균효과가 우수하였음.
- CDPJ의 살균효과는 LPDP와 DBDP보다 우수하였고, 살균력은 전류에 비례하였으며, 토출거리에 따른 살균력은 25 mm > 15 mm > 35 mm 순으로 토출거리 25 mm에서 가장 높은 살균효과를 보였음.
- 저온플라즈마에 의한 미생물 살균패턴은 초기에는 살균효과가 크고 이후에는 살균효과가 감소하는 2단계 1차 반응(의사1차반응)에 속하였으며 Singh-Heldman 모델에 부합하였음.

저온플라즈마를 이용한 식품 살균

- 생식제조용 백미와 현미에 대한 살균력은 CDPJ가, 압맥은 DBDP가 가장 양호하였음. 균주별로는 세균이 진균보다 플라즈마 살균에 민감하였으나, *Bacillus*는 저항성이 높았음. 곡류의 외관, 색도, 산가, TBA는 플라즈마 처리에 의해 크게 영향을 받지 않았음.
- 새싹의 일반세균은 10^7 CFU/g 수준이었으며 대장균군, 살모넬라, 바실러스, 포도상구균, 리스테리아 등 식중독균도 $10^3 - 10^6$ CFU/g 수준으로 오염되어 비가열살균기술의 적용이 필요함. 플라즈마 종류별 새싹의 살균효과는 CDPJ가 가장 높았고, DBDP, LPDP 순의 살균력을 보였음.
- 김의 경우도 CDPJ의 살균력이 가장 높았고, DBDP, LPDP 순의 낮아졌음. 저온플라즈마 처리는 김의 외관, 색도, 항산화능에 영향을 미치지 않았음.

저온플라즈마 현장적용 모델

- 살균대상 식품의 크기와 모양에 제약을 받지 않고 대량처리가 가능한 저온플라즈마

장치로 원격코로나방전플라스마제트(R-CDPJ)시스템을 고안하고 실증적 살균시험을 수행하였음. R-CDPJ 살균의 D'-값은 3.307 - 4.990 h로 살균 소요시간은 길었으나 처리용량의 제한이 없고 품질 저하가 없었음. 곡류, 과채류, 해조류 등을 24 h R-CDPJ 처리한 결과 2 log 수준의 미생물 감소효과가 있었으며 품질변화는 거의 없어 플라스마 살균의 현장적용 모델로 적합하였음.

UV 광펄스 이용한 신선 식품의 표면 살균 적용

- External triggering 방식을 통해 소규모, 소량화된 광펄스 처리장치를 제작하였음.
- 마른김에 존재하는 방사선 저항세균 *Micrococcus roseus*와 병원성 대장균 *E.coli* O157:H7의 광펄스 살균효과를 확인한 결과 *M.roseus*, *E.coli* O157:H7에 모두 높은 살균효과를 보였으며, 실제 김에 적용하였을 경우에도 1.6log이상의 사멸효과를 나타냄.
- 파프리카를 광펄스 처리하였을 경우, 93%의 총균수 감소효과가 있었으며, firmness의 강도 증가, Vitamin C 함량이 증가하는 결과를 나타내었으며, 그 이외 폴리페놀 함유량 등을 감소하는 결과를 나타내었으나 특별한 품질의 변화는 보이지 않았음.

저온 플라스마와 UV 광펄스 병합 처리에 의한 미생물 저감 효과

- 새싹채소를 광펄스 처리하였을 경우 병원성 대장균은 98%의 감균효과를 나타내었으며, 저온플라스마와의 다른 비가열 살균방법과 병행시에 더욱 높은 살균효과를 보여 향후 농수산물의 비가열 살균 방법으로 가능성은 보임.

제 3 절 신선 편이식품의 보존성, 안전성 증진을 위한 천연/화학 향균제의 고효율 나노 살균 공정 개발

1. 연구내용

가. 천연/화학 살균제의 나노입자 제조 및 aerosolization을 접목한 나노살균 기술개발

(1) 산성화 아염소산 제조장치에서 유기산별 아염소산의 농도에 따른 생산효율 비교

(가) 유기산별 아염소산의 농도에 따른 아염소산수 제조

(나) 유기산별 아염소산의 농도에 따른 아염소산수 농도 및 순도 확인

(2) Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 사용에 따른 변화 및 살균효과 비교

(가) 아염소산수 aerosolization 전·후의 pH 및 농도 변화 확인

(나) Jet, ultrasonic nebulizer를 이용한 아염소산수의 분무 시간별 농도 확인

(다) 산성화 아염소산의 입자크기와 농도에 따른 최적 작용 조건 설정

(3) 식품용 천연/화학 향균 물질을 이용한 식용 나노 입자 제조 및 최적 조건 비교

(가) 천연 향균제 선정

(나) 천연 향균제 나노입자 제조

(4) 식품용 천연/화학 향균 물질의 병원성 미생물에 대한 향균활성 비교

(가) 위해 미생물 및 target 병원성 미생물 결정

(나) 병원성 미생물을 이용한 향균활성 비교 분석

나. 천연/화학 살균제의 나노입자 분무를 통한 농산물에 대한 적용 및 품질평가

(1) 농산물에 대한 천연 향균물질의 향균활성

(가) 천연 추출물 성분(Citral, Carvacrol)의 향균 효과 확인

(나) Ultrasonic nebulizer를 이용한 자동 농자 추출물의 향균 효과 확인

(2) 농산물에 대한 아염소산수의 향균활성

(가) Ultrasonic nebulizer를 이용한 아염소산수의 향균 효과 확인

(3) 병원성 미생물에 대한 아염소산수의 향균활성

(가) 당근에 접종된 병원성 미생물에 대한 향균 효과 확인

(나) 파프리카에 접종된 병원성 미생물에 대한 향균 효과 확인

(다) 감귤에 접종된 병원성 미생물에 대한 향균 효과 및 저장성 평가

2. 연구 방법

가. 천연/화학 살균제의 나노입자 제조 및 aerosolization을 접목한 나노살균 기술개발

(1) 산성화 아염소산 제조장치에서 유기산별 아염소산의 농도에 따른 생산효율 비교

(가) 유기산별 아염소산의 농도에 따른 아염소산수 제조

① 아염소산수 제조

아염소산수 제조는 그림210의 아염소산가스 발생장치(그림 210. K-CIDE, Envio Corp, Korea)를 사용하여 제조함, NaClO₂와 acid(Hydrochloric acid, Phosphoric acid, Citric acid, Lactic acid)를 아염소산가스 발생장치에 주입하고 화학반응에 의해 생성된 아염소산가스를 다시 증류수에 녹여 아염소산수를 제조하였음.



그림 210. 아염소산수 발생장치

(나) 아염소산수 농도 및 순도 확인

① 아염소산수 농도 측정

아염소산수의 농도는 Idometric method와 Amperometric Titrator(Mpdel 19300, Hach Co., USA)를 병행하여 사용함.

-Iodometric method calculation

$$\text{mg ClO}_2 \text{ as ClO}_2/\text{L} = \frac{(\text{)}^a \text{ml} \times (\text{)}^b \text{N} \times 13490}{(\text{)}^c \text{ml}} = (\text{)} \text{ppm}$$

a : Volume of Na₂S₂O₃ consumed for titration

b : Vormality Na₂S₂O₃

c : Volume of test sample used for titration

② 아염소산수 순도 측정

아염소산수의 순도는 Amperometric Titrator(Model 19300, Hach Co., USA)를 이용하

여 Amperometric method II으로 그림 211.와 같이 U.S. EPA guidance manual 및 Gordon 방법에 따라 $\{ClO_2(mg/L)/[ClO_2(mg/L)+FAC(mg/L)+ClO_3(mg/L)]\} \times 100$ 으로 측정 함.

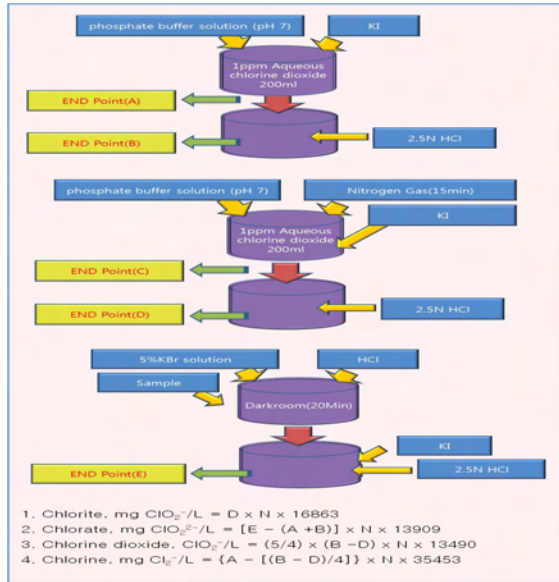


그림 211. Amperometric method II

(2) Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 사용에 따른 변화 및 살균효과 비교

(가) 아염소산수 aerosol화 전·후의 pH 및 농도 변화 확인

① Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer

Jet nebulizer는 입자크기가 10-50 μm 인 BURE(SM BURE Co., Ltd, Korea)를 이용하였고, ultrasonic nebulizer는 진동자가 1.65 MHz로 14 μm 이하의 입자크기를 분포를 나타내는 Humidifier(MH-150B, M tec, Gimhae, Korea)를 aerosol generator로 이용함.



그림 212. Jet nebulizer



그림 213. Ultrasonic nebulizer

② 아염소산수 aerosolization 전·후의 pH 및 농도 변화 확인

아염소산수를 aerosol화한 아염소산수의 특성 변화를 확인하기 위해 분무액을 50 mL conical tube에 약 10 mL를 받아 aerosol 전·후의 pH는 pH meter(ORION 91003, Thermo, U.S.A.)를 사용하여 3회 반복 측정하였으며, 농도는 Idometric method로 측정함.

(나) Jet, ultrasonic nublizer를 이용한 아염소산수의 분무 시간별 농도 확인



그림 214. 에어로졸 처리 가스 실험대

(1. plexiglass glove-box chamber, 2. Relative humidity meter, 3. Operating gloves, 4. Dilution fan, 5. Sampling in / out, 6. Gas monitoring system)

① 아염소산수를 이용하여 jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer로 생성된 aerosol의 시간별 가스농도 측정

아염소산수를 농도별(100, 200, 300, 400 ppm)로 제조하여 밀폐 grove box(volume:260L)에서 jet, ultrasonic nebulizer로 aerosol화 하여 80-90 mL 분무하고 시

간별로 가스농도측정기(Interscan™ continuous monitoring system)을 이용하여 aerosol 농도를 측정함.

(다) 산성화 아염소산의 입자크기와 농도에 따른 최적 작용 조건 설정

① 균주접종 및 시료처리

TSA에서 배양된 *NaI^R Salmonella Typhimurium*의 single colony를 취해 액체배지인 TSB 200 mL에 접종 후 37 °C shaking incubator(VS-8480SF, Vision scientific Co., Ltd, Bucheon, Korea)에서 100 rpm으로 진탕하면서 24시간 배양함. 배양된 액은 4000 rpm에서 20 min 동안 원심분리 시켜 얻은 pellet을 Butterfield's phosphate Buffer로 희석하여 약 10^{8-9} CFU/mL 농도의 균이 되게 준비한 후 굴과 피망 표면(지름 약 2 cm)에 100 μ l의 *NaI^R Salmonella Typhimurium*을 인위적으로 접종하고 clean bench(VS-1400, Vision scientific Co., Ltd, Bucheon, Korea)에서 2시간 동안 건조하여 사용함.

② Jet, ultrasonic nublizer를 이용한 아염소산수 aerosol 처리

살균효과 검증을 위한 실험으로서 plexiglass glove-box chamber(100×60×80)를 사용함. Plexiglass glove-box chamber 내부에 미생물을 접종한 sample을 넣고 100, 200, 300, 400 ppm의 아염소산수를 aerosol 처리하면서 chamber 내부의 가스농도를 5분 간격으로 측정하고 0, 10, 20, 30, 60분 간격으로 굴과 피망표면의 *NaI^R Salmonella Typhimurium*에 대한 살균효과를 확인함. Ultrasonic nebulizer는 80 ± 10 mL/hr 유속으로 아염소산수의 aerosol 입자가 plexiglass glove-box chamber 내부에 유입이 시작되는 점을 기준으로 60 min간 지속적으로 처리하면서 일정간격으로 살균효과를 확인하였고, jet nebulizer는 ultrasonic nebulizer와 동일한량(80 ± 10 mL)의 아염소산수를 plexiglass glove-box chamber 내부에 50초간 aerosol 처리 후 일정간격으로 굴과 피망 표면에 접종된 *NaI^R Salmonella Typhimurium*에 대한 살균효과를 확인함.

③ 균수측정방법

Aerosol 처리된 시료와 Neutralizing buffer를 1:5의 비율로 멸균 비닐팩에 담고 Bag Mixer(model 400, Interscience, France)에서 2분간 균질화하고, 일정비율로 0.1% peptone water로 연속적으로 희석하여, 희석액을 Nalidixic acid 50 μ g/mL을 첨가한 TSA 배지에 도말하여 37 °C에서 24시간 배양한 후 생균수를 계수함.

④ D-value, Z-like value

*Salmonella Typhimurium*에 접종된 굴표면과 피망표면을 처리하여 살아남은 균을 측정하 결과를 colony forming unit(CFU)로 나타내고 각 counting된 결과를 log scale로 환산하여 처리 농도별 시간에 따른 survival rate 그래프를 그려 생균수가 1/10로 감소하는데 필요한 시간(min)을 계산하여 D-value를 구함. 같은 방법으로 D-value가 1/10로 감소하는데 필요한 농도(ppm)로 계산하여 구함.

(3) 식품용 천연/화학 항균 물질을 이용한 식용 나노 입자 제조 및 최적 조건 비교

(가) 천연 항균제 선정

① 천연 항균제 선정

천연 항균제는 화학 항균제 사용의 약제 저항성 증가와 잔류 농약의 문제 및 환경오염 등의 문제를 극복하고, 식용 가능하며 인체에 독성을 나타내지 않으면서 식품 및 제조 공정의 효과적 살균 가능성을 가진 항균 효능이 있다고 보고된 선행 연구결과를 바탕으로 본 연구에 사용될 천연 항균제를 선정함.

② 자몽 종자

여러 가지 살균력을 가진 천연 항균 보존료 중에서 항균, 항진균, 항산화 효과가 있다고 보고됨. <*Journal of Life Science*. (2005). 15(1) : 66-77> 또한, 천연 살균, 소독, 방부제, 연쇄상구균, 포도상구균, 살모넬라 등의 균류 등에 항균작용이 있다고 알려짐. 자몽 종자 추출물을 함유한 gelatin 필름이 *E.coli*의 경우 2.67 log CFU/g으로, *L.monocytogenes*의 경우 3.15 log CFU/g으로 감소시키는 항균 활성 결과가 보고됨. <*Korean J. Food Preserv.* (2009). 16(1) : 134-137>

③ 고추냉이

고추냉이는 식욕 및 소화 촉진 작용 외에도 *Escherichiu coli*, *Staphylococcus*, *Saccharomyces cerevisiae* 등에 항균작용이 있다고 보고됨. <*Korean J Nutrition*. (1995). 28(11) : 1073-1077> 편기 혐기성 세균에 대한 서양산 고추냉이 뿌리 추출물의 최소 억제 농도는 평균 87-470 ppm, 최소 살균 농도는 평균 156-625 ppm으로 *F. nucleatum*에 대한 가장 강한 항균 활성을 나타내었으며, 항균제에 저항성이 큰 *C. perfringens*에도 항균 활성을 나타내었다고 보고됨. <*J Korean Acad Pediatier Dent*. (2009). 36(2) : 237-244>

④ 도인

약리 실험에 의하면 심장의 혈액순환을 촉진하고, 항암, 항균 작용이 있는 것으로 알려져 있으며, 사전에 연구가 되지 않은 천연물 중 항균제의 효능을 가진 것으로 기대되는 도인을 천연 항균제의 후보물질로 선정함.

⑤ 발효더덕

기존에 보고되어진 발효더덕은 보통 높은 항산화 활성능력을 가지고 있으며 그 이외에 항균작용, 진균작용을 한다고 알려짐. 각각의 미생물로 발효된 더덕을 초고압 추출공정을 이용하여 추출한 추출액을 활용하여 MIC 테스트를 한 결과 발효하기 전 일반더덕의 항균작용에 필요한 농도는 4630 ppm 으로써 항균 작용 능력을 가지고 있지 않지만 일반 더덕에 *L. rhamnosus*를 접종하여 발효함으로써 100 ppm 이하의 낮은 농도에서 *S. Typhimurium*의 균주에 대한 MIC Test를 통한 미생물 생육 저해 활성 결과가 증진되었다고 보고가 되어 있고 선행연구로써 지속 연구에 대한 연관성이 존재함으로 보다 진보된 연구결과를 얻을 수 있을 것으로 사료됨. <*Journal of agricultural and food chemistry*. (2010). 58(3) : 1719-1725>

(나) 천연 항균제 나노입자 제조

① 초음파 분산 공정을 이용한 제형별 나노 입자 제조

Encapsulant로써 식용이 가능한 셀룰로오즈, 락시틴, 젤라틴, 펙틴을 등근바닥플라스크에서 multi-layer로 형성함. 천연항균제의 액상 시료를 넣고 초음파 분산기 VCX500 (Sonics & Materials Inc., USA)를 이용하여 상온에서 1시간동안 20 ㏔의 주파수로 균질화시켜 수용성 나노입자를 제조함.

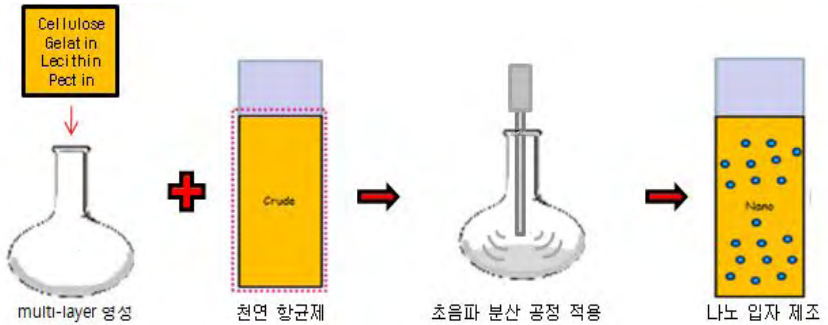


그림 215. 천연 항균제 나노입자 제조 공정

② DLS (Dynamic Light Scattering)를 사용한 나노입자의 크기 확인 및 EF-TEM을 이용한 나노입자 관찰

제조된 나노 입자의 크기를 측정하기 위해서 DLS (Dynamic Light Scattering) 측정기를 사용하여 나노 입자의 크기를 측정함. 나노 입자의 실제모양 확인을 위해 EF-TEM (Transmission Electron Microscopy)을 이용해 처리 시간별로 나노 입자의 위치와 크기 및 미생물의 형태를 촬영함.

③ 나노입자에 함유된 천연항균제의 정량을 위한 HPLC 분석을 이용한 봉입효율 측정

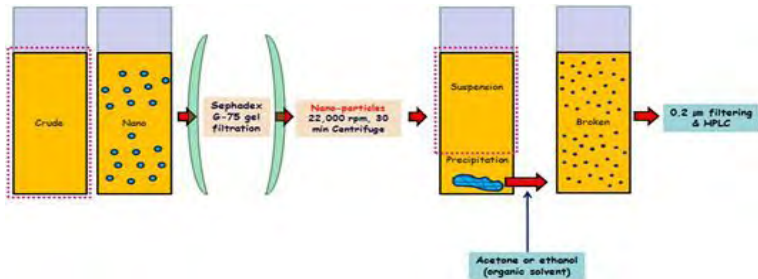


그림 216. 천연 항균제 나노입자의 봉입효율 측정

견고하게 형성된 나노입자 내부의 수용성 추출물과 외부의 고분자 소재를 분리하기 위해서 Sephadex G-75 gel (SIGMA, USA) 크로마토그래피를 이용하여 특정 fraction을 모음. 나노 입자는 모두 22,000 rpm에서 30분 동안 초원심분리한 후, 침전만을 분리해 99.5% ethanol과 1 : 1 (v/v) 또는 acetone으로 혼합하여 녹임. 이후 0.2 μ m의 필터로 필터링 하여 나노입자를 고분자와 최종 분해시켜 HPLC로 분석함.

④ 제타 전위 (ζ -potential)를 이용한 나노입자의 안정성 확인.

제타 전위 (ζ -potential)를 이용한 음으로 대전된 나노입자 주위에서 이온 환경과 입자 간의 척력을 이용하여 배지의 pH에 따른 나노 입자의 안정성을 확인하는 것으로, 여러 pH 조건 (pH 2-10)에서 그 값을 측정함.

(4) 식품용 천연/화학 항균 물질의 병원성 미생물에 대한 항균활성 비교

(가) 위해 미생물 및 target 병원성 미생물 결정

① 주요 식중독 균주의 선정

천연 나노 항균제의 항균 활성 측정을 위해 이용할 식품별 위해 미생물 및 병원성 미생물의 지표 균을 지정하기 위해 미국 질병통제예방센터 CDC(U.S. Center for Disease Control and Prevention)의 식중독 감시체계인 FoodNet(Foodborne Disease Active Surveillance Network)에서 지정한 식중독균 중 6종을 지정하여 연구를 수행함. 또한, 식품의 저장기간을 연장하기 위해 위와 같은 균들을 살균하기 위해 많은 종류의 화학적 항균제들을 사용하고 있으나 이러한 화학적 항균제의 지속적인 사용이 인체에 부작용을 일으키며, 균들의 내성이 생기게 되는 문제점들이 있음. 이러한 문제점들이 제기되고 있는 균들 중 대표적인 gram positive 균과 gram negative 균을 선정함.

② Gram positive 균

㉞ *Listeria monocytogenes*

원유, 살균 불충분우유, 치즈(특히 연성치즈), 아이스크림, 채소, 생가금육과 조리가금육, 생육, 날 생선과 훈제 생선 제품 등을 통한 전파됨. 저온 증식균이며, 증식이 가능한 최소 수분활성도는 0.92-0.93 으로 넓은 범위의 가공식품에서 증식하는 미생물로 알려져 있음. 또한, 식품 공장에서 시설 표면에 biofilm을 형성하고 그 안에서 증식하기 때문에 항균제에 잘 저항하여 증식한다고 보고됨. <J. Food Prot. (1998). 61 : 731-734>

㉟ *Bacillus subtilis*

그람 양성균 중의 가장 많이 연구된 세균 중 하나로 공기, 마른 풀, 하수, 토양 속에 존재하며 곡류의 부패 및 변질의 원인임. 다수의 탄수화물을 분해하여 산을 생성하며, 프로테아제를 생산하는 식품의 부패균으로 우유를 굳게 하고 전분을 당화하며 유지 따위를 분해시켜 부패시킴. <Kor. J. Soc. (1998). 14 : 498-502>

③ Gram negative 균

㉞ *Salmonella* Typhimurium sensitive (STS)

깨진 낱알갈과 달걀로 만든 식품, 날 우유와 날 우유 가공제품, 육류와 육류 가공식품, 애완용 거북이(자라)와 병아리, 동물에서 만든 멸균이 안 된 제품 등을 통해 전파됨. 가장 중요한 장염 세균으로 이 균에 의한 감염은 세균성 식중독의 주 원인균인 비 장티푸스성 살모넬라증이 있음. 비 장티푸스성 질병이 증가 추세이며 항생제 내성균의 출현이 문제가 되고 있으며, 최근 들어 nalidixic acid에 대한 내성에 관한 보고들이 해마다 증가하고, ACSSuT(ampicillin, chloramphenicol, streptomycin, sulfonamide, tetracycline)에 내성을 나타내는 출현이 빈번히 나타남. <국립 보건원. (2003). 14 : 413-419>

㊦ *Staphylococcus aureus sensitive* (SAS)

주로 육류 및 육제품, 가금류 및 난류, 달걀, 참치, 닭고기, 감자 및 마카로니 샐러드, 크랩빵류, 샌드위치 속, 우유 및 유제품 등을 통해 전파됨. 균이 전파되면 피부 내에서 상주하는 균으로 면역력이 약해진 사람에게 해로우며, 집락력이 매우 강하고, 집락 된 곳에 코팅을 형성시켜 제거하기 어려움. 또한 Methicillin 등의 항생제 내성이 있는 균으로 항생제의 사용이 제한됨.

㊦ *Shigella boydii*

환자나 보균자에 의한 직접 혹은 간접적인 경구전파, 음식을 오염시켜 간접적으로 전파하거나, 직접적인 신체적 접촉에 의해 다른 사람에게 전파됨. 습도와 온도가 높은 여름철에 주로 발생하였으나 최근 계절에 관계없이 발생 빈도가 늘어나고 있으며, 집단급식, 식품의 관리 및 유통 과정에서 항생제의 남용으로 인해 내성균의 출현이 계속 증가하고 있음. <*The Korean Journal of Microbiology.* (1976). 14(1) : 23-26>

㊦ *Serratia liquefaciens*

물, 토양, 공기, 야채 등 자연계에 널리 분포함. 고기 부패에 관여하는 종으로 저온의 환경인 냉장 우육의 표면에 잠재하여 성장해서 점질물을 생성하고, 최근 냉동, 냉장육의 소비가 증가하나 올바른 저장을 하지 않으며, 그에 대한 인식이 부족한 실정임. <*Kor. Jour. Microbiol.* (1991). 195-198>

(나) 병원성 미생물을 이용한 항균활성 비교 분석

① 선정 균주별 천연 항균제 나노입자의 항균활성 비교 분석

㊦ MIC Test

천연 항균제 나노입자의 항균력 평가를 위한 최소 생육 저해 농도 (Minimal Inhibitory Concentration, MIC)를 측정하기 위해 각각의 균주에 제조된 천연 항균제를 투여함. MIC 테스트에 사용된 천연 항균제의 농도는 상기에 연구되어진 천연항균제의 각각의 제형별 봉입된 나노입자의 양 (ppm)으로부터 측정함.

㊦ Challenge Test

각각의 균주에 대한 천연 식용 나노 항균제의 Challenge Test (방부력) 측정을 통해 항균활성도를 평가함.

㊦ 나노 입자의 미생물 사멸 작용

고추냉이 천연 나노 향균제에 대한 미생물의 사멸 작용을 알아보기 위해 고추냉이 나노입자 2%를 첨가하고 배양 시간에 따른 *Salmonella* Typhimurium sensitive의 모양과 나노 입자를 전자 현미경으로 관찰함.

나. 천연/화학 살균제의 나노입자 분무를 통한 농산물에 대한 적용 및 품질평가

(1) 농산물에 대한 천연 향균물질의 향균활성

(가) 천연 추출물 성분(Citral, Carvacrol)의 향균 효과 확인

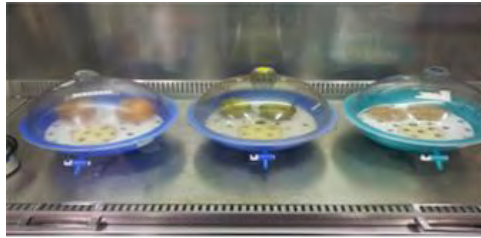


그림 217. Citral, carvacrol를 이용한 향균 실험

① 시료처리

시료는 양파 200-230 g, 감자 180-200 g, 벼 20 g(784.6 ± 28.29개)의 일정한 크기를 선별하여 사용함. Desiccator에 각 시료를 넣은 후 petri dish(90×15mm)에 citral과 carvacrol 2 mL씩을 각각 취하여 10, 30, 60분간 밀폐 공간에서 노출시켜 각 물질에 대한 향균 효과를 확인함.

② 향균 활성 측정

처리 후 각 시료를 멸균백에 취하여 양파와 감자는 각 무게의 2배양의 멸균수를, 벼는 180 mL의 멸균수를 가하여 Orbital shaker(JS Research Inc. co. Ltd., Gongju, Korea)를 이용하여 5분간 믹서하여 시험용액으로 사용함. 시험용액을 10배 희석법에 따라 희석하여, 단계별 희석액 0.1 mL씩을 취해 TSA 평판배지에 도말하여, 36 °C에서 24 시간 배양하여 형성된 집락을 계수함.

(나) Ultrasonic nebulizer를 이용한 자몽 종자 추출물의 향균 효과 확인



그림 218. Ultrasonic nebulizer를 이용한 자몽 종자 추출물의 향균 실험

① 자몽 종자 추출물

자몽 종자 추출물은 시중에 유통되고 있는 DF-100(Chemie Reserch and Manufacturing Co., Inc, USA)를 사용함. DF-100은 grapefruit seed extract 70%, glycerin U.S.P 30%로 grapefruit seed extract의 조성분으로 Ascorbic acid, Dehydro ascorbic acid, Palmitic acid, Amino acid, Peptides, Sterols, Tocopherols, Related Ammonia NH, Methyl-Hydroxy groups, Glucose를 함유함. DF-100의 항미생물 효과를 가지는 주요성분인 Naringin은 후라보노이드의 일정으로서 정균 및 항균작용, 항산화작용, 금속봉쇄 작용, 아스כול빈산의 상승작용, 항암작용 등을 갖는 것으로 알려짐.

② 시료처리

시료는 양파 200-230 g, 감자 180-200 g, 벼 20 g(784.6 ± 28.29개)의 일정한 크기를 선별하여 사용함. 자몽 종자 추출물을 10배 희석하여 ultrasonic nebulizer로 분무하여 각 시료별로 10, 30, 60분간 처리함.

③ 항균 활성 측정

처리 후 각 시료를 멸균백에 취하여 양파와 감자는 각 무게의 2배양의 멸균수를, 벼는 180 mL의 멸균수를 가하여 Orbital shaker(JS Research Inc. co. Ltd., Gongju, Korea)를 이용하여 5분간 믹서하여 시험용액으로 사용함. 시험용액을 10배 희석법에 따라 희석하여, 일반미생물은 TSA 배지, 곰팡이는 DRBC 배지에 단계별 희석액 0.1 mL씩을 취해 도말하여, 36 °C에서 24시간, 30 °C에서 48시간 배양하여 형성된 집락을 계수함.

(2) 농산물에 대한 아염소산수의 항균활성



그림 219. 양파 시료 전처리 및 아염소산수를 이용한 항균 실험

(가) Ultrasonic nebulizer를 이용한 아염소산수의 항균 효과 확인

① 시료처리

시료는 양파 200-230 g의 일정한 크기를 선별하여 오차를 줄이기 위해 최소한의 껍질을 제거하여 시료로 사용함. 벼는 20 g(784.6 ± 28.29개)을 petri dish(90 ×15mm)에 취

하여 처리함.

② 아염소산수 농도 및 처리시간

Ultrasonic nebulizer로 아염소산수를 aerosol화 하기 위한 농도는 100, 200, 300, 400 ppm의 아염소산수를 제조하여 분무하였으며, 분무 시작 후 1시간이 경과된 시점부터 5, 10, 30분간 각 시료를 처리하였음.

③ 항균 활성 측정

처리 후 각 시료를 멸균백에 취하여 양과는 2배양의 멸균수를, 비는 180 mL의 멸균수를 가하여 Orbital shaker(JS Research Inc. co. Ltd., Gongju, Korea)를 이용하여 5분간 믹서한 후 시험용액으로 사용함. 시험용액을 10배 희석법에 따라 희석하여, 단계별 희석액 0.1 mL씩을 취해 일반미생물은 TSA에 곰팡이를 DRBC 평판배지에 도말하여, 36 °C에서 24시간, 30 °C에서 48시간 배양하여 형성된 집락을 계수함.

(3) 농산물에서 병원성 미생물에 대한 아염소산수의 항균활성

(가) 당근에 접종된 병원성 미생물에 대한 항균 효과 확인

① 실험 균주 및 재료

균주로 *E. coli* O157:H7 ATCC 43895, *L. monocytogenes* 4244, *S. Typhimurium* KCTC 2515를 0.1% streptomycin을 첨가한 Tryptic soy broth(TSB, Difco, USA)와 Tryptic soy agar(TSA, Difco, USA)에서 resistant bacteria로 각각 3회 이상 계대배양하여 사용함. 실험에 사용한 당근은 흐르는 물에 2분간 세척 후 일정크기(30×30×10 mm)로 절단하여 다시 2분간 세척 후 clean bench(VS-1400, Vision scientific co., Ltd., Osan, Korea)내에서 30분 동안 건조시킨 후 사용함.

② 미생물 접종 및 분석

Resistant bacteria의 single colony를 취해 TSB 15 mL에 접종 후 shaking incubator (VS-8480F, Vision scientific co., Ltd., Osan, Korea)에서 35 ± 2 °C, 100 rpm으로 24시간 진탕배양하여 배양액을 4000 rpm에서 10분간 원심분리(VS-5000N, Vision scientific co., Ltd., Osan, Korea)한후 얻어진 pellet을 0.1% peptone water로 희석함. 10⁸⁻⁹ log CFU/mL 활성의 희석액을 당근 표면에 10 µL씩 10회 접종하여 clean bench에서 30분 동안 건조하여 사용함. 각 ppm별로 시간에 따라 처리한 시료를 멸균백에 취한 후 10배 양의 0.1% peptone water를 가하여 2분간 stomaching하여, serial dilution 후 streptomycin 0.1%를 첨가한 TSA에 도말하여, Incubator에서 35 ± 2 °C, 24시간 배양함. 형성된 집락을 계수하여 colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었으며, *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*에 대한 저해효과 결과를 log scale로 환산하여 처리 농도별 시간에 따른 survival rate 그래프를 그려 생존수가 1/10로 감소하는데 필요한 시간(min)을 계산하여 D-value를 구함.

③ 아염소산수의 분무 처리

Ultrasonic nebulizer으로 100, 200, 300, 400 ppm의 아염소산수를 80 ± 10 mL/hr 유속으로 분무 입자가 plexiglass glove-box chamber 내부에 유입되어 60분이 경과한 시점을 기준으로 지속적으로 처리하면서 일정간격(5, 10, 30 min)으로 살균효과를 확인함.

④ 잔류농도 및 색도변화 측정

Aerosolized chlorine dioxide의 잔류농도는 aerosol 처리한 시료 4 g에 증류수 16 mL을 50 mL cap test tube에 넣은 후 2 min간 mixing하여 거름종이에 걸러 Pocket Colorimeter(Pocket Colorimeter™ II Analysis system, Hach. co. USA)로 측정함. 색도는 색차계(CR-300, Konica Minolta Holdings Inc., Tokyo, Japan)로 3회 반복측정하여 Hunter scale에 의해 명도(L값), 적색도(a값), 황색도(b값)로 나타냄. 이때 사용한 표준백색판 L, a, b값은 각각 97.06, +0.04, +1.84이며, 처리전후의 변화된 색의 값은 색차($\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)$)으로 나타내었으며, 백화지수(whiteness index, WI)는 L, a, b 값을 변화하여 $WI = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{0.5}$ 으로 나타냄.

(나) 파프리카에 접종된 병원성 미생물에 대한 항균 효과 확인

① 실험 균주 및 재료

균주로 *E. coli* O157:H7 ATCC 43895, *L. monocytogenes* 4244를 0.1% streptomycin을 첨가한 TSB와 TSA에서 resistant bacteria로 각각 3회 이상 계대배양하여 사용함. 실험에 사용한 파프리카는 흐르는 물에 2분간 세척후 일정크기 5g(30×40 mm)로 절단하여 다시 2분간 세척후 clean bench내에서 30분 동안 건조시킨 후 사용함.

② 미생물 접종 및 분석

Resistant bacteria의 single colony를 위해 TSB 15 mL에 접종 후 shaking incubator에서 35 ± 2 °C, 100 rpm으로 24시간 진탕배양하여 배양액을 4000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 얻어진 pellet을 0.1% peptone water로 희석함. 10^{8-9} log CFU/mL 활성의 희석액을 파프리카 표면에 10 µL씩 10회 접종하여 clean bench에서 30분 동안 건조하여 사용함. 각 ppm별로 시간에 따라 처리한 시료를 멸균백에 취한 후 10배 양의 0.1% peptone water를 가하여 2분간 stomaching하여, serial dilution 후 streptomycin 0.1%를 첨가한 TSA에 도말하여, Incubator에서 35 ± 2 °C, 24hr간 배양함. 형성된 집락을 계수하여 colony forming unit(CFU/g)으로 나타냄.

③ 아염소산수의 분무 처리

Ultrasonic nebulizer으로 100, 200, 300, 400 ppm의 아염소산수를 80 ± 10 mL/hr 유속으로 분무 입자가 plexiglass glove-box chamber 내부에 유입되어 60분이 경과한 시점을 기준으로 지속적으로 처리하면서 일정간격(5, 10, 20, 30 min)으로 살균효과를 확인함.

④ 잔류농도 및 색도변화 측정

Aerosolized chlorine dioxide의 잔류농도는 aerosol 처리한 시료 5 g에 증류수 45 mL

을 50 mL cap test tube에 넣은 후 2 min간 mixing하여 거름종이에 걸러 Pocket Colorimeter로 측정함. 색도는 색차계로 3회 반복측정하여 Hunter scale에 의해 명도(L 값), 적색도(a값), 황색도(b값)로 나타냄.

(다) 감귤에 접종된 병원성 미생물에 대한 항균 효과 확인

① 실험 균주 및 재료

균주로 *E. coli* O157:H7 ATCC 43895, *L. monocytogenes* 4244, *S. Typhimurium* KCTC 2515를 0.1% streptomycin을 첨가한 TSB와 TSA에서 resistant bacteria로 각각 3회 이상 계대배양하여 사용함. 실험에 사용한 파프리카는 흐르는 물에 2분간 세척후 일정크기 5g(30×40 mm)로 절단하여 다시 2분간 세척후 clean bench내에서 30분 동안 건조시킨 후 사용함.

② 미생물 접종 및 분석

Resistant bacteria의 single colony를 취해 TSB 15 mL에 접종 후 shaking incubator에서 35 ± 2 °C, 100 rpm으로 24시간 진탕배양하여 배양액을 4000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 얻어진 pellet을 0.1% peptone water로 희석함. 10^{8-9} log CFU/mL 활성의 희석액을 감귤 표면에 10 µL씩 10회 접종하여 clean bench에서 30분 동안 건조하여 사용함. 각 ppm별로 시간에 따라 처리한 시료를 멸균백에 취한 후 10배 양의 0.1% peptone water를 가하여 2분간 stomaching하여, serial dilution 후 streptomycin 0.1%를 첨가한 TSA에 도말하여, Incubator에서 35 ± 2 °C, 24hr간 배양함. 형성된 집락을 계수하여 colony forming unit(CFU/g)으로 나타냄.

③ 아염소산수의 분무 처리

Ultrasonic nebulizer으로 100, 200, 300, 400 ppm의 아염소산수를 80 ± 10 mL/hr 유속으로 분무 입자가 plexiglass glove-box chamber 내부에 유입되어 60분이 경과한 시점을 기준으로 지속적으로 처리하면서 일정간격(5, 10, 20, 30 min)으로 살균효과를 확인함.

④ 잔류농도 및 색도변화 측정

Aerosolized chlorine dioxide의 잔류농도는 aerosol 처리한 시료를 whirl-pak에 넣고 시료무게와 동일한 양의 증류수를 넣은 후 2 min간 mixing하여 거름종이에 걸러 Pocket Colorimeter로 측정함. 색도는 색차계로 3회 반복측정하여 Hunter scale에 의해 명도(L 값), 적색도(a값), 황색도(b값)로 나타냄.

⑤ 저장 기간에 따른 병원성 미생물 및 중량, 색도 변화 측정

아염소산수를 분무 처리한 감귤을 10 °C에서 저장하며 저장 기간에 따른 병원성 미생물과 중량, 색도 변화를 확인함.

3. 연구 결과

가. 천연/화학 살균제의 나노입자 제조 및 aerosolization을 접목한 나노살균 기술개발

(1) 산성화 아염소산 제조 장치에서 유기산별 아염소산의 농도에 따른 생산효율 비교

(가) 산의 종류별 아염소산의 농도에 따른 아염소산수 제조

① 산의 종류 및 농도에 따른 아염소산수 생성 농도

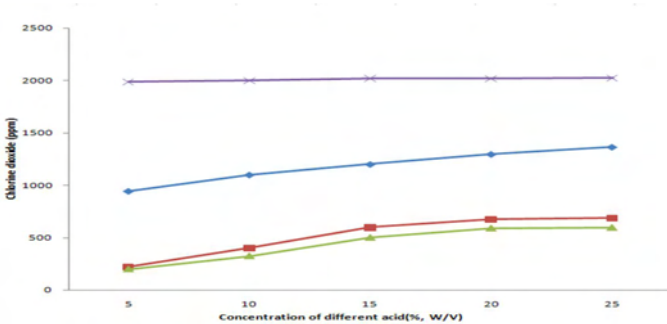


그림 220. 유기산의 종류 및 농도에 따른 생성 농도

(x : HCl, ◆ : Phosphoric acid, ■ : Citric acid, ▲ : Lactic acid)

생성 효율은 hydrochloric acid가 2000 ppm으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 phosphoric acid, citric acid, lactic acid 순으로 나타남. Hydrochloric acid는 5%일 때 phosphoric acid, citric acid, lactic acid는 15%에서 적정 생성량이 나타남.

② 산의 종류 및 농도에 따른 아염소산수의 순도

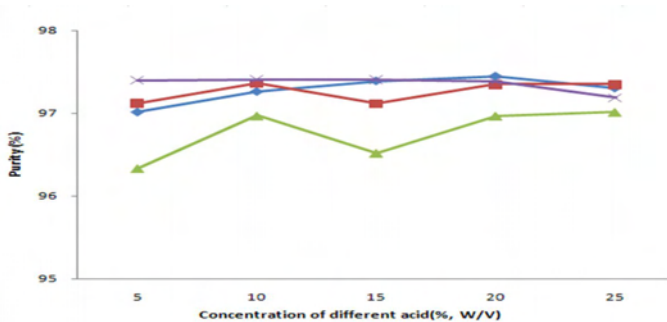


그림 221. 산의 종류별 생성 아염소산수의 순도

(x : HCl, ◆ : Phosphoric acid, ■ : Citric acid, ▲ : Lactic acid)

첨가된 모든 산에서 아염소산수의 순도가 96-98% 수준을 나타냄. 그래프상 lactic acid에서 비교적 낮은 순도를 나타내었으나, 큰 차이는 보이지 않았음. 또한, 산의 농도가 아염소산수의 순도에 미치는 영향은 크게 없는 것으로 나타남.

③ NaClO₂와 Phosphoric acid의 반응 시 최대 생성 농도 확인

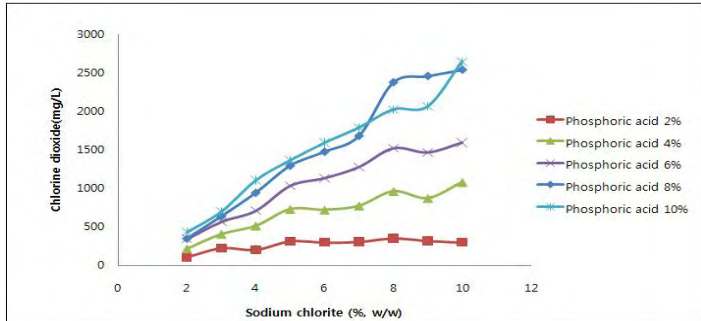


그림 222. NaClO₂와 Phosphoric acid의 농도별 아염소산수 생성량

NaClO₂와 HCl을 반응시켜 아염소산수의 생성효율이 가장 높았으나 식품에 적용시 HCl보다 GRAS(Generally Recognized As Safe)이며 유기산 중 아염소산의 생성효율이 가장 높은 Phosphoric acid를 2-10%로 제조하였을 때 NaClO₂ 8% 와 Phosphoric acid 8%를 반응시켰을 때 반응 농도에 비해 높은 생성량이 나타남.

(2) Jet neulizer와 ultrasonic nebulizer의 사용에 따른 변화 및 살균효과 비교

(가) Jet neulizer와 ultrasonic nebulizer에 따른 농도 및 pH 변화

① Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer에 따른 입자크기 확인

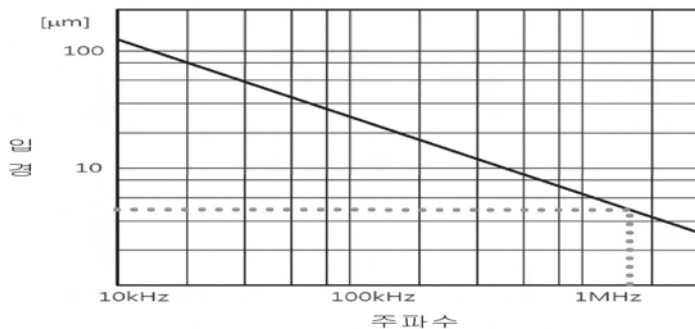


그림 223. 초음파 frequency와 입자크기

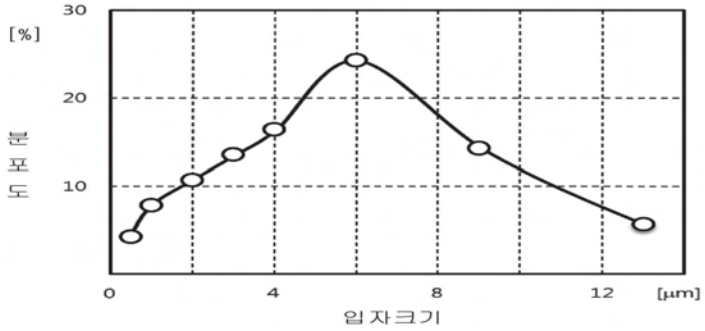


그림 224. Ultrasonic nebulizer의 입자크기 및 분포도

Jet nebulizer는 10-50 μm 의 입자크기를 나타내며, ultrasonic nebulizer는 진동자가 1.6 cm 로 14 μm 이하의 입자크기로, 6 μm 의 입자가 25%를 차지하는 것으로 나타남.

② Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer로 생성된 아염소산수의 aerosol 시간별 가스농도 측정

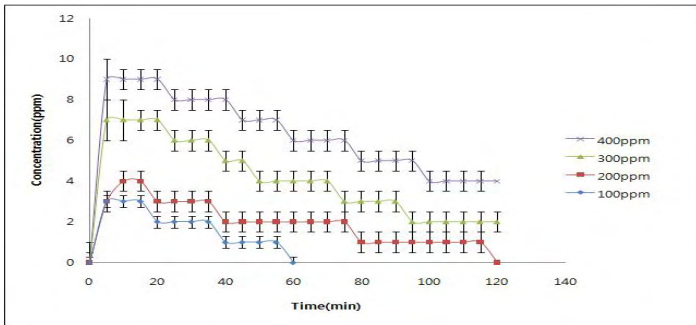


그림 225. Jet nebulizer를 이용한 aerosol 시간별 아염소산수의 농도 변화

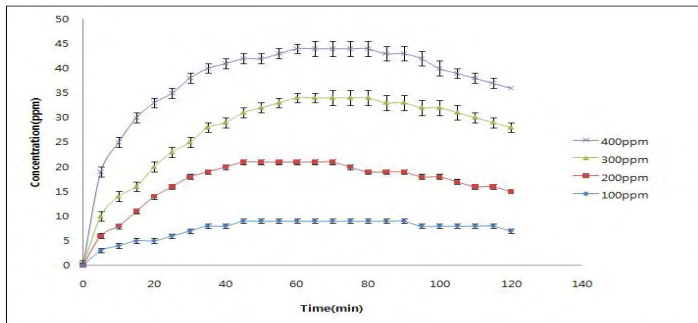


그림 226. Ultrasonic nebulizer를 이용한 aerosol 시간별 아염소산수의 농도 변화

100, 200, 300, 400 ppm 의 아염소산수를 jet nebulizer aerosol화 하여 측정하였을 때 분무 초기에 가장 높게 나타났으며 농도는 3, 5, 7, 9 ppm으로 나타남. ultrasonic nebulizer는 60-80분 사이에 가장 높은 가스농도를 나타내었으며 100, 200, 300, 400 ppm 의 아염소산수를 aerosol화 하였을 때 9, 21, 34, 44 ppm으로 나타남. 이는 ultrasonic nebulizer에서 발생된 더 작은 입자에 용해되어 있는 아염소산의 기화가 더 용이하였을 것이고 ultrasonic nebulizer의 입자 중 더욱 미세한 입자는 가스농도 측정기로 직접 흡입되어 더 높은 결과를 나타낸 것으로 판단됨.

③ Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer로 aerosol한 아염소산수의 농도 변화

Aerosol 전 100, 200, 300, 400 ppm의 아염소산수를 aerosol하였을 때 jet nebulizer는 23, 34, 45, 54 ppm, ultrasonic nebulizer는 25, 34, 45, 61 ppm으로 나타남. 이는 aerosolization되면서 작은 입자들에 용해되어 있는 아염소산의 기화로 나타난 결과로 판단됨.

표 62. 아염소산수 aerosol 전 · 후의 농도 변화

ASC concentration(ppm)	After aerosolization of CD	
	Jet nebulizer	Ultrasonic nebulizer
100	22.93 ± 1.34 ^{Aa}	24.73 ± 3.90 ^{Ba}
200	33.73 ± 9.54 ^{Ab}	33.73 ± 6.75 ^{Ab}
300	44.97 ± 2.8 ^{Ac}	44.97 ± 4.12 ^{Ac}
400	53.96 ± 9.54 ^{Ad}	60.71 ± 7.13 ^{Bd}

④ Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer로 aerosol한 아염소산수의 pH 변화

Aerosol 전 아염소산수의 pH는 3.7-4.4로 농도가 증가할수록 pH가 낮게 나타남. Aerosol 후 nebulizer에 따른 pH는 다소 낮은 경향을 보임.

표 63. 아염소산수 aerosol 전·후의 pH 변화

ASC concentration(ppm)	Before aerosolization	After aerosolization	
		Jet nebulizer	Ultrasonic nebulizer
100	4.39 ± 0.04 ^{Aa}	4.37 ± 0.02 ^{Aa}	4.36 ± 0.01 ^{Aa}
200	4.07 ± 0.05 ^{Ab}	4.01 ± 0.04 ^{Ab}	3.87A ± 0.03 ^{Ab}
300	3.95 ± 0.03 ^{Abc}	3.86 ± 0.02 ^{Abc}	3.71 ± 0.02A ^{bc}
400	3.71 ± 0.03 ^{Ac}	3.70 ± 0.03 ^{Ac}	3.69 ± 0.02 ^{Ac}

(나) 산성화 아염소산수의 입자크기와 농도에 따른 최적 작용 조건 설정

① Jet nebulizer를 이용한 aerosol처리

Salmonella Typhimurium이 접종된 굴 표면에 100, 200, 300, 400 ppm 농도의 아염소산수를 시간별(10, 20, 30, 60 min) aerosol 처리시 100 ppm의 아염소산수는 처리 시간별 각각 0.23, 0.83, 0.85, 1.43 log 감소되었고, 200 ppm 처리 후는 0.7, 0.96, 1.32, 2.15 log, 300 ppm은 0.84, 1.63, 1.81, 2.98 log, 400 ppm은 0.15, 1.77, 2.43, 3.81 log 감소됨. 피망 표면 역시 100 ppm에서 0.24, 0.34, 0.43, 1.48 log, 200 ppm은 0.36, 1.03, 1.47, 2.38 log, 300 ppm은 0.52, 1.20, 1.70, 3.12 log, 400 ppm은 1.04, 1.42, 1.92, 4.21 log 감소됨. 굴과 피망 표면에 접종된 *Salmonella* Typhimurium의 감소는 아염소산수의 농도와 처리시간이 증가할수록 일정한 비율로 감소됨. 굴과 피망 표면에 접종된 *Salmonella* Typhimurium의 1 log 이상 감소시키기 위해서 100 ppm의 경우 60분이 소요된 반면 400 ppm의 경우 10분이 소요되어 낮은 농도의 아염소산수를 aerosol 처리하는 것보다 높은 농도에서 짧은 시간동안 처리하는 것이 효과적으로 감소시킬 수 있음.

표 64. Jet nebulizer를 이용한 아염소산수의 aerosol 처리를 통한 굴과 피망 표면에 접종된 *Salmonella* Typhimurium의 저감 효과.

Sample	ASC (ppm)	Treatment time (min)					
		0	10	20	30	60	
Tangerine	100	7.12 ± 0.34	6.89 ± 0.41	6.29 ± 0.54	6.27 ± 0.36	5.69 ± 0.74	
		6.97 ± 0.13	6.24 ± 0.26	6.01 ± 0.33	5.65 ± 0.16	4.82 ± 0.21	
	200	7.09 ± 0.28	6.24 ± 0.32	5.46 ± 0.33	5.28 ± 0.58	4.11 ± 0.38	
		7.15 ± 0.29	6.00 ± 0.33	5.38 ± 0.33	4.71 ± 0.51	3.34 ± 0.59	
	Green pepper	100	7.32 ± 0.26	7.08 ± 0.41	6.98 ± 0.50	6.89 ± 0.52	5.84 ± 0.43
			7.32 ± 0.26	6.96 ± 0.26	6.29 ± 0.21	5.85 ± 0.16	4.94 ± 0.43
		200	7.32 ± 0.26	6.80 ± 0.73	6.12 ± 0.64	5.62 ± 0.55	4.20 ± 0.58
			7.32 ± 0.26	6.28 ± 0.73	5.90 ± 0.64	5.40 ± 0.55	3.11 ± 0.58
300		7.32 ± 0.26	6.28 ± 0.17	5.90 ± 0.13	5.40 ± 0.12	3.11 ± 0.21	
		7.32 ± 0.26	6.28 ± 0.17	5.90 ± 0.13	5.40 ± 0.12	3.11 ± 0.21	

② Ultrasonic nebulizer를 이용한 aerosol처리

Salmonella Typhimurium이 접종된 굴 표면을 100 ppm의 아염소산수로 시간별(10, 20, 30, 60 min)로 처리한 결과 각각 0.15, 0.31, 0.80, 1.63 log, 200 ppm은 0.38, 1.05, 1.72, 4.40 log, 300 ppm은 10, 20, 30분 동안 처리시 각각 0.72, 1.19, 2.92 log 감소하였으며, 60분 처리시 10 CFU/g 이하로 감소되었고, 400의 경우 10, 20분동안 처리시 1.2, 2.6 log 감소, 30, 60분 처리 후 10 CFU/g 이하로 감소됨. 피망 표면의 항균효과 역시 비슷한 경향을 보였으며 100 ppm의 경우 0.26, 0.45, 1.04, 1.85 log, 200 ppm은 0.45, 1.36, 2.47, 4.22 log, 300 ppm은 10, 20, 30분 처리시 각각 0.88, 2.01, 3.92 log 감소, 60분 처리시 10 CFU/g 이하로 감소되었고, 400 ppm은 10, 20분 처리시 1.08, 2.86 log, 30, 60분 처리후 10 CFU/g 이하로 감소됨. 100 ppm의 경우 jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer가 큰 차이 없이 비슷한 감소 효과를 보였으나 200 ppm 이상의 농도에서는 처리 시간이 경과함에 따라 *Salmonella* Typhimurium의 감소 효과가 큰 차이를 보임.

표 65. Ultrasonic nebulizer를 이용한 아염소산수의 aerosol 처리를 통한 굴과 피망 표면에 접종된 *Salmonella* Typhimurium의 저감 효과.

Sample	ASC (ppm)	Treatment time (min)				
		0	10	20	30	60

Tangerine	100	7.15±0.24	7.00±0.15	6.84±0.23	6.35±0.46	5.51±0.43
	200	7.15±0.24	6.77±0.19	6.10±0.49	5.43±0.72	2.75±0.43
	300	7.15±0.24	6.42±0.03	5.95±0.12	4.23±0.55	<i>N.D</i>
	400	7.15±0.24	5.95±0.13	4.55±0.28	<i>N.D</i>	<i>N.D</i>
Green pepper	100	7.18±0.15	6.91±0.09	6.73±0.28	6.14±0.26	5.33±0.05
	200	7.18±0.15	6.73±0.22	5.82±0.17	4.71±0.13	2.96±0.40
	300	7.18±0.15	6.30±0.12	5.17±0.11	3.26±0.30	<i>N.D</i>
	400	7.18±0.15	6.09±0.13	4.32±0.64	<i>N.D</i>	<i>N.D</i>

③ *D*-value, *Z*-like value 분석

Jet nebulizer로 aerosol 처리한 54 ppm의 경우 피망 표면 처리시 *D*-value는 각각 16.47, 14.84 min 이었고, *Z*-value는 75.19, 71.43 ppm이었으며, 피망 표면에 접종된 *Salmonella* Typhimurium의 *D*-value와 *Z*-like value가 더 낮게 나타났으나, ultrasonic nebulizer로 aerosol 처리한 61 ppm의 경우 귤과 피망의 표면 처리시 *D*-value는 각각 5.04, 4.92 min 이었고 *Z*-like value는 45.87, 47.16 ppm으로 귤과 피망에 관계없이 비슷한 경향을 보임. *Salmonella* Typhimurium의 microbial survival curve는 시간이 지남에 따라 지속적으로 감소하였고 jet nebulizer를 이용한 처리에 비해 높은 농도의 아염소산수를 ultrasonic nebulizer 처리시 시간이 경과함에 따라 *Salmonella* Typhimurium의 생존률이 급격히 떨어짐.

Aerosol화한 아염소산수 농도와 처리시간이 경과함에 따라 *Salmonella* Typhimurium의 살균 효과가 증가하였으며, jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 살균력을 비교하였을 때 ultrasonic nebulizer의 살균력이 jet nebulizer 살균력보다 1-2 log 정도 더 높은 것을 확인함.

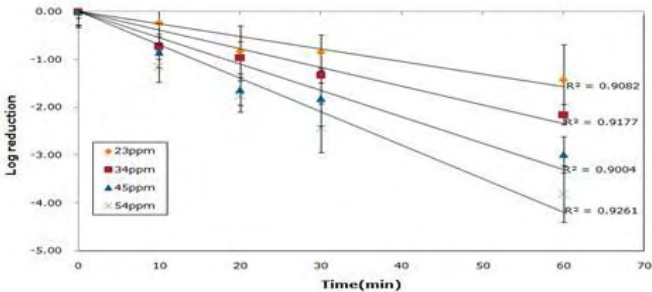


그림 227. Jet nebulizer를 이용한 귤 표면의 *Salmonella* Typhimurium에 대한 살균효과

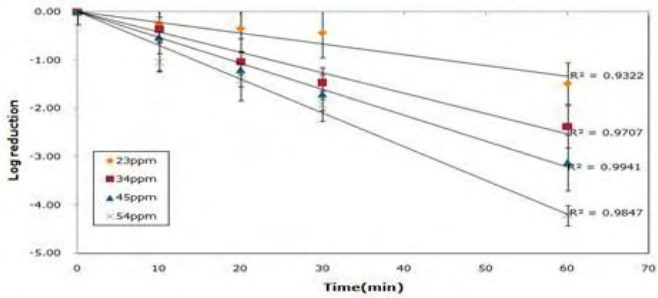


그림 228. Jet nebulizer를 이용한 피망 표면의 *Salmonella Typhimurium*에 대한 살균효과

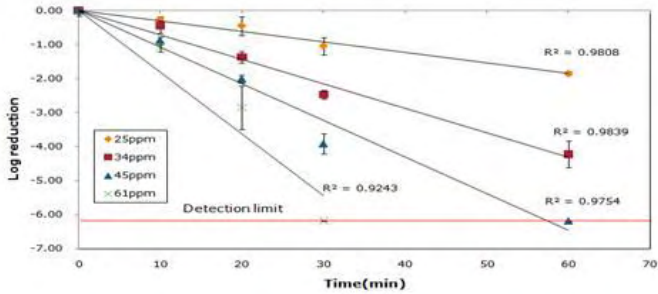


그림 229. Ultrasonic nebulizer를 이용한 굴 표면의 *Salmonella Typhimurium*에 대한 살균효과

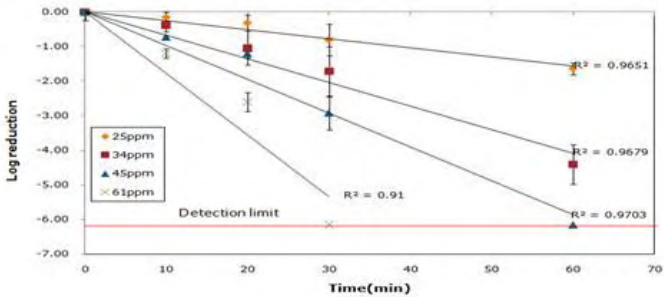


그림 230. Ultrasonic nebulizer를 이용한 피망 표면의 *Salmonella Typhimurium*에 대한 살균효과

표 66. 아염소산수를 jet nebulizer로 aerosol 처리한 귤과 피망 표면의 *Salmonella* Typhimurium에 대한 *D*-value와 *Z*-like value

ASC concentration (ppm)	<i>D</i> -value(min)	
	Tangerine	Green peper
23	42.37 ^{Aa}	41.49 ^{Aa}
34	29.67 ^{Ab}	24.88 ^{Bb}
45	21.23 ^{Ac}	19.19 ^{Bc}
54	16.47 ^{Ad}	14.84 ^{Bd}
Z-like value (ppm)	75.19 ^A	71.43 ^B

표 67. 아염소산수를 ultrasonic nebulizer로 aerosol 처리한 귤과 피망 표면의 *Salmonella* Typhimurium에 대한 *D*-value와 *Z*-like value

ASC concentration (ppm)	<i>D</i> -value(min)	
	Tangerine	Green peper
25	35.09 ^{Aa}	31.55 ^{Ba}
34	13.30 ^{Ab}	13.66 ^{Ab}
45	9.47 ^{Ac}	9.40 ^{Ac}
61	5.04 ^{Ad}	4.92 ^{Ad}
Z-like value (ppm)	45.87 ^A	47.16 ^A

(3) 식품용 천연/화학 항균 물질을 이용한 식용 나노 입자 제조 및 최적 조건 비교

(가) 천연 항균제 나노입자 제조

① 자몽 종자의 제형별 나노입자 제조

㉞ DLS

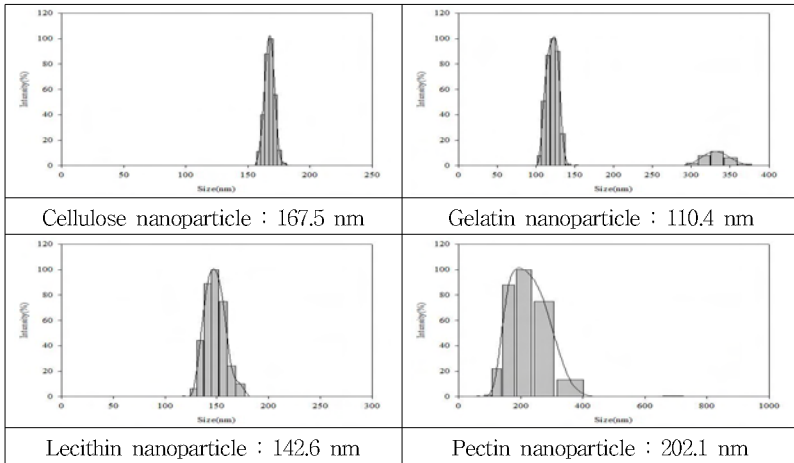


그림 231. DLS를 이용한 제형별 자몽 종자 나노입자의 크기 측정

DLS 측정을 이용한 자몽 종자의 나노입자 크기를 측정된 결과, cellulose 나노입자는 167.7 nm, gelatin 나노입자는 110.4 nm, lecithin 나노입자는 142.6 nm, pectin 나노입자는 202.1 nm로 모두 200 nm 이하의 나노크기로 제조가 된 것을 확인함.

㉔ EF-TEM 관찰

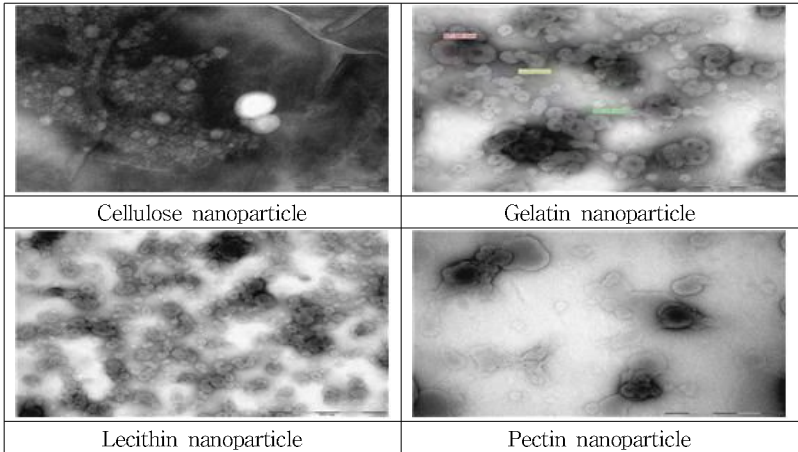
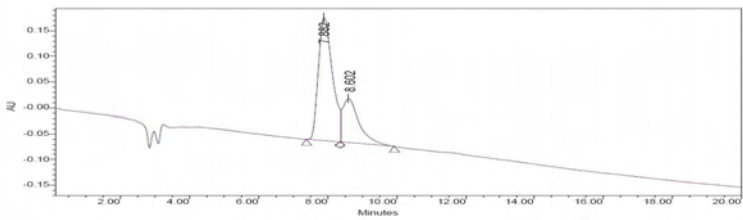


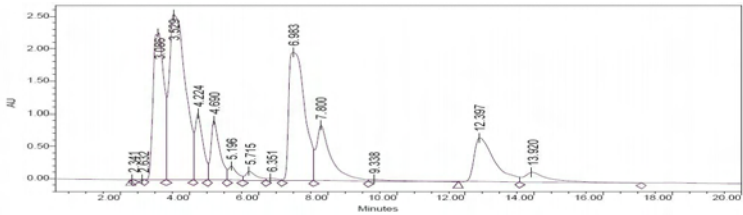
그림 232. 제형별 자몽 종자 나노입자의 EF-TEM 관찰

EF-TEM 관찰을 통한 자몽 종자의 제형별 나노입자를 관찰한 결과, 모두 200 nm 이하의 크기로 형성된 구형의 나노입자가 관찰됨.

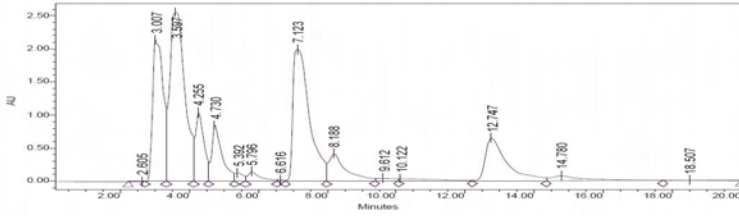
㉔ HPLC 분석을 이용한 봉입효율



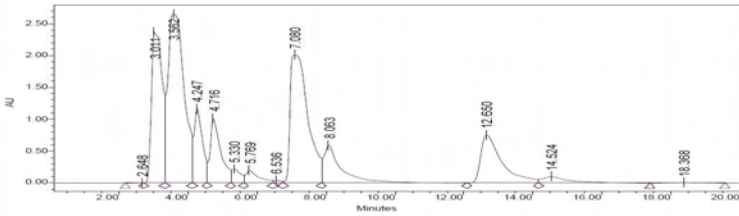
자몽 종자 standard-Benzethonium Chloride: 600 ppm



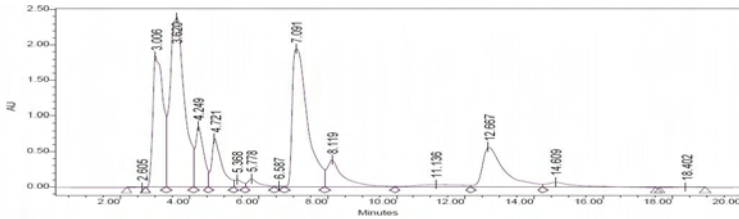
자몽종자 crude: 550 ppm



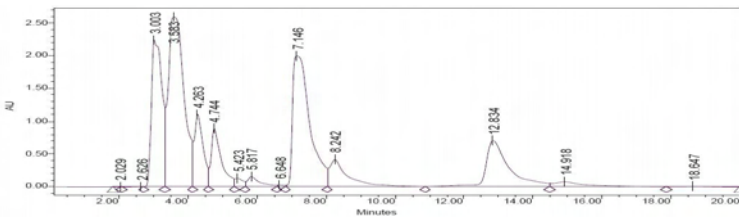
Cellulose nanoparticle: 276.1 ppm (봉입 효율 50.2%)



Gelatin nanoparticle: 366.7 ppm (봉입 효율 66.7%)



Lecithin nanoparticle : 291.5 ppm (봉입 효율 53%)



Pectin nanoparticle: 288.1 ppm (봉입 효율 52.3%)
 그림 233. 체형별 자몽 종자 나노입자의 HPLC 분석

분석 결과 cellulose의 경우 50.2%, gelatin 66.7%, lecithin 53%, pectin 52.3%의 봉입 효율을 나타내었으며, 이러한 50% 이상의 봉입효율은 다른 수용성 활성 물질을 포집한 경우와 유사한 경향을 보이는 것으로 50% 자몽 종자의 나노입자의 포집이 효율적으로 일어난 것으로 사료됨.

㉞ 제타 전위(ζ -potential)

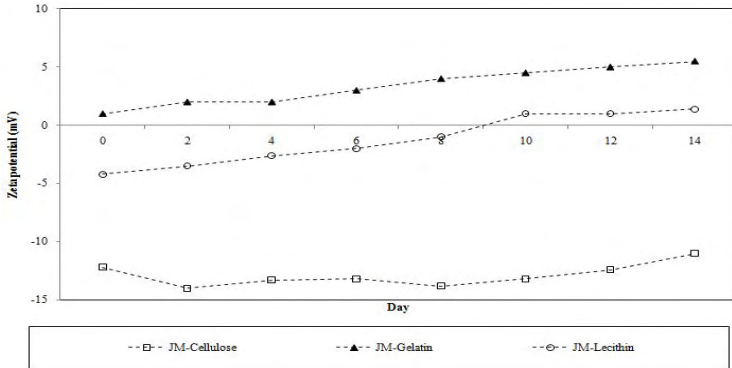


그림 234. 제형별 자몽 종자 나노입자의 ζ -potential (mV)

Cellulose 나노입자의 경우 pH 2의 산성 조건에서 -14.1 mV, pH 7의 중성 조건에서 -12.6mV, pH 10의 염기성 조건에서 -12.2 mV로 전체 pH 범위에서 상당히 높은 전위차를 보여 모든 pH 조건에서 높은 안정성이 나타남. 그러나 gelatin과 lecithin의 경우 pH가 증가하여 염기성의 환경으로 갈수록 전위차가 증가하여 불안정하게 나타남. 이러한 경우 안정성을 증진시키기 위해 Tween과 같은 식품에 적용이 가능한 계면활성제의 첨가를 하여 안정성을 증진시켜야 할 것으로 사료됨.

② 고추냉이의 제형별 나노입자 제조

㉞ DLS

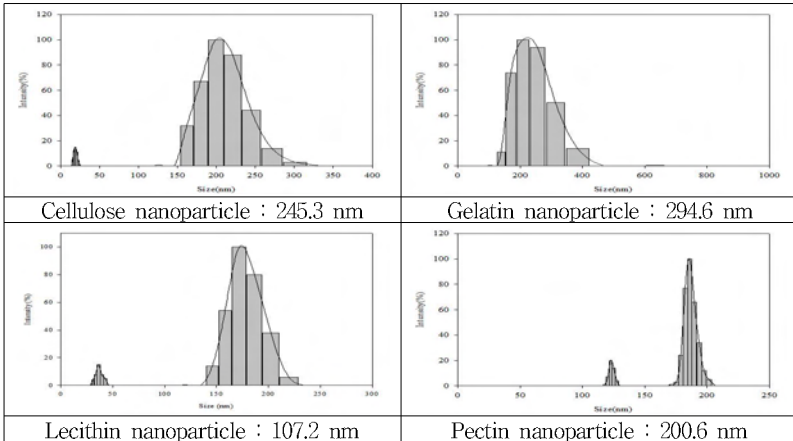


그림 235. DLS를 이용한 제형별 고추냉이 나노입자의 크기 측정

DLS 측정을 이용한 고추냉이의 나노입자 크기를 측정한 결과, Cellulose 나노입자는 245.3 nm, gelatin 나노입자는 294.6 nm, lecithin 나노입자는 107.2 nm, pectin 나노입자는 200.6 nm로 자몽 종자 나노입자 보다는 크지만 모두 300 nm 이하의 작은 크기로 나노입자가 제조 된 것을 확립함.

㉟ EF-TEM 관찰

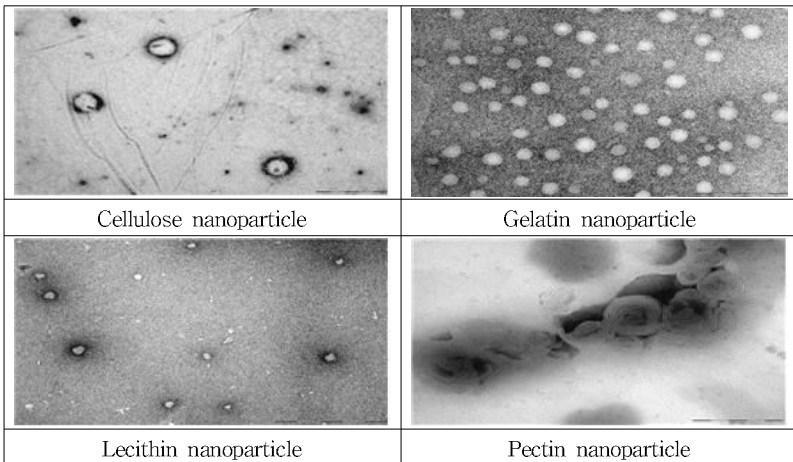
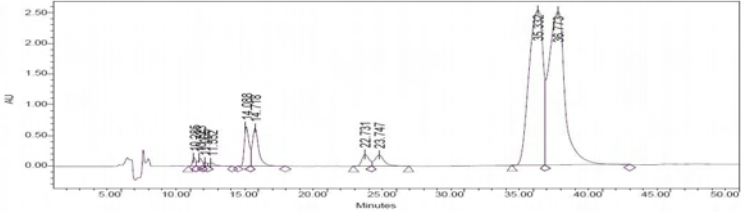


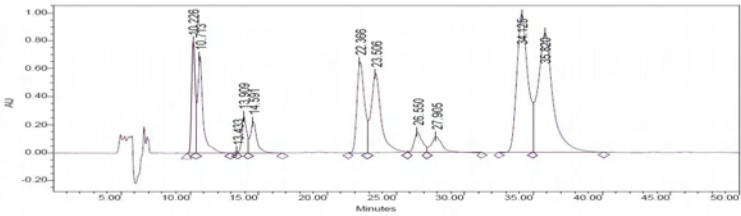
그림 236. 제형별 고추냉이 나노입자의 EF-TEM 관찰

EF-TEM 관찰을 통한 고추냉이의 제형별 나노입자를 관찰한 결과, 모두 300 nm 이하의 크기로 형성된 구형의 나노입자가 관찰됨.

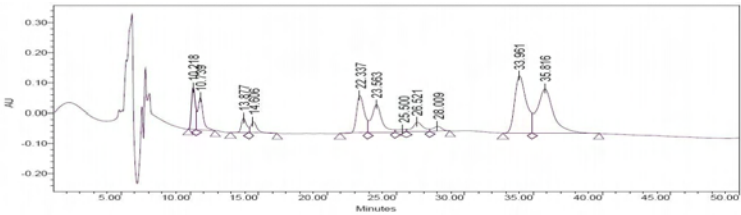
㊤ HPLC 분석을 이용한 봉입효율



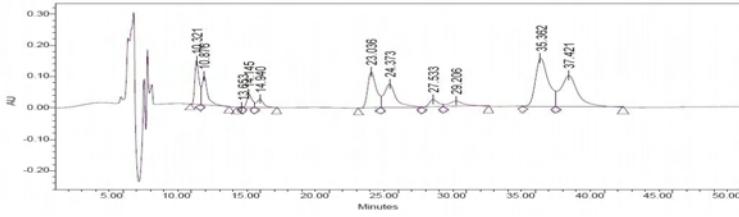
고추냉이 standard - Allyl Isothiocyanate : 250 ppm



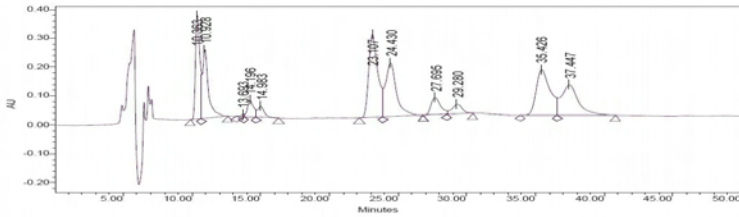
고추냉이 Crude : 198 ppm



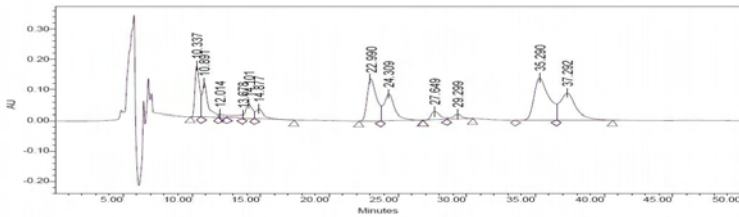
Cellulose nanoparticle: 178.4 ppm (봉입 효율 90.1%)



Gelatin nanoparticle : 168.4 ppm (봉입 효율 85%)



Lecithin nanoparticle : 144.5 ppm (봉입 효율 73%)



Pectin nanoparticle : 128.6 ppm (봉입 효율 64.9%)

그림 237. 제형별 고추냉이 나노입자의 HPLC 분석

분석 결과 cellulose의 경우 90.1%, gelatin 85%, lecithin 73%, pectin 64.9%의 봉입 효율을 나타내었으며, 자몽 종자의 봉입효율 보다 높은 봉입효율을 나타냄. 이는 자몽 종자나 고추냉이가 항균 활성을 갖는다면 봉입 효율이 항균 활성을 증가시키는데 영향을 끼칠 것으로 사료됨.

㉔ 제타 전위(ζ -potential)

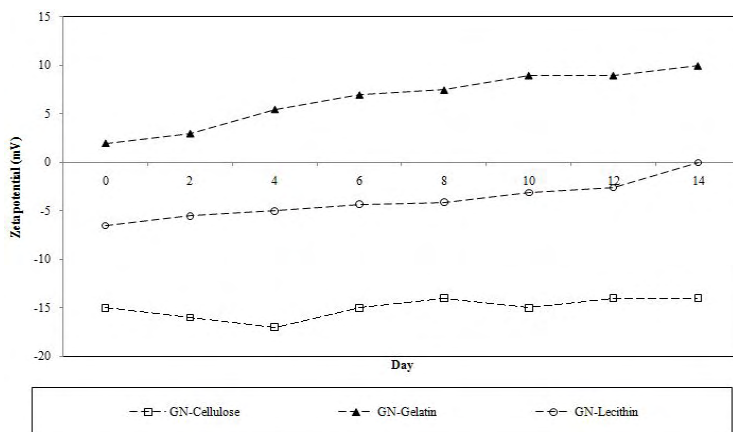


그림 238. 제형별 고추냉이 나노입자의 ζ -potential (mV)

Cellulose 나노입자의 경우 pH 2의 산성 조건에서 -16.5 mV, pH 7의 중성 조건에서 -15.2 mV, pH 10의 염기성 조건에서 -5.8 mV로 전체 pH 범위에서 상당히 높은 전위차를 보여 모든 pH 조건에서 높은 안정성이 나타남. Lecithin 나노입자의 경우도 pH 2의 산성조건에서 -5.5 mV, pH 7의 중성 조건에서 -4.8 mV, pH 10의 염기성 조건에서 -3.7 mV로 모든 pH 조건에서 어느정도 안정성이 나타남. 그러나 gelatin 나노입자의 경우 pH가 증가하여 염기성의 환경으로 갈수록 전위차가 증가하여 불안정하게 나타남. 이러한 경우 안정성을 증진시키기 위해 자몽 종자와 마찬가지로 Tween과 같은 식품에 적용이 가능한 계면활성제의 첨가로 안정성을 증진시켜야 할 것으로 사료됨.

③ 도인의 제형별 나노입자 제조

㉞ DLS

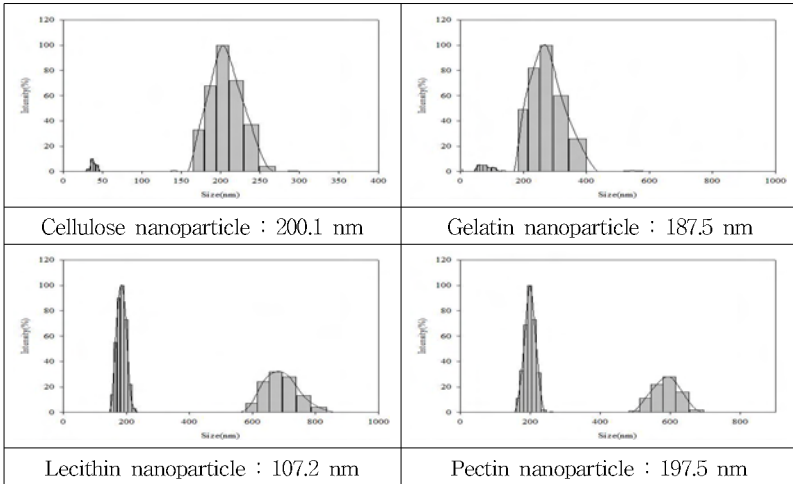


그림 239. DLS를 이용한 제형별 도인 나노입자의 크기 측정

DLS 측정을 이용한 도인의 나노입자 크기를 측정한 결과, Cellulos 나노입자는 200.1 nm, gelatin 나노입자는 187.5 nm, lecithin 나노입자는 107.2 nm, pectin 나노입자는 197.5 nm로 고추냉이보다 작고 자몽 종자와 비슷한 크기인 모두 200 nm 이하의 나노입자가 제조된 것을 확인함.

㉔ EF-TEM 관찰

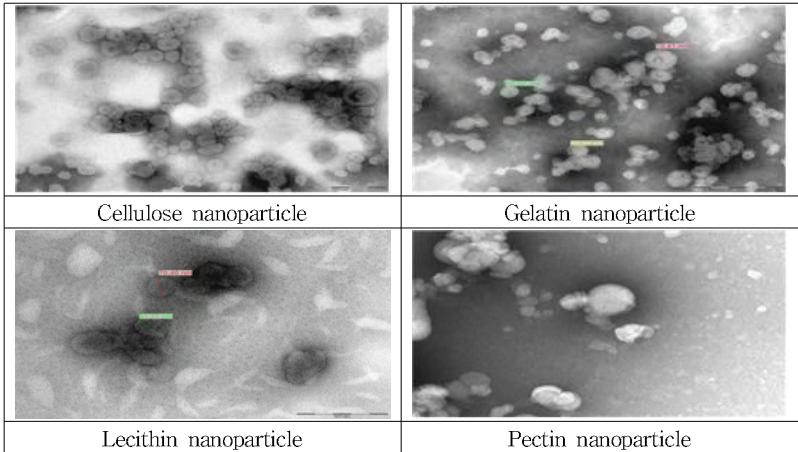
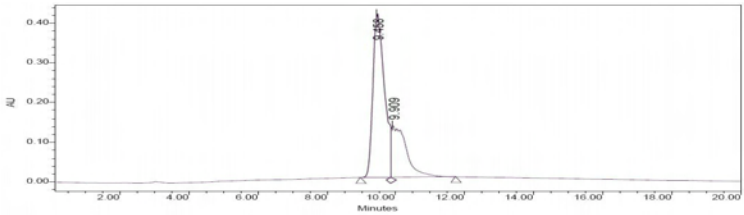


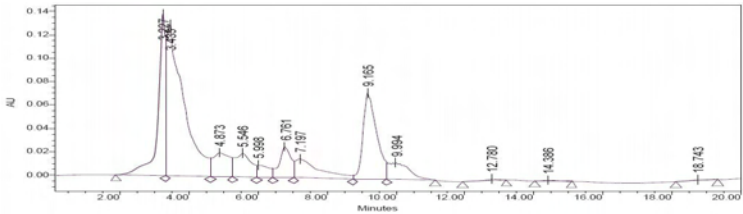
그림 240. 제형별 도인 나노입자의 EF-TEM 관찰

EF-TEM 관찰을 통한 도인의 제형별 나노입자를 관찰한 결과, 모두 200 nm 이하의 크기로 형성된 구형의 나노입자가 관찰됨.

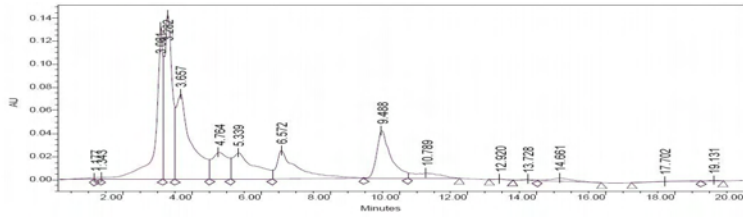
㉔ HPLC 분석을 이용한 봉입효율



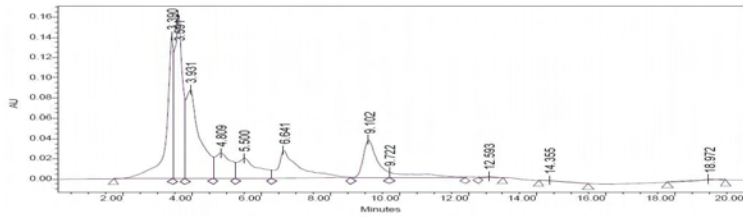
도인 standard - Amygdalin : 250 ppm



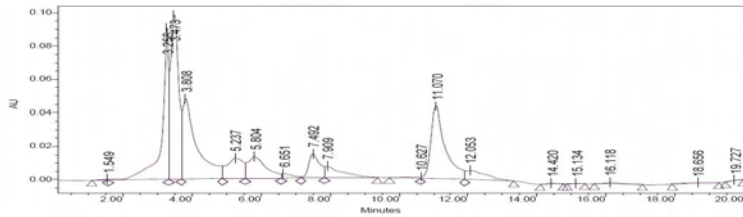
도인 Crude : 97 ppm



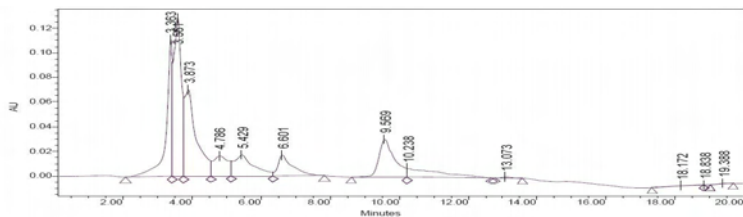
Cellulose nanoparticle: 88.7 ppm (봉입 효율 91.4%)



Gelatin nanoparticle : 54 ppm (봉입 효율 55.7%)



Lecithin nanoparticle : 83.9 ppm (봉입 효율 86.5%)



Pectin nanoparticle : 53 ppm (봉입 효율 54.6%)

그림 241. 제형별 도인 나노입자의 HPLC 분석

분석 결과 cellulose의 경우 91.4%, gelatin 55.7%, lecithin 86.5%, pectin 54.6%의 봉입 효율을 나타내었으며, standard로 지정한 amygdalin이 도인 crude에 97 ppm이 존재하는 것으로 보아 높은 봉입효율에 비해 활성 물질의 농도는 높지 않을 것으로 생각할 수 있음. 이는 평균 활성에 있어서 낮은 활성을 나타낼 수도 있는 가능성이 있다고 사료됨.

㉔ 제타 전위(ζ -potential)

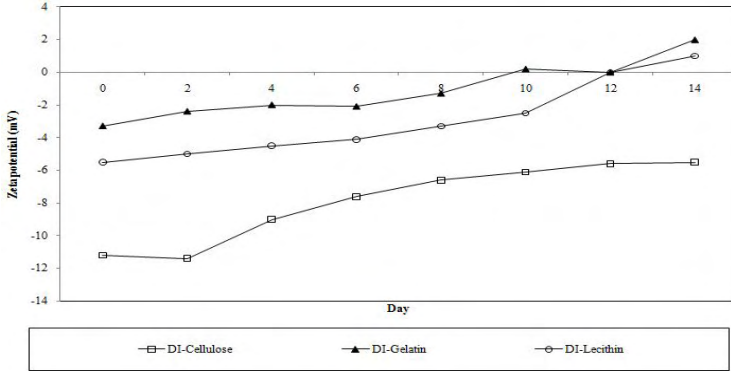


그림 242. 제형별 도인 나노입자의 ζ -potential (mV)

Cellulose 나노입자의 경우 pH 2의 산성 조건에서 -11.8 mV, pH 7의 중성 조건에서 -7.7 mV, pH 10의 염기성 조건에서 -6.1 mV로 전체 pH 범위에서 상당히 높은 전위차를 보여 모든 pH 조건에서 높은 안정성이 나타남. Lecithin 나노입자의 경우도 pH 2의 산성조건에서 -5.7 mV, pH 7의 중성 조건에서 -4.8 mV, pH 10의 염기성 조건에서 -3.8 mV로 모든 pH 조건에서 어느정도 안정성을 나타냈으나 pH가 증가할수록 안정성이 조금씩 감소하는 경향이 나타남. Gelatin 나노입자의 경우도 pH가 증가하여 염기성의 환경으로 갈수록 전위차가 증가하여 안정성이 감소하는 경향이 나타남. 안정성을 증진시키기 위해 자몽 종자와 마찬가지로 Tween과 같은 식품에 적용이 가능한 계면활성제의 첨가로 안정성을 증진시켜야 할 것으로 사료됨.

④ 발효더덕의 제형별 나노입자 제조

㉞ DLS

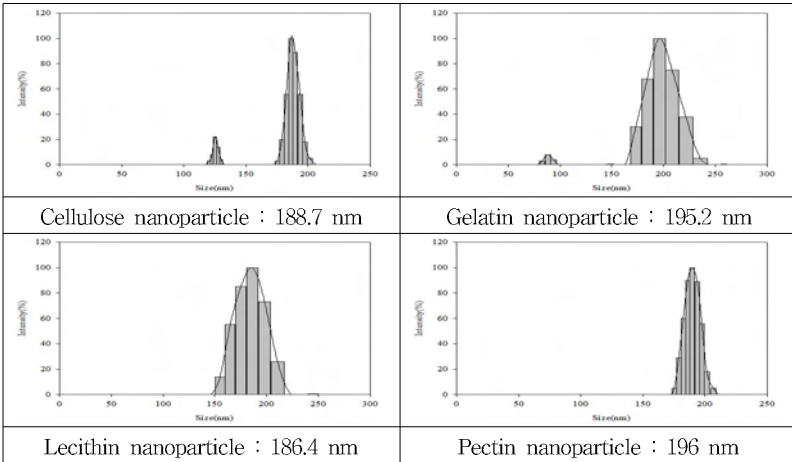


그림 243. DLS를 이용한 제형별 발효더덕 나노입자의 크기 측정

DLS 측정을 이용한 발효더덕의 나노입자 크기를 측정된 결과, Cellulos 나노입자는 188.7 nm, gelatin 나노입자는 195.2 nm, lecithin 나노입자는 186.4 nm, pectin 나노입자는 196 nm로 자몽 종자와 도인과 비슷한 크기인 모두 200 nm 이하의 나노입자가 제조된 것을 확인함.

㉔ EF-TEM 관찰

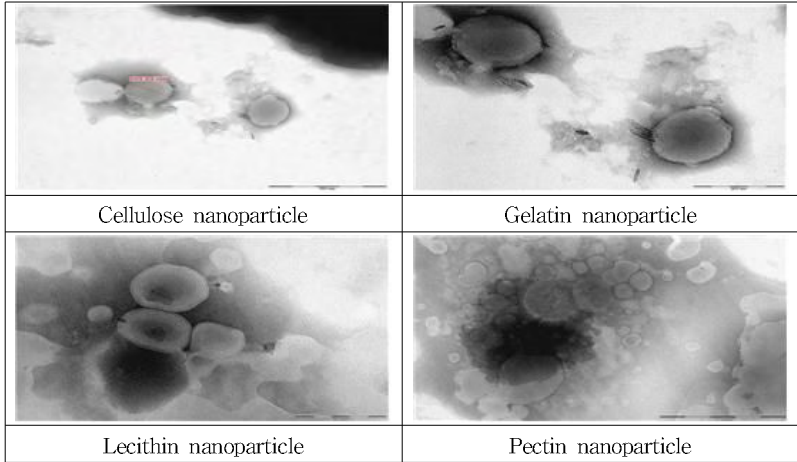
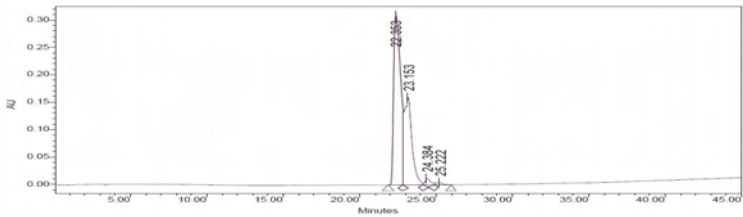


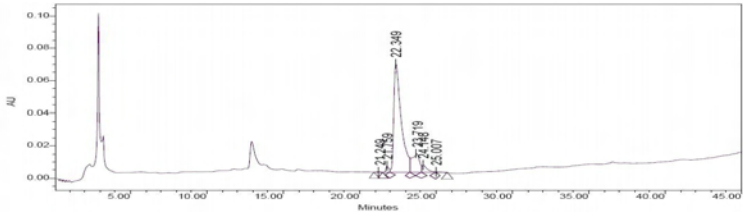
그림 244. 제형별 발효더덕 나노입자의 EF-TEM 관찰

EF-TEM 관찰을 통한 발효더덕의 제형별 나노입자를 관찰한 결과, 모두 200 nm 이하의 크기로 형성된 구형의 나노입자가 관찰됨.

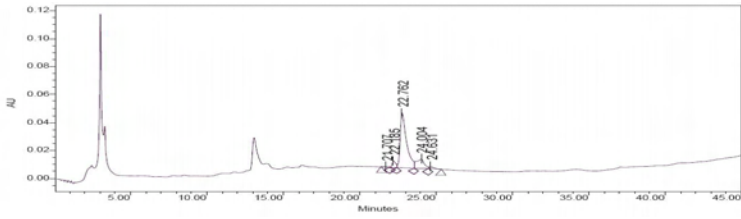
㉔ HPLC 분석을 이용한 봉입효율



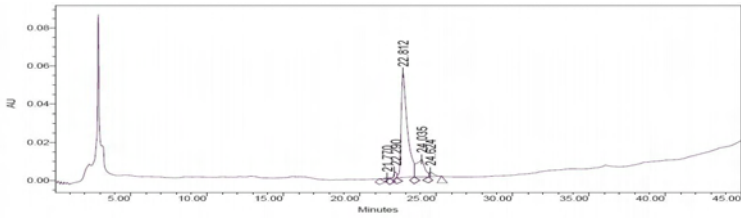
발효더덕 standard - 1,2,3,4,-tetrahydro- β -carboline-3-carboxylic acid : 39 ppm



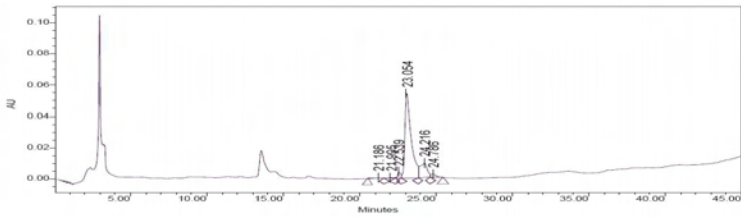
발효더덕 Crude : 29 ppm



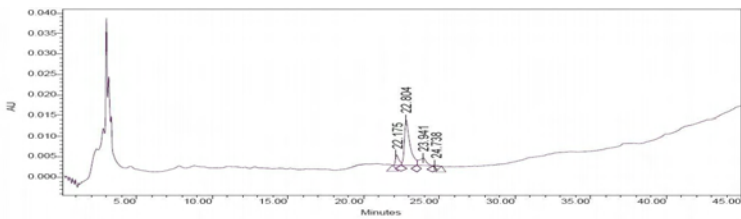
Cellulose nanoparticle: 20.7 ppm (봉입 효율 71.4%)



Gelatin nanoparticle : 22.8 ppm (봉입 효율 78.6%)



Lecithin nanoparticle : 21.7 ppm (봉입 효율 74.8%)



Pectin nanoparticle : 9.3 ppm (봉입 효율 32.1%)

그림 245. 제형별 발효더덕 나노입자의 HPLC 분석

분석 결과 cellulose의 경우 71.4%, gelatin 78.6%, lecithin 74.8%, pectin 32.1%의 봉입 효율을 나타내었으며, 다른 천연 향균제의 봉입효율 보다는 낮은 봉입효율을 나타내었으나 pectin을 제외한 제형의 봉입효율은 70% 이상의 높은 봉입효율이 나타남.

㉞ 제타 전위(ζ -potential)

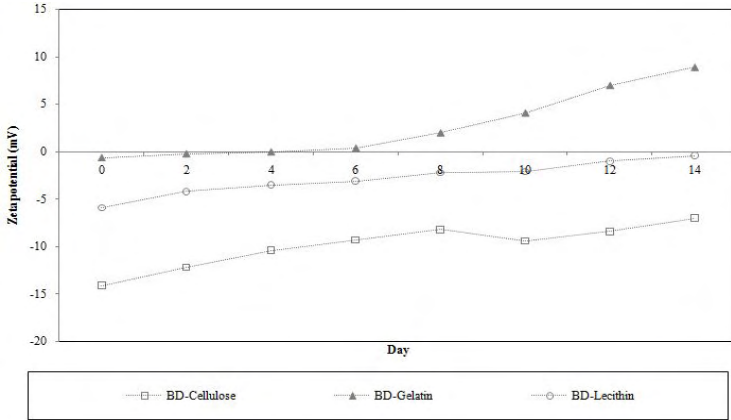


그림 246. 제형별 발효터덕 나노입자의 ζ -potential (mV)

Cellulose 나노입자의 경우 pH 2의 산성 조건에서 -13.3 mV, pH 7의 중성 조건에서 -11.7 mV, pH 10의 염기성 조건에서 -12.1 mV로 전체 pH 범위에서 상당히 높은 전위차를 보여 모든 pH 조건에서 높은 안정성이 나타남. Lecithin 나노입자의 경우도 pH 2의 산성조건에서 -4.8 mV, pH 7의 중성 조건에서 -3.7 mV, pH 10의 염기성 조건에서 -2.6 mV로 모든 pH 조건에서 어느정도 안정성을 나타냈으나 pH가 증가할수록 안정성이 조금씩 감소하는 경향이 나타남. Gelatin 나노입자의 경우도 pH가 증가하여 염기성의 환경으로 갈수록 전위차가 증가하여 안정성이 감소하는 경향이 나타남. 안정성을 증진시키기 위해 다른 천연 향균제와 마찬가지로 Tween과 같은 식품에 적용이 가능한 계면활성제의 추가로 안정성을 증진시켜야 할 것으로 사료됨.

(4) 식품용 천연/화학 항균 물질의 병원성 미생물에 대한 항균활성 비교

(가) 병원성 미생물을 이용한 항균활성 비교 분석

① *Listeria monocytogenes*에 대한 천연 항균제 나노입자의 항균활성

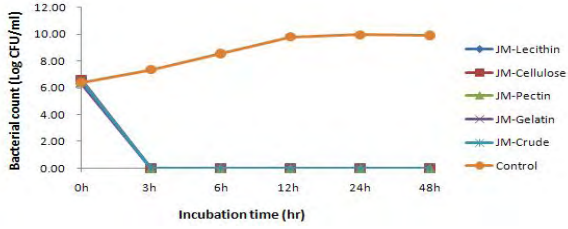
㉔ 천연 항균제의 제형별 최소 생육 저해 농도(MIC)

표 68. *Listeria monocytogenes*에 대한 천연 항균제의 제형별 최소 생육 저해 농도 (MIC)

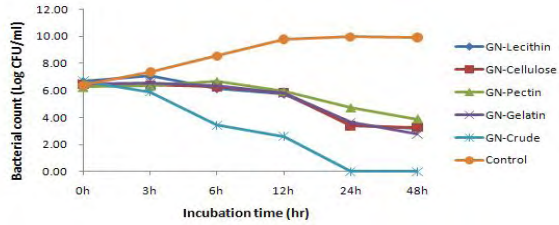
천연항균제(ppm)	<i>Listeria monocytogenes</i>				
	Crude	Lecithin	Pectin	Cellulose	Gelatin
자몽 종자	3.50	2.92	2.88	2.76	3.67
고추냉이	7.92	5.78	5.14	7.14	6.74
도인	>62.08	>53.69	>33.92	>56.77	>34.56
발효더덕	>18.56	>13.89	>5.95	>13.25	>14.59

*Listeria monocytogenes*에 대한 미생물 생육 저해 농도를 측정된 결과 자몽 종자의 경우 모든 나노입자에서 가장 효과적인 미생물 저해 농도를 나타냄. 이는 자몽 종자가 *Listeria monocytogenes*에 대해 효과적인 항균력을 나타내는 것을 알 수 있으며, 자몽 종자의 제형별 나노입자에 따른 항균력 결과에 따라 cellulose를 이용하여 봉입을 하였을 경우 가장 효과적인 미생물 생육 저해 농도를 나타내며, gelatin을 나노입자 제형제로 사용하였을 경우 crude나 gelatin보다 미생물 생육을 저해하기 위해서 약 1 ppm 정도 더 소모되는 것을 확인 할 수 있었음. 자몽 종자와는 다르게 고추냉이의 경우 pectin으로 나노 입자를 제조할 경우 5.14 ppm의 농도로 가장 효과적인 미생물 생육 저해 농도를 나타내었고, cellulose를 이용하여 나노 입자를 제조할 경우 7.14 ppm으로 미생물 생육저해에 필요한 농도가 비교적 많은 것을 확인할 수 있었음. 그러나 도인과 발효더덕의 경우 crude를 포함한 모든 나노입자에서 항균력을 나타내기 위해서는 비교적 많은 양의 농도를 필요로 하는 것으로 보아 *Listeria monocytogenes*에 대한 항균력을 나타내지 않는 것으로 사료됨. 이러한 결과로 미루어보아 자몽 종자와 고추냉이는 식품 살균에 적용 가능성이 있을 것으로 판단됨.

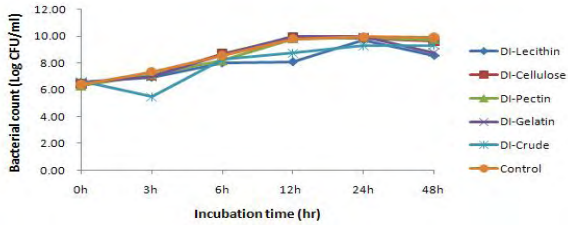
㉔ 천연 항균제의 제형별 challenge test



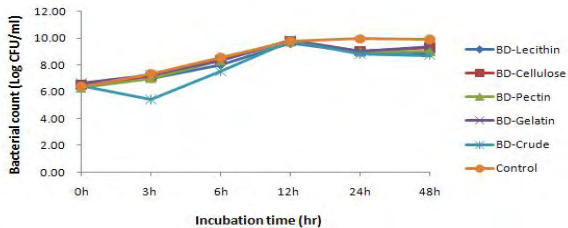
자몽 종자의 제형별 challenge test



고추냉이의 제형별 challenge test



도인의 제형별 challenge test



발효더덕의 제형별 challenge test

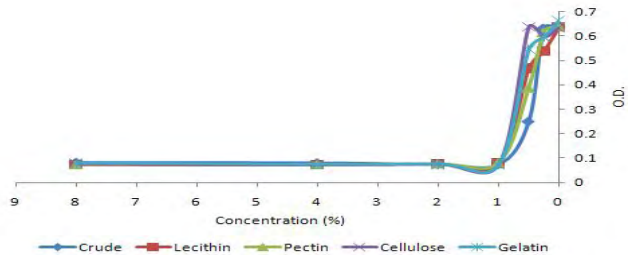
그림 247. *Listeria monocytogenes*에 대한 천연 항균제의 제형별 challenge test

*Listeria monocytogenes*에 대한 challenge test(방부력) 측정 결과 자몽 종자의 모든

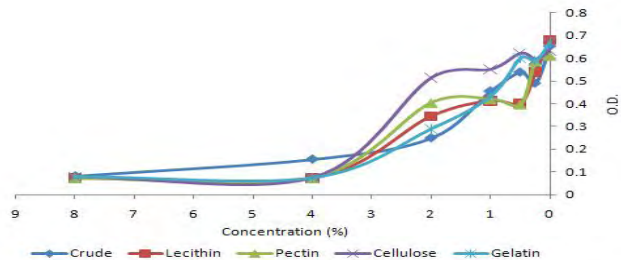
나노입자에서 3시간 이후 균수가 눈에 띄게 감소하여 0.0 log CFU/mL에 가까운 것으로 나타나 자몽 종자 나노입자의 항균활성을 확인하였으며, 나노입자들의 차이는 크게 나지 않는 것으로 보아 어떠한 포집막용 소재가 더 높은 활성을 나타낸다고는 확정 지을 수는 없으나, 모든 제형을 사용할 수 있는 가능성이 있다고 볼 수 있음. 고추냉이 나노입자의 경우 3시간 이후 균수가 감소하기 시작하여 모든 나노입자에서 48시간 경과 후 4.0 log CFU/mL 이하의 낮은 균수를 나타내 자몽 종자의 항균활성보다는 조금 낮은 활성이지만 고추냉이의 나노입자도 항균활성을 갖고 있는 것을 확인하였으며, 나노입자들의 차이는 크게 나지 않는 것으로 보임. 자몽 종자보다 낮은 항균활성을 나타낸 것은 MIC 값과 동일하게 좀 더 낮은 항균력을 가진 것으로 사료됨. 도인 나노입자의 경우 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것으로 보아 MIC 값에서도 볼 수 있듯이 도인에는 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨. 발효더덕 나노입자의 경우도 도인과 마찬가지로 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것으로 보아 항균 활성을 가진 활성 성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨.

② *Salmonella* Typhimurium sensitive(STS)에 대한 천연 항균제 나노입자의 항균활성

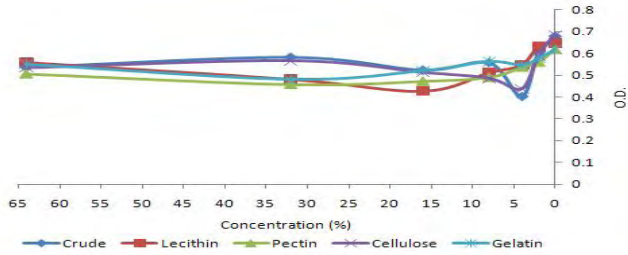
㉞ 천연 항균제의 제형별 최소 생육 저해 농도(MIC)



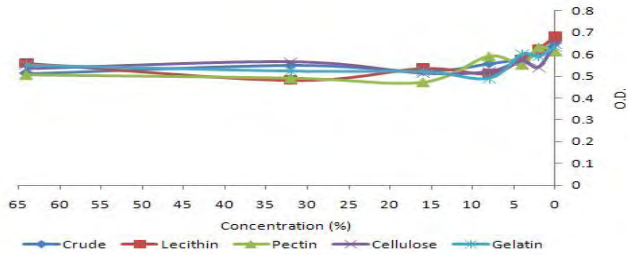
자몽 종자의 제형별 최소 생육 저해 농도(MIC) : 1% (V/V)



고추냉이의 제형별 최소 생육 저해 농도(MIC) : 4% (V/V)



도인의 제형별 최소 생육 저해 농도(MIC) : >64% (V/V)



발효더덕의 제형별 최소 생육 저해 농도(MIC) : >64% (V/V)

그림 248. *Salmonella* Typhimurium sensitive(STS)에 대한 천연항균제의 제형별 최소 생육 저해 농도(MIC)

Salmonella Typhimurium sensitive (STS)에 대한 미생물 생육 저해 농도를 측정된 결과 *Listeria monocytogenes*와 비슷한 경향으로 자몽 종자의 경우 모든 나노입자에서 1% (v/v) 투여 시 break point를 나타내었다. 이는 자몽 종자가 *Salmonella* Typhimurium sensitive (STS)에 대해 효과적인 항균력을 나타내는 것을 알 수 있음. 또한 고추냉이의 경우도 8% (v/v)에서 break point를 나타내어 자몽 종자보다는 조금 높은 농도에서 항균력이 나타남. 그러나 도인과 발효더덕의 경우 crude를 포함한 모든 나노입자에서 항균력을 나타내지 않는 것으로 보아 *Salmonella* Typhimurium sensitive (STS)에 대한 항균력을 나타내지 않는 것으로 사료됨. 이러한 결과로 보아 *Listeria monocytogenes*와 함께 자몽 종자와 고추냉이는 식품 살균에 적용 가능성이 있을 것으로 생각됨.

Ⓢ *Salmonella* Typhimurium sensitive (STS)에 대한 천연 항균제 나노입자별 Challenge Test

표 69. *Salmonella* Typhimurium sensitive에 대한 자몽 종자 나노입자의 Challenge Test 측정.

	Bacterial count (log CFU/mL)					
	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
Lecithin	6.62	4.80	3.75	2.58	1.36	0.54
Cellulose	6.32	4.76	2.36	1.72	1.32	0.30
Pectin	6.58	4.40	2.09	0.00	0.00	0.00
Gelatin	6.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crude	6.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.67	7.77	8.79	9.09	9.51	9.45

자몽 종자의 나노입자에서 3시간 이후 균수가 눈에 띄게 감소하여 24시간 이후에는 2.0 log CFU/mL이하의 세균 수를 나타내는 것을 볼 수 있음. 또한 pectin의 경우 12시간 이후에 0.0 log CFU/mL의 세균 수를 나타내어 다른 나노 입자의 제형보다 눈에 띄는 항균활성을 나타내었으며, 다른 제형들의 차이는 크게 나지 않는 것으로 확인됨. 자몽 종자 나노입자의 경우 모든 제형에서 항균 활성이 있어 향후 식품에 직접적으로 적용할 수 있을 것으로 사료됨.

표 70. *Salmonella* Typhimurium sensitive에 대한 고추냉이 나노입자의 Challenge Test 측정.

	Bacterial count (log CFU/mL)					
	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
Lecithin	6.76	6.66	6.11	5.52	0.00	0.00
Cellulose	6.53	7.12	6.28	4.40	0.00	0.00
Pectin	6.83	6.53	5.92	3.81	0.89	0.00
Gelatin	6.72	7.32	6.63	5.79	2.28	0.00
Crude	6.80	4.46	2.23	1.63	0.00	0.00
Control	6.67	7.77	8.79	9.09	9.51	9.45

고추냉이의 나노입자에서는 3시간 이후 균수가 감소하기 시작하여 lecithin과 cellulose의 경우 24시간 이후에는 0.0 log CFU/mL이하의 세균 수를 나타내었으며 gelatin과 pectin은 48시간 이후에 0.0 log CFU/mL의 세균수를 나타냄. 제형마다 시간의 차이는 있으나 *Salmonella* Typhimurium sensitive에 대한 고추냉이 나노입자의 항균활성은 높은 것으로 판단되며, 자몽 종자 나노입자와 마찬가지로 향후 식품에 직접적으로 적용할 수 있을 것으로 사료됨.

표 71. *Salmonella* Typhimurium sensitive에 대한 도인 나노입자의 Challenge Test 측정.

	Bacterial count (log CFU/mL)					
	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
Lecithin	6.46	7.81	8.08	9.56	9.22	9.13
Cellulose	6.49	7.92	8.72	9.66	9.56	9.61
Pectin	6.63	7.38	8.12	9.40	9.52	9.09
Gelatin	6.72	7.72	8.03	9.09	9.46	9.38
Crude	6.58	6.29	6.91	7.43	8.80	8.72
Control	6.67	7.77	8.79	9.09	9.51	9.45

도인 나노입자의 경우 *Listeria monocytogenes*의 경우와 마찬가지로 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것으로 보아 MIC 값에서도 볼 수 있듯이 도인에는 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨.

표 72. *Salmonella* Typhimurium sensitive에 대한 발효더덕 나노입자의 Challenge Test 측정.

	Bacterial count (log CFU/mL)					
	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
Lecithin	6.46	7.81	8.08	9.56	9.22	9.13
Cellulose	6.49	7.92	8.72	9.66	9.56	9.61
Pectin	6.63	7.38	8.12	9.40	9.52	9.09
Gelatin	6.72	7.72	8.03	9.09	9.46	9.38
Crude	6.58	6.29	6.91	7.43	8.80	8.72
Control	6.67	7.77	8.79	9.09	9.51	9.45

발효더덕 나노입자의 경우도 도인과 마찬가지로 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것으로 보아 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨.

② *Staphylococcus aureus sensitive* (SAS)에 대한 천연 항균제 나노입자의 항균활성

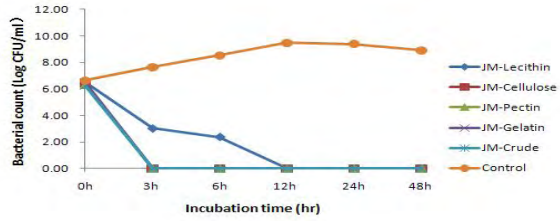
㉞ 천연 항균제의 제형별 최소 생육 저해 농도(MIC)

표 73. *Staphylococcus aureus sensitive* (SAS)에 대한 천연 항균제의 제형별 최소 생육 저해 농도 (MIC).

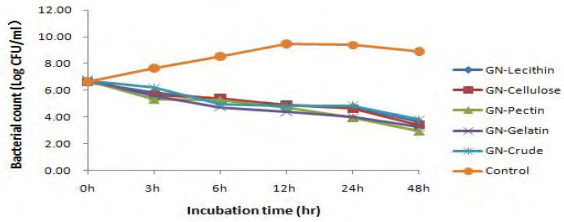
천연항균제 (ppm)	<i>Staphylococcus aureus sensitive</i> (SAS)				
	Crude	Lecithin	Pectin	Cellulose	Gelatin
자몽 종자	1.75	1.46	1.44	1.38	1.83
고추냉이	3.96	11.56	10.29	14.27	13.47
도인	>62.08	>53.69	>33.92	>56.77	>34.56
발효더덕	>18.56	>13.89	>5.95	>13.25	>14.59

Staphylococcus aureus sensitive (SAS)에 대한 미생물 생육 저해 농도를 측정된 결과 자몽 종자의 경우 모든 나노입자에서 2 ppm 이하의 농도 투여 시 미생물 생육 저해를 나타냄. 이는 자몽 종자가 *Staphylococcus aureus sensitive* (SAS)에 대해 매우 효과적인 항균력을 나타내는 것을 알 수 있음. 특히, cellulose를 이용한 나노입자 제형제에서 가장 효과적인 미생물 생육 저해 효과를 나타냈으며, 1.38 ppm의 농도는 처음 초기 농도인 276.1 ppm에서 약 0.5% (v/v)의 적은양으로 뛰어난 항균력을 나타낸 것을 확인할 수 있었음. 반면, *Staphylococcus aureus sensitive* (SAS)에 대한 고추냉이의 미생물 생육저해도는 상기의 연구된 다른 미생물 종과는 달리 미생물 생육저해에 약 10-15 ppm의 농도가 필요한 것을 알 수 있었으며, 자몽 종자보다 약 9-10배 정도 많은 농도에서 항균력을 나타낸 것을 확인함. 반면, 도인과 발효더덕의 경우 다른 균들과 마찬가지로 crude를 포함한 모든 나노입자에서 항균력을 나타내지 않는 것으로 보아 두 천연 소재는 항균력을 나타내지 않는 것으로 사료됨. 따라서, 상기의 결과를 바탕으로 *Staphylococcus aureus sensitive* (SAS)에 대한 가장 효과적인 천연 항균제는 자몽 종자이며 이를 이용하여 식품살균에 적용할 경우 낮은 농도로도 매우 뛰어난 효과를 볼 수 있음.

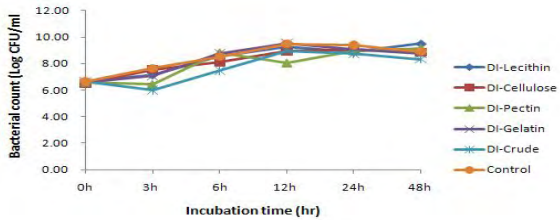
㉔ *Staphylococcus aureus* sensitive (SAS)에 대한 천연 항균제 나노입자별 challenge test



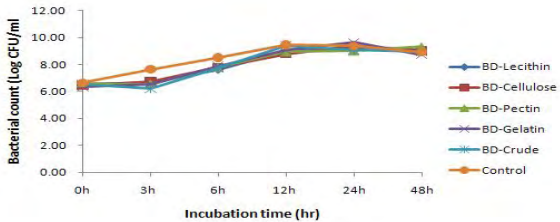
자몽 종자의 제형별 challenge test



고추냉이의 제형별 challenge test



도인의 제형별 challenge test



발효더덕의 제형별 challenge test

그림 249. *Staphylococcus aureus sensitive*에 대한 천연 항균제의 제형별 Challenge Test.

자몽 종자의 나노입자에서 3시간 이후 균수가 눈에 띄게 감소하여 0.0 log CFU/mL 이하의 세균 수를 나타내어 우수한 항균력을 나타내는 것을 볼 수 있음. lecithin의 경우만 12시간 이후에 0.0 log CFU/mL이하의 세균 수를 나타냄. 그러나 시간상의 차이만 날 뿐 항균활성은 모든 나노입자에서 우수한 활성을 나타내는 것을 알 수 있음. 고추냉이의 나노입자에서는 시간이 증가할수록 균수가 감소하는 경향을 확인할 수 있으며 48시간 이후에는 4.0 log CFU/mL이하의 세균 수를 나타내는 것을 볼 수 있음. *Salmonella typhimurium sensitive*에 비해서는 높은 항균활성을 나타내진 않지만 모든 나노입자에서 균수가 감소하는 것으로 보아 *Staphylococcus aureus sensitive*에 대해서도 항균활성을 갖는 것으로 사료됨. 도인 나노입자의 경우 위의 균들과 마찬가지로 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것을 볼 수 있으며 MIC 값도 항균활성이 없는 것으로 나와 도인에는 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨. 발효더덕 나노입자의 경우도 도인과 마찬가지로 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것으로 보아 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨.

③ 균주별 천연 나노 항균제에 대한 항균 활성 비교

④ 균주별 천연 나노 항균제에 대한 최소 생육 저해 농도(MIC) 비교

표 74. 균주별 자몽 종자 나노입자에 대한 최소 생육 저해 농도 (MIC).

Strains	자몽 종자 (v/v)				
	Crude	Lecithin	Pectin	Cellulose	Gelatin
<i>B.subtilis</i>	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
<i>Shigella boydii</i>	0.5%	0.5%	0.25%	0.25%	0.25%
<i>Serratia liquefaciens</i>	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%

자몽 종자 나노입자의 균주별 생육 저해 농도를 측정한 결과, *B.subtilis*에 대해서 모든 나노입자에서 0.5% (v/v) 투여 시 break point를 나타내었으며 다른 균인 *Shigella boydii*와 *Serratia liquefaciens*에서도 0.5% (v/v) 이하의 낮은 농도에서도 break point를 나타내었음. 또한 Crude의 550 ppm 농도보다 낮은 농도인 약 280 ppm으로 포집된 제형별 나노입자들이 같은 항균력을 나타내는 것으로 보아 나노입자가 균에 더 효과적으로 침투하여 사멸시킨 것으로 사료됨. 이러한 자몽 종자 나노입자의 항균력은 본 연구에 진행된 6가지의 균주에 대해 모두 뛰어난 항균력을 나타내었으며 향후 자몽 종자 나노

입자를 이용한 천연 식용 항균제 개발에 가능성이 있을 것으로 사료됨.

표 75. 균주별 고추냉이 나노입자에 대한 최소 생육 저해 농도 (MIC).

Strains	고추냉이 (v/v)				
	Crude	Lecithin	Pectin	Cellulose	Gelatin
<i>B.subtilis</i>	4%	4%	8%	8%	32%
<i>Shigella boydii</i>	2%	4%	4%	4%	4%
<i>Serratia liquefaciens</i>	1%	4%	2%	2%	2%

고추냉이 나노입자의 균주별 생육 저해 농도를 측정된 결과, *B.subtilis*에 대해서 lecithin에서 4% (v/v), cellulose와 pectin에서 8% (v/v) 투여 시 break point를 나타내었으나 gelatin은 32% (v/v)에서 break point를 나타내는 것으로 보아 gelatin에서는 낮은 안정성으로 인한 입자간의 뭉침 현상으로 인해 효율적인 생육 저해가 일어나지 못한 것으로 생각됨. 이러한 뭉침 현상에 대한 문제는 계면활성제의 조절로 인해 안정성을 증가시켜 해결할 수 있을 것으로 사료됨. 또한 고추냉이의 경우 crude의 초기 농도가 198 ppm 으로 자몽 종자의 초기 농도인 550 ppm 보다 낮은 농도로 실험을 진행하였으며, 제형별 나노입자도 약 160 ppm의 낮은 농도로 자몽종자보다 조금 낮은 항균력을 나타냄. 그러나 다른 균인 *Shigella boydii*와 *Serratia liquefaciens*에서도 4% 이하의 농도에서 break point를 나타낸 것으로 보아 자몽 종자와 마찬가지로 뛰어난 항균력을 갖는 것으로 사료됨.

표 76. 균주별 도인 나노입자에 대한 최소 생육 저해 농도 (MIC).

Strains	도인 (v/v)				
	Crude	Lecithin	Pectin	Cellulose	Gelatin
<i>B.subtilis</i>	>64%	>64%	>64%	>64%	>64%
<i>Shigella boydii</i>	>64%	>64%	>64%	>64%	>64%
<i>Serratia liquefaciens</i>	>64%	>64%	>64%	>64%	>64%

도인 나노입자의 균주별 생육 저해 농도를 측정된 결과, 이전의 균들과 같이 *B.subtilis*와 *Shigella boydii*, *Serratia liquefaciens*에 대해서도 crude를 포함한 모든 나노입자에서 항균력을 나타내지 않는 것으로 보아 두 천연 소재는 항균력을 나타내지 않는 것으로 사료됨.

표 77. 균주별 도인 나노입자에 대한 최소 생육 저해 농도 (MIC).

Strains	발효더덕 (v/v)				
	Crude	Lecithin	Pectin	Cellulose	Gelatin
<i>B.subtilis</i>	>64%	>64%	>64%	>64%	>64%
<i>Shigella boydii</i>	>64%	>64%	>64%	>64%	>64%
<i>Serratia liquefaciens</i>	>64%	>64%	>64%	>64%	>64%

발효더덕 나노입자의 균주별 생육 저해 농도를 측정된 결과, 모든 균에서 생육 저해 농도가 64% 이상이 되어도 측정되지 않는 것으로 보아 도인의 결과와 마찬가지로 crude를 포함한 모든 나노입자에서 항균력을 나타내지 않는 것으로 사료됨.

㉔ 균주별 천연 나노 항균제에 대한 challenge test

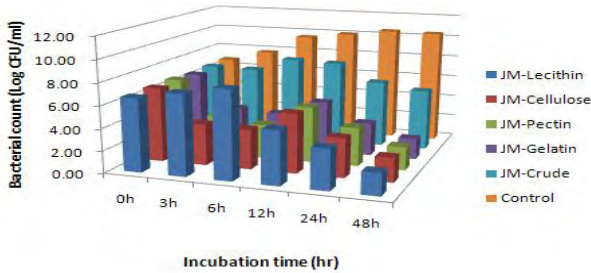


그림 250. *B. subtilis*에 대한 자몽 종자 나노입자의 challenge test 측정.

자몽 종자의 나노입자에서 12시간 이후 균수가 눈에 띄게 감소하여 48시간 이후에는 2.0이하의 세균수를 나타내는 것을 볼 수 있음. 특히 crude의 경우 시간이 증가하여도 세균의 수가 좀처럼 감소하지 않은 것에 비해 나노입자들의 경우 세균수가 감소하는 것으로 보아 나노입자 공정을 통해 자몽 종자의 항균활성 성분들이 균속에 효과적으로 침투하여 작용한 것으로 사료됨. 이러한 결과로 보아 나노입자 공정을 이용한다면 식품에 직접적으로 적용시킬 수 있으며 항균활성을 획기적으로 증가시킬 수 있는 가능성을 갖는다고 사료됨.

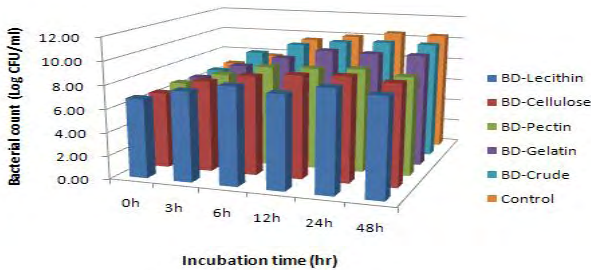


그림 251. *B. subtilis*에 대한 고추냉이 나노입자의 challenge test 측정.

고추냉이의 나노입자에서는 시간이 증가할수록 균수가 감소하는 경향을 확인할 수 있으며 48시간 이후에는 4.0이하의 세균 수를 나타냄. *Staphylococcus aureus sensitive*과 비슷한 항균활성을 나타내는 것을 볼 수 있으며 모든 나노입자에서 균수가 감소하는 것으로 보아 *B. subtilis*에 대해서도 항균활성을 갖는 것으로 사료됨.

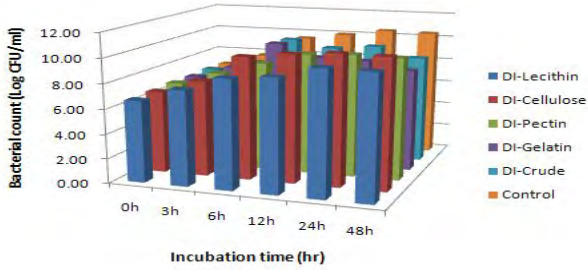


그림 252. *B. subtilis*에 대한 도인 나노입자의 challenge test 측정.

도인 나노입자의 경우 위의 균들과 마찬가지로 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것을 볼 수 있듯이 도인에는 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨.

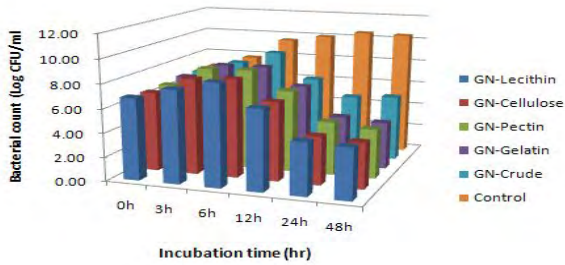


그림 253. *B. subtilis*에 대한 발효더덕 나노입자의 challenge test 측정.

발효더덕 나노입자의 경우에도 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하며, MIC 값에서도 항균력이 없는 것으로 나타난 것으로 보아 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨.

표 78. *Shigella boydii*에 대한 자몽 종자 나노입자의 challenge test 측정.

	Bacterial count (log CFU/mL)					
	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
Lecithin	6.48	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00
Cellulose	6.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pectin	6.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gelatin	6.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crude	6.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.60	7.76	8.78	9.11	9.26	9.01

*Shigella boydii*의 경우 자몽 종자의 모든 나노입자에서 3시간 이후 균수가 눈에 띄게 감소하여 0.0 log CFU/mL에 가까운 것으로 나타나 자몽 종자 나노입자의 뛰어난 항균 활성을 확인하였으며, 나노입자들의 차이는 크게 나지 않으며 모두 높은 항균활성을 나타내었음. 이러한 결과는 *Listeria monocytogenes*에서의 마찬가지로 모든 제형을 사용할 수 있는 가능성이 있다고 볼 수 있었음.

표 79. *Shigella boydii*에 대한 고추냉이 나노입자의 challenge test 측정.

	Bacterial count (log CFU/mL)					
	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
Lecithin	6.68	5.03	5.06	4.48	3.72	3.49
Cellulose	6.32	4.90	5.04	4.41	3.41	3.22
Pectin	6.67	5.20	5.04	5.03	4.47	2.93
Gelatin	6.51	5.11	5.00	4.62	3.65	3.30
Crude	6.80	4.43	4.27	4.12	3.83	0.00
Control	6.60	7.76	8.78	9.11	9.26	9.01

고추냉이의 나노입자에서는 시간이 증가할수록 균수가 서서히 감소하는 경향을 확인할 수 있으며 48시간 이후에는 4.0 log CFU/mL이하의 세균 수를 나타내는 것을 볼 수 있었음. 자몽 종자에 비해서는 높은 항균활성을 나타내진 않지만 모든 나노입자에서 균수가 감소하는 것으로 보아 *Shigella boydii*에 대해서도 항균활성을 갖는 것으로 사료됨.

표 80. *Shigella boydii*에 대한 도인 나노입자의 challenge test 측정.

	Bacterial count (log CFU/mL)					
	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
Lecithin	6.43	4.69	6.40	8.49	9.14	9.27
Cellulose	6.66	4.75	6.61	8.83	9.21	9.32
Pectin	6.84	4.46	6.48	8.66	9.21	8.96
Gelatin	6.79	3.01	6.45	8.68	9.16	8.79
Crude	6.64	2.80	2.30	0.00	0.00	0.00
Control	6.60	7.76	8.78	9.11	9.26	9.01

도인 나노입자의 경우 다른 균들에 비해 3시간 까지는 균수가 감소하는 경향을 보였으나 3시간 이후는 다시 균수가 증가하는 것을 확인 할 수 있었음. 이러한 결과는 다른 균들과 마찬가지로 도인은 자몽 종자와 고추냉이와 달리 항균활성을 가진 성분은 없는 것으로 사료됨.

표 81. *Shigella boydii*에 대한 발효더덕 나노입자의 challenge test 측정.

	Bacterial count (log CFU/mL)					
	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
Lecithin	6.74	6.81	7.05	8.56	8.61	8.34
Cellulose	6.59	6.65	7.09	8.46	8.72	8.45
Pectin	6.53	6.71	7.16	8.62	8.64	8.12
Gelatin	6.67	6.64	7.21	8.72	8.49	8.00
Crude	6.61	6.81	7.30	8.49	8.72	9.04
Control	6.60	7.76	8.78	9.11	9.26	9.01

발효더덕 나노입자의 경우 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것으로 보아 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨.

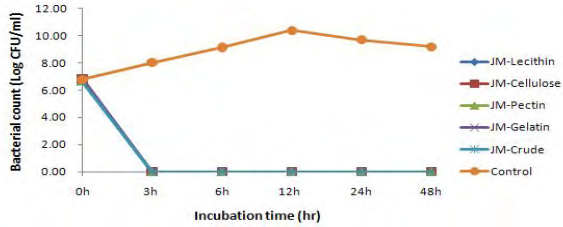


그림 254. *Serratia liquefaciens*에 대한 자몽 종자 나노입자의 challenge test 측정.

자몽 종자의 모든 나노입자에서 3시간 이후 균수가 눈에 띄게 감소하여 0.0에 가까운 것으로 나타나 자몽 종자 나노입자의 매우 높은 항균활성을 확인하였으며, 나노입자들의 차이는 크게 나지 않는 것으로 나타남. 또한 *Shigella boydii*에서의 값과 마찬가지로 모든 제형에서 높은 항균활성을 나타내어 향후 식품에 직접적으로 항균제로서 적용 할 수 있다고 사료됨.

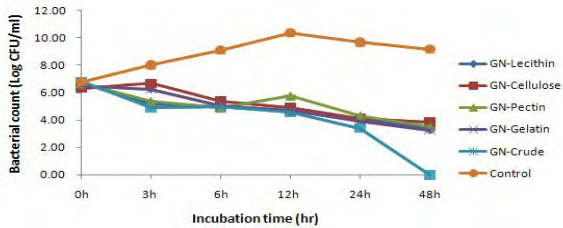


그림 255. *Serratia liquefaciens*에 대한 고추냉이 나노입자의 challenge test 측정.

고추냉이의 나노입자에서는 시간이 증가할수록 균수가 감소하여 48시간 이후에는 4.0 이하의 세균수를 나타내는 것을 볼 수 있으며, 모든 나노입자 제형에서 균수가 감소하는 것으로 보아 다른 균들과 마찬가지로 *Serratia liquefaciens*에 대해서도 항균활성을 갖는 것으로 사료됨.

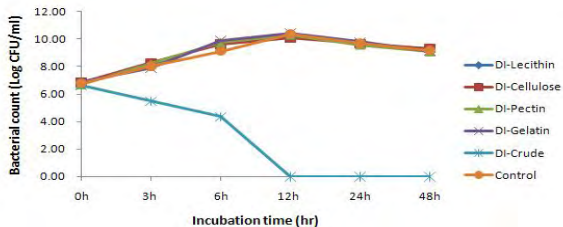


그림 256. *Serratia liquefaciens*에 대한 도인 나노입자의 challenge test 측정.

도인 나노입자의 경우 다른 모든 균들과 마찬가지로 도인에는 항균활성을 가진 성분은 없는 것으로 사료됨.

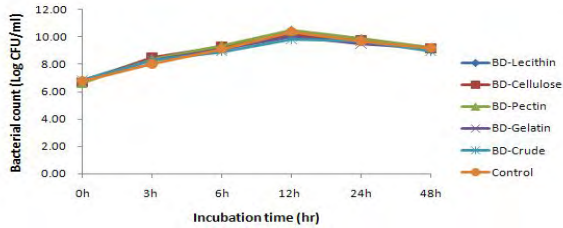


그림 257. *Serratia liquefaciens*에 대한 발효더덕 나노입자의 challenge test 측정.

발효더덕 나노입자의 또한 도인과 마찬가지로 시간이 증가하여도 균수가 감소하지 않고 증가하는 것으로 보아 항균활성을 가진 활성성분이 포함되어 있지 않는 것으로 사료됨.

④ 천연 나노 항균제와 화학적 항균제의 최소 생육 저해 농도(MIC) 비교.

표 82. 천연 나노 항균제와 화학적 항균제의 최소 생육 저해 농도(MIC) 비교.

항균제 (ppm)		<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> sensitive	<i>Shigella boydii</i>	<i>B. subtilis</i>
자몽 종자	Crude	3.50	1.75	1.75	1.75
나노 항균제	Cellulose	2.76	1.38	0.69	1.38
고추냉이	Crude	7.92	3.96	3.96	7.92
나노 항균제	Lecithin	5.78	11.56	5.78	5.78
ε-Polylysine 과 glyceride 혼합물		-	1000	-	-
4-Hydroxybenzoic acid ethyl ester		-	-	-	100

상기 연구 결과를 통해 천연 항균제로 사용하기 가장 적합한 소재인 자몽 종자와 고추냉이의 나노 입자 제조 별 MIC Test 결과를 표 82에 나타내었음. 위의 결과에서 알 수 있듯이 자몽 종자와 고추냉이의 나노 항균제 중 각각 cellulose와 lecithin을 사용하여 나노 입자화 공정을 통해 항균제를 제조 하였을 경우 미생물 생육 저해에 필요한 농도가 Crude와 비교했을 때 보다 효과적인 것을 확인할 수 있었음. 특히, 자몽의 경우 4가지 균주 모두에서 Crude 보다 Cellulose에서 더 적은 농도에서 미생물 생육 저해 효과를 얻을 수 있었으며, *Shigella boydii* 균주에서 가장 낮은 농도인 0.69 ppm의 농도로 기준

crude 보다 약 39% 향균 활성이 증진된 효과를 얻을 수 있음을 확인 하였음. 반면, 고추냉이 나노 향균제의 경우 lecithin을 사용하여 천연 향균제를 제조 하였을 경우 가장 좋은 효과를 나타내었지만, 기본적으로 *Listeria monocytogenes* 와 *B. subtilis* 균주에서는 향균활성이 높아지는 것을 확인 할 수 있었으며, *Staphylococcus aureus sensitive* 와 *Shigella boydii* 균주 에서는 향균활성 효과가 낮은 것을 확인 할 수 있었음. 고추냉이를 천연 향균제로 활용 하였을 경우 lecithin을 이용하여 나노 입자를 제조 하였을 경우 가장 높은 향균활성 효과를 얻었으며, *Listeria monocytogenes* 와 *B. subtilis* 균주에서 최소 5.78 ppm의 농도로 활성을 나타내는 것을 확인하였음. 상기의 결과는 crude 형태 보다 약 38% 높은 효과를 보이는 것을 확인 할 수 있었음. 또한, 자몽 종자 와 고추냉이 나노 향균제의 경우 식품에 첨가가능한 화학적 향균제로 쓰이고 있는 ϵ -polylysine과 glyceride 혼합물과 4-hydroxybenzoic acid ethyl ester 보다 비교적 적은 농도에서도 뛰어난 향균 활성을 나타내었음. 이러한 결과는 기존의 화학적 향균제의 단점인 향균제에 대한 균들의 내성 증가와 인체에 해로운 점들을 해결하고, 식용이 가능하여 식품에 직접적으로 적용할 수 있으며 인체에 무해한 장점이 있어 기존의 화학적 향균제를 대신하여 쓰일 수 있을 것으로 사료됨. 이러한 결과는 나노 입자를 제조 하지 않는 순수한 천연 물질 보다 더 좋은 효과를 보이며 더 적은 농도를 사용하여 천연 물질을 바로 식품에 적용하여 천연 향균활성제로 사용이 가능하지만, 식품에서 가장 중요한 맛과 냄새 그리고 색에 영향을 줄 수 있기 때문에 자몽 종자와 고추냉이 자체의 특유의 냄새와 맛, 그리고 색을 나타내기 때문에 나노 입자로 제조된 천연 향균활성제의 관능적 평가를 통한 식품적용 가능성을 살펴볼 필요가 있으며 다음과 같은 결과를 얻었음.

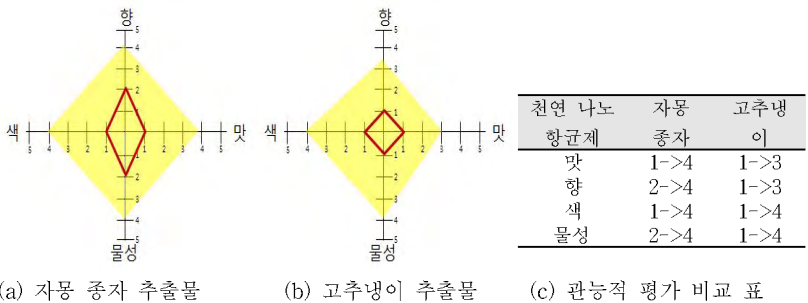


그림 258. 자몽 종자와 고추냉이의 생산 단가 비교 및 관능적 평가 결과.

초기 crude 상태의 관능적 평가의 결과가 그림 258 (a), (b)의 빨간색으로 나타난 형태이며 자몽종자의 경우는 물성과 향에서 고추냉이보다 조금 더 좋은 평가를 받은 결과를 알수 있었음. 이러한 초기 상태에서 나노 입자를 씌운 상태의 관능적 평가의 결과는 노랑색 바탕으로 나타냈으며 그 결과 초기보다 2점에서 3점 가량 더 높은 점수를 얻을 수 있었음. 그 결과, 고추냉이 보다 자몽 종자의 나노입자 제조물에 대한 관능적 평가가 더 좋은 것을 확인 하였으며, 본 연구를 바탕으로 최종 적으로 자몽종자가 식품에 활용

가능한 천연 활성제로 가장 효과 적인 것을 확인 할 수 있었음. 본 연구에 활용된 자몽 종자와 고추냉이 추출물의 실험 결과를 통한 활성과 관능적 평가의 결과를 바탕으로 자몽 종자가 가장 효과적인 것으로 나타났지만 자몽종자를 활용함에 있어서 실질적으로 사용가능한 정도의 경제적인 이익이 있는지에 대한 결과를 확인하기 위해 생산 단가 비교를 통해 다음과 같은 경제성 평가 결과를 얻었음.

표 83. 천연 나노 항균제인 자몽 종자와 고추냉이의 경제성 분석 결과.

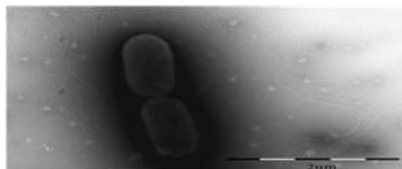
천연 나노 항균제*	기본 금액	예상 금액	식품 1kg에 적용한 필요 농도	식품 1kg를 살균하기 위한 실제 소모 금액
자몽종자 추출물 95,000원/1L (2,375원/25mL) Cellulose	48,000원/1kg (1원/20mg)	95,040원/L (2,376원/25mL)	항균활성 필요농도 0.5%	475.2원/kg 1L 당 200kg 살균가능
고추냉이 추출물 50,000원/L (1,250원/25mL) Lecithin	128,000원/10g (256원/20mg)	60,240원/L (1,506원/25mL)	항균활성 필요농도 2%	1,204.8원/kg 1L 당 50kg 살균가능

*천연 나노 항균제 제조 조건 : 추출물 25 mL + 나노입자 재료 20 mg

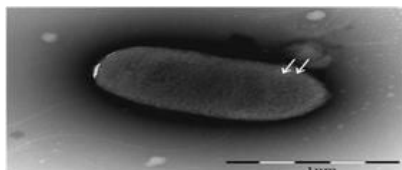
상기의 표 83의 천연 나노 항균제인 자몽 종자와 고추냉이의 경제성 분석 결과는 본 연구에서 진행되어진 실제 실험 방법을 적용하였을 경우 사용되어진 추출물의 양인 25mL과 나노입자 제조에 필요한 20mg의 양으로 나노 입자를 제조 하였을 경우에 필요한 실제 가격을 활용하여 작성한 결과로 본 연구에 활용된 자몽 종자와 고추냉이 추출물, 그리고 cellulose, lecithin 은 시그마 알드리치 코리아에서 구입 가능한 금액을 기준으로 작성 하였으며, 그중 전체적인 가격 면에서 거의 대다수를 차지하는 고추냉이와 자몽종자 추출물을 직접 제조할 경우 생산 가격을 절감할수 있을 것으로 기대되지만 추출 시간과 원료의 수급 그리고 추출 수율에 따른 영향으로 인해 절감할 수 있는 금액은 미비 할 것으로 사료됨. 표 83의 결과에서 에서 알 수 있듯이 나노 입자 제조법으로 1 L를 생산할 때 필요한 금액은 자몽종자의 경우 95,040원이며 고추냉이의 경우 60,240원으로 이중 각각 천연 항균제의 최소 활성 농도인 0.5%와 1%의 농도를 적용 하였을 경우 자몽종자의 경우 475.2원/kg 의 금액이 소모되며, 고추냉이의 경우 1,204.8원/kg의 금액 소모됨. 하지만 자몽종자의 경우 항균활성이 매우 뛰어나기 때문에 필요농도가 단 0.5%만을 필요로 하기 때문에 최종적으로 1L를 생산 하였을 경우 약 200kg의 식품을 살균 할 수 있을 것으로 기대됨. 반면, 고추냉이는 그 효과가 비교적 자몽종자 보다 낮기 때문에 1 L를 생산 할 경우 50 kg의 식품을 살균 할수 있을 것으로 기대됨. 상기의 결과인 표 83의 결과를 바탕으로 볼 때 cellulose를 이용하여 천연 항균제를 제조 하는 자몽종자가

식품 살균에 가장 적합할 것으로 사료되며, 이 들은 식품 중 열채류인 시금치, 배추, 상, 쪽갓, 치커리, 근대, 아욱, 케일 등에 직접적으로 항균제로서 사용이 가능할 것으로 사료 됨.

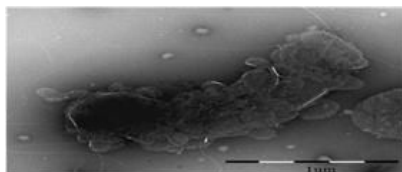
⑤ 나노 입자의 미생물 사멸 작용.



(A : 배양 초기, 0h)



(B : 배양 3h 후)



(C : 배양 6h 후)

그림 259. *Salmonella Typhimurium sensitive*균 에 대한 배양 시간별 고추냉이 레시틴 나노입자의 관찰.

배양 초기에는 0.4-1 μm 정도 크기의 *Salmonella Typhimurium sensitive*균과 그 주위에 나노입자가 존재하는 것을 확인할 수 있었음. 3시간 후 주위 나노입자들이 미생물의 세포벽에 침착하여 세포벽을 통과하는 모습을 관찰할 수 있었음. 배양 6시간 후에는 나노입자가 미생물 군주에 침착하고 침투하여 고추냉이의 항균 활성에 의해 미생물이 사멸하기 시작하여 미생물의 형태가 파괴되는 것을 확연히 관찰할 수 있었음. 이러한 결과로부터 고추냉이 나노 입자 2%를 첨가한 6시간 후부터 균의 사멸이 일어나는 것이 확인되었으며, Crude의 농도 198 ppm 보다 적은 농도인 160 ppm으로 포집된 나노 입자를 적용하여 살균 했을 시 일반적인 Crude 항균제보다 적은 투여 농도뿐만 아니라 살균 시간의 단축도 가능할 것으로 예상됨. 또한 이러한 결과는 고추냉이 추출물에 나노 공정을 적용한 나노입자의 살균 기작이 입증되었으며 본 연구의 목표인 나노 공정을 이용한 항균 활성 증진의 효율성을 확인하였고, 향후 다른 천연 살균 혹은 항균제들을 이용한

나노 살균의 적용이 가능할 것으로 사료됨.

나. 천연/화학 살균제의 나노입자 분무를 통한 농산물에 대한 적용 및 품질평가

(1) 농산물에 대한 천연 항균물질의 항균활성

(가) 천연 추출물 성분(citral, carvacrol)의 항균 효과

① Citral의 항균 효과

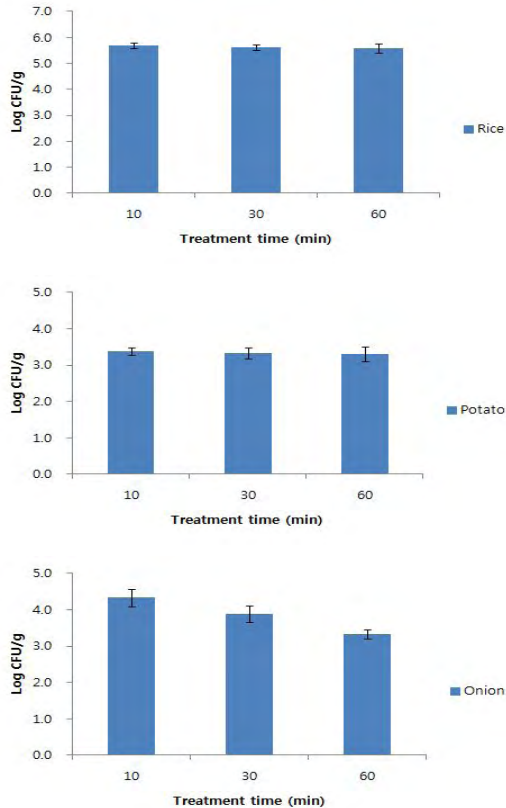


그림 260. 농산물 표면 일반미생물에 대한 citral의 항균 효과

Citral를 이용하여 10, 30, 60분간 처리한 결과, 벼에서는 5.7 ± 0.1 , 5.6 ± 0.1 , 5.6 ± 0.17 log를 감자에서는 3.4 ± 0.09 , 3.3 ± 0.16 , 3.3 ± 0.21 log, 양파는 4.3 ± 0.25 , 3.9 ± 0.23 , 3.3 ± 0.13 log를 나타내어, 벼와 양파에서는 처리 시간이 길어질수록 감소하였으며, 감자의 경우는 시간에 따른 변화가 나타나지 않았음.

② Carvacrol의 평균 효과

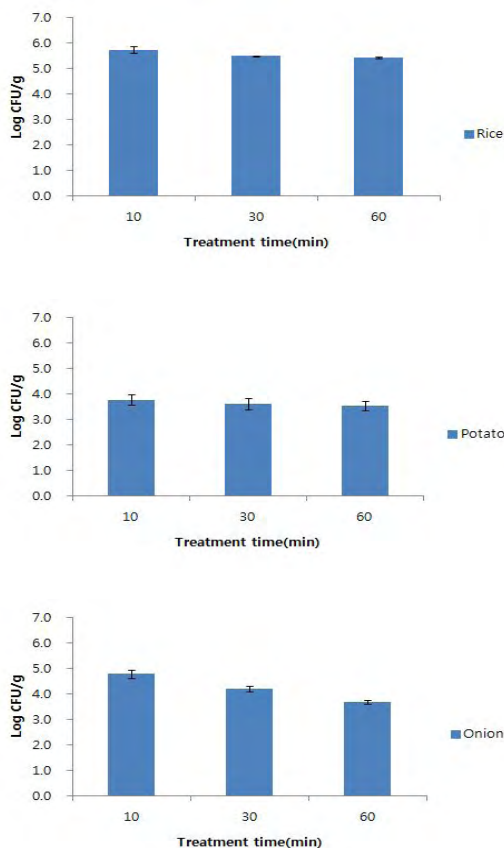


그림 261. 농산물 표면 일반미생물에 대한 carvacrol의 평균 효과

Carvacrol로 처리한 결과, 처리 시간에 따라 비는 5.7 ± 0.14 , 5.5 ± 0.02 , 5.4 ± 0.04 log, 감자는 3.8 ± 0.2 , 3.6 ± 0.2 , 3.5 ± 0.2 log, 양파는 4.8 ± 0.17 , 4.2 ± 0.11 , 3.7 ± 0.08 log로 나타남. 모든 시료에서 처리 시간이 증가할 수록 일반미생물의 수가 감소하는 것으로 나타났으며, 감자는 citral로 처리한 결과와 달리 carvacrol로 처리하였을때 다소 감소되는 결과를 나타내었음. 양파 표면의 일반미생물은 citral과 carvacrol로 60분간 처리하였을때 10분 처리한 결과에 비해 각각 1 log와 1.1 log가 감소되어 가장 높은 효과를 나타내었음.

(나) Ultrasonic nebulizer를 이용한 자몽 종자 추출물의 항균효과

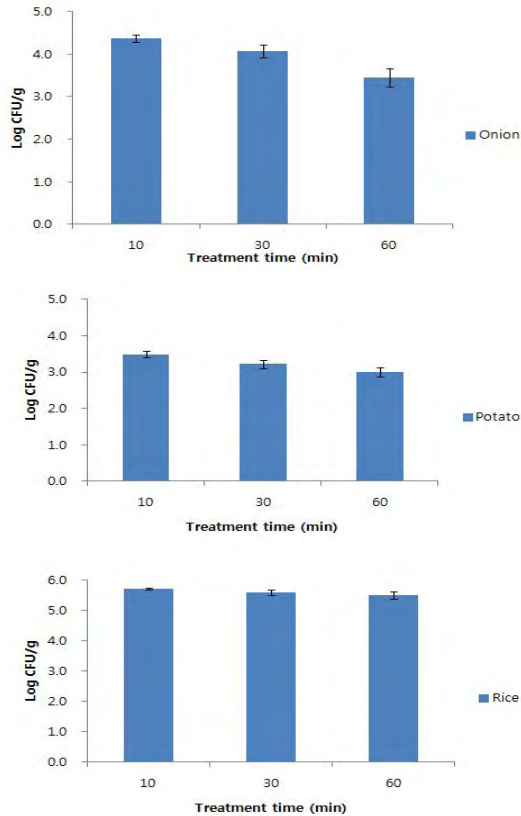


그림 262. 농산물 표면 일반미생물에 대한 자몽 종자 추출물의 항균효과

Ultrasonic nebulizer로 aerosol화하여 자몽종자추출물의 농산물 표면에 대한 살균 실험 결과 양파를 10분간 처리하였을 경우 일반미생물은 4.4 log로 나타났으며 30, 60분 처리하였을 때 4.1, 3.5 log로 나타나 양파 표면 미생물에 대한 살균 효과를 확인 하였으며, 처리 시간이 길어질수록 효과가 높은 것으로 나타남. 감자의 경우 10, 30, 60분 동안 처리하였을때 각각 3.5, 3.2, 3.0 log를 나타내어 처리시간에 따라 살균 효과가 증가하는 것으로 나타났으나, 양파의 균 감소율에 비해 낮게 나타남. 자몽종자추출물을 벼에 처리하였을때 처리시간별로 5.7 ± 0.03 , 5.6 ± 0.09 , 5.5 ± 0.11 로 나타나 자몽종자추출물에 의한 살균 효과는 확인되지 않았음.

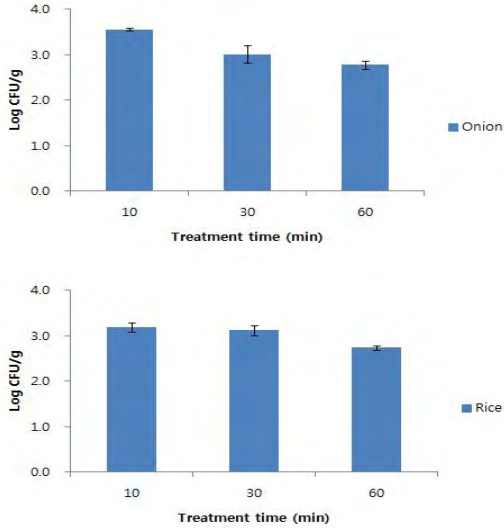


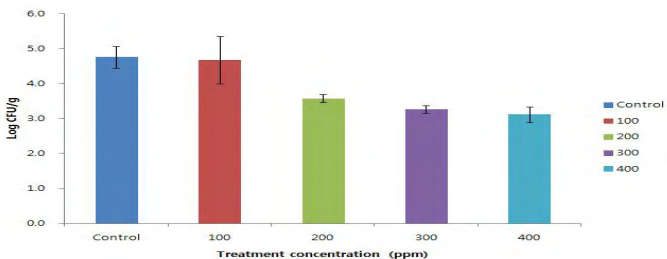
그림 263. 농산물 표면 곰팡이에 대한 자몽 종자 추출물의 항균효과

Ultrasonic nebulizer로 aerosol화하여 자몽종자추출물의 농산물 표면에 대한 곰팡이 살균 실험 결과 감자에서는 검출되지 않았음. 양파에서는 각 처리 시간별(10, 30, 60)로 3.6, 3.0, 2.8 log를 나타내어 처리 시간따라 감소됨을 나타내었고, 벼의 경우 3.2, 3.1, 2.7 log로 일반미생물 결과와 달리 감소되었음.

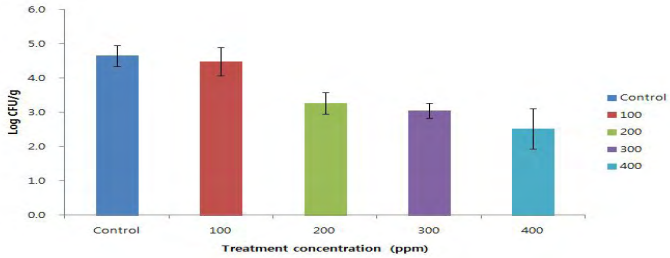
(2) 농산물에 대한 아염소산수의 평균활성

(가) Ultrasonic nebulizer를 이용한 아염소산수의 평균효과

- ① 양파 표면에서의 aerosolized 아염소산수 처리 효과
- ② 양파 표면 미생물에 대한 aerosolized 아염소산수의 평균 효과
[5 min]



[10 min]



[30 min]

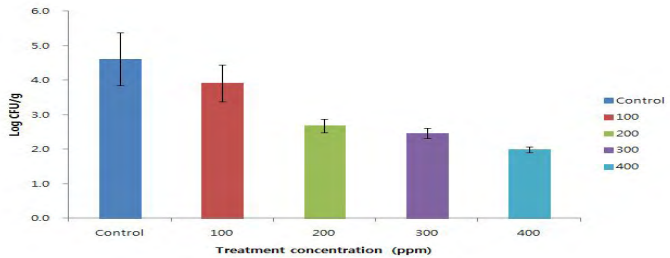
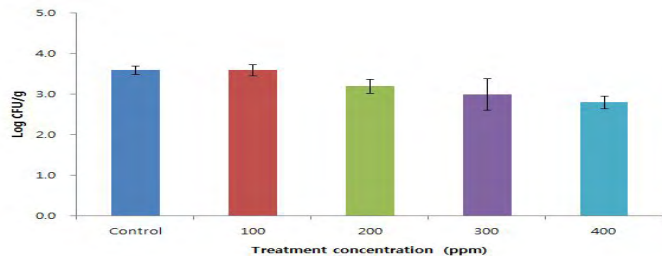


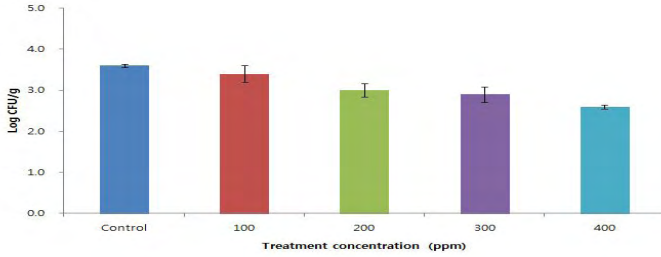
그림 264. 양파 표면 일반미생물에 대한 aerosolized 아염소산수의 평균 효과

각 처리 시간별 대조군 그룹의 일반미생물은 4.8 ± 0.3 , 4.7 ± 0.3 , 4.6 ± 0.8 log로 나타났다. 아염소산수를 aerosol화하여 처리하였을 때 일반미생물의 변화량은 100 ppm의 경우 5분, 10분간 처리한 실험군은 4.7 ± 0.67 , 4.5 ± 0.41 log로 대조군과의 차이가 크게 나타나지 않았지만, 30분간 처리하였을 때 대조군에 비해 0.7 log 감소하였음. 00 ppm의 경우 5, 10, 30분간 처리하였을 때, 3.6 ± 0.12 , 3.3 ± 0.31 , 2.8 ± 0.10 로 각각 1.2, 1.4, 2.0 log 감소하였으며, 300 ppm은 3.3 ± 0.11 , 3.1 ± 0.22 , 2.5 ± 0.15 , 400 ppm은 3.1 ± 0.22 , 2.5 ± 0.59 , 2.0 ± 0.09 를 나타내어, 300 ppm은 1.5, 1.6, 2.2 log, 400 ppm은 1.7, 2.1, 2.7 log 감소하였음.

[5 min]



[10 min]



[30 min]

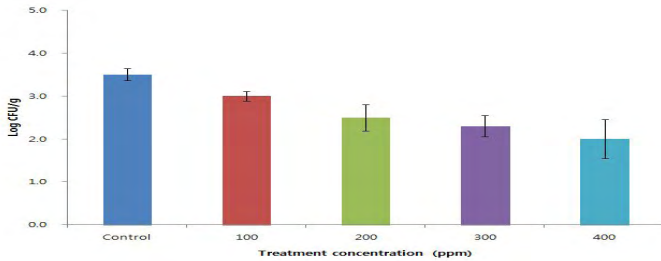


그림 265. 양과 표면 곰팡이에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

대조군 그룹의 처리 시간별 곰팡이는 3.6 ± 0.1 , 3.6 ± 0.04 , 3.5 ± 0.14 log를 나타내었음. 일반미생물 결과와 비슷하게 아염소산수 100 ppm을 aerosol화하여 5, 10분간 처리하였을 때 3.6 ± 0.14 , 3.4 ± 0.21 log로 대조군과의 차이를 나타내지 않고, 30분 처리하였을 때 0.5 log 감소하였음. 200 ppm은 처리 시간에 따라 3.2 ± 0.18 , 3.0 ± 0.16 , 2.5 ± 0.31 log로 나타났으며, 300 ppm은 3.0 ± 0.39 , 2.9 ± 0.19 , 2.3 ± 0.25 log, 400 ppm은 2.8 ± 0.15 , 2.6 ± 0.05 , 2.0 ± 0.45 log를 나타내어, 400 ppm의 경우 처리 시간별로 0.8, 1.0, 1.5 log가 감소하였음.

표 84. aerosolized 아염소산수로 처리한 양과 표면 미생물에 대한 *D*-value.

Treatment concentration (ppm)	<i>D</i> -value	
	Aerobic bacteria	Mould
100	33.4	45.0
200	33.0	40.5
300	32.4	37.3
400	25.1	30.1

일반미생물의 *D*-value는 100 ppm 33.4 min, 200 ppm 33 min, 300 ppm 32.4 min 400 ppm 25.1 min로 나타났고, 곰팡이에 대한 *D*-value는 각 농도별로 45, 40.5, 37.3, 30.1 min 으로 나타나 aerosol 처리 chlorine dioxide의 농도가 증가함에 따라 감소하였음.

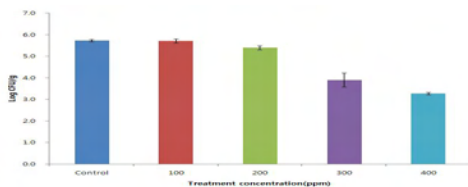
㉔ aerosolized 아염소산수 처리에 따른 양과 표면의 색도변화

100, 200, 300, 400 ppm의 아염소산수를 aerosol화하여 시료의 처리 농도 및 시간별 전·후의 색도를 색차계(CR-300, Konaca Minolta Holdings Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정된 결과 모든 처리 농도 및 시간에 대한 전·후의 색도 변화는 나타나지 않았고, 시료간의 차이만 나타났음.

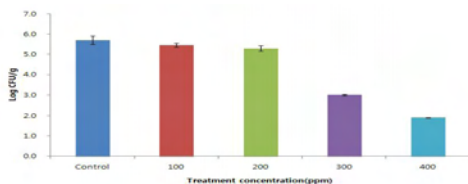
표 85. aerosolized 아염소산수로 처리한 양파 표면의 색도 변화

Concentration and time(min)	Before treatment			After treatment			
	L	a	b	L	a	b	
Control	5	70.4 ± 0.02	9.1 ± 0.01	29.6 ± 0.05	70.7 ± 0.04	8.9 ± 0.04	29.3 ± 0.01
	10	68.6 ± 0.01	11.9 ± 0.02	26.8 ± 0.02	67.2 ± 0.06	12.0 ± 0.03	27.1 ± 0.03
	30	66.9 ± 0.06	11.8 ± 0.05	28.5 ± 0.08	64.6 ± 0.22	12.3 ± 0.05	30.0 ± 0.16
100	5	59.8 ± 0.32	11.0 ± 0.09	25.0 ± 0.20	59.3 ± 0.35	11.2 ± 0.03	25.7 ± 0.10
	10	62.8 ± 0.01	15.7 ± 0.03	27.3 ± 0.07	61.6 ± 0.08	16.2 ± 0.07	28.3 ± 0.06
	30	59.9 ± 0.14	8.2 ± 0.04	24.6 ± 0.16	59.5 ± 0.25	7.6 ± 0.25	23.5 ± 0.21
200	5	67.7 ± 0.17	13.6 ± 0.10	28.5 ± 0.27	68.1 ± 0.19	13.4 ± 0.02	28.7 ± 0.04
	10	64.8 ± 0.06	15.3 ± 0.09	28.6 ± 0.14	64.5 ± 0.08	15.3 ± 0.02	28.9 ± 0.03
	30	61.0 ± 0.16	15.4 ± 0.28	26.1 ± 0.03	59.6 ± 0.21	16.5 ± 0.05	27.6 ± 0.39
300	5	66.7 ± 0.17	9.3 ± 0.23	27.5 ± 1.45	65.8 ± 0.37	9.2 ± 0.10	24.5 ± 0.05
	10	67.0 ± 0.38	11.5 ± 0.27	26.6 ± 0.24	66.7 ± 0.03	10.3 ± 0.02	25.5 ± 0.03
	30	70.1 ± 0.18	5.3 ± 0.05	20.1 ± 0.15	69.3 ± 0.05	5.1 ± 0.07	20.0 ± 0.15
400	5	63.3 ± 0.22	15.1 ± 0.25	28.7 ± 0.10	62.7 ± 0.03	15.6 ± 0.03	29.6 ± 0.08
	10	67.1 ± 0.26	9.1 ± 0.25	23.5 ± 0.30	66.8 ± 0.37	8.9 ± 0.13	23.7 ± 0.15
	30	69.5 ± 0.59	9.3 ± 0.59	22.9 ± 0.77	68.4 ± 0.43	9.3 ± 0.13	25.1 ± 0.30

① 비 표면 미생물에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과
[5 min]



[10 min]



[30 min]

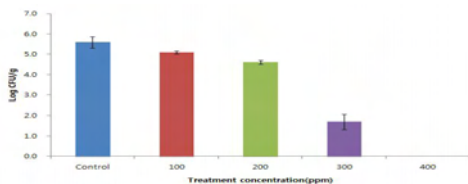


그림 266. 비 표면 일반미생물에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

대조군 그룹의 각 처리 시간별 일반미생물은 5.7 ± 0.06 , 5.7 ± 0.21 , 5.6 ± 0.28 log로 나타났음. 100, 200, 300, 400 ppm의 아염소산수를 aerosol화하여 5, 10, 30 min간 처리한 결과, 100 ppm은 처리 시간에 따라 5.7 ± 0.1 , 5.5 ± 0.09 , 5.2 ± 0.07 log를 나타내어 5분 처리한 실험구에서는 전혀 효과를 나타내지 않았으며, 10, 30분 처리한 실험구에서도 0.2, 0.4 log 감소하여 효과가 미비한 것으로 나타났음. 200 ppm에서도 30분 처리한 경우 1 log 감소하였고, 5, 10분 처리한 경우 각각 0.3, 0.4 log 감소하여 뚜렷한 효과를 나타내지 않았음. 이에 비해 300, 400 ppm은 5분 처리한 경우 3.9 ± 0.33 , 3.3 ± 0.05 log로 각각 1.8, 2.4 log 감소하였고, 10분 처리하였을때 3.0 ± 0.03 , 1.9 ± 0.01 log로 2.7,

3.8 log 감소하는 것으로 나타났음. 30분 처리한 경우 300 ppm은 1.7 ± 0.37 log로 3.9 log의 감소를 나타내었음.

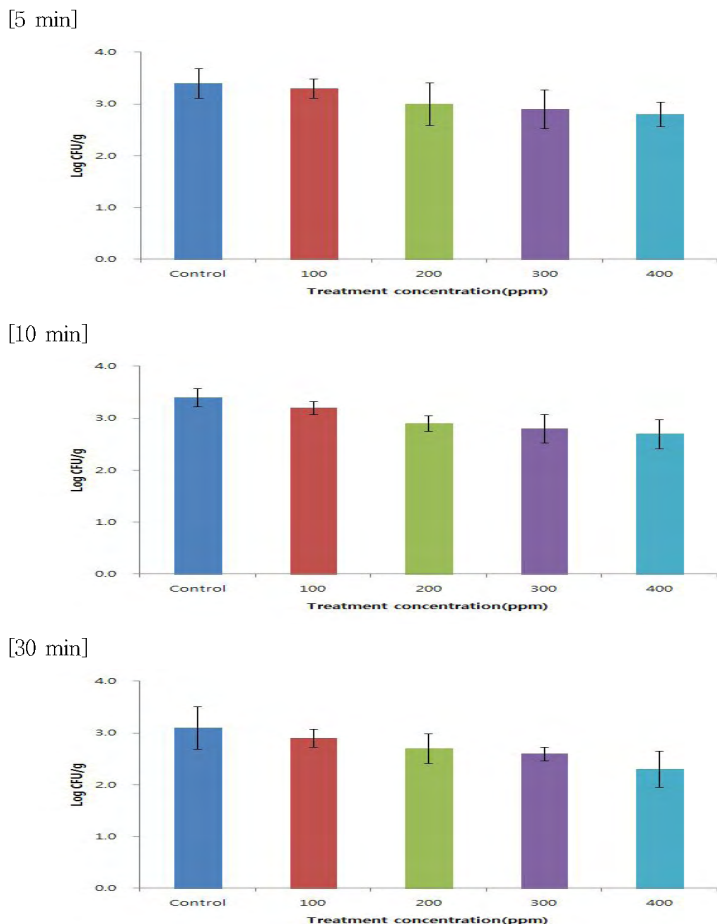


그림 267. 비 표면 곰팡이에 대한 aerosolized 아염소산수의 평균 효과

대조군 그룹의 처리 시간별 곰팡이는 3.4 ± 0.29 , 3.4 ± 0.17 , 3.1 ± 0.41 log를 나타내었음. 각 농도별로 5분간 처리한 실험군에서 3.3 ± 0.19 , 3.0 ± 0.41 , 2.9 ± 0.37 , 2.8 ± 0.24 log로 나타나, 농도가 증가할 수록 감소하였지만, 뚜렷한 효과는 나타나지 않았음. 10분 처리한 결과 농도별로 3.2 ± 0.12 , 2.9 ± 0.15 , 2.8 ± 0.27 , 2.7 ± 0.28 log로 나타났음. 30분 처리한 결과 2.9 ± 0.17 , 2.7 ± 0.29 , 2.6 ± 0.13 , 2.3 ± 0.35 log를 나타내어, 400 ppm에서 30분간 처리하였을 때 0.8 log 감소하여 실험군중에서 가장 높은 효과를 나타

내었지만, 전체적으로 곰팡이에 대한 살균 효과가 낮은 것으로 나타났음.

(3) 농산물에서 병원성 미생물에 대한 아염소산수의 항균활성

(가) 당근에 접종된 병원성 미생물에 대한 항균 효과

① *E. coli* O157:H7에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

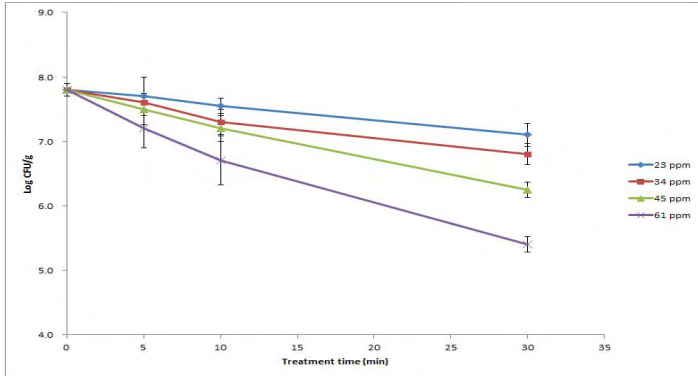


그림 268. 당근 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

당근 표면에 *E. coli* O157:H7를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 7.8 log를 나타내었으며, 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.7, 7.6, 7.1 log를 나타내어 처리시간에 따라 감소됨. 200 ppm은 처리시간에 따라 7.6, 7.3, 6.8 log, 300 ppm은 7.5, 7.2, 6.3 log, 400 ppm은 7.2, 6.7, 5.4 log를 나타내어 aerosolized 아염소산수의 농도와 처리시간이 증가됨에 따라 감소율이 증가됨. 각 농도에서 30 min 처리하였을 때 각각 0.7, 1.0, 1.5, 2.4 log 감소하였으며, 400 ppm의 ACD를 aerosolization하여 5, 10 min 처리하였을 때 0.6, 1.1 log 감소하여 100, 200 ppm ACD를 aerosol하여 30 min 처리한 결과와 유사하게 나타남.

② *S. Typhimurium*에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

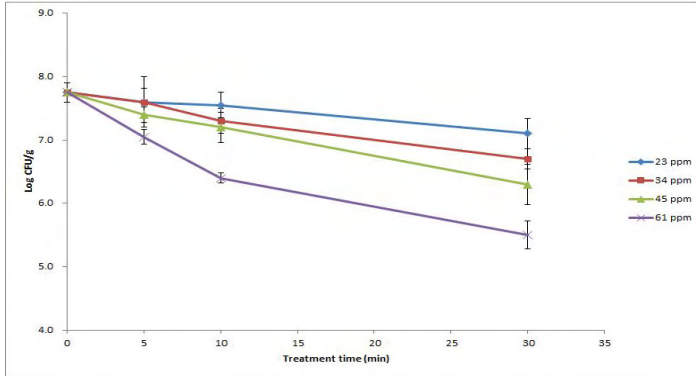


그림 269. 당근 표면에 접종된 *S. Typhimurium*에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

*S. Typhimurium*를 접종하여 처리한 결과 대조구는 7.8 log로 *E. coli* O157:H7의 대조구와 유사하였고, 농도별 아염소산수를 aerosol하여 각 시간별(5, 10, 30 min)로 처리한 결과 각각 7.6, 7.6, 7.1 log, 7.6, 7.3, 6.7 log, 7.4, 7.2, 6.3 log, 7.1, 6.4, 5.5 log로 나타남. 400 ppm의 아염소산수를 aerosol하여 5 min 처리하였을 때 0.7 log 감소하여 100 ppm 아염소산수를 30분간 aerosol 처리한 결과와 유사하게 나타나 *E. coli* O157:H7과 동일한 결과를 나타내었으며, 10 min 처리한 결과는 1.4 log 감소하여 300 ppm 아염소산수를 30분간 aerosol 처리한 결과와 유사하게 나타나 처리 농도 및 시간에 따른 감소율이 *E. coli* O157:H7의 결과와는 차이를 보였음. 각 농도별로 30 min 처리하였을 때 각각 0.7, 1.1, 1.5, 2.3 log의 감소율을 나타내어 *E. coli* O157:H7과 유사한 결과를 나타내었음.

③ *L. monocytogenes*에 대한 aerosolized 아염소산수의 평균 효과

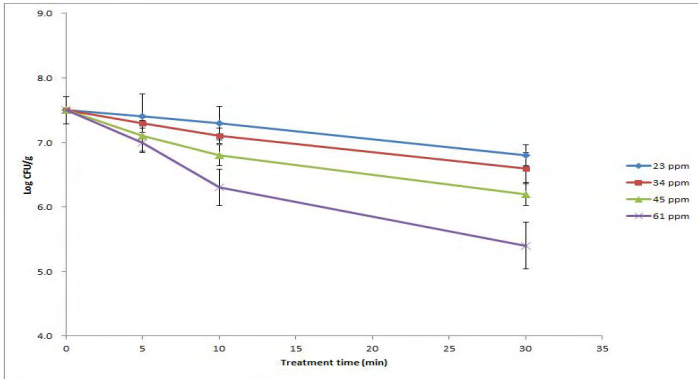


그림 270. 당근 표면에 접종된 *L. monocytogenes*에 대한 aerosolized 아염소산수의 평균 효과

L. monocytogenes 결과 대조구는 7.5 log로 *E. coli* O157:H7과 *S. Typhimurium*에 비해 낮은 활성을 나타내었음. 농도별(100, 200, 300, 400 ppm) 아염소산수를 aerosol 처리한 결과, 시간(5, 10, 30 min)에 따라 각각 7.4, 7.3, 6.8 log, 7.3, 7.1, 6.6 log, 7.1, 6.8, 6.2 log, 7.0, 6.3, 5.4 log를 나타내었음. 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 30분 처리하였을 때 0.7 log 감소하여 *E. coli* O157:H7과 *S. Typhimurium* 결과와 동일하게 나타났지만, 400 ppm의 아염소산수를 aerosol하여 5 min 처리하였을 때에는 0.5 log 감소하여 *E. coli* O157:H7과 *S. Typhimurium*를 처리하였을 때 보다 낮은 감소율을 나타내었으며, 10 min 처리한 경우 1.2 log 감소하여 *S. Typhimurium* 처리결과와 유사한 결과를 나타내었고, *E. coli* O157:H7 결과와는 차이를 나타내었음. 각 농도별 30 min 처리결과 0.7, 0.9, 1.3, 2.1 log로 100 ppm을 제외하고 200, 300, 400 ppm 아염소산수를 aerosol하여 처리한 결과에서 *E. coli* O157:H7과 *S. Typhimurium* 결과보다 다소 낮은 감소율을 나타내었음.

④ Aerosolized 아염소산수 처리한 당근 표면에 접종된 병원성 미생물의 D-value 분석

표 86. Aerosolized 아염소산수 처리한 당근 표면에 접종된 병원성 미생물의 D-value

chlorine dioxide concentration(ppm)	D-value(min)		
	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>S. Typhimurium</i>	<i>L. monocytogenes</i>
23	42.6	47.2	42.4
34	30.8	28.5	34.2
45	19.6	21.3	24.7
61	13.0	14.4	14.9

아염소산수 aerosol 처리 농도에 따른 *E. coli* O157:H7의 D-value는 각각 43, 31, 20, 13 min으로 나타났고, *S. Typhimurium*은 47, 28, 21, 14 min, *L. monocytogenes*는 42, 34, 25, 15 min으로 나타났음.

⑤ 잔류농도 및 색도 분석

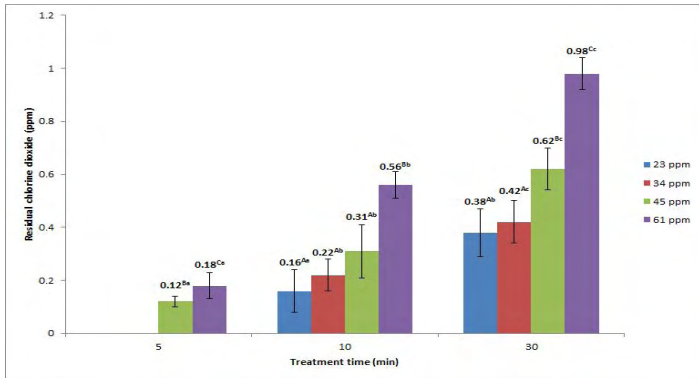


그림 271. Aerosolized 아염소산수의 처리 농도 및 시간에 따른 잔류농도

100, 200 ppm의 아염소산수를 aerosol하여 각 시간별로 처리하였을 때 5분 처리한 경우에는 검출되지 않았고 10, 30분 처리하였을 때는 100 ppm은 각각 0.16, 0.38 ppm, 200 ppm은 0.22, 0.42 ppm의 잔류량을 나타내었음. 300 ppm은 0.12, 0.31, 0.62 ppm, 400 ppm은 0.18, 0.56, 0.98 ppm의 잔류량을 나타내어 처리 농도가 높고 시간이 길어질수록 당근 표면의 아염소산수의 잔류량이 증가하였음.

신선편이 농산물에서 변색은 중요한 품질변화 요인으로 품질 지표로 작용하여 상품성을 좌우하며, 신선편이 당근의 표면에 나타나는 백화현상은 당근의 저장·유통 중 미생물 오염에 인한 부패와 물리·화학적 공정에서 표면 조직의 손상 및 건조로 인해 외층에 형성되는 lignification이 변색을 유도하고, β -carotene과 같은 색소가 분해되거나 손실되어 나타난 결과라고 보고됨. 본 연구에서 nebulizer로 아염소산수를 aerosol하여 당근 표면을 처리하였을 때는 백화지수가 감소하는 것으로 나타났음. 이는 aerosolization은 표면을 씻어내는 방법이 아니라 표면에 미세입자가 달라붙어 미생물을 사멸시키는 것으로 처리 직후 aerosol에 의해 당근 표면에 분무입자들에 의해 색이 밝아져 나타난 결과라고 사료됨.

표 87. Aerosolized 아염소산수 처리 농도 및 시간에 따른 당근의 색도변화

Concentration and time(min)	Before treatment			After treatment			ΔE	Whiteness Index	
	L	a	b	L	a	b			
Control	5	53.1 ± 0.18dA	15.3 ± 0.23aA	27.8 ± 0.19aA	54.0 ± 0.17fB	15.2 ± 0.24aA	28.2 ± 0.15abA	1.07 ± 0.35bcde	43.35 ± 0.02e
	10	52.9 ± .011dA	15.3 ± 0.13aA	27.7 ± 0.14aA	53.9 ± 0.12defB	15.1 ± 0.21aA	27.8 ± 0.22aA	1.05 ± 0.28bcde	43.16 ± 0.19e
	30	52.8 ± 0.14cdA	15.3 ± 0.23aA	27.7 ± 0.13aA	53.6 ± 0.16dA	15.6 ± 0.16bB	28.3 ± 0.23bB	1.07 ± 0.22cde	43.09 ± 0.12e
23 ppm	5	53.7 ± 0.24eA	16.7 ± 0.10bA	29.7 ± 0.16dA	53.7 ± 0.11defA	16.2 ± 0.14cB	29.3 ± 0.13dA	0.64 ± 0.06abc	42.52 ± 0.20d
	10	53.9 ± 0.13eA	16.8 ± 0.21bA	29.8 ± 0.17dA	53.7 ± 0.17defA	16.3 ± 0.19cA	29.4 ± 0.20deA	0.62 ± 0.35abc	42.62 ± 0.12d
	30	53.8 ± 0.15eA	16.8 ± 0.15bA	29.9 ± 0.12dA	53.7 ± 0.16defA	16.3 ± 0.26cA	29.3 ± 0.14dB	0.78 ± 0.30abcd	42.49 ± 0.19d
34 ppm	5	53.8 ± 0.13eA	16.8 ± 0.19bA	29.7 ± 0.16dA	53.9 ± 0.19defA	16.4 ± 0.20cdA	29.4 ± 0.22defA	0.51 ± 0.29abc	42.57 ± 0.13d
	10	53.9 ± 0.19eA	16.8 ± 0.21bA	29.9 ± 0.10dA	54.0 ± 0.21efA	16.9 ± 0.11deA	29.5 ± 0.26defA	0.51 ± 0.18abc	42.48 ± 0.21d
	30	53.9 ± 0.24eA	16.9 ± 0.11bA	29.9 ± 0.23dA	54.0 ± 0.18efA	16.8 ± 0.13deA	29.8 ± 0.14fA	0.21 ± 0.23a	42.45 ± 0.17d
45 ppm	5	52.8 ± 0.17dA	17.3 ± 0.21cA	29.4 ± 0.10cA	53.1 ± 0.29cA	16.9 ± 0.12eA	29.8 ± 0.17efB	0.66 ± 0.08abcd	41.81 ± 0.12c
	10	52.4 ± 0.21bcA	16.9 ± 0.19bA	29.1 ± 0.16bcA	51.6 ± 0.11deB	16.4 ± 0.18cB	29.3 ± 0.23dA	1.31 ± 0.19e	41.73 ± 0.17bc
	30	52.1 ± 0.19abA	16.8 ± 0.15bA	29.9 ± 0.13dA	53.1 ± 0.15cB	16.5 ± 0.19cdA	29.3 ± 0.16dB	1.26 ± 0.21de	41.06 ± 0.05a
61 ppm	5	51.8 ± 0.21aA	16.7 ± 0.20bA	28.9 ± 0.11bA	51.9 ± 0.13bA	16.7 ± 0.25cdeA	28.2 ± 0.17bB	0.64 ± 0.27abcd	41.39 ± 0.19ab
	10	51.8 ± 0.11aA	16.7 ± 0.14bA	28.8 ± 0.23bA	49.9 ± 0.18aB	16.6 ± 0.15cdeA	28.4 ± 0.10bA	1.97 ± 0.28f	41.44 ± 0.20b
	30	51.9 ± 0.13aA	16.7 ± 0.21bA	28.8 ± 0.19bA	52.1 ± 0.15bA	16.7 ± 0.25cdeA	28.9 ± 0.15cA	0.23 ± 0.13ab	41.53 ± 0.20bc

Mean values with different lowercase letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

Mean values with different uppercase letters in the same row are significantly different ($p < 0.05$).

(나) 파프리카에 접종된 병원성 미생물에 대한 항균 효과

① *E. coli* O157:H7에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

㉞ 초록색 파프리카

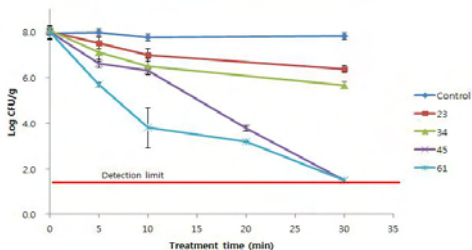


그림 272. 초록색 파프리카 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

초록색 파프리카 표면에 *E. coli* O157:H7를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 7.8-8.0 log를 나타내었으며, 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.5, 7.0, 6.4 log, 200 ppm은 처리시간에 따라 7.1, 6.5, 5.7 log로 나타났음. 300 ppm은 5, 10, 20분 처리하였을 때 6.6, 6.3, 3.8 log, 400 ppm은 5.7, 3.8, 3.2 log를 나타내었으며, 30분 처리한 실험구에서는 검출되지 않았음. aerosolized 아염소산수의 농도와 처리시간이 증가됨에 따라 감소율이 증가됨.

㉟ 노란색 파프리카

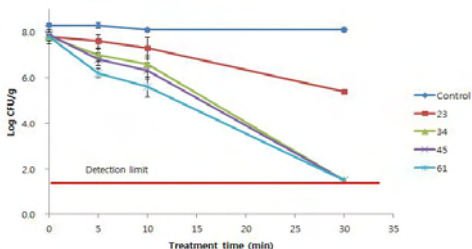


그림 273. 노란색 파프리카 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

노란색 파프리카 표면에 *E. coli* O157:H7를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 8.1-8.3 log를 나타내었으며, 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.6, 7.3, 5.4 log로 감소하였음. 200 ppm은 처리시간에 따라 7.0, 6.6 log를 나타내었으며, 30분 처리한 실험구에서는 검출되지 않았음. 300, 400 ppm의 아염소산수로 5, 10분 처리하였을 때 각각 6.8, 6.3 log, 6.2, 5.6 log를 나타내었으며, 30분 처리한 실험구에서는 검출되지 않아 aerosolized 아염소산수의 농도와 처리시간이 증가됨에 따라 감소율이 증가됨.

㉔ 빨간색 파프리카

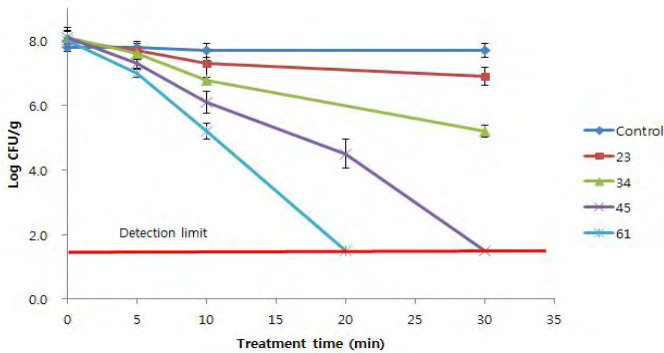


그림 274. 빨간색 파프리카 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대한 aerosolized 아염소산수의 평균 효과

빨간색 파프리카 표면에 *E. coli* O157:H7를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 7.7-7.8 log를 나타내었으며, 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.7, 7.3, 6.9 log, 200 ppm은 처리시간에 따라 7.6, 6.8, 5.2 log로 나타났고, 300, 400 ppm의 아염소산수로 5, 10분 처리하였을 때 각각 7.3, 6.1 log, 7.0, 5.2 log를 나타내었으며, 30분 처리한 실험구에서는 검출되지 않았고, 300 ppm 아염소산수로 20분 처리하였을 때 4.5 log를 나타내었음.

㉔ 주황색 파프리카

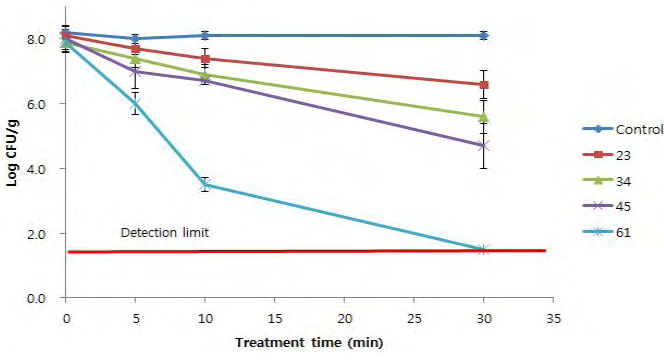


그림 275. 주황색 파프리카 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대한 aerosolized 아세트산수의 평균 효과

주황색 파프리카 표면에 *E. coli* O157:H7를 접종하여 아세트산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 8.0-8.2 log로 나타남. 100 ppm 아세트산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.7, 7.4, 6.6 log, 200 ppm은 7.4, 6.9, 5.6 log, 300 ppm은 7.0, 6.7, 4.7 log를 나타내었으며, 400 ppm의 아세트산수로 5, 10분 처리하였을 때 6.0, 3.5 log를 나타내었음. 30분 처리한 실험구에서는 검출되지 않아 처리 농도 및 시간이 증가할수록 감소됨을 확인함.

㉕ *L. monocytogenes*에 대한 aerosolized 아세트산수의 평균 효과

㉔ 초록색 파프리카

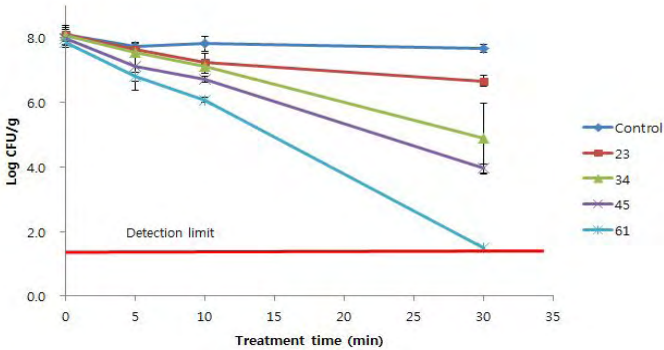


그림 276. 초록색 파프리카 표면에 접종된 *L. monocytogenes*에 대한 aerosolized 아세트산수의 평균 효과

초록색 파프리카 표면에 *L. monocytogenes*를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 7.7-8.1 log를 나타내었으며, 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.6, 7.3, 6.7 log, 200 ppm은 7.5, 7.1, 4.9 log, 300 ppm은 7.1, 6.7, 4.0 log로 나타남. 400 ppm은 5, 10분 처리하였을 때 6.8, 6.1 log를 나타내었으나, 30분 처리한 실험구에서는 검출되지 않았음.

㉠ 노란색 파프리카

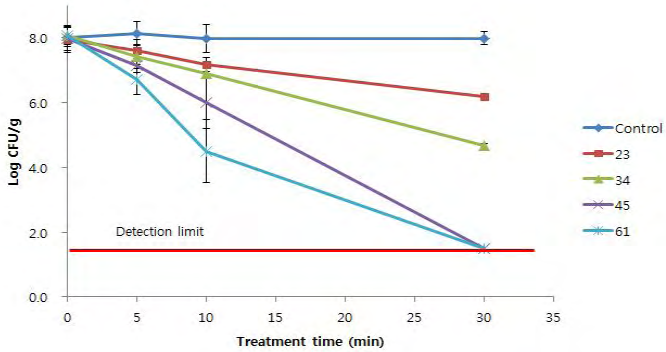


그림 277. 노란색 파프리카 표면에 접종된 *L. monocytogenes*에 대한 aerosolized 아염소산수의 평균 효과

노란색 파프리카 표면에 *L. monocytogenes*를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 8.0-8.1 log로 나타남. 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.6, 7.2, 6.2 log, 200 ppm은 7.4, 6.9, 4.7 log로 나타남. 아염소산수 300, 400 ppm으로 5, 10분 처리한 결과 각각 7.1, 6.0 log, 6.7, 4.5 log로 나타났으며, 30분 처리한 결과 검출되지 않아 초록색 파프리카와는 다른 결과를 나타내었음.

㉔ 빨간색 파프리카

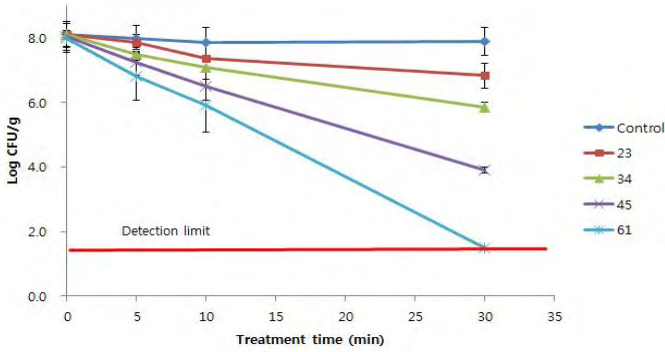


그림 278. 빨간색 파프리카 표면에 접종된 *L. monocytogenes*에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

빨간색 파프리카 표면에 *L. monocytogenes*를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 7.9-8.1 log로 나타남. 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.9, 7.4, 6.8 log, 200 ppm은 7.5, 7.1, 5.9 log, 300 ppm은 7.2, 6.5, 3.9 log로 나타남. 아염소산수 400 ppm으로 5, 10분 처리한 결과 각각 6.8, 5.9 log로 나타났으며, 30분 처리한 결과 검출되지 않아 초록색 파프리카와는 유사하나 노라색 파프리카와는 다른 결과를 나타내었음.

㉕ 주황색 파프리카

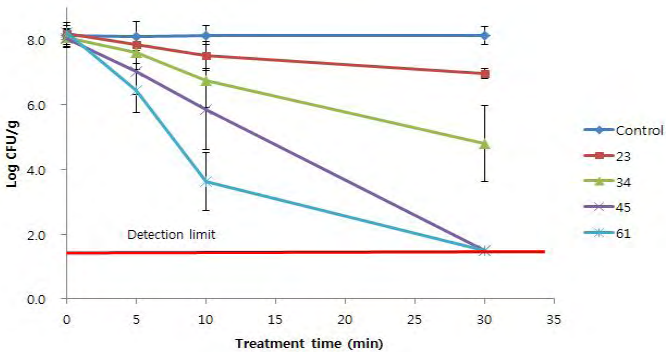


그림 279. 주황색 파프리카 표면에 접종된 *L. monocytogenes*에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

주황색 파프리카 표면에 *L. monocytogenes*를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리한 결과 처리하지 않은 대조구는 8.1 log로 나타남. 100 ppm 아염소산수를 aerosol 하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 7.8, 7.5, 7.0 log, 200 ppm은 7.6, 6.7, 4.8 log로 나타났으며, 300, 400 ppm으로 5, 10분간 처리하였을 때 각각 7.0, 5.8 log, 6.4, 3.6 log로 나타남. 아염소산수 300, 400 ppm으로 30분 처리한 결과 검출되지 않아 노란색 파프리카와 유사한 결과를 나타내었음.

③ Aerosolized 아염소산수의 처리에 따른 잔류농도

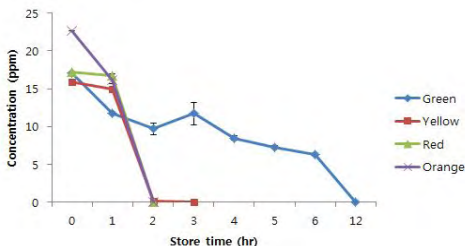


그림 280. Aerosolized 아염소산수의 처리에 따른 잔류농도 변화

일정크기의 파프리카에 400 ppm의 아염소산수를 30분간 분무처리하여 잔류농도를 측정 한 결과, 처리 직후 초록색은 17.1, 노란색은 15.9, 빨간색은 17.2 ppm이 검출되어 초록색과 빨간색 파프리카는 유사한 잔류농도를 나타내었고, 노란색 파프리카가 가장 낮게 나타났으며, 주황색이 22.6 ppm으로 가장 높게 검출되었음. 처리후 시간이 경과함에 따라 초록, 빨간, 주황색 파프리카의 경우 2시간 후에는 검출되지 않았으나, 초록색 파프리카는 처리후 6시간동안 약 6-11 ppm의 잔류농도가 확인되었고, 12시간이 지난 후에는 검출되지 않았음.

④ Aerosolized 아염소산수의 처리 농도 및 시간에 따른 색도변화

처리하지 않은 초록색 파프리카는 명도(L value)는 35-39, 적색도(a value)는 10-13, 황색도(b value)는 12-17, 노란색 파프리카는 명도(L value)는 55-62, 적색도(a value)는 -1--5, 황색도(b value)는 41-55, 빨간색 파프리카는 명도(L value)는 36-42, 적색도(a value)는 21-27, 황색도(b value)는 15-22, 주황색 파프리카는 명도(L value)는 44-52, 적색도(a value)는 13-20, 황색도(b value)는 32-43이었던음. 처리 후 모든 색의 파프리카에서 명도(L value)는 감소하였고, 적색도(a value)와 황색도(b value)는 증가하였음.

표 88. Aerosolized 아염소산수 처리 농도 및 시간에 따른 초록색 파프리카의 색도변화

Concentration and time(min)	Before treatment			After treatment			
	L	a	b	L	a	b	
23 ppm	0	39.1 ± 2.41	-12.7 ± 0.79	17.1 ± 2.01	39.1 ± 2.41	-12.7 ± 0.79	17.1 ± 2.01
	5	37.7 ± 2.31	-13.2 ± 2.06	16.2 ± 4.00	36.9 ± 2.36	-13.6 ± 1.06	16.6 ± 2.25
	10	36.6 ± 2.04	-11.9 ± 1.34	14.3 ± 2.44	34.2 ± 1.88	-12.0 ± 1.06	13.8 ± 1.59
	30	38.6 ± 1.92	-12.6 ± 1.49	15.5 ± 3.01	35.3 ± 1.41	-13.9 ± 1.26	17.4 ± 2.64
34 ppm	0	37.2 ± 0.97	-10.5 ± 1.46	11.9 ± 2.26	37.2 ± 0.97	-10.5 ± 1.46	11.9 ± 2.26
	5	38.3 ± 0.30	-11.9 ± 1.22	14.7 ± 2.03	35.6 ± 1.00	-13.1 ± 0.49	16.4 ± 0.74
	10	38.4 ± 1.80	-12.1 ± 1.87	14.9 ± 2.51	36.3 ± 1.43	-13.4 ± 2.00	16.9 ± 2.96
	30	37.5 ± 0.46	-10.9 ± 0.57	13.0 ± 1.40	34.7 ± 0.20	-12.9 ± 0.78	15.4 ± 1.39
45 ppm	0	39.4 ± 2.25	-11.7 ± 1.4	14.5 ± 2.17	39.4 ± 2.25	-11.7 ± 1.4	14.5 ± 2.17
	5	37.5 ± 1.78	-11.6 ± 0.60	14.0 ± 0.58	35.4 ± 1.34	-12.0 ± 0.29	14.6 ± 0.64
	10	38.1 ± 1.38	-12.2 ± 0.42	14.9 ± 0.99	36.2 ± 1.05	-13.4 ± 0.28	16.6 ± 0.50
	30	38.7 ± 2.27	-11.7 ± 0.71	14.3 ± 0.86	38.1 ± 2.42	-12.6 ± 1.09	15.4 ± 1.43
61 ppm	0	36.7 ± 1.54	-11.9 ± 0.63	14.2 ± 0.71	36.7 ± 1.54	-11.9 ± 0.63	14.2 ± 0.71
	5	37.7 ± 1.11	-11.5 ± 0.80	14.9 ± 1.54	35.8 ± 1.32	-12.9 ± 0.50	17.4 ± 1.97
	10	35.2 ± 2.42	-11.3 ± 0.21	13.1 ± 0.82	35.3 ± 1.48	-12.0 ± 0.67	14.1 ± 1.13
	30	35.5 ± 1.47	-11.9 ± 1.09	14.2 ± 1.38	35.7 ± 1.00	-12.6 ± 0.87	14.9 ± 1.53

표 89. Aerosolized 아염소산수 처리 농도 및 시간에 따른 노란색 파프리카의 색도변화

Concentration and time(min)	Before treatment			After treatment			
	L	a	b	L	a	b	
23 ppm	0	57.8 ± 2.77	-3.2 ± 1.43	46.8 ± 4.73	57.8 ± 2.77	-3.2 ± 1.43	46.8 ± 4.73
	5	55.9 ± 1.62	-2.1 ± 0.32	47.4 ± 0.46	54.6 ± 1.70	-2.7 ± 0.24	49.2 ± 2.47
	10	56.3 ± 0.32	-2.8 ± 0.29	45.5 ± 1.27	54.6 ± 0.58	-3.3 ± 0.63	47.5 ± 0.79
	30	58.7 ± 2.35	-1.0 ± 0.83	51.4 ± 4.11	58.8 ± 2.27	-1.3 ± 1.00	55.5 ± 4.6
34 ppm	0	58.4 ± 1.56	-1.7 ± 1.91	48.3 ± 4.28	58.4 ± 1.56	-1.7 ± 1.91	48.3 ± 4.28
	5	55.3 ± 0.67	-2.3 ± 0.74	45.0 ± 3.91	54.3 ± 0.67	-2.9 ± 1.09	47.5 ± 3.05
	10	60.0 ± 5.50	-1.2 ± 1.42	50.9 ± 4.15	58.5 ± 4.94	-1.8 ± 1.30	53.7 ± 5.98
	30	55.6 ± 0.66	-3.1 ± 0.51	43.7 ± 1.54	54.5 ± 0.84	-3.4 ± 0.80	46.1 ± 3.00
45 ppm	0	61.9 ± 2.62	-1.9 ± 1.19	54.9 ± 4.43	61.9 ± 2.62	-1.9 ± 1.19	54.9 ± 4.43
	5	54.7 ± 1.68	-3.7 ± 0.38	41.3 ± 2.92	53.6 ± 1.32	-4.4 ± 0.25	44.9 ± 2.04
	10	56.1 ± 0.91	-4.7 ± 1.06	42.5 ± 0.78	55.0 ± 1.07	-5.3 ± 0.78	45.1 ± 0.31
	30	55.2 ± 1.42	-3.7 ± 0.34	42.5 ± 1.24	53.8 ± 1.08	-4.4 ± 0.19	43.9 ± 1.60
61 ppm	0	61.7 ± 5.49	-2.2 ± 0.46	55.0 ± 8.77	61.7 ± 5.49	-2.2 ± 0.46	55.0 ± 8.77
	5	61.7 ± 4.35	-2.0 ± 2.25	54.6 ± 6.72	61.4 ± 4.91	-2.6 ± 2.10	56.3 ± 8.67
	10	55.6 ± 0.54	-4.4 ± 0.47	42.7 ± 1.24	54.4 ± 0.85	-5.0 ± 0.44	44.5 ± 1.59
	30	61.5 ± 3.45	-4.0 ± 1.57	54.3 ± 7.75	60.4 ± 3.26	-4.3 ± 1.33	55.7 ± 7.15

표 90. Aerosolized 아염소산수 처리 농도 및 시간에 따른 빨간색 과프리카의 색도변화

Concentration and time(min)	Before treatment			After treatment			
	L	a	b	L	a	b	
23 ppm	0	36.4 ± 0.58	22.6 ± 1.08	15.9 ± 0.47	36.4 ± 0.58	22.6 ± 1.08	15.9 ± 0.47
	5	36.3 ± 0.70	25.1 ± 1.46	17.1 ± 0.49	34.4 ± 0.41	26.8 ± 1.62	19.6 ± 0.87
	10	36.6 ± 2.26	27.1 ± 2.35	18.6 ± 1.42	36.3 ± 3.36	28.6 ± 2.99	21.1 ± 1.62
	30	36.5 ± 0.19	27.4 ± 1.94	18.7 ± 1.57	35.2 ± 1.08	29.0 ± 2.21	21.5 ± 1.62
34 ppm	0	37.5 ± 0.37	21.2 ± 1.18	14.5 ± 0.88	37.5 ± 0.37	21.2 ± 1.18	14.5 ± 0.88
	5	37.6 ± 0.53	22.3 ± 0.52	16.4 ± 0.40	35.2 ± 0.47	23.2 ± 1.66	18.1 ± 1.13
	10	41.6 ± 1.58	26.6 ± 4.65	21.7 ± 3.25	39.7 ± 1.47	27.4 ± 3.95	23.4 ± 2.31
	30	38.5 ± 1.10	24.7 ± 1.86	17.6 ± 0.82	36.3 ± 0.19	26.2 ± 1.15	20.2 ± 0.57
45 ppm	0	38.1 ± 0.80	23.4 ± 1.33	16.7 ± 0.87	38.1 ± 0.80	23.4 ± 1.33	16.7 ± 0.87
	5	39.7 ± 3.23	28.3 ± 4.01	20.7 ± 2.61	36.4 ± 3.21	29.1 ± 4.84	22.9 ± 3.98
	10	37.4 ± 0.73	24.0 ± 3.29	17.8 ± 20.1	35.5 ± 0.63	25.1 ± 3.56	19.9 ± 1.75
	30	35.3 ± 0.48	21.5 ± 0.46	14.7 ± 0.53	34.9 ± 1.54	24.2 ± 2.03	17.1 ± 0.41
61 ppm	0	38.9 ± 3.17	29.6 ± 4.21	21.4 ± 2.41	38.9 ± 3.17	29.6 ± 4.21	21.4 ± 2.41
	5	37.6 ± 2.59	22.8 ± 0.98	16.1 ± 0.75	34.7 ± 0.97	23.9 ± 1.53	17.7 ± 1.21
	10	37.0 ± 0.87	22.3 ± 0.70	15.3 ± 0.73	34.6 ± 1.12	27.0 ± 1.72	19.1 ± 1.06
	30	37.2 ± 0.57	24.2 ± 1.11	15.3 ± 0.64	35.0 ± 1.55	22.0 ± 3.69	16.8 ± 3.08

표 91. Aerosolized 아염소산수 처리 농도 및 시간에 따른 주황색 파프리카의 색도변화

Concentration and time(min)	Before treatment			After treatment			
	L	a	b	L	a	b	
23 ppm	0	44.4 ± 0.06	14.3 ± 0.06	34.0 ± 0.09	44.4 ± 0.06	14.3 ± 0.06	34.0 ± 0.09
	5	49.3 ± 1.88	17.2 ± 1.19	38.5 ± 2.94	48.1 ± 1.95	17.2 ± 1.43	41.2 ± 3.05
	10	51.3 ± 2.79	19.3 ± 2.44	42.7 ± 5.58	49.9 ± 3.03	19.1 ± 2.25	45.3 ± 5.21
	30	49.5 ± 1.22	17.5 ± 1.10	39.1 ± 2.89	48.8 ± 1.03	17.2 ± 1.31	41.4 ± 3.68
34 ppm	0	44.4 ± 0.06	14.3 ± 0.06	34.0 ± 0.09	44.4 ± 0.06	14.3 ± 0.06	34.0 ± 0.09
	5	50.4 ± 1.42	15.6 ± 0.44	37.4 ± 0.86	49.1 ± 0.71	15.8 ± 0.77	40.8 ± 0.92
	10	49.6 ± 0.92	17.0 ± 1.26	34.3 ± 1.77	47.5 ± 1.09	17.4 ± 1.16	38.8 ± 1.65
	30	48.2 ± 0.49	13.7 ± 0.65	33.6 ± 0.53	46.6 ± 0.19	13.8 ± 0.83	37.7 ± 1.54
45 ppm	0	44.4 ± 0.06	14.3 ± 0.06	34.0 ± 0.09	44.4 ± 0.06	14.3 ± 0.06	34.0 ± 0.09
	5	51.3 ± 4.42	17.6 ± 5.15	37.2 ± 8.26	49.2 ± 2.99	17.7 ± 4.95	40.1 ± 7.59
	10	50.9 ± 2.20	18.8 ± 0.86	36.6 ± 2.26	49.0 ± 2.76	19.3 ± 1.83	42.7 ± 4.97
	30	46.8 ± 3.50	14.8 ± 0.97	32.4 ± 0.94	45.3 ± 0.70	14.6 ± 0.92	35.2 ± 1.26
61 ppm	0	44.4 ± 0.06	14.3 ± 0.06	34.0 ± 0.09	44.4 ± 0.06	14.3 ± 0.06	34.0 ± 0.09
	5	49.7 ± 0.56	18.4 ± 1.21	36.4 ± 2.53	48.2 ± 0.78	18.0 ± 1.06	40.6 ± 1.98
	10	48.8 ± 0.76	18.7 ± 1.08	35.4 ± 1.44	46.9 ± 1.28	18.0 ± 1.66	38.6 ± 3.00
	30	51.0 ± 2.40	18.7 ± 1.68	37.1 ± 3.82	47.0 ± 0.47	15.8 ± 1.33	34.9 ± 2.57

(다) 감귤에 접종된 병원성 미생물에 대한 항균 효과

① *E. coli* O157:H7에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

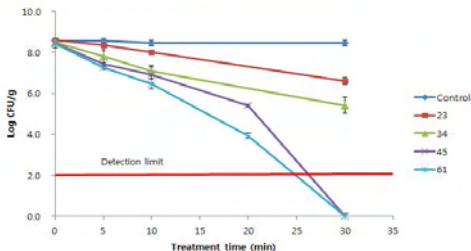


그림 281. 감귤 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대한 아염소산수의 항균효과

감귤 표면에 *E. coli* O157:H7를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리하여 살균력을 확인한 결과 처리하지 않은 대조구는 8.6 log를 나타내었음. 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 8.3, 8.0, 6.6 log, 200 ppm은 7.8, 7.1, 5.4 log로 나타났으며, 300, 400 ppm은 5, 10, 20분 처리하였을 때 각각 7.4, 6.9, 5.4 log, 7.2, 6.5, 3.9 log를 나타내었음. 300, 400 ppm에서 30분처리한 실험구에서는 검출되지 않았으며, 100, 200 ppm의 아염소산수에서 30분 처리한 결과 1 log 이상의 감균 효과를 나타내었음.

② *S. Typhimurium*에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균 효과

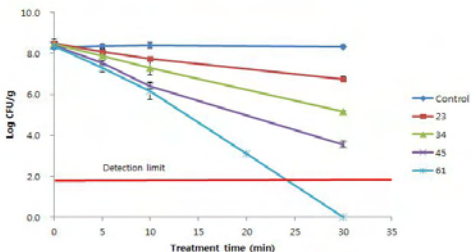


그림 282. 감귤 표면에 접종된 *S. Typhimurium*에 대한 아염소산수의 항균효과

감귤 표면에 *S. Typhimurium*를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리하여 살균력을 확인한 결과 처리하지 않은 대조구는 8.3 log를 나타내었음. 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 8.1, 7.7, 6.7 log, 200 ppm은 7.9, 7.3, 5.2 log로 나타났으며, 300 ppm은 7.5, 6.4, 3.6 log,, 400 ppm은 5, 10, 20분 처리한 결과 7.3, 6.2, 3.1 log를 나타내었음. 100, 200 ppm의 아염소산수에서 30분 처리한 결과 1 log 이상의 감귤 효과를 나타내었으며, 300, 400 ppm의 아염소산수에서 30분, 20분 처리한 경우 4 log 이상 감소하여 높은 살균력을 나타내었음.

③ *L. monocytogenes*에 대한 aerosolized 아염소산수의 항균효과

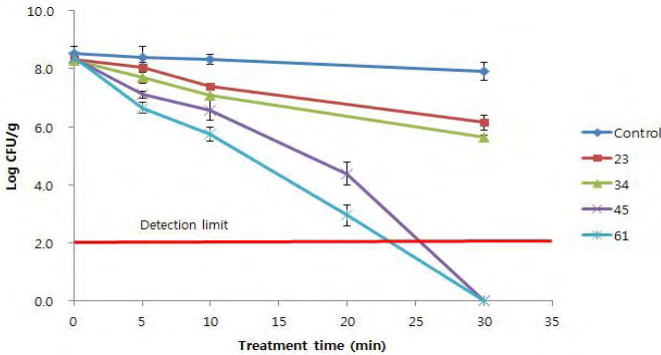


그림 283. 감귤 표면에 접종된 *L. monocytogenes*에 대한 아염소산수의 항균효과

감귤 표면에 *L. monocytogenes*를 접종하여 아염소산수 농도 및 시간별로 처리하여 살균력을 확인한 결과 처리하지 않은 대조구는 8.5 log를 나타내어 *E. coli* O157:H7와 유사하였음. 100 ppm 아염소산수를 aerosol하여 5, 10, 30분간 처리하였을 때 8.0, 7.4, 6.2 log, 200 ppm은 7.7, 7.1, 5.6 log를 나타내었음. 300 ppm은 5, 10분간 처리하였을 때 7.1, 6.6 log,, 400 ppm은 6.6, 5.8 log를 나타내었으며 30 min 처리한 결과 검출되지 않았고 20분 처리한 결과 4.4, 2.9 log를 나타내어 각각 4.0, 5.5 log의 감소를 나타내었음.

④ Aerosolized 아염소산수 처리후 저장기간에 따른 미생물 변화

㉔ *E. coli* O157:H7

표 92. Aerosolized 아염소산수 처리 후 저장 기간에 따른 *E. coli* O157:H7의 변화

day ppm	0	1	3	5	7
control	6.8	6.6	6.7	6.1	6
100	5.9	ND	ND	ND	2.1
200	4.8	ND	ND	ND	ND
300	4.5	ND	ND	ND	ND
400	4.0	ND	ND	ND	ND

표면에 *E. coli* O157:H7를 접종하여 각 농도의 아염소산수로 30분간 처리후 10 ℃에서 저장하며 미생물의 변화를 확인결과 처리 직후 각각 5.9, 4.8, 4.5, 4.0 log를 나타내었으나, 1일이 경과된 후 검출되지 않았음. 100 ppm의 아염소산수로 처리한 실험구에서 7일이 경과된 후에 2.1 log로 나타났으며, 다른 농도에는 7일 경과 후에도 검출되지 않았음.

㉕ *S. Typhimurium*

표 93. Aerosolized 아염소산수 처리 후 저장 기간에 따른 *S. Typhimurium*의 변화

day ppm	0	1	3	5	7
control	6.9	6.4	6.2	6.3	6.4
100	6.4	4.1	4.8	5	3
200	4.3	ND	ND	ND	ND
300	2.3	ND	ND	ND	ND
400	ND	ND	ND	ND	ND

표면에 *S. Typhimurium*를 접종하여 각 농도의 아염소산수로 30분간 처리후 10 ℃에서 저장하며 미생물의 변화를 확인결과 처리 직후 각각 6.4, 4.3, 2.3 log를 나타내었으며, 400 ppm으로 처리한 실험구에서는 검출되지 않았음. 100 ppm으로 처리한 실험구에서만 저장기간(1, 3, 5, 7 day)따라 4.1, 4.8, 5.0, 3.0 log를 나타내었으며, 다른 농도의 실험구에서는 검출되지 않았음.

㉔ *L. monocytogenes*

표 94. Aerosolized 아염소산수 처리 후 저장 기간에 따른 *L. monocytogenes*의 변화

day ppm	0	1	3	5	7
control	7.2	6.9	6.8	6.3	6.6
100	7	ND	ND	ND	1.9
200	5	ND	ND	ND	ND
300	ND	ND	ND	ND	ND
400	ND	ND	ND	ND	ND

표편에 *L. monocytogenes*를 접종하여 각 농도의 아염소산수로 30분간 처리후 10 ℃에서 저장하며 미생물의 변화를 확인결과 처리 직후 100, 200 ppm으로 처리한 실험구에서 7.0, 5.0 log를 나타내었고, 300, 400 ppm으로 처리한 실험구에서는 검출되지 않았음. 1일이 경과된 후 모든 실험구에서 검출되지 않았으며, 100 ppm의 아염소산수로 처리한 실험구에서 7일이 경과된 후에 1.9 log를 나타내었고, 다른 농도에는 7일 경과 후에도 검출되지 않아 *E. coli* O157:H7와 유사한 결과를 나타내었음.

㉕ Aerosolized 아염소산수의 처리 농도 및 시간에 따른 잔류농도

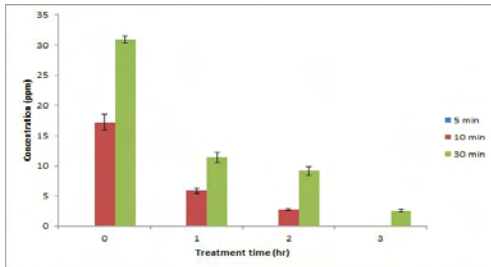


그림 284. Aerosolized 아염소산수의 처리 농도 및 시간에 따른 잔류농도

일정크기의 감귤을 선별하여 400 ppm의 아염소산수를 분무하여 각 시간별(5, 10, 30 min) 처리하여 잔류농도를 측정된 결과, 처리 직후 10, 30분 처리하였을 때 17.2, 30.9 ppm으로 나타났으며, 5분 처리한 실험구에서는 검출되지 않았음. 10분 처리한 실험구의 경우 1시간 경과되었을 때 5.85 ppm으로 감소하였으며, 2시간 경과 후에 2.74 ppm, 3시간 경과 후에는 검출되지 않았음. 30분 처리한 실험구는 시간이 경과됨에 따라 11.39, 9.13, 2.55 ppm으로 감소하였고, 4시간 경과 후에는 검출되지 않았음.

⑥ Aerosolized 아염소산수 처리 후 저장 기간에 따른 중량 변화

표 95. Aerosolized 아염소산수 처리 후 저장 기간에 따른 감귤의 중량 변화

(단위 : g)

ppm day	before					after				
	0	100	200	300	400	0	100	200	300	400
1	50.6 ±	60.7 ±	63.6 ±	66.1 ±	59.1 ±	50.9 ±	60.6 ±	53.6 ±	66.1 ±	58.8 ±
	4.54	0.54	5.40	1.32	5.76	4.35	0.38	5.03	1.29	5.76
3	45.7 ±	67.8 ±	62.8 ±	65.1 ±	62.2 ±	45.6 ±	67.4 ±	62.8 ±	65.1 ±	62.0 ±
	5.03	2.68	7.50	4.05	4.74	5.03	2.20	7.52	4.05	4.80
5	48.2 ±	63.4 ±	55.1 ±	60.5 ±	63.0 ±	48.1 ±	62.7 ±	55.1 ±	59.8 ±	62.5 ±
	2.40	6.36	0.59	6.88	6.25	2.39	5.98	0.61	5.98	6.36
7	50.1 ±	67.0 ±	64.1 ±	63.8 ±	63.5 ±	50.8 ±	67.1 ±	64.0 ±	63.7 ±	63.3 ±
	8.92	2.20	6.55	0.62	3.88	7.74	2.29	6.25	0.65	3.75

일정크기의 감귤을 각 농도의 아염소산수로 30분간 처리후 10 °C에서 저장하며 중량의 변화를 확인한 결과 저장 기간이 길어질수록 다소 감소하는 경향을 나타내었으나, 모든 처리농도에서 대조구와의 차이는 확인되지 않았음.

⑦ Aerosolized 아염소산수 처리 후 저장 기간에 따른 색도 변화

표 96. Aerosolized 아염소산수 처리 후 저장 기간에 따른 감귤의 색도 변화

Color value	Treatments	Storage time(day)				
		0	1	3	5	7
L*	Control	67.44 ± 0.07	67.76 ± 0.04	67.69 ± 0.05	67.43 ± 0.04	67.48 ± 0.02
	400 ppm, 60 min	66.52 ± 0.07	67.14 ± 0.09	66.87 ± 0.13	67.07 ± 0.03	66.76 ± 0.06
a*	Control	27.04 ± 0.02	26.24 ± 0.01	25.54 ± 0.07	25.11 ± 0.00	24.93 ± 0.04
	400 ppm, 60 min	26.10 ± 0.06	24.30 ± 0.07	23.80 ± 0.14	23.92 ± 0.06	23.52 ± 0.06
b*	Control	56.71 ± 0.05	57.18 ± 0.09	58.18 ± 0.03	60.30 ± 0.34	62.34 ± 0.20
	400 ppm, 60 min	57.33 ± 0.06	60.10 ± 0.04	61.46 ± 0.05	62.32 ± 0.09	61.68 ± 0.07

일정크기의 감귤을 400 ppm의 아염소산수로 60분간 처리후 10 ℃에서 저장하며 색도의 변화를 확인결과 저장 기간이 경과됨에 따라 명도(L value)와 황색도(b value)는 다소 높아졌으며, 적색도(a value) 감소됨을 확인하였으나 대조구와 유사한 결과로 아염소산수의 처리에 따른 영향을 없는 것으로 판단됨.

⑧ 현장적용 테스트



그림 285. 현장적용을 위한 간이 살균 시스템



그림 286. 현장적용을 위한 창고형 살균 시스템

나노입자 분무 살균 시스템은 개별 제품에 대한 살균 처리뿐만 아니라 저장창고등 넓은 공간의 제품을 대량으로 처리하여 높은 살균효과를 나타낼 수 있는 장점이 있음. 본 연구팀은 살균 장치 개발 업체인 푸르고팜과 연구결과에 대한 기술이전을 추진중이며, 이후 긴밀한 연계를 통하여 비가열 살균 시스템의 현장적용 및 산업화를 추진할 예정이다.

4. 결론

- Acid의 종류와 농도에 따른 아염소산수 생성농도와 순도를 확인한 결과 아염소산수의 생성 효율은 유기산 중 phosphoric acid 8%와 NaClO₂ 8%를 반응시켰을때 생성 효율이 가장 좋았고, 아염소산수의 순도는 산의 종류 및 농도와 관계없이 96-98% 사이로 나타나 산의 종류 및 농도와 아염소산수 순도 사이에는 상관관계가 없는 것으로 판단됨.
- 아염소산수를 농도별(100, 200, 300, 400 ppm)로 제조하여 jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer로 분무하여 가스농도측정기로 시간별 농도를 측정된 결과 jet nebulizer는 5-15분 사이에 가장 높은 농도를 나타내었으며, ultrasonic nebulizer는 60-80분 사이에 가장 높은 농도를 나타내었다. 각 농도별로 jet nebulizer는 3, 5, 7, 9 ppm을 나타내었고, ultrasonic nebulizer는 9, 21, 34, 44 ppm을 나타내었다. Jet Nebulizer의 입자크기는 20-50 μ m로 ultrasonic nebulizer는 0.5-13 μ m로 확인되었고, 분무 전·후의 pH는 다소 감소하였음.
- Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 살균력 차이 확인을 위해 골과 피망의 표면에 *Salmonella* Typhimurium을 접종하여 아염소산수를 분무하여 처리한 결과 Jet nebulizer보다 ultrasonic nebulizer의 살균력이 뛰어난 것으로 나타남.
- 식용 가능한 소재를 이용한 제형별 나노 입자의 크기를 측정된 결과 cellulose, gelatin, lecithin, pectin 의 모든 소재에서 대상 천연 항균제인 자몽 종자의 경우 나노 입자 지름 크기가 200 nm 이하, 고추냉이 300 nm 이하, 도인 200 nm 이하, 발효더덕 200 nm 이하의 크기로 제조된 것을 확인할 수 있었으며, 전자 현미경 (EF-TEM) 측정을 통하여 모든 나노 입자의 형태가 구형의 형태로 제조된 것을 확인해 본 연구를 통해 제안된 입자화 공정이 활용성이 높은 것으로 평가됨.
- 제조된 나노 입자들의 안정성을 평가를 위해 ζ -potential 을 측정된 결과 천연 항균제에 관계없이 전체 pH범위에서 높은 전위차를 나타내 상당히 안정성을 유지하는 것이 확인되었다. 단지 높은 염기성의 경우 안정성이 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 이 수용액에 최소 농도의 안정제를 첨가하면 이 경우도 나노 입자의 안정성을 증진시킬 수 있을 것으로 사료됨.
- 제조된 천연 추출물 나노입자의 항균 활성을 측정된 결과 자몽 종자와 고추냉이를 이용한 천연 나노 항균제의 항균 활성이 높게 나타나, 식용 가능한 천연 나노 항균제를 식품에 직접 적용이 가능하며, 화학적 항균제를 대신하여 보다 안전하고 뛰어난 항균 증진이 가능할 것으로 사료되며, 나노 입자 형태로 제조된 천연 항균제의 관능적 평가 결과 그 고유의 천연 활성을 포함할 뿐 아니라 식품에서 가장 중요한 맛과 향에 영향을 주지 않아 식품의 천연 항균제로써 상용이 가능할 것으로 사료됨.
- 나노 입자의 미생물 사멸 기작을 알아보기 위해 *Salmonella* Typhimurium에 고추냉이 나노입자를 첨가 후 배양시간 6시간 후부터 나노 입자가 미생물에 침착하여 세포

벽에 붙은 후 침투되어 균이 사멸되는 과정을 확인하였음. 이는 200 nm 이하의 나노 입자들이 미생물 세포벽에 효율적으로 흡착되어 잔류성을 유지하며 지속적으로 세포벽을 파괴하며 효율적으로 세포 내에 침투되는 것을 입증하였으며 이로 인해 항균 활성이 증진되는 것으로 예측됨.

- 천연 항균 나노 입자화 연구 결과들은 넓은 spectrum의 식중독균들에 대해 기존의 천연 항균제들을 직접 식품에 적용시 현재 가장 문제가 되는 고농도 사용, 잔류성, 식용 사용 입자 소재 선택에 따른 봉입 효율 저하, 냄새 등의 문제점들의 해결이 가능할 것이라는 결론을 도출했다. 또한 이 나노 입자의 항균 작용 원리나 기작에 관한 기초 결과를 얻어 다양한 분야에 활용이 가능할 것으로 예측되며, 특히 본 연구의 협동 과제인 분무 살균 연구에 이 나노 입자를 직접 적용이 가능할 것으로 예상된다.
- 비가열 살균기술로 나노입자 분무공정을 현장 적용하기위해 천연 추출물과 산성화 아염소산수를 ultrasonic nebulizer로 분무처리하여 살균력을 확인한 결과, ultrasonic nebulizer를 이용하여 당근, 파프리카, 감귤 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*에 대해 최대 400 ppm의 산성화 아염소산수를 분무하여 30분 처리하였을 때 실험 균주 전체에서 2-3 log 이상의 살균효과를 확인할 수 있었으며, 신선편이 식품에서 외관적 품질 지표로 중요한 탈색 및 백화 현상과 같은 색의 변화는 나타나지 않았음.

제 4 절 미산성 저농도 전해수의 살균 효능

1. 연구 내용

가. 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석 (*in vitro* 및 식품)

- (1) 위해미생물의 저감화를 위한 물리적 전처리 조건 확립 검토
- (2) 신규 살균 첨가물로서 등재를 위한 식품공전시험법 규명
- (3) 국내외 자료 분석을 이용한 미산성 전해수 처리가 요구되는 식품 선정
- (4) 식품의 종류별 최적 조건의 저농도 전해수 처리에 의한 저감화 분석

나. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 대상 식품의 품질 변화 및 선도 유지 분석

- (1) 식품 가공 공정 중 미생물 오염 현황 분석
- (2) 식품 가공 공정 중 미산성 전해수 처리에 의한 위해미생물 제어기술 확보
- (3) 미산성 저농도 전해수 처리한 식품의 저장 중 미생물학적, 이화학적 품질 변화 분석

다. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발

- (1) 물리적(초음파) 및 화학적(미산성 저농도 전해수) 살균 처리 조건 및 병용처리 살균소독력 평가
- (2) 병용처리(초음파/미산성 저농도 전해수)한 생식제품 원료의 저장 중 미생물학적·이화학적 품질 변화 분석
- (3) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 저장 온도별 미생물 생육 변화
- (4) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 위해미생물 생육 예측 모델 개발

라. Aqueous ClO₂ treatment를 위한 신선편이식품 선정, 시료제조 및 처리조건 확립

- (1) 신선편이식품의 위해정보 입수 및 분석
- (2) Aqueous ClO₂ 최적 처리 조건 수립
- (3) Aqueous ClO₂ 처리를 위한 고품질화 기초 연구
- (4) Aqueous ClO₂ 처리를 적용한 다양한 신선편이식품의 미생물 생육 변화 및 품질 변화 분석
- (5) 신선편이식품의 미생물 저감화를 위한 aqueous ClO₂ 세척과 전자빔 조사 등 combined nonthermal treatment 조건의 확립
- (6) 신선편이식품 제조 시, 품질 저하 가능한 공정 모니터링 및 분석

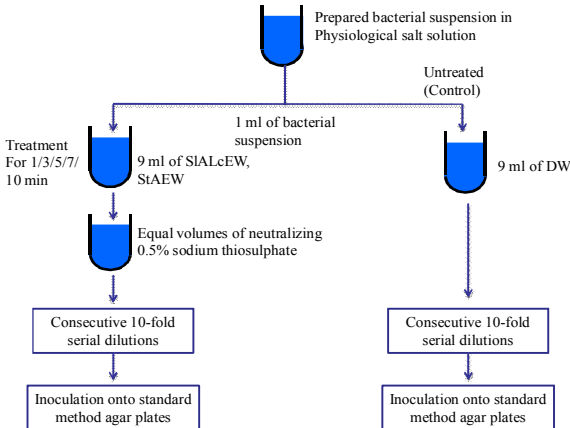
2. 연구 방법

가. 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석 (*in vitro* 및 식품)

(1) 위해미생물의 저감화를 위한 물리적 전처리 조건 확립 검토

① 사용 균주 & 배양

실험에 사용된 *L. monocytogenes* ATCC 19115, *L. monocytogenes* ScottA, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *E. coli* O157:H7 ATCC 43894, *E. coli* KCCM 21052, *S. aureus* KCCM 40050는 국립보건원(Korea National Institute of Health)에서 분양받아 사용되었으며 tryptic soy broth(TSB, DIFCO)를 사용하여 35 °C에서 24시간 배양한 후 원심분리(3,000g, 10min)하여 멸균된 0.1% 펩톤수로 2회 세척한 후 0.1% peptone water로 현탁하여 TSA에 0.1 mL 접종하여 도말 후 35 °C, 24시간 배양 후 계수한 뒤 최종농도를 10^9 CFU/mL로 만들어 실험에 사용하였음.



Layout of the experiment – in vitro

② 전해수용액 제조

미산성전해수(Slightly acidic low concentration electrolyzed water; SIALcEW)는 무격막시스템 미산성전해수제조기를 이용하여 1.15 A의 전류를 흘려 미산성전해수를 제조하였고, 강산성전해수 (Strong acidic electrolyzed water; SAEW)는 EO generator (A2-1000, Korean E&S Fist Inc, Seoul, Korea)를 이용하여 12 A의 전류를 흘려 강산성전해수를 제조하여 실험에 사용함. pH, ORP, ACC는 실험 사용직전에 측정하였는데, pH와 ORP는 dual-scale pH meter (Accument model 15, fisher Scientific Co., Fair Lawn, N.J.)를 이용하여 측정한 결과 미산성전해수(SIALcEW)는 pH 6.0-6.2, ORP 740-760 mV의 수치를 보였고, 강산성전해수(SAEW)는 pH 2.54, ORP 1100-1120 mV의

수치를 보임. 유효염소농도(available chlorine concentration; ACC)는 digital chlorine test kit (RC-3F, Kasahara Chemical Instruments. Corp., Saitama, Japan)를 이용하여 측정하였고, 측정 결과 미산성전해수는 5 mg/L (>95% HOCl), 강산성전해수는 50 mg/L (>95% Cl₂)의 염소농도를 함유함.

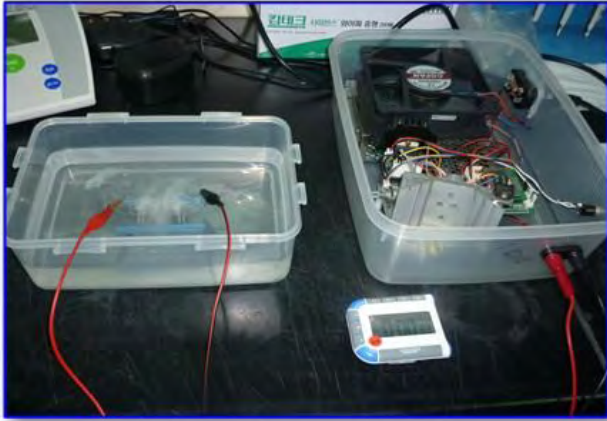


그림 287. 미산성전해수 생성 PCB system

③ 전류량 변화에 따른 미산성전해수의 특성 변화, 안전성 및 저감효과 확인

㉞ 안정성 테스트

1.15-1.17 A의 전류를 흘려 미산성전해수를 제조하여 저장기간에 따른 유효염소농도 (ACC)의 변화를 측정할 결과 제조 10분 후에는 유효염소농도가 4 mg/L로 떨어져 안정한 미산성제조를 위해 전류량을 1.45 A로 높여 제조하여 유효염소농도(ACC)를 측정함.

㉟ 특성변화

전류량을 0.298-0.300 A, 0.435-0.437 A, 1.15-1.17 A, 1.45-1.46 A로 함에 따른 유효 염소농도(ACC) 생성변화는 digital chlorine test kit (RC-3F, Kasahara Chemical Instruments. Corp., Saitama, Japan)를 이용하여 측정하였고, pH와 ORP(mV)는 dual-scale pH meter (Accument model 15, fisher Scientific Co., Fair Lawn, N.J.)를 이용하여 각각 측정함.

㊱ 저감효과 확인

전류량에 변화를 주어 미산성전해수를 제조하여 *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 ATCC 43894 균주에 대해 *in vitro* 실험 실시함.

④ 전류량/electrode 에 따른 저감효과

PCB 전극의 개수를 1, 2, 3, 5, 9개로 제작하여 미산성전해수를 제조함. 유효염소농도 (ACC) 5 ppm으로 만들기 위해 PCB 전극의 개수에 따른 전기분해시간을 실험을 통해 도출함. 이를 *E. coli* O157:H7 ATCC 43894 균주에 대해 *in vitro* 실험을 통해 PCB 전극 개수에 따른 저감효과를 확인함.

(2) 신규 살균 첨가물로서 등제를 위한 식품공전시험법 규명

① 시험균 현탁액, 세균 현탁액 제조

시험균 현탁액은 희석액(Tryptone 1 g, NaCl 8.5 g in distilled water 1L)을 넣은 멸균용기에 활성 배양된 시험균 배양액을 접종하여 잘 희석한 후 $1.5 \times 10^8 - 5.0 \times 10^8$ CFU/mL가 되도록 접종하여 20 ± 1 °C 항온수조에서 2시간 방치함. 세균현탁액은 시험균 현탁액을 희석하여 생균수가 $6.0 \times 10^2 - 3.0 \times 10^3$ CFU/mL가 되도록 제조함.

② 살균소독력 시험

시험 중 모든 시약, 시험균, 시험액은 항온수조에서 20 ± 1 °C로 유지하였으며, 식품공전의 시험법을 준용함. 간섭물질(알부민 3 g/L) 1 mL를 멸균시험관에 넣고 시험균 현탁액 1 mL를 첨가하여 혼합하여 20 ± 1 °C에서 2 min \pm 10 s 동안 방치한 후 8 mL의 시험용액을 첨가하여 20 ± 1 °C에서 5 min \pm 10 s 동안 반응시킴. 이 액 1 mL을 중화제 8 mL와 물 1 mL가 들어있는 멸균시험관에 첨가하고 20 ± 1 °C에서 5 min \pm 10 s 동안 중화시킴. 이 중화반응혼합액 1 mL씩을 2 개의 페트리접시에 각각 넣고 TSA를 분주하여 잘 섞은 후 36 ± 1 °C에서 24시간 배양하여 발생한 집락수로부터 살균소독력을 계산함.

③ 시험조건 검증시험

간섭물질(알부민 3 g/L) 1 mL를 멸균시험관에 넣고 세균현탁액 1 mL를 첨가하여 혼합하여 20 ± 1 °C에서 2 min \pm 10 s 동안 방치한 후 8 mL의 경수(용액 A 3 mL + 용액 B 8 mL/L 제조 후 0.45 μ m membrane filter로 여과 멸균하여 사용; 용액 A MgCl₂ 19.84 g+CaCl₂ 46.24 g/L, 용액 B NaHCO₃ 35.02 g/L)를 첨가하여 20 ± 1 °C에서 5 min \pm 10 s 동안 반응시킴. 이 액 1 mL씩을 2개의 페트리접시에 각각 넣고 TSA를 분주하여 잘 섞은 후 36 ± 1 °C에서 24시간 배양함. 이때 계수된 집락의 수가 세균현탁액의 0.05배수 미만일 경우 재 실험함.

④ 중화제독성 검증시험

멸균시험관에 8 mL의 중화제, 물 1 mL, 세균현탁액 1 mL를 첨가하여 혼합한 후 20 ± 1 °C에서 2 min \pm 10 s 동안 유지함. 이 액 1 mL씩을 2개의 페트리접시에 각각 넣고 TSA를 분주하여 잘 섞은 후 36 ± 1 °C에서 24시간 배양함. 이때 계수된 집락의 수가 세균현탁액이 0.05배수 미만일 경우 다른 중화제를 사용함.

⑤ 희석중화검증시험

멸균시험관에 간섭물질 1 mL와 희석액 1 mL 및 시험용액 8 mL를 첨가 혼합한 후 20 ± 1 °C에서 5 min \pm 10 s간 유지함. 이 액 1 mL를 중화제 8 mL가 담긴 멸균시험관에 옮기고 20 ± 1 °C에서 5 min \pm 10 s 동안 방치하고 세균현탁액 1 mL씩을 2개의 페

트리집시에 각각 넣고 TSA를 분주하여 잘 섞은 후 36 ± 1 °C에서 24시간 배양함. 이때 계수된 집락의 수가 중화제독성검증법의 0.5배수 미만일 경우 재시험 함.

(3) 국내외 자료 분석을 이용한 미산성 전해수 처리가 요구되는 식품 선정

"정량적 위해평가를 통한 식품으로부터 고위해 식중독균의 Risk Profile 및 위해관리 연구(식품의약품안전청, 2007)" 에서 발표된 잠재적 위해식품 중 차아염소산수 처리가 가능한 신선편이식품의 원료인 채소류(양배추)와 즉석편의식품의 육류(돼지고기)에 대해 위해 미생물로 채소류는 *Listeria monocytogenes*, *E.coli* O157:H7를 육류(쇠고기, 닭고기, 돼지고기)는 *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Typhimurium를 선정함.

표 97. 우리나라 Risk Profile 작성대상 잠재적 위해식품/위해미생물 선정 결과

순위	문제 식품 / 원인체	문제의 크기	사회적 이슈 정도	시급성	경제적 파급효과	종합점수
1	<i>Staphylococcus aureus</i> in Ready-to-Eat Foods (김밥, 샌드위치)	○	◎	◎	◎	19
2	<i>Bacillus cereus</i> in Ready-to-Eat Foods (김밥, 샌드위치)	○	◎	◎	◎	19
3	<i>Listeria monocytogenes</i> in Ready-to-eat salad, Fresh-cut-products (샐러드 등 신선편이식품)	△	◎	◎	◎	18
	Shiga-toxin producing <i>Escherichia coli</i> (STEC) in Fresh-cut-products (샐러드 등 신선편이식품)	◎	○	○	○	17
4	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> in Ready-to-Eat Sea foods (초밥)	○	◎	○	○	17
	<i>Salmonella</i> in Foods (esp., Poultry, Processed Egg, 구운계란)	◎	○	○	○	17

(자료 : 정량적 위해평가를 통한 식품으로부터 고위해 식중독균의 Risk Profile 및 위해관리 연구, 식품의약품안전청, 2007)

(4) 식품의 종류별 최적 조건의 저농도 전해수 처리에 의한 저감화 분석

- ① 미산성 전해수의 유효염소농도(ACC)와 침지시간에 의한 영향 비교
유효염소농도 5, 7, 10, 50 ppm과 침지시간 30, 60, 90 s에 따른 *E. coli* O157:H7의 저감화를 측정함.
- ② 침지용액과 침지시간에 따른 식품의 총균수 저감효과 비교
양배추와 돼지고기에 있는 총균수 저감효과를 측정하기 위해 증류수, 유효염소농도 5, 7, 10, 50 ppm에 1, 3, 5min동안 침지하여 균의 저감화를 측정함.
- ③ 증류수, 미산성전해수(10 ppm), 강산성전해수(50 ppm) 처리 비교
각 침지용액에 따른 효과를 검토하기 위하여 양배추에 *L. monocytogenes*와 *E. coli* O157:H7를 접종하여 3분간 침지한 후 미생물의 저감화를 측정하였고, 돼지고기에 *L. monocytogenes*와 *S. Typhimurium*을 접종하여 3분간 침지한 후 미생물의 저감화를 측정함.

나. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 대상 식품의 품질 변화 및 선도 유지 분석

(1) 식품 가공 공정 중 미생물 오염 현황 분석

(가) 생식제품 특성에 적합한 미산성 저농도 전해수 적용을 위한 조건 수립

① 공시시료

본 연구에 사용한 현미, 보리, 당근, 감자, 신선초, 케일은 (주)이룸 회사로부터 획득하였으며, 4℃ 냉장고에 보관하며 실험에 사용함. 각 시료는 불가식 부위는 제거하고 상처가 없는 부분만을 선별하여 500 g씩 준비하여 수도수로 2회 세척하여 불순물을 제거 후 사용함.

② 공시균주

실험에 사용된 *E. coli* O157:H7 ATCC 43894는 국립보건원(Korea National Institute of Health)에서 분양받아 사용하였으며, tryptic soy broth(TSB, Difco, USA)를 사용하여 35℃에서 24시간 배양한 후 3,000 × g에서 10분간 원심분리 실시함. 원심분리 후 상등액은 버리고, 침전된 균을 멸균된 0.1% 펩톤수로 2회 세척한 후 0.1% peptone water로 현탁하여 TSA에 0.1 mL 접종하여 도말 후 35℃에서 24시간 배양 후 계수한 뒤 최종농도를 10⁹ CFU/mL로 만들어 실험에 사용함.

③ 전해수 제조

전해수는 (주)코스믹라운드의 미산성 저농도 전해수 생성장치 BC-360 모델을 사용하여 전류 2.7 A, pH 6.3-6.5, 유효염소(ACC) 10~30 mg/L, ORP 780~880 mV 인 무격막 전해수를 제조하여 사용함.

(나) 신선편이 생식제품의 가공공정 중 발생 가능한 위해미생물 모니터링

① 총균수

식품공전법에 의해 다음과 같이 수행함. 각 시료 10 g을 살균한 생리 식염수 90 mL를 stomacher bag에 넣고 120초 동안 stomacher함. Stomacher로 균질화 된 시료용액 1 mL와 10배 단계 희석액 1 mL씩을 멸균 페트리접시 2매 이상씩에 무균적으로 취하여 약 43-45 °C로 유지한 표준찬천배지(PCA; Plate Counting Agar) 약 15 mL를 무균적으로 분주하고 페트리접시 뚜껑에 부착하지 않도록 주의하면서 조용히 회전하여 좌우로 기울이면서 검출액과 배지를 잘 혼합하여 응고시킴. 확산집락의 발생을 억제하기 위하여 다시 표준찬천배지 3-5 mL를 가하여 증침시킴. 응고시킨 페트리접시는 거꾸로 하여 35-37 °C에서 24-48시간(검체에 따라서는 35-37 °C에서 72 ± 3 시간) 배양함. 검액을 가지지 아니한 동일 희석액 1 mL를 대조시험액으로 하여 시험조작의 무균 여부를 확인함.

② 대장균군

식품공전법에 의해 다음과 같이 수행함. 각 시료 10 g을 살균한 생리 식염수 90 mL를 stomacher bag에 넣고 120초 동안 stomacher함. Stomacher로 균질화 된 시료용액 1 mL를 대장균군 건조필름배지에 접종한 후, 35-37 °C에서 24 ± 2시간 배양하여 생성된 붉은 집락 중 주위에 기포를 형성한 집락수를 계산하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 대장균군 수를 산출함.

(2) 식품 가공 공정 중 미산성 전해수 처리에 의한 위해미생물 제어기술 확보

(가) 전처리 방법

실험시료 현미, 보리, 당근, 감자, 신선초, 케일 중 현미는 14시간 동안 물에서 불리는 과정을 거쳤으며, 현미를 제외한 나머지 시료는 흐르는 수도물에서 2 회 세척 후 물기를 제거하여 실험에 사용함.

(나) 생식제품 가공 공정 중 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 위해미생물 저감화 비교

생식제품 가공 공정 중 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 위해미생물 저감화를 비교하기 위하여 일반 생식공정 중 소독·살균공정에서 사용하는 차아염소산나트륨(NaClO 150 mg/L)을 10 분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(HOCl 30 mg/L)를 3분간 침지한 처리구간의 위해미생물 저감화를 비교함. 또한, mild heating 처리에 의한 위해미생물 저감화를 비교하기 위하여 차아염소산나트륨 150 mg/L와 미산성 저농도 전해수 30 mg/L를 각각 mild heating(40 °C) 후 상온(25 °C)에서 침지한 시료와 위해미생물 저감화를 비교함.

(3) 미산성 저농도 전해수 처리한 식품의 저장 중 미생물학적, 이화학적 품질 변화 분석

(가) 저장에 따른 미생물 균총 변화

생식제품 일반 공정(차아염소산나트륨, NaOCl)과 미산성 저농도 전해수로 소독·살균 처리한 생식제품 원료(현미, 보리, 당근, 감자, 신선초, 케일)에 대하여 4, 10, 15, 20, 25, 30 °C에서 30 일 동안 저장하면서 미생물 균총 변화를 관찰함. 각 저장온도에서 총균수와 대장균군, *Bacillus*

cereus, *E. coli*O157:H7을 5 일 간격으로 각각 관찰함.

(나) 이화학적 품질 변화 분석 - 색도 측정

각 생식제품 원료의 색도는 색차계(CR-310, Minolta Co., Ltd, Japan)를 사용하여 측정하였고, L값(Lightness), a값(redness) 및 b값(yellowness)값으로 나타냄.

(다) 통계분석

본 시험에서 얻어진 결과는 SPSS ver. 19(SPSS Inc. Chicago, MD, USA)을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하고, one-way ANOVA로 분석을 한 뒤 유의적($p < 0.05$) 차이를 Tukey법으로 검증함.

다. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발

(1) 물리적(초음파) 및 화학적(미산성 저농도 전해수) 살균 처리 조건 및 병용처리 살균 소독력 평가 방법

(가) 생식제품 원물 종류 및 제품에 대한 위해미생물 오염도 조사

① 식품공전 A.O.A.C 방법에 따라 측정

- 일반 미생물 : 총균수, 진균, Coliform, *E. coli* 등

- 식중독 세균 : *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* 등

(나) 초음파 (ultrasonication) 제어법

① 처리조건

- 세기별 : 100, 200, 400 W/L

- 처리 온도별 : 25, 40, 70 °C(곡류), 25, 40, 60 °C(구근류), 25, 40, 50 °C(채소류)

- 처리 시간별 : 1, 3, 5 min

초음파 살균소독력 측정은 약 100 g의 시료를 5 × 5 cm 크기로 잘라서 시료대비 10배의 증류수에 1분간 담근 다음 흐르는 증류수로 세척 후 초음파에 5분간 노출시켜 물기를 제거한 후 시료로 이용하며, 살균 처리된 시료를 0.1% 멸균된 peptone water 18 mL와 함께 멸균팩에 담아 stomaching한 후 0.01 M phosphate-buffered 용액 (pH 7.2)을 사용하여 연속 희석하고 선택배지에서 37 °C, 24-36시간 배양 후, 조건별 잔존 미생물의 균수를 측정하여 평균값을 얻음.

(다) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용 처리

① 처리조건 : 초음파 처리 결과와 전해수 처리 결과를 바탕으로 최적 조건을 잡음.

- 초음파 : 400 W/L, 40 °C, 3분

- 전해수 : 전해수는 (주)코스믹라운드의 미산성 저농도 전해수 생성장치 BC-360 모델을 사

용하여 전류 2.7 A, pH 6.3~6.5, 유효염소(ACC) 10~30 mg/L, ORP 780~880 mV인 무격막 전해수를 제조하여 사용함.

② 병용처리 방법

시료 10 g 표면에 6 log CFU/mL 로 조정된 균액 0.1 mL을 접종하여 처리한 뒤 clean bench 내에서 20분간 건조한 후, 3가지 방법으로 병용처리 함. 첫 번째는 초음파 처리를 한 후 멸균팩에 전해수를 넣어 3분 동안 침지시킴. 두 번째는 멸균팩에 전해수로 3분 침지 시킨 후 초음파 처리함. 세 번째는 초음파 기계에 전해수를 넣고 초음파 처리를 함. 처리한 감자를 90 mL의 멸균된 인산완충용액과 멸균된 stomacher bag에 넣어 Seward stomacher(400 Circulator, Seward, London, UK)를 이용하여 3분간 균질화 해줌. 멸균된 인산완충용액을 이용하여 10배씩 연속 희석하였고, 희석된 시료에서 0.1 mL을 취하여 *B.cereus*는 Egg tolk tellurite enrichment 50%(Difco, Sparks, MD, USA)를 첨가한 MYP에서, *E.coli*는 EMB에 분주 한 뒤 도말하여 36 °C에서 24-36시간 배양 한 후 균수의 변화를 측정함.

(2) 병용처리(초음파/미산성 저농도 전해수)한 생식제품 원료의 저장 중 미생물학적·이화학적 품질 변화 분석

(가) 저장에 따른 미생물 균총 변화

생식제품 일반공정(차아염소산나트륨, NaOCl)과 미산성 저농도 전해수와 초음파(400 W/L, 40 °C, 3분) 병용처리로 소독·살균 처리한 생식제품 원료(현미, 보리, 당근, 감자, 신선초, 케일)에 대하여 4, 10, 15, 20, 25, 30 °C에서 30일 동안 저장하면서 미생물 균총 변화를 관찰함. 각 저장온도에서 총균수와 대장균군, *Bacillus cereus*, *E. coli* O157:H7을 5 일 간격으로 각각 관찰함.

(나) 이화학적 품질 변화 분석 - 색도 측정

각 생식제품 원료의 색도는 색차계(CR-310, Minolta Co., Ltd, Japan)를 사용하여 측정하였고, L값(Lightness), a값(redness) 및 b값(yellowness)값으로 나타냄.

(다) 통계분석

본 시험에서 얻어진 결과는 SPSS Ver. 19(SPSS Inc. Chicago, MD, USA)을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하고, one-way ANOVA로 분석을 한 뒤 유의적($p < 0.05$) 차이를 Tukey법으로 검증함.

(3) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 저장 온도별 미생물 생육 변화

시료 10 g 표면에 6 log CFU/mL 로 조정된 균액 0.1 mL을 접종하여 처리한 뒤 clean bench 내에서 20분간 건조한 후, 초음파 기계에 전해수를 넣고 초음파 처리를 함. 처리한 감자를 90 mL의 멸균된 인산완충용액과 멸균된 stomacher bag에 넣어 Seward stomacher(400 Circulator, Seward, London, UK)를 이용하여 3분간 균질화 해줌. 멸균된

인산완충용액을 이용하여 10배씩 연속 희석하였고, 희석된 시료에서 0.1 mL을 취하여 *B.cereus*는 Egg tolk tellurite enrichment 50%(Difco, Sparks, MD, USA)를 첨가한 MYP에서, *E.coli*는 EMB에 분주 한 뒤 도달하여 5, 10, 15, 20, 25, 30, 34 °C에서 시간 별 배양한 후 균수의 변화를 측정함.

(4) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용치리에 의한 신선편이 생식원료의 위해미생물 생육 예측 모델 개발

(가) 모델개발 및 통계분석

모든 실험은 3회 반복으로 수행하며 모델개발은 2단계로 이루어질 예정임. 첫째는 최적의 생육 curve-fitting을 얻기 위하여 Gompertz, Baranii, logistic등의 모델식을 이용하여 시간변화에 따른 해당 위해미생물의 Lag t그림은 Grapime(LT), Maximum growth rate(SGR)등을 구하여 1차 모델을 개발함. 본 모델개발에 GraphPad Prism 4.0 프로그램(GraphPad Software, San Diego, USA)을 이용하여 분석함. 분석 값은 유도기 $\lambda(h)$, 최대생육 또는 사멸속도 $\mu(h^{-1})$, 최종 세균농도 (Y)를 개발된 일차모델로부터 얻음. 둘째는, 환경변화(온도, 습도)에 따라 각 균의 유도기와 최대 생육속도에 대한 적절한 모델(polynomial model 등)을 이용하여 새로운 이차모델을 개발함. 통계 처리는 Statistical Analysis System Software(SAS, Cary, N.C.)를 이용함.

(나) 예측모델의 적합성 검증

위해 우선순위 식품에서의 해당 위해미생물을 대상으로 개발된 2차 예측모델의 검증에 위해 통계적 지표인 mean square error(MSE), bias factor(Bf), accuracy factor(Af)를 이용함. 또 다른 모델 검증방법인 Internal validation을 통해 개발된 예측모델의 검증을 더욱 공고히 함. Internal validation은 개발된 예측모델에 활용되지 않은 온도에서 1차 모델에 활용한 변수를 사용하여 SGR과 LT를 구하여 실험값과 예측값의 차이를 검증하는 방법임.

라. Aqueous ClO₂ treatment를 위한 신선편이식품 선정, 시료제조 및 처리조건 확립

(1) 신선편이식품의 위해정보 입수 및 분석

신선편이식품인 즉시섭취 샐러드의 부적합 제품 현황은 2008년도 식품의약품안전청 자료를 활용하여 분석하였음.

(2) Aqueous ClO₂ 최적 처리 조건 수립

① 실험 재료

본 실험에서 사용한 당근(*Daucus carota* L. var. sativa)과 청경채(*Brassica campestris* L. var. chinensis), 레드 치커리(*Cichorium intybus* L. var. silvestre Bisch)는 신선한 상태의 것을 대전 지역의 대형마트에서 당일 구입하여 외관 상태가 전체적으로 균일한 것을 선별하여 실험에 사용하였고, 딸기(*Fragaria* spp.)는 강원 평창지역 딸기 재배농가에서 실험 당일 수확된 신선한 “플라멩고” 품종으로, 구입 직후 저온을 유지하며 즉시 실험실로 운반되어 실험에 사용함.

② Aqueous ClO₂ 처리

당근과 레드 치커리, 청경채, 딸기는 물과 aqueous ClO₂ 처리 용액에 5분간 침지하였고, 침지 후 각각 clean bench에서 약 2시간 동안 air-dried 상태로 표면에 남아있는 수분을 건조시킴. Aqueous ClO₂ 처리 용액은 chlorine dioxide generator system(CH₂O Inc., Olympia, WA, USA)를 사용하여 당근은 5, 10, 50 ppm 농도로 처리하였고, 레드 치커리와 청경채, 딸기는 50 ppm 농도로 처리하였으며, aqueous ClO₂ 농도는 iodometry 방법으로 측정함.

③ 미생물 생육 측정

시료 20 g을 각 각 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 균질화 시켰음. 균질화 된 시료는 멸균된 거즈를 이용하여 거르고 0.1% 멸균 펄톤수로 10배수 연속 희석한 후 각각의 배지에 분주하여 3반복 수행하였음. 총 호기성 세균은 plate count agar(PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37 °C에서 2일간 배양하고, 호모 및 곰팡이는 potato dextrose agar(PDA, Difco Co.)를 사용하여 25 °C에서 3일간 배양 후 형성된 colony를 계수하였음. 검출된 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit (CFU)로 나타냈음.

(3) Aqueous ClO₂ 처리를 위한 고품질화 기초 연구

① Aqueous ClO₂ 처리 농도 및 처리 시간에 따른 식중독균의 사멸효과 측정

즉석가공 또는 즉석섭취 식품, 단체급식 등의 증가로 인해 식중독 발생의 가능성이 증가하고 있음. 최근 우리나라에서 발생한 주요 식중독 원인균은 *Escherichia coli*가 11.3%로 가장 많았고, *Salmonella* 9.8%, *Staphylococcus*는 6.8%의 발병률을 보였다. 또한 *Listeria*는 발생 건수는 많지 않았으나 30% 이상의 높은 치사율을 가지고 있을 뿐만 아니라, 냉장온도에서도 자랄 수 있는 저온성 균이기 때문에 냉장보존을 하는 채소류 등에서 증식이 가능하여 오염 시 식중독 발생의 가능성이 높음.

샐러드 등 신선편이 채소는 현대인의 식생활 패턴 변화로 인해 간편하게 먹을 수 있다는 장점과 영양적 가치 때문에 수요가 늘어나고 있지만, 열처리가 제한되고 또한 식품 자체의 초기 오염 수준이 높아 식중독 발생의 가능성이 상존하고 있음. 따라서 식중독 관련 미생물 오염을 방지하기 위한 식품의 비열처리 방법으로는 감마선 조사, UVC 조사, 유기산, 염소 처리 등이 있는데, 그 중에서도 염소의 사용은 살균과정에서 trihalomethane (THM)과 같은 발암성 물질을 생성한다고 알려져 있음. 그래서 염소를 대체하기 위한 방안으로 이산화염소에 관한 연구가 활발히 진행되었는데, 이산화염소는 THM을 생성하지 않고 염소보다 물에 대한 용해성이 높으며, 짧은 반응시간, 넓은 pH 범위에서도 효과적인 살균력을 가진다. 현재 신선편이식품을 대상으로 한 이산화염소 처리를 식품산업에 적용하기 위해 이산화염소 가스 또는 aqueous ClO₂ 형태로 진행되고 있음.

미생물 사멸 관련한 first-order kinetic model은 식품의 thermal processing에서 많이 사용되지만, survival plots이 항상 linear하지 않고, 특히 nonthermal treatment의 경우에는 first-order kinetic model이 적합하지 않은 경우가 많음. 따라서

non-linearity를 설명하기 위한 다양한 model이 제안되었는데, 그 중에서도 Weibull model이 가장 적합하다고 알려져 있음.

따라서 본 연구에서는 aqueous ClO₂ 농도별 실험과 5 ppm 이하에서의 시간별 실험을 통해 주요 식중독균인 *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*의 불활성화에 미치는 영향을 규명하고자 하였음. 특히, aqueous ClO₂ 처리에 의한 bacterial survival curve에 기초하여 first-order linear model, Weibull model 두 가지를 적용하여 kinetic parameter를 비교, 분석하였음.

② 미생물 배양

E. coli O157:H7(NCTC 12079), *L. monocytogenes*(ATCC 19111), *S. aureus*(ATCC 25923), *S. Typhimurium*(ATCC 14028), *S. Enteritidis*(ATCC 13076) 각각의 균주는 tryptic soy agar(TSA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 37 °C에서 24시간 배양하였음. 배양 후 형성된 균주의 단일 colony를 멸균된 loop로 취해 각각 tryptic soy broth(TSB, Difco)에 접종하여 37 °C에서 24시간 동안 진탕 배양하여 균주를 활성화하였음. 배양한 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. Typhimurium*, *S. Enteritidis*의 pure cell culture를 0.1% sterile peptone water에 vortex mixer(Vortex Ginie-2, Scientific Industries, Bohemia, NY, USA)를 사용하여 재현탁시키고 원심분리(2,000 g, 15 min)하여 3회 세척한 후 침전된 cell pellet을 회석하여 농도가 9 log CFU/mL가 되게 하여 사용하였음.

③ Aqueous ClO₂ 처리

Aqueous ClO₂는 chlorine dioxide system(CH2O Inc., Olympia, Washington, USA)을 사용하였으며 농도는 iodometry 방법으로 측정하였다. 실험은 농도별과 시간별로 나눠서 진행하였음.

농도별 실험은 0, 1, 3, 5, 7 과 10 ppm aqueous ClO₂ 9 mL에 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. Typhimurium*과 *S. Enteritidis*의 inoculum 1mL을 각각 넣어 3 분간 흔들어 주면서 균질화 시켰음.

시간별 실험은 농도별 실험에서 얻어진 결과를 바탕으로 정해진 처리 조건에 따라, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*와 *S. aureus*는 aqueous ClO₂ 최종 농도가 5 ppm이 되도록 하여 1, 3, 5, 7, 10분 동안 처리하였고, *S. Typhimurium*은 aqueous ClO₂ 최종농도가 1 ppm이 되도록 하여 1, 3, 5, 7, 10분 동안 처리하였으며, *S. Eenteritidis*는 aqueous ClO₂ 최종농도가 1 ppm이 되도록 하여 1, 3, 5분 동안 처리하였음.

처리된 균주들은 연속 회석하여 TSA배지에서 37 °C, 24시간 배양하였음. 미생물 수 측정은 agar plate에 형성된 colony를 counting하여 colony forming units (CFU)로 나타내었음. 모든 실험은 3회 반복하여 측정하였음.

④ Microbial inactivation model

각기 counting된 결과는 log scale로 환산하여 조사강도에 따른 survival rate를 그래프로 그렸으며 생균수가 1 log 감소하는데 필요한 조사강도를 계산하여 d_R value와 t_R value를 구하였음.

(4) Aqueous ClO₂ 처리를 적용한 다양한 신선편이식품의 미생물 생육 변화 및 품질 변화 분석

① 실험 재료

본 실험에서 사용한 로메인 상추(*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*), 케일(*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), 치콘(*Cichorium intybus* L. var. *foliosum*)은 대전에 위치한 대형마트에서 시판되고 있는 신선한 상태의 것을 당일 구입하여 외관 상태가 전체적으로 균일한 것을 선별하여 실험에 사용하였음. Aqueous ClO₂, UVC 또는 전자빔 조사 단독 처리 및 병합처리를 하였고 처리 후 시료는 4 ± 1 °C에서 저장하였음.

② 병원성 미생물 배양

E. coli O157:H7(NCTC 12079)과 *Salmonella* typhimurium(ATCC 14028, KCTC 2057, 2514)의 균주를 -80 °C 초저온 냉동고에서 20% glycerol stock(v/v) 형태로 보관하면서 실험에 사용하였음. *E. coli* O157:H7은 MacConkey Agar(DifcoLaboratories, Detroit, MI)에 3개의 *Salmonella* strains는 XLD agar (DifcoLaboratories, Detroit, MI)를 사용하여 37 °C에서 48시간 동안 배양 후 형성된 각 균주의 단일 집락을 멸균된 loop로 취해 tryptic soy broth(TSB, Difco)에 접종하여 37 °C에서 각각 24시간 동안 진탕 배양하여 균주를 활성화하였음. 보관 균주의 오염여부를 확인하기 위하여 계대 배양한 균액을 0.1% sterile peptone water에 10 배수로 희석하여 각 균주의 선택배지에 접종 배양한 후 형성된 전형적인 집락 형태와 수를 관찰하였음. 배양된 각각의 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium* strain을 10mL씩 취하여 멸균된 50 mL centrifuge tube에 옮겨 vortex mixer(Vortex Genie-2, Scientific industries, INC., Bohemia, NY)를 사용해 균질화한 후 원심분리(4,000 × g, 15 min, 4 °C)하였음. 침전된 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium* cell culture를 0.1% sterile peptone water로 세척한 후 vortex mixer를 사용하여 재현탁 시키고 원심 분리하여 2회 세척한 후 침전된 cell pellet을 희석하여 로메인 상추, 케일의 균 접종 액으로 사용하였음.

③ 병원성 미생물 접종

로메인 상추, 케일의 표면에 자연적으로 부착되어 있는 미생물을 제거하기 위해 clean bench UV light에서 30분 동안 처리하였음. 부착되어 있는 미생물을 제거한 로메인 상추와 케일에 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium* cocktail 균 접종액 1 mL를 접종하여 초기 균수가 6-7 log CFU/mL가 되게 하였음. 접종된 시료 표면의 수분을 제거하고 균이 잘 부착될 수 있도록 clean bench에서 30분 동안 건조하였음.

④ Aqueous ClO₂ 처리

로메인 상추, 케일, 치콘은 물과 aqueous ClO₂ 처리 용액에 5분간 침지하였고, 침지 후 각각 clean bench에서 약 2시간 동안 air-dried 상태로 표면에 남아있는 수분을 건조시켰음. Aqueous ClO₂ 처리 용액은 chlorine dioxide generator system (CH₂O Inc., Olympia, WA, USA)를 사용하여 50 ppm 농도로 제조하였으며, aqueous ClO₂의 농도는 iodometry 방법으로 측정하였음.

⑤ 전자빔 조사 처리

Aqueous ClO₂ 처리가 된 치콘과 비 처리 치콘에 electron beam accelerator (Model ELV-8, 2.5 MeV, Eb-Tech, Yuseong, Daejeon, Korea)를 사용하여 가속전류 4.2 mA, beam dimension 600 × 600 mm, velocity 25 m/min의 선량률로 흡수선량 2, 5, 7, 10 kGy, 2.5 MeV에서 조사하였음.

⑥ 미생물 생육 측정

시료 20 g을 각 각 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher (MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 균질화 시켰음. 균질화 된 시료는 멸균된 거즈를 이용하여 거르고 0.1% 멸균 펄프수로 10배수 연속 희석한 후 각각의 배지에 분주하여 3반복 수행하였음. 총 호기성 세균은 plate count agar (PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37 °C에서 2일간 배양하고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar (PDA, Difco Co.)를 사용하여 25 °C에서 3일간 배양 후 형성된 colony를 계수하였음. *E. coli* O157:H7는 MacConkey Agar, *S. Typhimurium*은 XLD agar를 사용하여 37 °C에서 2일간 배양하였음. 검출된 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit (CFU)로 나타냈음.

⑦ 색도 측정

색도는 색차계(CR-400 Minolta Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Inc.,Tokyo, Japan)를 사용하여 Hunter L, a, b value를 각 시료의 다른 표면을 반복 측정한 뒤 평균 값으로 나타내었음. L value는 0(black), +100(White), a value는 -80(greenness), +100(redness), b value는 -80(blueness), +70(yellowness)을 나타내며, 이때 사용된 표준 백판의 L, a, b value는 각각 L=97.39, a=-0.11, b=2.02이었음.

⑧ 관능검사

시료의 단일 및 병합 처리에 따른 저장기간 중 품질 변화를 분석하기 위해 panel 요원 8명으로 시료의 외관적 상태(appearance), 냄새(odor) 및 종합적 기호도(overall acceptability)에 대한 관능검사를 실시하였음. 이 때 각 처리된 시료에 대한 평점은 선정된 기준에 의거한 9점 기호 척도법(9-8점: 매우 좋음,7-6점: 좋음, 5-4: 보통, 3-2: 나쁨, 1: 매우 나쁨)으로 평가하였음.

(5) 신선편이식품의 미생물 저감화를 위한 aqueous ClO₂ 세척과 전자빔 조사 등 combined nonthermal treatment 조건의 확립

① 실험 재료

본 실험에서 사용한 레드 치커리(*Cichorium intybus* L. var. *silvestre* Bisch), 뉴그린(Leaf Brassica oleracea var. *italica*), 적근대(*Beta vulgaris* L. var. *cicla*), 다채(*Brassica rapa* L. var. *rosularis*)는 신선한 상태의 것을 대전 지역의 대형마트에서 당일 구입하여 외관 상태가 전체적으로 균일한 것을 선별하여 실험에 사용하였음. 메밀싹(*Fagopyrum esculentum* Moench sprout)은 경기도 광주시의 대농바이오영농조합법인에서 구매하여 실험에 사용하였음.

② 적근대, 다채, 메밀싹에 aqueous ClO₂ 처리

적근대와 다채, 메밀싹을 물과 aqueous ClO₂ 처리 용액에 5분간 침지하였고, 침지 후

각각 clean bench에서 약 1시간 동안 air-dried 상태로 표면에 남아있는 수분을 건조시켰음. Aqueous ClO₂ 처리 용액은 chlorine dioxide generator system(CH₂O Inc., Olympia, WA, USA)를 사용하여 50 ppm 농도로 제조하였으며, aqueous ClO₂의 농도는 iodometry 방법으로 측정하였음.

③ 적근대, 다체에 전자빔 조사 처리

Aqueous ClO₂ 처리가 된 적근대와 다체 및 비 처리 적근대와 다체에 electron beam accelerator (Model ELV-8, 2.5 MeV, Eb-Tech, Yuseong, Daejeon, Korea)를 사용하여 가속전류 4.2 mA, beam dimension 600 × 600mm, velocity 25 m/min의 선량률로 흡수 선량 0.5, 1, 3, 4 kGy, 2.5 MeV에서 조사하였음.

④ 베밀쪽에 fumaric acid 및 UVC 조사 처리

50 ppm Aqueous ClO₂ 처리가 된 베밀쪽에 fumaric acid 0.2와 0.4% 용액에 5분간 침지하였고, 침지 후 clean bench에서 약 1시간 동안 air-dried 상태로 표면에 남아있는 수분을 건조시켰다. 건조 후 조사선량이 2와 4 kJ/m² 가 되도록 UVC를 조사하였음.

(6) 신선편이식품 제조 시, 품질 저하 가능한 공정 모니터링 및 분석

① 레드 치커리, 뉴그린, 적근대에 aqueous ClO₂ 및 차아염소산 나트륨 처리

레드 치커리, 뉴그린, 적근대는 신선편이 샐러드 제조 전 1차 세척과 샐러드 제조 후 2차 세척을 위해 물, aqueous ClO₂ 및 차아염소산 나트륨 처리 용액에 5분간 침지하였고, aqueous ClO₂ 처리 용액은 chlorine dioxide generator system(CH₂O Inc., Olympia, WA, USA)를 사용하여 50 ppm 농도로 제조하였으며, aqueous ClO₂의 농도는 iodometry 방법으로 측정하였음. 차아염소산 나트륨 처리 용액은 락스(Yuhanclorox Co., Seoul, Korea)를 실험에 필요한 50 ppm 농도로 희석하여 사용하였으며, 이러한 염소용액의 농도는 표준 요오드 환원적정법을 이용하여 측정하였음.

② 신선편이 샐러드 제조 시, cutting 에 사용되는 기구의 살균 처리

레드 치커리, 뉴그린, 적근대를 이용하여 신선편이 샐러드 제조 시에 사용되는 칼 및 도마는 물, aqueous ClO₂ 및 차아염소산 나트륨 처리 용액을 이용해 살균 처리하였음.

③ 신선편이 샐러드 제조 시, 세척 후 건조 처리

레드 치커리, 뉴그린, 적근대를 이용하여 신선편이 샐러드 제조 시, 세척한 후에 물기 제거를 위한 건조 처리는 일반적인 작업장과 유사한 실험실 내에서 상온(20-25 °C) 조건 하에 air-dry 로 1시간 처리하였음.

④ 미생물 생육 측정

시료 20 g을 각 각 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 균질화 시켰음. 균질화 된 시료는 멸균된 거즈를 이용하여 거르고 0.1% 멸균 펙톤수로 10 배수 연속 희석한 후 각각의 배지에 분주하여 3 반복 수행하였음. 총 호기성 세균은 plate count agar(PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37 °C에서 2일간 배양하고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar(PDA, Difco Co.)

를 사용하여 25 ℃에서 3일간 배양 후 형성된 colony를 계수하였음. 검출된 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU)로 나타냈음.

⑤ 색도 측정

색도는 색차계(CR-400 Minolta Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Inc.,Tokyo, Japan)를 사용하여 Hunter L, a, b value를 각 시료의 다른 표면을 반복 측정한 뒤 평균 값으로 나타내었음. L value는 0(black), +100(White), a value는 -80(greenness), +100(redness), b value는 -80(blueness), +70(yellowness)을 나타내며, 이때 사용된 표준 백판의 L, a, b value는 각각 L=97.39, a=-0.11, b=2.02이었음.

⑥ 관능검사

시료의 단일 및 병합 처리에 따른 저장기간 중 품질 변화를 분석하기 위해 panel 요원 8명으로 시료의 외관적 상태(appearance), 냄새(odor) 및 종합적 기호도(overall acceptability)에 대한 관능검사를 실시하였음. 이 때 각 처리된 시료에 대한 평점은 선정된 기준에 의거한 9점 기호 척도법(9-8점: 매우 좋음, 7-6점: 좋음, 5-4: 보통, 3-2: 나쁨, 1: 매우 나쁨)으로 평가하였음.

3. 연구 결과

가. 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석 (*in vitro* 및 식품)

(1) 위해미생물의 저감화를 위한 물리적 전처리 조건 확립 검토

(가) 전류량에 따른 미산성전해수의 안정성 검토

기존의 미산성전해수 전류(1.15-1.17 A)에서 생성된 미산성전해수를 상온에서 10분간 저장했을 때 유효염소농도는 점차적으로 감소함(그림 288.). 따라서 미산성전해수는 저장보다는 바로 제조하여 사용하는 것이 바람직한 것으로 나타남. 산성전해수의 경우 95% 이상이 염소기체(Cl_2)의 형태로 존재하여 미생물을 저감화 시키지만, 미산성전해수의 경우는 95% 이상이 차아염소산($HOCl$)의 형태로 존재하여 미생물을 저감시킴. 전해수 안에 함유되어 있는 염소의 농도가 저감의 큰 요인으로 작용하는데, 1.15-1.17 A의 전류를 흘려 미산성전해수를 제조할 경우 유효염소농도(ACC)가 감소한다는 사실을 확인함.

높은 저감효과를 가진 안정적인 미산성전해수를 만들기 위해 PCB 전극과 전류 변화에 따른 특성을 연구한 결과, 전류량을 1.45-1.46 A 로 올려 미산성전해수를 만들 경우 이전 시스템과는 다르게 안정하였으며, 저장시간이 지남에 따라 유효염소농도의 감소가 현저하게 감소됨(그림 289).

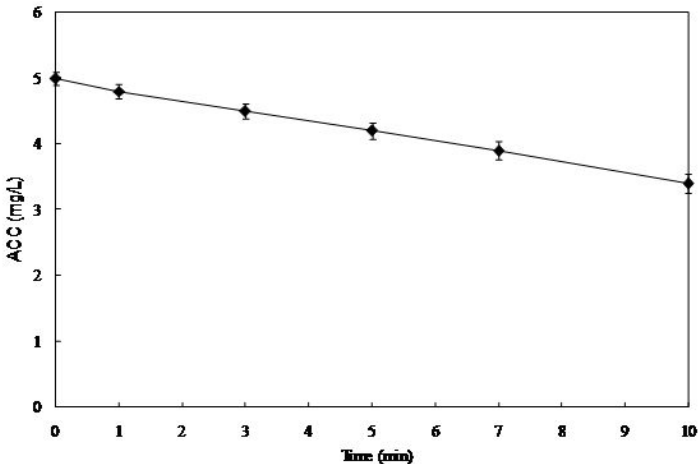


그림 288. Changes in available chlorine concentration (mg/L) in low concentration electrolyzed water with time (min) using current 1.15-1.17 A.

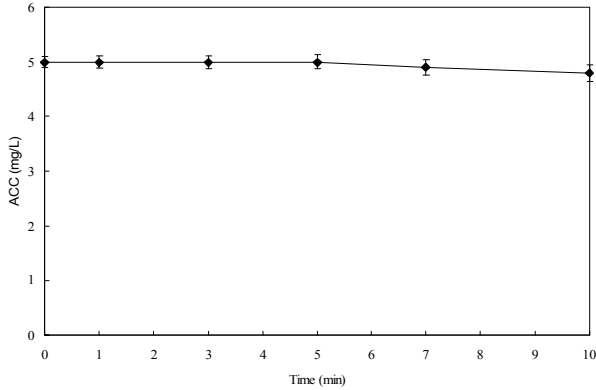


그림 289. Changes in available chlorine concentration (mg/L) in low concentration electrolyzed water with time (min) using current 1.45-1.46 A.

(나) PCB 전극이 받는 전류가 저감에 미치는 효과

표 98은 전극 한 개당 받는 전류의 차이가 미생물사멸에 미치는 영향을 측정된 것으로, 전체 전류량(1.45-1.46 A)을 전극의 개수로 나눈 값을 전극 한 개당 받는 전류량으로 나타냄. PCB 전극이 1개일 때 1.45 A, 2개일 때 0.73 A, 3개일 때 0.49 A, 5개일 때 0.29 A, 9개일 때 0.16 A 가 각 PCB 전극에 흐르게 되고 이 전류를 이용하여 수돗물과 소금을 전기분해하여 미산성전해수가 만들어지게 됨. 각기 다른 종류의 PCB 전극으로 동일한 시간을 전기분해할 경우, 미산성전해수에 함유되어 있는 유효염소농도(ACC)가 다른 것을 확인하였고 이를 보완하기 위해 PCB 전극의 개수에 따라 전기분해시간을 달리하여 유효염소농도를 5 mg/L로 맞춰 미산성전해수를 제조함.

표 98은 *E. coli* O157:H7 ATCC 43894 균주를 9.3 log CFU/mL의 농도로 배양한 배양액 1 mL를 다른 조건을 통해 만들어진 미산성전해수 9 mL에 접종하여 1min간 침지한 후 순차희석 후 PCA배지에 도말하여 계수한 결과를 타나낸 것임. 본 결과에 의하면, 전극 1개에 나타난 전류량이 증가할수록 *E. coli* O157:H7의 사멸이 증가(6.30 log CFU/mL)하였으며 전류량이 감소(전극수 9개)할수록 현저하게 살균력이 떨어져(5.30 log CFU/mL) 살균력을 증가시키기 위해서는 전극의 전류량을 증가시켜야하는 것으로 나타남.

PCB 전극이 1개일 때는 가장 높은 저감효과를 보였지만, 작은 표면적으로 인해 미산성전해수 전기분해시 물의 혼합되는 순환문제나 PCB 전극이 쉽게 끊어지는 단점을 확인하여, 이를 보완하기 위해 실험을 통해 최적조건을 검토함. PCB 전극의 수명은 연장시키면서 높은 저감효과를 보이는 전극의 개수를 실험을 통해 확인한 결과, PCB 전극이 3개일 때 가장 효과적임을 발견하여 이를 본 실험에 사용함. (그림 290).

표 98. Inactivation efficacy of current/electrode of SLALcEW producing system against the cell suspension of *E. coli* O157:H7 in 1 min dipping. Initial count was 9.30 log CFU/mL.

No of electrode used	Amperage (A) used	Electrolysis time (s/min)	ACC (mg/L)	pH	ORP (mV)	Log reduction (CFU/mL)
9	1.45-1.46 0.16A/electrode	20 s	5 ± 0.2	6.00	680-700	5.30
5	1.45-1.46 0.29A/electrode	26 s	5 ± 0.2	6.20	630-650	5.72
3	1.45-1.46 0.49A/electrode	32 s	5 ± 0.2	6.39	635-642	5.98
2	1.45-1.46 0.73A/electrode	34 s	5 ± 0.2	6.13	665-680	6.12
1	1.45-1.46A /electrode	38 s	5 ± 0.2	6.27	680-690	6.30

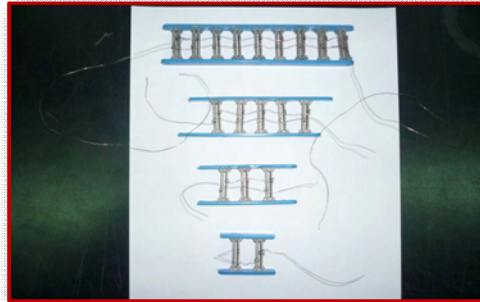


그림 290. PCB 전극

(다) 전류 변화량에 따른 식중독균의 저감효과 검증

표 99는 전류량 변화에 따른 유효염소농도, pH, ORP, *Listeria monocytogenes*, *E. coli* O157:H7의 저감효과의 특성을 나타낸 것으로 전류량이 증가함에 pH값은 내려가며, ORP값은 상승하여 균의 저감효과가 높아지는 것을 확인할 수 있음.

전류량이 0.298-0.300 A일 때는 *L. monocytogenes*,와 *E. coli* O157:H7가 3.24 ± 0.10 , 3.63 ± 0.08 log CFU/g 저감하였지만, 1.45 A로 전류량을 상승시켰을 때 5.30 ± 0.12 , 5.58 ± 0.10 log CFU/g 저감하는 것을 확인할 수 있었음. 이는 단순히 전류량이 높아짐에 따라 미생물의 저감효과가 높아진 것이 아니라, 전류량, pH, ORP(mV)가 복합적으로 작용하여 미생물의 저감효과를 상승시킨 것으로 예상할 수 있음.

전류량을 1.45-1.46 A로 상승시킨 결과 이전 시스템(1.15-1.17 A)보다 저감효과가 높아짐을 확인함. 현재 시스템으로 1.45 A보다 높은 전류량을 흘려보낼 수 없어 개발단계

에 있으며, 추후 보다 전류량에 따른 저감효과를 확인할 계획에 있음.

미산성전해수 생성 최적 조건을 위해 물리적 전처리를 검토하여 *in vitro* 실험을 통해 검증한 결과, 전류량을 1.45 A 로 올리고, PCB 전극의 개수를 3개로 늘려 미산성전해수를 제조하였을 때 전극의 미생물 저감효과가 가장 높은 것으로 나타남.

표 99. Effect of current on physical properties & inactivation efficacy of slightly acidic low concentration electrolyzed water (SIALcEW) against *E. coli* O157:H7 ATCC 43894 and *Listeria monocytogenes* Scott A in 1 min dipping.

Current used by different system(A)	ACC (mg/L)	pH	ORP (mV)	Log reduction (CFU/mL) ^a	
				<i>E. coli</i> O157:H7	<i>L. monocytogenes</i>
.298-.300	5 ± 0.2	6.5	680-700	3.24 ± 0.10d	3.63 ± 0.08d
.435-.437	5 ± 0.2	6.43	700-720	3.78 ± 0.05c	4.12 ± 0.11c
1.15-1.17	5 ± 0.2	6.2-6.3	720-740	4.90 ± 0.06b	5.20 ± 0.04b
1.45-1.46	5 ± 0.2	6.00	740-760	5.30 ± 0.12a	5.58 ± 0.10a

Initial count for *E. coli* O157:H7 ATCC 43894: 9.30 log CFU/mL

Initial count for *Listeria monocytogenes* Scott A: 9.18 log CFU/mL

^a Log reductions (log₁₀ CFU/mL) reported as means of triplicate determinations ± standard deviation. Different letters within same column differed significantly (p<0.05)

(2) 신규 살균 첨가물로서 등제를 위한 식품공전시험법 규명

(가) 식품공전시험법 규명

국내에는 살균소독력을 표방하는 제품을 관리할 만한 마땅한 법이 없어 그동안 살균 소독제 용도로 주정 등 일부 식품첨가물만이 사용됨. 그러나 2002년 8월 식품위생법 개정으로 식품용 기구 및 용기·포장에 사용되는 살균소독제가 신설되어 식품첨가물로서 관리할 수 있는 법적 근거가 마련되었으며 식품위생법 제7조 2항 및 같은 법 시행규칙 제4조에 따라 2003년 12월부터 기구 등의 살균소독제 제품에 대하여 한시적 기준 및 규정 인정제도를 시행하게 됨. 이 인정제도에 따라 모든 기구 등의 살균소독제는 AOAC(1-3), CEN(4,5) 등 공인된 시험방법으로 용법 및 용량에 따른 살균소독력이 있음을 증명하도록 하고 있으나 시험방법에 따라 상이한 결과가 나타날 수 있어 살균소독제 인정기준의 적용과 살균소독제의 제조 및 사후관리를 위해 살균효과를 평가하는 표준화된 방법이 확립될 필요가 있음(Kim et al., 2005).

미산성전해수의 살균효과를 검증하기 위해서 식품의약품안전청에서 설정한 표준화 방법에 따라 시험균 현탁액, 세균 현탁액, 살균소독력 시험, 시험조건 검증시험, 중화제

독성검증시험, 희석중화검증시험을 함(표 100-표 104). 그람양성, 그람음성균을 대표하는 *E. coli* KCCM 21052와 *Staphylococcus aureus* KCCM 40050 균주를 선택하여 5min ± 10 s, 20 °C ± 1 °C 의 조건하에서 유효염소농도 5/7/10/50 ppm에 따른 저감효과를 확인할 결과 5 log CFU/g 혹은 그 이상의 저감효과를 확인함.

(나) 살균소독력 평가

시험균현탁액을 1.5×10^8 - 5×10^8 CFU/mL가 되도록 제조하여 식품공전의 시험방법에 준용하여 살균소독력을 평가한 결과, *E. coli* KCCM 21052의 경우 미산성전해수(5/7/10 ppm)는 5.06, 5.32, 5.57 log CFU/mL, 강산성전해수(50 ppm)는 5.14 log CFU/mL의 저감효과를 나타내었다. *S. aureus* KCCM 40050의 경우, 미산성전해수(5/7/10 ppm)는 5.28, 5.43, 5.70 log CFU/mL, 강산성전해수(50 ppm)는 5.39 log CFU/mL의 저감효과를 나타냄.

미산성전해수의 유효염소농도(ACC)별로 저감효과를 확인할 결과 10 ppm 일 때 가장 높은 저감화를 보였으며 5 ppm에서도 5 log이상의 감소를 나타냄. 이러한 결과는 강산성전해수(50 ppm)와 비교하였을 때, 저감화효과가 비슷하거나 높은 살균력을 가지고 있는 것을 확인할 수 있음. 관능적 특성을 비교하였을 때, 미산성전해수는 어떠한 냄새도 나지 않았지만, 강산성전해수의 경우 95% 이상이 염소기체(Cl_2)의 형태로 존재하여 염소 특유의 냄새로 인해 불쾌감을 줌.

현재, 식품공전에는 강산성전해수와 미산성전해수가 식품첨가물로서 등재됨. 그러나 강산성전해수의 경우 강한 산성으로 인한 부식성과 심한 냄새(30-60 ppm)로 인하여 식품산업의 활용에 제한성이 매우 많으며, 미산성전해수의 경우, 염산용액을 기질로 사용하기 때문에 식품현장에서 사용자들이 사용을 꺼리고 있으며 냄새를 유발하기 때문에 이 또한 산업적으로 활용에 제한이 많은 것으로 나타남. 반면에 미산성저농도전해수의 경우, 무색, 무미, 무취의 식품첨가물로서의 특징을 지녔고 기질은 소금으로 사용하기 때문에 안전성의 문제가 전혀 없고 적은 차아염소산농도에서도 강한 살균력을 나타내어 기존의 전해수 보다는 식품산업의 활용에 매우 좋은 조건을 지녔기 때문에 새로운 식품첨가물로서 등재가 가능할 것으로 사료됨.

표 100. Sanitizer test

Bacterial test suspension	Initial count (Log ₁₀ CFU/mL)	Log reduction (Log ₁₀ CFU/mL)			
		Different concentration of Low Concentration Electrolyzed Water (LcEW)			Strong Acidic Electrolyzed Water (SAEW)
		5 ppm	7 ppm	10 ppm	
<i>E. coli</i> KCCM 21052	$5 \times 10^8 = 8.70$	5.06	5.32	5.57	5.14
<i>S. aureus</i> KCCM 40050	$2.5 \times 10^8 = 8.40$	5.28	5.43	5.70	5.39

☒ 101. Properties of testing solutions

Electrolyzed water	Current (A)	Voltage (V)	pH	ORP (mV)	Electrolysis time
LcEW-5 ppm	1.15-1.17	3	6.5	520	45 s
LcEW-7 ppm	1.15-1.17	3	6.3	540	75 s
LcEW-10 ppm	1.15-1.17	3	6.2	570	2 min
SAEW-50 ppm	12	20	2.5	1130	5 min

☒ 102. Validation of experimental condition test Suggested bacterial suspension $6 \times 10^2 - 3 \times 10^3$ CFU/mL

Bacterial suspension	Initial count (Log ₁₀ CFU/mL)	Pour plate count (10 ⁴)	Average count (Log ₁₀ CFU/mL)	Log reduction (Log ₁₀ CFU/mL)
<i>E. coli</i> KCCM 21052	$1.5 \times 10^3 = 3.18$	130 (3.11)	3.11	0.07
		115 (3.06)		
		125 (3.10)		
		140 (3.15)		
<i>S. aureus</i> KCCM 40050	$8.0 \times 10^2 = 2.90$	80 (2.90)	2.86	0.04
		70 (2.85)		
		65 (2.81)		
		73 (2.86)		

☒ 103. Neutralizer toxicity validation test

Bacterial suspension	Initial count (Log ₁₀ CFU/mL)	Pour plate count (10 ⁴)	Average count (Log ₁₀ CFU/mL)	Log reduction (Log ₁₀ CFU/mL)
<i>E. coli</i> KCCM 21052	$1.5 \times 10^3 = 3.18$	125 (3.10)	3.12	0.06
		140 (3.15)		
		130 (3.11)		
		132 (3.12)		
<i>S. aureus</i> KCCM 40050	$8.0 \times 10^2 = 2.90$	65 (2.81)	2.83	0.07
		60 (2.78)		
		75 (2.88)		
		70 (2.85)		

표 104. Dilution-neutralization validation test

Bacterial suspension	Initial count (Log ₁₀ CFU/mL)	Pour plate count (10 ⁻¹)	Average count (Log ₁₀ CFU/mL)	Log reduction (Log ₁₀ CFU/mL)
<i>E. coli</i> KCCM 21052	1.5 x 10 ³ = 3.18	125 (3.10)	3.11	0.07
		140 (3.15)		
		130 (3.11)		
		120 (3.08)		
<i>S. aureus</i> KCCM 40050	8.0 x 10 ² = 2.90	70 (2.85)	2.84	0.06
		65 (2.81)		
		75 (2.88)		
		63 (2.80)		

(3) 국내외 자료 분석을 이용한 미산성 전해수 처리가 요구되는 식품 선정

국내외 자료를 근거로 하여 미산성전해수를 활용하여 식품에 응용할 경우, 비가열 식품 즉 신선편이 채소류나 육류 등에 활용이 많은 것으로 나타남. 따라서 본 연구에서는 양배추와 돼지고기를 대상으로 하여 연구를 수행함.

(가) 신선편이식품(양배추)

육류섭취의 증가로 인해 각종 암, 비만, 성인병 등이 증가함에 따라 사람들의 식이섭취 형태가 육류 중심에서 야채, 웰빙식품 등으로 변하고 있음(Ahn and Shin. 1999).

최근 건강과 신선식품에 대한 소비자의 관심이 지속적으로 증가하면서 과일과 야채와 같은 신선농산물과 관련된 식중독 사고가 증가되고 있음(Beuchat ea al. 2001).

야채 중에서 브로콜리, 케일, 양배추 등은 많은 양의 비타민, 미네랄, 기능성 성분을 함유하고 있으며, 섭취하기 간편하기 때문에 오래전부터 섭취되어졌음(Stoewasnd. 1995). 이러한 야채들은 보통 비가열식품으로 식중독을 일으킬 수 있는 식품이며, 실제로 미국, 캐나다, 북미지역에서 양배추 샐러드는 식중독을 유발시키는 주요한 식품으로 보고되고 있음(Wehr 1987).

신선 농산물과 관련된 식중독 사고의 원인균으로는 *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Shigella sonnei* 등을 들을 수 있는데(Beuchat. 2001), 이중 *Listeria monocytogenes* 와 *Escherichia coli* O157:H7은 양배추 원재료에 오염된 미생물 뿐 아니라 조리종사자 등에 의한 교차오염을 통해 쉽게 발생할 수 있는 식중독균임(Ryu. 2001, Park ea al. 2001).

(나) 육류(돼지고기)

가금류, 달걀, 육류는 오염된 식품을 섭취 시 식중독균에 의해 식중독을 많이 일으키는 식품으로(Beuchat, 1995. D'Aoust, 1997. Doyle et al., 1997), 이중 돼지고기가 40%, 가금류가 30%, 소고기가 25%로 육류 중 돼지고기의 소비가 가장 높은 것으로 나타남(FAO, 2006).

Aymerich et al (2008)은 육류 제품은 특성상 잘 상하고, 도체의 가공처리 과정이나

저장과정 중 식중독을 일으킬 가능성이 아주 높다고 보고함. 미생물에 의한 오염은 고기의 품질과 큰 관련이 있는데, 이중 *Salmonella typhimurium*, *E. coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*와 같은 식중독균에 오염 시 식중독을 유발하여 안전에 영향을 미쳐 관리 대상으로 보고 있음(Cutter, 2000. Dorsa et al., 1998. Nissen et al., 2000).

(4) 식품의 종류별 최적 조건의 저농도 전해수 처리에 의한 저감화 분석

(가) *in vitro* 실험을 통한 최적 유효염소농도의 조건 확립

Tabel 8은 *E. coli* O157:H7 ATCC 43894 균주를 9.30 log CFU, mL이 되게 배양한 배양액 1 mL을 각 처리구(증류수, 미산성전해수(5, 7, 10 ppm), 강산성전해수(50 ppm)) 9 mL에 접종하여 침지시간(30, 60, 90 s)에 따른 저감화를 나타낸 결과임. 미산성전해수 농도에 따른 미생물 저감화효과는 침지시간에 따라 많은 영향을 받는 것으로 나타남. 살균효과는 모든 농도에서 침지시간이 90 s일 때 가장 높은 것으로 나타났으며 5 ppm에서 90초 침지 시 *E. coli* O157:H7에 대한 감소가 5.88 log CFU, g이었으나 10 ppm에서는 6.49 log CFU, g로 나타나 농도가 증가함에 따라 살균력이 증가하는 것으로 나타남.

본 연구결과가, 유효염소농도(ACC) 및 침지시간에 따른 유의적 차이와 유효염소농도(5/7/10/50 ppm)에 따른 유의적 차이를 확인할 수 있었으며($p < 0.05$), 양성대조구로 사용된 50 ppm 강산성 전해수는 5, 7 ppm의 미산성전해수와 유의적 차이가 없었지만($p > 0.05$), 10 ppm의 미산성전해수와는 유의적 차이를 나타냄($p < 0.05$).

표 105. Sanitization potency of SIALcEW against pure cultures of *E. coli* O157:H7 at different ACC and exposure times

SIALcEW ACC (mg/L)	Bacterial log reduction at different exposure time (log CFU/mL) ^a		
	30 s	60 s	90 s
DW (Control)	0.70 ± 0.02aA	0.82 ± 0.04aA	0.78 ± 0.05aA
5	5.02 ± 0.08aB	5.32 ± 0.05abB	5.88 ± 0.10bB
7	5.30 ± 0.04aBC	5.58 ± 0.10abBC	6.14 ± 0.12bBC
10	5.54 ± 0.12aC	5.94 ± 0.07bC	6.49 ± 0.06cC
50	5.18 ± 0.05aB	5.44 ± 0.08abB	6.02 ± 0.04bB

Initial count for *E. coli*O157:H7 ATCC 43894: 9.30 log CFU/mL

^a Log reductions (log₁₀ CFU/mL) reported as means of triplicate determinations ± standard deviation. Different lowercase letters within same row differed significantly ($p < 0.05$) and different uppercase letters within same column differed significantly ($p < 0.05$)

(나) 식품의 종류별 미산성전해수 처리에 의한 저감화 분석

① 양배추에 대한 미산성저농도전해수의 적용

표 106은 침지시간(1, 3, 5min)과 미산성전해수의 차아염소산농도(증류수, 5, 7, 10, 50 ppm)별로 처리하였을 때 양배추에 존재하는 총균수의 저감효과를 나타냄. 증류수로 3분간 침지 시 $4.48 \pm 0.31 \log \text{ CFU/g}$ 에서 $0.36 \pm 0.11 \log \text{ CFU/g}$ 수준밖에 균이 감소하지 않았지만, 차아염소산 농도별(5, 7, 10 ppm)로는 침지시간에 따른 총균수 저감화의 차이가 없는 것으로 나타남. 반면에, 침지시간은 모든 전해수농도에서 1분보다는 3분과 5분에서 저감효과가 현저하게 증가하는 것으로 나타났으며 3분과 5분침지에서는 유의적 차이가 거의 없는 것으로 나타남.

증류수로 5분간 침지 시 $4.48 \pm 0.31 \log \text{ CFU/g}$ 에서 $0.35 \pm 0.10 \log \text{ CFU/g}$ 수준밖에 균이 감소하지 않았지만, 차아염소산농도 5, 7, 10 ppm에서 1분간 침지 시 초기균수 $4.52 \pm 0.24 \log \text{ CFU/g}$ 에서 1.78, 1.84, 1.98 $\log \text{ CFU/g}$ 의 저감효과를 나타냈으나, 3분 침지에서는 2.12, 2.23, 2.36 $\log \text{ CFU/g}$ 의 저감효과를 각각 나타냄. 5분 침지와 3분과 비교하여 차이가 없는 것으로 나타나 관능적 품질을 바탕으로 볼 때 3분침지가 더 좋은 것으로 나타남. 반면, 양성대조구로 사용한 50 ppm에서의 총균수 저감효과는 7 ppm의 미산성전해수농도보다 떨어지는 것으로 나타났으며 양배추에 오염된 식품독미생물의 저감화에 대한 연구는 침지시간을 3분으로 선정함.

표 106. Inactivation of total micro flora on cabbage by SlALcEW at different available chlorine concentrations and treatment times

Available chlorine concentrations (mg/l)	Initial population on cabbage (log CFU/g)	Log reduction on cabbage (log CFU/g) ^a		
		1 min	3 min	5 min
DW (Control)	$4.48 \pm 0.31a$	$0.38 \pm 0.08bA$	$0.36 \pm 0.11bA$	$0.35 \pm 0.10bA$
5	$4.50 \pm 0.19a$	$1.78 \pm 0.17bB$	$2.12 \pm 0.12bcB$	$2.20 \pm 0.14cB$
7	$4.51 \pm 0.15a$	$1.84 \pm 0.10bB$	$2.24 \pm 0.18bcB$	$2.33 \pm 0.08cB$
10	$4.52 \pm 0.24a$	$1.98 \pm 0.09bB$	$2.36 \pm 0.11bcB$	$2.48 \pm 0.13cB$
50	$4.49 \pm 0.12a$	$1.80 \pm 0.05bB$	$2.20 \pm 0.08bcB$	$2.32 \pm 0.04cB$

^a Log reductions($\log_{10} \text{ CFU/g}$) reported as means of triplicate determinations \pm standard deviation. Different lowercase letters within same row differed significantly ($p > 0.05$) and different uppercase letters within same column differed significantly ($p > 0.05$).

한편, 표 107은 *Listeria monocytogenes* ATCC 19115와 *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43894 균주를 접종한 양배추를 증류수, 10 ppm의 미산성전해수, 50 ppm의 강산성전해수에 실온에서 3분간 침지한 후 저감효과를 나타낸 결과임.

L. monocytogenes ATCC 19115는 증류수에서 0.82 ± 0.02 log CFU/g, 미산성전해수에서 3.18 ± 0.12 log CFU/g, 강산성전해수에서 2.98 ± 0.08 log CFU/g의 저감효과를 각각 나타냄. 반면, *E. coli* O157:H7 ATCC 43894는 증류수에서 0.61 ± 0.03 log CFU/g, 미산성전해수에서 2.80 ± 0.10 log CFU/g, 강산성전해수에서 2.69 ± 0.06 log CFU/g의 저감 효과를 각각 나타냄. 전해수의 저감효과가 *E. coli* O157:H7 ATCC 43894보다는 *L. monocytogenes* ATCC 19115에 높은 저감화를 확인함. *L. monocytogenes* ATCC 19115와 *E. coli* O157:H7 ATCC 43894 균주를 양배추에 접종한 후 미산성전해수(10 ppm)와 강산성전해수(50 ppm)의 침지하여 균의 저감효과를 확인한 결과, 미산성전해수가 강산성전해수보다 높은 저감효과를 보였지만, 유의적 차이는 확인할 수 없음($p > 0.05$).

미산성저농도전해수나 강산성전해수의 경우 모두 양배추에 오염된 총균수의 경우 식품 내의 다양한 matrix속에 존재하는 총균수를 저감화 하는 것이 접종한 식중독균 보다 저감화 효과가 감소하는 것으로 나타남.

표 107. Reductions in the population of inoculated pathogens on cabbage treated with treatment solutions in 3 min dipping

Pathogens	Unwashed Control	Reductions (\log_{10} CFU/g) ^a		
		DW ^b	SIALcEW ^c	SAEW ^d
<i>Listeria monocytogenes</i>	$6.98 \pm 0.20a$	$0.82 \pm 0.02c$	$3.18 \pm 0.12b$	$2.98 \pm 0.08b$
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	$6.99 \pm 0.10a$	$0.61 \pm 0.03c$	$2.80 \pm 0.10b$	$2.69 \pm 0.06b$

^a Log reductions (\log_{10} CFU/g) reported as means of triplicate determinations \pm standard deviation. Different letters within same row differed significantly ($p < 0.05$).

a Log reductions (\log_{10} CFU/g) reported as means of triplicate determinations

^b Distilled water

^c Slightly acidic low concentration electrolyzed water, 10 ppm

^d Strong acidicelectrolyzed water, 50 ppm

② 돼지고기에 대한 미산성저농도전해수의 적용

표 108은 침지시간(1, 3, 5min)과 미산성전해수의 차아염소산농도(증류수, 5, 7, 10, 50 ppm)별로 처리하였을 때 돼지고기에 존재하는 총균수의 저감효과를 나타냄. 증류수로 침지 시 침지시간에 따른 영향은 없는 것으로 나타났으며 약 0.3 log CFU/g의 감소를 나타냄. 반면에 차아염소산 농도별(5, 7, 10 ppm)로 침지시간에 따른 총균수 저감화는 각 농도별로 침지시간이 3분에서 10분으로 증가할 때 살균효과도 증가하는 것으로 나타남. 5 ppm의 경우 5분 침지 시 초기 총균수 4.59 ± 0.20 log CFU/mL에서 1.28 log CFU/mL 감소를 나타내었으나 10분 침지 시 1.4 log CFU/mL의 감소를 나타내었음. 반면에, 10 ppm 에서는 3분 침지 시 1.54 log CFU/mL 감소를 나타내었으나 10분 침지 시 1.70 log CFU/mL의 감소를 나타냄. 5분보다 10분 침지가 살균력이 약간 증가하는 것으로 나타났으나 침지시간이 길어짐에 따라 돼지고기에 함유된 일부 영양성분의 유출이 증가되어 관능면에서 볼 때 5분 침지가 더 합리적인 것으로 나타나 식중독균의 저감화에 대한 연구는 침지시간을 5분으로 함. 한편, 양성대조구로 사용한 50 ppm에서의 총균수 저감효과는 7 ppm의 미산성전해수와 비슷한 총균수 저감효과를 나타내었으며 양배추에 비하여 미산성전해수나 강산성전해수 모두 살균력이 떨어지는 것으로 나타남. 이는 돼지고기가 양배추에 비하여 유기물이 훨씬 많기 때문에 전해수의 살균효과를 감소시킨 것으로 기인됨.

표 108. Inactivation of total micro flora on pork by SIALcEW at different available chlorine concentrations and treatment times

Available chlorine concentrations (mg/l)	Initial population on pork (log CFU/g)	Log reduction on pork (log CFU/g) ^a		
		3 min	5 min	10 min
DW (Control)	4.61 ± 0.10a	0.30 ± 0.05bA	0.31 ± 0.10bA	0.29 ± 0.08bA
5	4.60 ± 0.12a	1.04 ± 0.10bB	1.28 ± 0.10bcB	1.40 ± 0.04cB
7	4.61 ± 0.08a	1.13 ± 0.12bB	1.38 ± 0.08bcB	1.52 ± 0.05cB
10	4.59 ± 0.20a	1.28 ± 0.09bB	1.54 ± 0.10bcB	1.70 ± 0.12cB
50	4.62 ± 0.05a	1.25 ± 0.08bB	1.40 ± 0.05bcB	1.56 ± 0.08bcB

^a Log reductions (log₁₀ CFU/g) reported as means of triplicate determinations ± standard deviation. Different lowercase letters within same row differed significantly ($p < 0.05$) and different uppercase letters within same column differed significantly ($p < 0.05$)

표 109는 돼지고기에 *L. monocytogenes* ATCC 19115와 *S. Typhimurium* ATCC 14028 균주를 접종하여 증류수, 미산성전해수(10 ppm), 강산성전해수(50 ppm)에 5분간 침지하여 식중독균의 저감효과를 나타낸 것임. *L. monocytogenes* ATCC 19115 균주를 $5.07 \pm 0.02 \log \text{ CFU/mL}$ 을 접종하여 증류수, 미산성전해수(10 ppm), 강산성전해수(50 ppm)에 5분간 침지한 결과, 각각 0.49, 2.42, 2.17 $\log \text{ CFU/g}$ 의 저감효과를 보였으며, *S. Typhimurium* ATCC 14028 균주를 $5.03 \pm 0.07 \log \text{ CFU/mL}$ 을 접종하여 증류수, 미산성전해수(10 ppm), 강산성전해수(50 ppm)에 5분간 침지한 결과, 각각 0.41, 2.23, 1.96 $\log \text{ CFU/g}$ 의 저감효과를 확인함. 전해수의 저감효과는 *S. Typhimurium* ATCC 14028 보다는 *L. monocytogenes* ATCC 19115에 높은 효과를 나타냈으며, *L. monocytogenes* ATCC 19115와 *S. Typhimurium* ATCC 14028 균주를 돼지고기에 접종한 후 미산성전해수(10 ppm)와 강산성전해수(50 ppm)의 침지하여 균의 저감효과를 확인한 결과, 미산성전해수가 강산성전해수보다 수치적으로는 다소 높은 저감효과를 보였지만 유의적 차이는 없었음($p > 0.05$).

표 109. Reductions in the population of inoculated pathogens on pork treated with treatment solutions in 5 min dipping

Pathogens	Unwashed Control	Reductions ($\log_{10} \text{ CFU/g}$) ^a		
		DW ^b	SIALcEW ^c	SAEW ^d
<i>Listeria monocytogenes</i>	$5.07 \pm 0.02a$	$0.49 \pm 0.08c$	$2.42 \pm 0.10b$	$2.17 \pm 0.09b$
<i>Salmonella Typhimurium</i>	$5.03 \pm 0.07a$	$0.41 \pm 0.05c$	$2.23 \pm 0.07b$	$1.96 \pm 0.11b$

^a Log reductions ($\log_{10} \text{ CFU/g}$) reported as means of triplicate determinations \pm standard deviation. Different letters within same row differed significantly ($p < 0.05$)

^b Distilled water

^c Slightly acidic low concentration electrolyzed water, 10 ppm

^d Strong acidic electrolyzed water, 50 ppm

나. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 대상 식품의 품질 변화 및 선도 유지 분석

(1) 식품 가공 공정 중 미생물 오염 현황 분석

신선편이 생식제품 가공공정 중 총균수와 대장균군의 균총변화는 표 110와 같음. 감자를 제외한 모든 시료에서 총균수와 대장균군이 검출되었으며, 최소 3.70 log CFU/mL에서 최대 7.89 log CFU/mL의 분포를 나타냄. 감자는 껍질로 덮여져 있어 위해미생물의 침입을 방지할 수 있는 것으로 사료되며, 일반 수도수로 세척을 하더라도, 쉽게 위해미생물을 제어할 수 있는 것으로 판단됨. 일반 생식제품 가공공정에서 사용하는 차아염소산나트륨으로 생식원료를 소독·살균 후 총균수와 대장균군의 저감도를 측정한 결과, 총균수 0.81~2.03 log CFU/mL, 대장균군 0.44~1.33 log CFU/mL의 저감도를 나타내어 차아염소산나트륨에 의한 총균수와 대장균군의 살균효능은 미비한 것으로 나타남(표110).

표 110. Survival population of total bacterial and coliform in the Sang-sik processing.

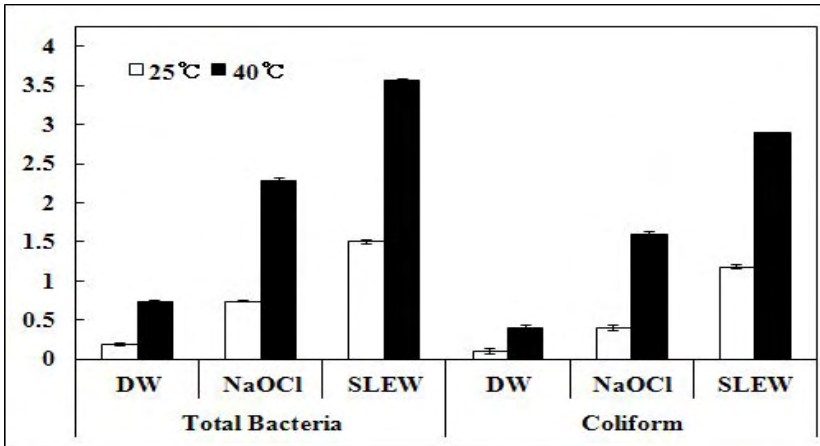
Sang-si k material	Bacterial	Survival population (log CFU/mL)			
		Raw material	Washing (Tap water)	Disinfection (NaOCl 150 mg/L)	Final washing (Cl ⁻ remove step)
Brown rice	Total bacteria	7.89 ± 0.15	7.70 ± 0.04	7.15 ± 0.12	7.08 ± 0.12
	Coliform	7.16 ± 0.21	7.06 ± 0.11	6.76 ± 0.23	6.72 ± 0.31
Barley	Total bacteria	5.36 ± 0.11	5.00 ± 0.13	4.57 ± 0.28	4.45 ± 0.24
	Coliform	3.70 ± 0.08	3.12 ± 0.23	2.72 ± 0.16	2.58 ± 0.11
Carrot	Total bacteria	6.67 ± 0.13	5.87 ± 0.18	4.67 ± 0.17	4.64 ± 0.10
	Coliform	4.45 ± 0.22	4.61 ± 0.16	4.02 ± 0.21	3.97 ± 0.19
Potato	Total bacteria	5.40 ± 0.14	4.56 ± 0.14	3.95 ± 0.07	3.79 ± 0.11
	Coliform	ND*	ND*	ND*	ND*
Angelica Utilis Makino	Total bacteria	7.03 ± 0.05	6.52 ± 0.26	5.99 ± 0.13	5.85 ± 0.24
	Coliform	4.90 ± 0.19	4.81 ± 0.18	4.09 ± 0.10	4.00 ± 0.18
Kale	Total bacteria	6.42 ± 0.20	6.34 ± 0.24	5.51 ± 0.21	5.46 ± 0.24
	Coliform	4.03 ± 0.16	3.93 ± 0.11	3.00 ± 0.28	2.70 ± 0.08

*ND, no detectable survivors by direct plating procedure.

(2) 식품 가공 공정 중 미산성 전해수 처리에 의한 위해미생물 제어기술 확보

(가) 현미

그림 291은 생식제품 원료 중 현미의 가공 공정 중 소독·살균과정에서 상온 25 °C와 mild heating 40 °C 처리한 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 상온 25 °C에서 총균수는 미산성 저농도 전해수 처리구에서 1.50 log CFU/mL의 살균력을 보여, 차아염소산나트륨 처리구 0.74 log CFU/mL보다 약 2배의 살균력을 나타냄. 대장균군에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서의 살균력은 1.18 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구에서의 살균력 0.40 log CFU/mL보다 약 3배의 살균효능을 나타냄. 또한, mild heating 40 °C에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서 총균수와 대장균군의 살균효능은 각각 3.56 log CFU/mL, 2.89 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구 2.29 log CFU/mL, 1.59 log CFU/mL보다 약 1.5배, 2배의 살균효능을 각각 나타냄.



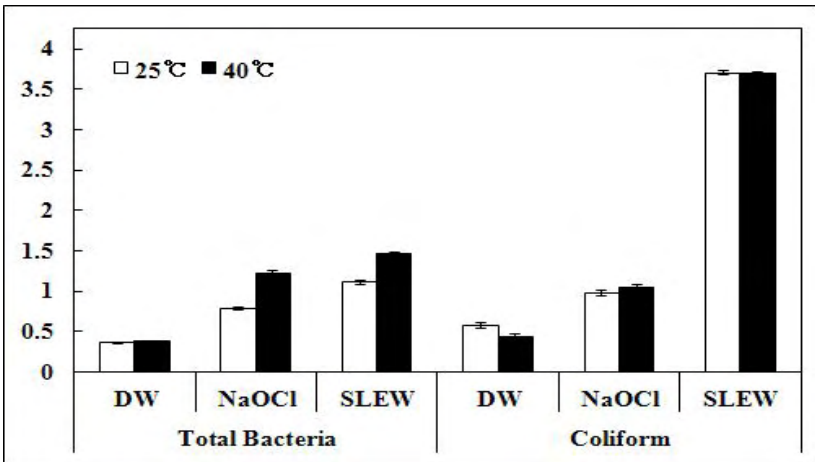
Strain	Initial count (log CFU/mL)	Sanitizer	Reduction (log CFU/mL)*	
			25 °C	40 °C
Total bacteria	7.89 ± 0.15	DW (control)	0.19 ± 0.11 ^a	0.74 ± 0.12 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	0.74 ± 0.15 ^b	2.29 ± 0.21 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	1.50 ± 0.21 ^c	3.56 ± 0.23 ^c
Coliform	7.16 ± 0.21	DW (control)	0.10 ± 0.31 ^a	0.40 ± 0.35 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	0.40 ± 0.34 ^b	1.59 ± 0.41 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	1.18 ± 0.28 ^c	2.89 ± 0.11 ^c

그림 291. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in brown rice by different dipping temperature treatment.

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

(나) 보리

그림 292은 생식제품 원료 중 보리의 가공 공정 중 소독·살균과정에서 상온 25 °C와 mild heating 40 °C 처리한 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 상온 25 °C에서 총균수는 미산성 저농도 전해수 처리구에서 1.11 log CFU/mL의 살균력을 보여, 차아염소산나트륨 처리구 0.79 log CFU/mL보다 약 1.4배의 살균력을 나타냄. 대장균군에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서의 살균력은 3.70 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구에서의 살균력 0.98 log CFU/mL보다 약 3.8배의 살균효능을 나타냄. 또한, mild heating 40 °C에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서 총균수와 대장균군의 살균효능은 각각 1.46 log CFU/mL, 3.70 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구 1.23 log CFU/mL, 1.04 log CFU/mL보다 약 1.2배, 3.6배의 살균효능을 각각 나타냄.



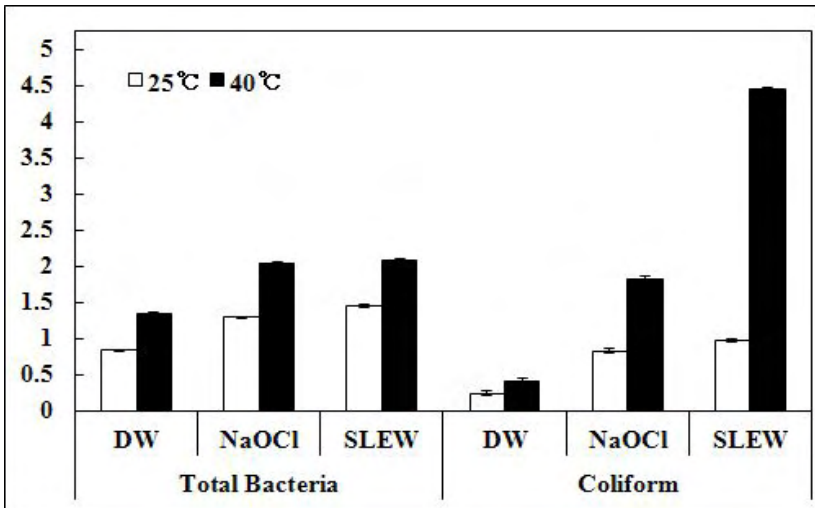
Strain	Initial count (log CFU/mL)	Sanitizer	Reduction (log CFU/mL)*	
			25 °C	40 °C
Total bacteria	5.36 ± 0.11	DW (control)	0.36 ± 0.11 ^a	0.38 ± 0.12 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	0.79 ± 0.15 ^b	1.23 ± 0.21 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	1.11 ± 0.21^c	1.46 ± 0.23^{bc}
Coliform	3.70 ± 0.08	DW (control)	0.58 ± 0.31 ^a	0.43 ± 0.35 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	0.98 ± 0.34 ^b	1.04 ± 0.41 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	3.70 ± 0.24^c	3.70 ± 0.11^c

그림 292. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in barley by different dipping temperature treatment.

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

(다) 당근

그림 293은 생식제품 원료 중 당근의 가공 공정 중 소독·살균과정에서 상온 25 °C와 mild heating 40 °C 처리한 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 상온 25 °C에서 총균수는 미산성 저농도 전해수 처리구에서 1.44 log CFU/mL의 살균력을 보여, 차아염소산나트륨 처리구 1.29 log CFU/mL보다 약 1.1배의 살균력을 나타냄. 대장균군에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서의 살균력은 0.97 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구에서의 살균력 0.83 log CFU/mL보다 약 1.2배의 살균효능을 나타냄. 또한, mild heating 40 °C에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서 총균수와 대장균군의 살균효능은 각각 2.07 log CFU/mL, 4.45 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구 2.04 log CFU/mL, 1.82 log CFU/mL보다 약 1.0배, 2.4배의 살균효능을 각각 나타냄.



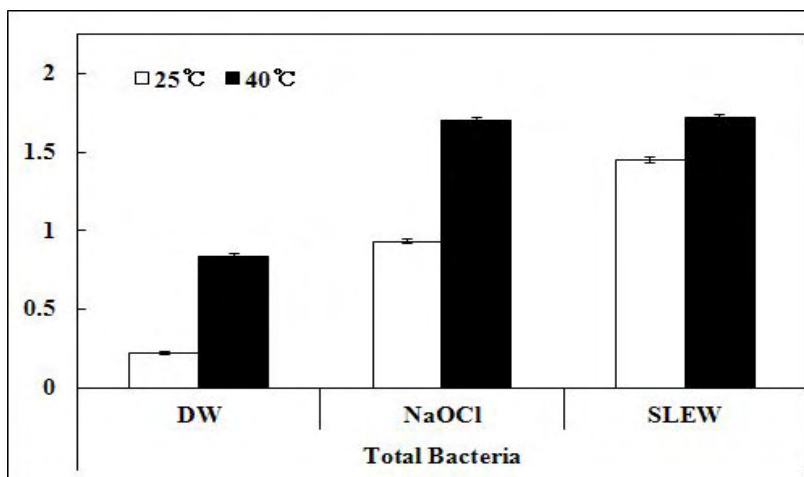
Strain	Initial count (log CFU/mL)	Sanitizer	Reduction (log CFU/mL)*	
			25 °C	40 °C
Total bacteria	6.67 ± 0.13	DW (control)	0.84 ± 0.12 ^a	1.35 ± 0.12 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	1.29 ± 0.13 ^b	2.04 ± 0.21 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	1.44 ± 0.12^{bc}	2.07 ± 0.23^b
Coliform	4.45 ± 0.22	DW (control)	0.24 ± 0.21 ^a	0.41 ± 0.35 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	0.83 ± 0.24 ^b	1.82 ± 0.41 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	0.97 ± 0.28^{bc}	4.45 ± 0.11^c

그림 293. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in carrot by different dipping temperature treatment.

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

(라) 감자

그림 294은 생식제품 원료 중 감자의 가공 공정 중 소독·살균과정에서 상온 25 °C와 mild heating 40 °C 처리한 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 상온 25 °C에서 총균수는 미산성 저농도 전해수 처리구에서 1.45 log CFU/mL의 살균력을 보여, 차아염소산나트륨 처리구 0.93 log CFU/mL보다 약 1.1배의 살균력을 나타내었으나, 대장균군은 검출되지 않음. 또한, mild heating 40 °C에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서 총균수의 살균효능은 각각 1.72 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구 1.70 log CFU/mL와 거의 비슷한 살균효능을 나타냄.



Strain	Initial count (log CFU/mL)	Sanitizer	Reduction (log CFU/mL)*	
			25 °C	40 °C
Total bacteria	5.40 ± 0.14	DW (control)	0.22 ± 0.08 ^a	0.84 ± 0.04 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	0.93 ± 0.10 ^b	1.70 ± 0.14 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	1.45 ± 0.11^c	1.72 ± 0.15^b
Coliform	ND**	DW (control)	ND**	ND**
		NaOCl (150 mg/L)	ND**	ND**
		SLEW (30 mg/mL)	ND**	ND**

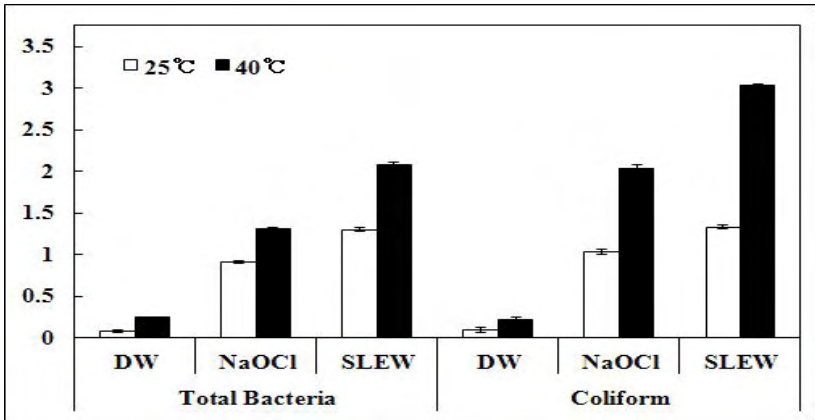
그림 294. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in potato by different dipping temperature treatment.

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

**ND, no detectable survivors by direct plating procedure.

(마) 케일

그림 295는 생식제품 원료 중 케일의 가공 공정 중 소독·살균과정에서 상온 25 °C와 mild heating 40 °C 처리한 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 상온 25 °C에서 총균수는 미산성 저농도 전해수 처리구에서 1.30 log CFU/mL의 살균력을 보여, 차아염소산나트륨 처리구 0.91 log CFU/mL보다 약 1.4배의 살균력을 나타냄. 대장균군에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서의 살균력은 2.08 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구에서의 살균력 1.31 log CFU/mL보다 약 1.6배의 살균효능을 나타냄. 또한, mild heating 40 °C에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서 총균수와 대장균군의 살균효능은 각각 1.33 log CFU/mL, 3.03 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구 1.03 log CFU/mL, 2.03 log CFU/mL보다 약 1.3배, 1.5배의 살균효능을 각각 나타냄.



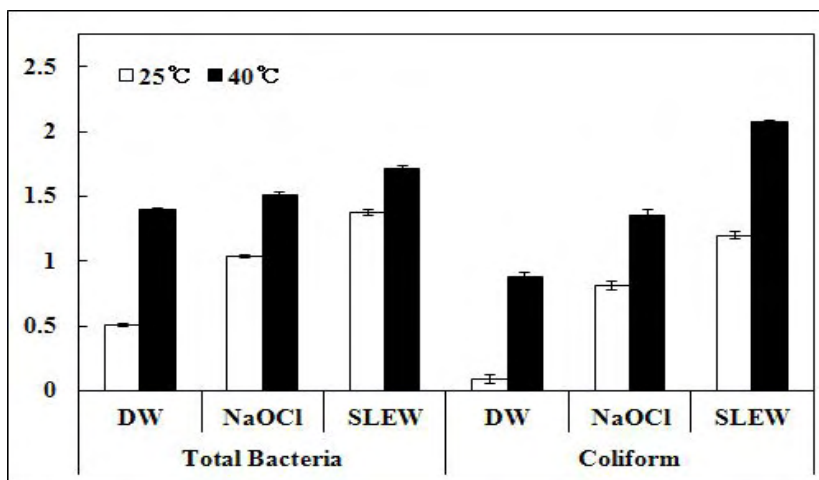
Strain	Initial count (log CFU/mL)	Sanitizer	Reduction (log CFU/mL)*	
			25 °C	40 °C
Total bacteria	6.42 ± 0.24	DW (control)	0.08 ± 0.08 ^a	0.24 ± 0.15 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	0.91 ± 0.10 ^b	1.31 ± 0.14 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	1.30 ± 0.11^c	2.08 ± 0.15^c
Coliform	4.03 ± 0.19	DW (control)	0.10 ± 0.15 ^a	0.22 ± 0.20 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	1.03 ± 0.16 ^b	2.03 ± 0.31 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	1.33 ± 0.20^c	3.03 ± 0.15^c

그림 295. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in kale by different dipping temperature treatment.

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

(바) 신선초

그림 296은 생식제품 원료 중 신선초의 가공 공정 중 소독·살균과정에서 상온 25 °C와 mild heating 40 °C 처리한 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 상온 25 °C에서 총균수는 미산성 저농도 전해수 처리구에서 1.38 log CFU/mL의 살균력을 보여, 차아염소산나트륨 처리구 1.04 log CFU/mL보다 약 1.3배의 살균력을 나타냄. 대장균군에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서의 살균력은 2.08 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구에서의 살균력 1.51 log CFU/mL보다 약 1.4배의 살균효능을 나타냄. 또한, mild heating 40 °C에서 미산성 저농도 전해수 처리구에서 총균수와 대장균군의 살균효능은 각각 1.20 log CFU/mL, 1.72 log CFU/mL로 차아염소산나트륨 처리구 0.81 log CFU/mL, 1.36 log CFU/mL보다 약 1.5배, 1.3배의 살균효능을 각각 나타냄.



Strain	Initial count (log CFU/mL)	Sanitizer	Reduction (log CFU/mL)*	
			25 °C	40 °C
Total bacteria	7.03 ± 0.28	DW (control)	0.51 ± 0.12 ^a	1.40 ± 0.13 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	1.04 ± 0.14 ^b	1.51 ± 0.11 ^{ab}
		SLEW (30 mg/mL)	1.38 ± 0.13 ^c	2.08 ± 0.14 ^c
Coliform	4.90 ± 0.14	DW (control)	0.09 ± 0.12 ^a	0.88 ± 0.17 ^a
		NaOCl (150 mg/L)	0.81 ± 0.14 ^b	1.36 ± 0.19 ^b
		SLEW (30 mg/mL)	1.20 ± 0.16 ^c	1.72 ± 0.20 ^c

그림 296. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in *Angelica utilis makino* by different dipping temperature treatment.

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

(3) 미산성 저농도 전해수 처리한 식품의 저장 중 미생물학적, 이화학적 품질 변화 분석

(가) 저장에 따른 미생물 균총 변화

① 현미

표 111은 생식제품 원료 중 현미를 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 °C) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 중 총균수와 대장균군에 대한 균총 변화를 나타낸 결과임. NaOCl 처리구와 SLEW 처리구에서의 초기 총균수(0 day)는 각각 $3.45 \pm 0.11 \log \text{CFU/mL}$, $3.20 \pm 0.09 \log \text{CFU/mL}$ 로, SLEW 처리구가 NaOCl 처리구보다 $0.25 \log \text{CFU/mL}$ 더 낮음을 나타냄. 초기 대장균군은 NaOCl 처리구 $2.95 \pm 0.08 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구 $2.05 \pm 0.15 \log \text{CFU/mL}$ 로서 SLEW 처리구가 NaOCl 처리구보다 $0.90 \log \text{CFU/mL}$ 더 낮음. 각 온도별로 저장기간이 경과함에 따라 총균수와 대장균군이 증가하는 경향을 나타냄.

② 보리

표 112은 생식제품 원료 중 보리의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 °C) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 총균수와 대장균군을 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 각각 NaOCl 처리구에서 $4.85 \pm 0.09 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $3.24 \pm 0.12 \log \text{CFU/mL}$ 이었고, 초기 대장균수는 각각 NaOCl 처리구에서 $3.90 \pm 0.13 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $2.85 \pm 0.18 \log \text{CFU/mL}$ 로 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 $1.00 \log \text{CFU/mL}$ 이상 높은 살균력을 나타냄. 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있으나, NaOCl 처리구 보다 SLEW 처리구에서 균수의 증가율이 낮음을 볼 수 있음. 또한 저장기간(0 day)에서의 초기 균수의 양이 적을수록 균수의 증가율이 낮음. 총균수 보다 대장균군이 온도의 영향을 쉽게 받아 낮은 온도에서 쉽게 균수 증가 하는 것으로 나타났으며 현미보다 보리가 높은 온도에서 쉽게 부패하는 경향을 나타냄. 저장온도 20, 25, 30 °C에서는 저장기간 5일 이후에는 대부분 $9.00 \log \text{CFU/mL}$ 이상으로 균수가 증가 하였으며, 그 이후의 저장기간에서는 균수를 측정하지 않음.

表 111. Effect of electrolyzed water on inactivation of total bacteria and coliform in Brown rice by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (℃)	Sanitizer	log CFU/mL*					
			Storage time (day)					
			5	10	15	20	30	
Total bacteria	4	NaOCl	3.67 ± 0.09 ^{ab***A}	4.01 ± 0.14 ^{abB***}	4.43 ± 0.11 ^{abB}	4.67 ± 0.11 ^{abB}	5.34 ± 0.11 ^{abB}	
		SLEW	3.30 ± 0.12 ^{abA}	3.43 ± 0.21 ^{abA}	3.67 ± 0.08 ^{aA}	4.01 ± 0.10 ^{abB}	4.57 ± 0.21 ^{abB}	
	10	NaOCl	4.26 ± 0.13 ^{abA}	5.84 ± 0.30 ^{bb}	6.95 ± 0.11 ^{bb}	7.90 ± 0.11 ^{bcc}	> 9.00 ^{dd}	
		SLEW	4.13 ± 0.16 ^{abA}	5.02 ± 0.11 ^{bb}	5.50 ± 0.19 ^{abB}	6.80 ± 0.23 ^{bc}	> 9.00 ^{dd}	
	15	NaOCl	5.31 ± 0.11 ^{bb}	7.20 ± 0.03 ^{bcc}	8.81 ± 0.13 ^{bcc}	> 9.00 ^{cd}	-	
		SLEW	4.80 ± 0.23 ^{abA}	6.50 ± 0.06 ^{bc}	7.90 ± 0.31 ^{bcc}	> 9.00 ^{cd}	-	
	20	NaOCl	7.20 ± 0.13 ^{bcA}	> 9.00 ^{cb}	-	-	-	
		SLEW	6.83 ± 0.09 ^{ba}	> 9.00 ^{cb}	-	-	-	
	25	NaOCl	8.35 ± 0.21 ^{bcA}	> 9.00 ^{cb}	-	-	-	
		SLEW	7.68 ± 0.19 ^{bcA}	> 9.00 ^{cb}	-	-	-	
	30	NaOCl	> 9.00 ^c	> 9.00 ^c	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^c	> 9.00 ^c	-	-	-	
	Coliform	4	NaOCl	3.05 ± 0.13 ^{abA}	3.22 ± 0.13 ^{abA}	4.45 ± 0.21 ^{abB}	4.86 ± 0.06 ^{abB}	5.40 ± 0.14 ^{bc}
			SLEW	2.24 ± 0.22 ^{aA}	2.30 ± 0.07 ^{aA}	3.21 ± 0.05 ^{abB}	3.45 ± 0.02 ^{abB}	3.90 ± 0.06 ^{abB}
10		NaOCl	4.25 ± 0.14 ^{abA}	4.63 ± 0.21 ^{abA}	6.05 ± 0.03 ^{bb}	7.55 ± 0.16 ^{bcb}	> 9.00 ^{dc}	
		SLEW	3.05 ± 0.18 ^{abA}	3.32 ± 0.08 ^{abA}	4.33 ± 0.14 ^{abA}	5.67 ± 0.23 ^{bb}	7.80 ± 0.15 ^{cb}	
15		NaOCl	4.88 ± 0.09 ^{abB}	6.30 ± 0.01 ^{bc}	> 9.00 ^{cd}	-	-	
		SLEW	3.35 ± 0.14 ^{abA}	5.90 ± 0.03 ^{bb}	7.56 ± 0.14 ^{bcc}	> 9.00 ^{cd}	-	
20		NaOCl	6.56 ± 0.07 ^{ba}	> 9.00 ^{cb}	-	-	-	
		SLEW	5.55 ± 0.31 ^{ba}	7.90 ± 0.16 ^{bcb}	> 9.00 ^{cb}	-	-	
25		NaOCl	8.86 ± 0.11 ^{bcA}	> 9.00 ^{cb}	-	-	-	
		SLEW	7.43 ± 0.17 ^{bcA}	> 9.00 ^{cb}	-	-	-	
30		NaOCl	> 9.00 ^{ca}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{ca}	-	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

☿ 112. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in barley by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	log CFU/mL*					
			Storage time(day)					
			5	10	15	20	30	
Total bacteria	4	NaOCl	5.32 ± 0.23 ^{ab***AB}	6.35 ± 0.10 ^{5B***}	6.88 ± 0.36 ^{5B}	8.55 ± 0.08 ^{5B^{BC}}	> 9.00 ^{5C}	
		SLEW	3.49 ± 0.12 ^{5A}	4.05 ± 0.09 ^{5A^B}	4.55 ± 0.24 ^{5A}	6.18 ± 0.16 ^{5A}	8.23 ± 0.11 ^{5A}	
	10	NaOCl	6.18 ± 0.11 ^{5A}	8.85 ± 0.03 ^{5B}	> 9.00 ^{5C}	-	-	
		SLEW	5.59 ± 0.21 ^{5A}	7.02 ± 0.07 ^{5B}	> 9.00 ^{5C}	-	-	
	15	NaOCl	8.94 ± 0.02 ^{5C^A}	> 9.00 ^{5B}	-	-	-	
		SLEW	7.26 ± 0.17 ^{5C^A}	> 9.00 ^{5B}	-	-	-	
	20	NaOCl	> 9.00 ^{5A}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{5A}	-	-	-	-	
	25	NaOCl	> 9.00 ^{5A}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{5A}	-	-	-	-	
	30	NaOCl	> 9.00 ^{5A}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{5A}	-	-	-	-	
	Coliform	4	NaOCl	4.05 ± 0.12 ^{5ab}	4.10 ± 0.13 ^{5ab}	4.55 ± 0.17 ^{5a}	4.90 ± 0.13 ^{5a}	5.77 ± 0.14 ^{5b}
			SLEW	3.02 ± 0.11 ^{5a}	3.20 ± 0.27 ^{5a}	3.64 ± 0.11 ^{5a}	4.15 ± 0.19 ^{5a}	4.60 ± 0.13 ^{5a}
10		NaOCl	4.88 ± 0.31 ^{5ab}	6.98 ± 0.31 ^{5b}	8.90 ± 0.13 ^{5bc}	> 9.00 ^{5b}	-	
		SLEW	3.92 ± 0.11 ^{5a}	5.65 ± 0.11 ^{5ab}	7.45 ± 0.09 ^{5bc}	> 9.00 ^{5b}	-	
15		NaOCl	5.80 ± 0.24 ^{5ab}	8.12 ± 0.11 ^{5bc}	> 9.00 ^{5c}	-	-	
		SLEW	4.50 ± 0.21 ^{5ab}	7.35 ± 0.17 ^{5bc}	> 9.00 ^{5c}	-	-	
20		NaOCl	7.64 ± 0.19 ^{5bc}	> 9.00 ^{5c}	-	-	-	
		SLEW	7.44 ± 0.14 ^{5bc}	> 9.00 ^{5c}	-	-	-	
25		NaOCl	> 9.00 ^{5c}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{5c}	-	-	-	-	
30		NaOCl	> 9.00 ^{5c}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{5c}	-	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p < 0.05$).

③ 당근

표 113은 생식제품 원료 중 당근의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 총균수와 대장균군을 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 NaOCl 처리구에서 $3.59 \pm 0.09 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $2.05 \pm 0.10 \log \text{CFU/mL}$ 로 약 1.5배 살균력이 높음. 초기 대장균군은 각각 NaOCl 처리구와 SLEW 처리구에서는 모든 샘플에서 ND(not detection)으로 균을 검출 할 수 없었고 30 ℃에서는 $>2.00 \log \text{CFU/mL}$ 로 나타남. 총균수는 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있으며, NaOCl 처리구 보다 SLEW 처리구에서 균수의 증가율이 낮음을 볼 수 있음. 또한 저장기간(0 day)에서의 초기 균수의 양이 적을수록 균수의 증가율이 낮음. 당근에서는 거의 모든 샘플에서 대장균군을 검출할 수 없었고, 30 ℃ 샘플에서만 균수를 확인할 수 있음. 20, 25, 30 ℃에서 ND(not detection) 임에도 불구하고 더 이상 균을 측정하지 않은 이유는 샘플 자체의 외관상 상품의 가치가 없는 것으로 판단되어 측정하지 않음.

④ 감자

표 114은 생식제품 원료 중 감자의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 총균수와 대장균군을 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 각각 NaOCl 처리구에서 $4.45 \pm 0.15 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $3.80 \pm 0.15 \log \text{CFU/mL}$ 로 SLEW에서 보다 높은 살균력을 나타내었고, 초기 대장균군은 각각 NaOCl 처리구와 SLEW 처리구에서 ND(not detection)으로 $<1.00 \log \text{CFU/mL}$ 로 측정됨. 총균수에서는 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있으나, NaOCl 처리구 보다 SLEW 처리구에서 균수의 증가율이 낮음을 볼 수 있음. 또한 저장기간(0 day)에서의 초기 균수의 양이 적을수록 균수의 증가율이 낮음. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5일 이후에는 대부분 $>9.00 \log \text{CFU/mL}$ 이상으로 균수가 증가하였으며, 외관상 결표면이 부패하거나 썩이 나서 상품의 가치가 없는 것으로 판단하여 그 이후의 저장기간에서는 균수를 측정하지 않음. 대장균군에서는 샘플 모두 대장균군을 검출 할 수 없음.

Figure 113. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in Carrot by different temperature during storage

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	log CFU/mL*					
			Storage time(day)					
			5	10	15	20	30	
Total bacteria	4	NaOCl	3.62 ± 0.16 ^{ab***B}	3.68 ± 0.13 ^{abB***}	3.78 ± 0.03 ^{abB}	3.97 ± 0.17 ^{abB}	4.23 ± 0.13 ^{bc}	
		SLEW	2.09 ± 0.12 ^{aA}	2.30 ± 0.19 ^{aA}	2.40 ± 0.16 ^{aA}	2.80 ± 0.13 ^{aA}	2.95 ± 0.16 ^{aA}	
	10	NaOCl	3.65 ± 0.03 ^{abA}	4.10 ± 0.16 ^{bb}	4.56 ± 0.15 ^{bb}	4.80 ± 0.16 ^{bb}	5.20 ± 0.19 ^{bb}	
		SLEW	3.15 ± 0.04 ^{abA}	3.33 ± 0.14 ^{abA}	3.59 ± 0.18 ^{abA}	3.85 ± 0.08 ^{abB}	3.92 ± 0.13 ^{bb}	
	15	NaOCl	4.23 ± 0.23 ^{bb}	5.80 ± 0.09 ^{bcB}	6.88 ± 0.18 ^{cc}	8.50 ± 0.14 ^{cd}	>9.00 ^e	
		SLEW	3.02 ± 0.13 ^{abA}	4.50 ± 0.21 ^{bb}	5.20 ± 0.09 ^{bcC}	6.02 ± 0.22 ^{bcC}	7.32 ± 0.11 ^{cd}	
	20	NaOCl	5.82 ± 0.14 ^{bcB}	6.02 ± 0.07 ^{cb}	-	-	-	
		SLEW	4.00 ± 0.06 ^{ba}	4.40 ± 0.16 ^{ba}	-	-	-	
	25	NaOCl	6.20 ± 0.07 ^{ca}	-	-	-	-	
		SLEW	5.34 ± 0.13 ^{bcA}	-	-	-	-	
	30	NaOCl	6.39 ± 0.26 ^{ca}	-	-	-	-	
		SLEW	5.59 ± 0.14 ^{bcA}	-	-	-	-	
	Coliform	4	NaOCl	ND****	ND	ND	ND	ND
			SLEW	ND	ND	ND	ND	ND
10		NaOCl	ND	ND	ND	ND	ND	
		SLEW	ND	ND	ND	ND	ND	
15		NaOCl	ND	ND	ND	ND	-	
		SLEW	ND	ND	ND	ND	-	
20		NaOCl	ND	ND	ND	-	-	
		SLEW	ND	ND	ND	-	-	
25		NaOCl	ND	ND	ND	-	-	
		SLEW	ND	ND	ND	-	-	
30		NaOCl	< 2.00 ^{aA}	3.40 ± 0.12 ^{abB}	4.07 ± 0.16 ^{abB}	-	-	
		SLEW	< 2.00 ^{aA}	2.58 ± 0.13 ^{aA}	3.00 ± 0.19 ^{abA}	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

****ND, no detectable survivors by direct plating procedure.

표 114. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in Potato by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (℃)	Sanitizer	log CFU/mL*					
			Storage time(day)					
			5	10	15	20	30	
Total bacteria	4	NaOCl	4.52 ± 0.12 ^{b***A}	4.88 ± 0.13 ^{aA****}	5.15 ± 0.13 ^{BB}	5.18 ± 0.09 ^{BB}	5.71 ± 0.19 ^{aB}	
		SLEW	3.90 ± 0.13 ^{aA}	4.55 ± 0.08 ^{aB}	4.68 ± 0.16 ^{aB}	4.90 ± 0.14 ^{aC}	5.31 ± 0.14 ^{aC}	
	10	NaOCl	5.10 ± 0.09 ^{cC}	5.58 ± 0.15 ^{bC}	5.59 ± 0.14 ^{bC}	5.86 ± 0.31 ^{bC}	6.16 ± 0.15 ^{bC}	
		SLEW	3.95 ± 0.13 ^{aA}	4.26 ± 0.04 ^{aB}	4.7 ± 0.24 ^{aB}	5.30 ± 0.28 ^{bC}	5.98 ± 0.16 ^{bC}	
	15	NaOCl	5.12 ± 0.11 ^{cA}	5.78 ± 0.14 ^{bA}	6.80 ± 0.31 ^{cB}	7.38 ± 0.11 ^{cC}	-	
		SLEW	4.18 ± 0.24 ^{bA}	4.80 ± 0.30 ^{aA}	5.12 ± 0.14 ^{BB}	5.78 ± 0.04 ^{BB}	-	
	20	NaOCl	5.96 ± 0.09 ^{cA}	8.50 ± 0.15 ^{cA}	-	-	-	
		SLEW	5.85 ± 0.03 ^{cB}	7.50 ± 0.19 ^{cA}	-	-	-	
	25	NaOCl	6.31 ± 0.18 ^{dA}	-	-	-	-	
		SLEW	5.88 ± 0.20 ^{cA}	-	-	-	-	
	30	NaOCl	7.96 ± 0.30 ^{eA}	-	-	-	-	
		SLEW	7.45 ± 0.12 ^{eA}	-	-	-	-	
	Coliform	4	NaOCl	ND**	ND	ND	ND	ND
			SLEW	ND	ND	ND	ND	ND
10		NaOCl	ND	ND	ND	ND	ND	
		SLEW	ND	ND	ND	ND	ND	
15		NaOCl	ND	ND	ND	ND	-	
		SLEW	ND	ND	ND	ND	-	
20		NaOCl	ND	ND	ND	-	-	
		SLEW	ND	ND	ND	-	-	
25		NaOCl	ND	ND	ND	-	-	
		SLEW	ND	ND	ND	-	-	
30		NaOCl	ND	ND	-	-	-	
		SLEW	ND	ND	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

****ND, no detectable survivors by direct plating procedure.

⑤ 케일

표 115은 생식제품 원료 중 케일의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 총 균수와 대장균수를 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 각각 NaOCl 처리 구에서 $4.24 \pm 0.19 \log$ CFU/mL, SLEW 처리 구에서 $4.12 \pm 0.03 \log$ CFU/mL 이었고, 초기 대장균수는 각각 NaOCl 처리 구에서 2.03 ± 0.08 , SLEW 처리 구에서 $<2.00 \log$ CFU/mL로 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 높은 살균력을 나타냄. 다른 제품 원료보다 부패 및 외관상 상품가치 하락 정도가 빨랐으며, 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있음. NaOCl 처리 구 보다 SLEW 처리구에서 균수의 증가율이 낮음을 볼 수 있음. 또한 저장기간(0 day)에서의 초기 균수의 양이 적을수록 균수의 증가율이 낮음. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5일 이후에는 대부분 $>9.00 \log$ CFU/mL 이상으로 균수가 증가한 것으로 판단되며, 제품으로 쓸 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 균수를 측정하지 않음.

⑥ 신선초

표 116은 생식제품 원료 중 신선초의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 살균효능을 나타낸 결과임. 총균수와 대장균수를 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 각각 NaOCl 처리구에서 $4.89 \pm 0.18 \log$ CFU/mL, SLEW 처리구에서 $4.63 \pm 0.06 \log$ CFU/mL 이었고, 초기 대장균수는 각각 NaOCl 처리구에서 $4.13 \pm 0.17 \log$ CFU/mL, SLEW 처리구에서 $3.43 \log$ CFU/mL로 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 높은 살균력을 나타냄. 신선초는 케일 제품 다음으로 부패 및 외관상 상품가치 하락 정도가 빨랐으며, 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있음. NaOCl 처리구 보다 SLEW 처리구에서 균수의 증가율이 낮음을 볼 수 있음. 또한 저장기간(0 day)에서의 초기 균수의 양이 적을수록 균수의 증가율이 낮음. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 10일 이후에는 대부분 $>9.00 \log$ CFU/mL 이상으로 균수가 증가한 것으로 판단되며, 제품으로 쓸 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 균수를 측정하지 않음.

☒ 115. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in Kale by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	log CFU/mL*				
			Storage time(day)				
			5	10	15	20	30
Total bacteria	4	NaOCl	4.52 ± 0.11 ^{a***A}	5.76 ± 0.13 ^{aB***}	5.99 ± 0.16 ^{aB}	6.00 ± 0.24 ^{bC}	-
		SLEW	4.38 ± 0.06 ^{aA}	5.24 ± 0.12 ^{aB}	5.71 ± 0.11 ^{aB}	5.89 ± 0.16 ^{aC}	-
	10	NaOCl	6.46 ± 0.04 ^{bA}	8.23 ± 0.18 ^{bB}	> 9.00 ^{bC}	-	-
		SLEW	6.41 ± 0.23 ^{bA}	8.68 ± 0.17 ^{bB}	> 9.00 ^{bC}	-	-
	15	NaOCl	7.56 ± 0.24 ^{bA}	> 9.00 ^{bB}	-	-	-
		SLEW	8.25 ± 0.19 ^{bCA}	> 9.00 ^{bB}	-	-	-
	20	NaOCl	7.19 ± 0.16 ^{bA}	> 9.00 ^{bC}	-	-	-
		SLEW	8.24 ± 0.17 ^{bB}	> 9.00 ^{bC}	-	-	-
	25	NaOCl	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-
		SLEW	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-
	30	NaOCl	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-
		SLEW	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-
Coliform	4	NaOCl	2.05 ± 0.27 ^{aB}	2.23 ± 0.13 ^{aB}	2.24 ± 0.16 ^{aB}	2.56 ± 0.18 ^{bC}	-
		SLEW	< 2.00 ^{aA}	< 2.00 ^{aA}	< 2.00 ^{aA}	2.01 ± 0.29 ^{aB}	-
	10	NaOCl	2.09 ± 0.20 ^{aA}	2.35 ± 0.12 ^{aB}	2.80 ± 0.11 ^{bC}	2.98 ± 0.21 ^{cC}	-
		SLEW	< 2.00 ^{aA}	< 2.00 ^{aA}	2.05 ± 0.09 ^{aA}	2.50 ± 0.14 ^{bB}	-
	15	NaOCl	3.56 ± 0.13 ^{bB}	5.96 ± 0.15 ^{bC}	-	-	-
		SLEW	2.89 ± 0.19 ^{aA}	5.66 ± 0.15 ^{bC}	-	-	-
	20	NaOCl	4.58 ± 0.16 ^{bB}	-	-	-	-
		SLEW	3.50 ± 0.18 ^{bA}	-	-	-	-
	25	NaOCl	-	-	-	-	-
		SLEW	-	-	-	-	-
	30	NaOCl	-	-	-	-	-
		SLEW	-	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p < 0.05$).

☒ 116. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in *Angelica utilis makino* by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Log CFU/ml*					
			Storage time(day)					
			5	10	15	20	30	
Total bacteria	4	NaOCl	5.39 ± 0.13 ^{***A}	5.88 ± 0.13 ^{aA***}	7.15 ± 0.14 ^{bc}	7.50 ± 0.14 ^{bc}	-	
		SLEW	5.24 ± 0.12 ^{aA}	5.59 ± 0.12 ^{aA}	6.65 ± 0.28 ^{ab}	6.76 ± 0.05 ^{ab}	-	
	10	NaOCl	7.39 ± 0.09 ^{dB}	7.61 ± 0.14 ^{dB}	8.23 ± 0.11 ^{dB}	> 9.00 ^c	-	
		SLEW	6.58 ± 0.23 ^{abA}	6.68 ± 0.31 ^{abA}	7.45 ± 0.19 ^{bb}	7.9 ± 0.16 ^{bb}	-	
	15	NaOCl	7.1 ± 0.14 ^{bA}	> 9.00 ^{dB}	-	-	-	
		SLEW	7.67 ± 0.15 ^{bA}	> 9.00 ^{dB}	-	-	-	
	20	NaOCl	7.49 ± 0.17 ^{bA}	> 9.00 ^{dB}	-	-	-	
		SLEW	7.45 ± 0.09 ^{bA}	> 9.00 ^{dB}	-	-	-	
	25	NaOCl	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-	
	30	NaOCl	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-	
	Coliform	4	NaOCl	5.12 ± 0.16 ^{abA}	5.90 ± 0.14 ^{ab}	6.66 ± 0.11 ^{ab}	7.12 ± 0.11 ^{ac}	-
			SLEW	4.20 ± 0.14 ^{aA}	6.00 ± 0.11 ^{ab}	6.60 ± 0.19 ^{ab}	7.65 ± 0.02 ^{ac}	-
10		NaOCl	5.12 ± 0.18 ^{abA}	6.24 ± 0.19 ^{abAB}	7.72 ± 0.17 ^{bb}	> 9.00 ^{bc}	-	
		SLEW	4.67 ± 0.15 ^{aA}	5.42 ± 0.19 ^{aAb}	6.84 ± 0.26 ^{ab}	> 9.00 ^{bc}	-	
15		NaOCl	7.04 ± 0.25 ^{bA}	8.79 ± 0.11 ^{bcB}	> 9.00 ^{cc}	-	-	
		SLEW	6.41 ± 0.13 ^{bA}	8.7 ± 0.28 ^{bcB}	> 9.00 ^{cc}	-	-	
20		NaOCl	6.99 ± 0.16 ^{bA}	> 9.00 ^{dB}	-	-	-	
		SLEW	6.88 ± 0.19 ^{bA}	> 9.00 ^{dB}	-	-	-	
25		NaOCl	7.92 ± 0.14 ^{bcA}	> 9.00 ^{dB}	-	-	-	
		SLEW	7.51 ± 0.13 ^{bA}	> 9.00 ^{dB}	-	-	-	
30		NaOCl	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-	
		SLEW	> 9.00 ^{cA}	-	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p < 0.05$).

(나) 이화학적 품질변화

① 현미

표 117.은 생식제품 원료 중 현미의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각 샘플을 취하여 색차계(CR-310, MINOLTA, Japan)를 이용하여 측정함. 각각 초기 색도값은 NaOCl 처리구에서 $L=90.11 \pm 0.10$, $a=19.50 \pm 0.09$, $b=53.16 \pm 0.10$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=95.15 \pm 0.20$, $a=17.40 \pm 0.23$, $b=50.26 \pm 0.16$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 낮아 졌고, 적색도(redness, a)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 높아짐. 또한 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 L값은 높고, a과 b 값은 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타났음. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도 값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 미생물 부패로 인해 색도의 변화가 이루어진 것으로 사료됨. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않음.

② 보리

표 118.은 생식제품 원료 중 보리의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각 샘플을 취하여 색차계(CR-310, MINOLTA, Japan)를 이용하여 측정함. 각각 초기 색도값은 NaOCl 처리구에서 $L=72.78 \pm 0.15$, $a=6.68 \pm 0.13$, $b=23.93 \pm 0.19$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=74.25.15 \pm 0.20$, $a=5.79. \pm 0.12$, $b=21.46 \pm 0.18$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 낮아 졌고, 적색도(redness, a)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 높아짐. 또한 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 L값은 높고, a과 b 값은 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도 값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 미생물 부패로 인해 색도의 변화가 이루어진 것으로 사료됨. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않음.

표 117. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Brown rice by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*					
			Storage time(day)					
			5	10	15	20	30	
L	4	NaOCl	91.48 ± 0.13 ^{***b}	87.67 ± 0.16 ^{***a}	88.23 ± 0.14 ^{aA}	85.29 ± 0.14 ^{aA}	83.49 ± 0.34 ^{aA}	
		SLEW	96.38 ± 0.15 ^{nb}	96.58 ± 0.13 ^{nb}	98.52 ± 0.48 ^{nb}	99.58 ± 0.31 ^{nb}	102.84 ± 0.37 ^{bc}	
	10	NaOCl	92.89 ± 0.14 ^{aA}	92.28 ± 0.11 ^{aA}	90.57 ± 0.46 ^{aA}	-	-	
		SLEW	96.31 ± 0.16 ^{nb}	96.66 ± 0.11 ^{nb}	92.69 ± 0.34 ^{aA}	-	-	
	15	NaOCl	95.30 ± 0.02 ^{aA}	96.37 ± 0.13 ^{aA}	-	-	-	
		SLEW	98.59 ± 0.07 ^{nb}	96.42 ± 0.16 ^{aA}	-	-	-	
	20	NaOCl	100.50 ± 0.08 ^{aA}	99.46 ± 0.07 ^{aA}	-	-	-	
		SLEW	105.16 ± 0.19 ^{nb}	101.20 ± 0.06 ^{aA}	-	-	-	
	25	NaOCl	106.88 ± 0.15 ^{aA}	-	-	-	-	
		SLEW	108.99 ± 0.14 ^{aA}	-	-	-	-	
	30	NaOCl	114.21 ± 0.11 ^{aA}	-	-	-	-	
		SLEW	116.20 ± 0.19 ^{aA}	-	-	-	-	
	a	4	NaOCl	19.69 ± 0.34 ^{aA}	19.44 ± 0.11 ^{aA}	20.98 ± 0.46 ^{nb}	20.23 ± 0.45 ^{nb}	24.57 ± 0.39 ^{nb}
			SLEW	17.89 ± 0.11 ^{aA}	18.20 ± 0.09 ^{aA}	20.48 ± 0.17 ^{nb}	22.78 ± 0.21 ^{nb}	22.39 ± 0.34 ^{nb}
10		NaOCl	20.73 ± 0.21 ^{b(B)}	23.14 ± 0.34 ^{b(B)}	26.39 ± 0.17 ^{b(B)}	-	-	
		SLEW	17.49 ± 0.09 ^{a(A)}	16.36 ± 0.11 ^{b(B)}	19.99 ± 0.36 ^{a(A)}	-	-	
15		NaOCl	21.58 ± 0.16 ^{nb}	25.47 ± 0.16 ^{nb}	-	-	-	
		SLEW	16.36 ± 0.13 ^{aA}	19.87 ± 0.18 ^{aA}	-	-	-	
20		NaOCl	20.13 ± 0.24 ^{b(B)}	23.20 ± 0.31 ^{b(B)}	-	-	-	
		SLEW	16.88 ± 0.13 ^{a(A)}	18.95 ± 0.21 ^{a(A)}	-	-	-	
25		NaOCl	30.57 ± 0.16 ^{b(A)}	-	-	-	-	
		SLEW	28.83 ± 0.18 ^{b(A)}	-	-	-	-	
30		NaOCl	35.97 ± 0.27 ^{cb}	-	-	-	-	
		SLEW	25.93 ± 0.23 ^{ba}	-	-	-	-	
b		4	NaOCl	53.78 ± 0.02 ^{aA}	54.44 ± 0.16 ^{abA}	56.59 ± 0.19 ^{aA}	55.87 ± 0.16 ^{aAB}	58.99 ± 0.17 ^{bb}
			SLEW	52.37 ± 0.03 ^{aA}	54.56 ± 0.18 ^{abA}	56.63 ± 0.24 ^{aAB}	54.51 ± 0.27 ^{aA}	56.27 ± 0.26 ^a
	10	NaOCl	52.16 ± 0.08 ^{aA}	59.09 ± 0.16 ^{bc}	58.53 ± 0.21 ^c	-	-	
		SLEW	52.53 ± 0.11 ^{aA}	54.50 ± 0.14 ^{abb}	56.98 ± 0.31 ^{bbc}	-	-	
	15	NaOCl	55.82 ± 0.18 ^{bbc}	56.52 ± 0.11 ^{bc}	-	-	-	
		SLEW	53.39 ± 0.19 ^{nb}	51.81 ± 0.16 ^{aA}	-	-	-	
	20	NaOCl	54.56 ± 0.14 ^{abA}	67.82 ± 0.31 ^{cc}	-	-	-	
		SLEW	52.83 ± 0.13 ^{aA}	60.17 ± 0.11 ^{nb}	-	-	-	
	25	NaOCl	59.71 ± 0.17 ^{cA}	-	-	-	-	
		SLEW	53.20 ± 0.02 ^{aA}	-	-	-	-	
	30	NaOCl	59.05 ± 0.14 ^{cA}	-	-	-	-	
		SLEW	50.97 ± 0.16 ^{aA}	-	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p < 0.05$).

☒ 118. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Barley by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*					
			Storage time(day)					
			5	10	15	20	30	
L	4	NaOCl	70.03 ± 1.34 ^{ab}	75.75 ± 0.13 ^{ab} ***	63.27 ± 1.24 ^{aA}	69.17 ± 0.89 ^{bB}	60.57 ± 1.62 ^{aA}	
		SLEW	72.28 ± 0.25 ^{ab}	78.12 ± 0.14 ^{ab}	73.27 ± 2.33 ^{ab}	69.99 ± 1.24 ^{bB}	65.64 ± 1.85 ^{ab}	
	10	NaOCl	71.58 ± 1.24 ^{aA}	75.52 ± 0.16 ^{aA}	81.05 ± 2.56 ^{bB}	-	-	
		SLEW	78.41 ± 2.02 ^{aA}	91.17 ± 0.16 ^{bc}	83.63 ± 2.74 ^{bB}	-	-	
	15	NaOCl	73.36 ± 0.14 ^{ab}	68.40 ± 0.52 ^{aA}	-	-	-	
		SLEW	76.89 ± 0.16 ^{ab}	69.36 ± 0.38 ^{aA}	-	-	-	
	20	NaOCl	76.86 ± 0.15 ^{ab}	70.77 ± 0.06 ^{aA}	-	-	-	
		SLEW	76.62 ± 0.18 ^{ab}	65.16 ± 0.64 ^{aA}	-	-	-	
	25	NaOCl	65.80 ± 0.16 ^{aA}	-	-	-	-	
		SLEW	69.74 ± 0.09 ^{aA}	-	-	-	-	
	30	NaOCl	95.56 ± 0.16 ^{ba}	-	-	-	-	
		SLEW	99.35 ± 0.17 ^{ba}	-	-	-	-	
	a	4	NaOCl	9.63 ± 1.26 ^{aA}	9.18 ± 0.19 ^{aA}	18.34 ± 0.67 ^{ab}	11.10 ± 1.34 ^{ab}	15.68 ± 1.74 ^{bb}
			SLEW	8.30 ± 2.46 ^{aA}	9.78 ± 0.05 ^{aA}	10.56 ± 1.34 ^{aA}	7.92 ± 2.58 ^{aA}	12.38 ± 2.31 ^{ab}
10		NaOCl	11.51 ± 1.13 ^{ab}	8.92 ± 0.17 ^{aA}	12.04 ± 2.03 ^{ab}	-	-	
		SLEW	9.88 ± 2.34 ^{aA}	8.86 ± 0.56 ^{aA}	9.58 ± 0.152 ^{aA}	-	-	
15		NaOCl	7.48 ± 0.17 ^{aA}	7.21 ± 0.47 ^{aA}	-	-	-	
		SLEW	7.47 ± 0.21 ^{aA}	6.06 ± 0.36 ^{aA}	-	-	-	
20		NaOCl	6.11 ± 0.15 ^{aA}	8.16 ± 0.16 ^{ab}	-	-	-	
		SLEW	5.91 ± 0.33 ^{aA}	5.24 ± 0.05 ^{ba}	-	-	-	
25		NaOCl	9.22 ± 0.27 ^{aA}	-	-	-	-	
		SLEW	11.54 ± 0.26 ^{ab}	-	-	-	-	
30		NaOCl	9.37 ± 0.19 ^{ab}	-	-	-	-	
		SLEW	8.96 ± 0.03 ^{aA}	-	-	-	-	
b		4	NaOCl	24.93 ± 1.34 ^{abA}	31.73 ± 0.09 ^{abB}	27.59 ± 1.76 ^{aAB}	27.92 ± 2.14 ^b	28.27 ± 2.61 ^{aAB}
			SLEW	26.17 ± 1.16 ^{baB}	30.49 ± 0.34 ^{abB}	25.63 ± 1.95 ^{aA}	23.88 ± 2.63 ^{aA}	29.02 ± 2.01 ^{aAB}
	10	NaOCl	27.71 ± 1.26 ^{baA}	30.35 ± 0.48 ^{abB}	38.81 ± 1.08 ^{bc}	-	-	
		SLEW	25.27 ± 0.37 ^{baA}	28.97 ± 0.46 ^{aA}	37.67 ± 3.21 ^{bc}	-	-	
	15	NaOCl	25.16 ± 0.23 ^{baA}	33.54 ± 0.28 ^{ab}	-	-	-	
		SLEW	24.98 ± 0.16 ^{baA}	31.12 ± 0.27 ^{abB}	-	-	-	
	20	NaOCl	25.91 ± 0.24 ^{abAB}	27.66 ± 0.37 ^{ab}	-	-	-	
		SLEW	22.75 ± 0.13 ^{aA}	27.78 ± 0.26 ^{ab}	-	-	-	
	25	NaOCl	21.56 ± 0.16 ^{aA}	-	-	-	-	
		SLEW	21.99 ± 0.34 ^{aA}	-	-	-	-	
	30	NaOCl	26.90 ± 0.07 ^{ab}	-	-	-	-	
		SLEW	22.07 ± 0.24 ^{aA}	-	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

③ 당근

표 119.은 생식제품 원료 중 당근의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각 샘플을 취하여 색차계(CR-310, MINOLTA, Japan)를 이용하여 측정함. 각각 초기 색도값은 NaOCl 처리구에서 $L=100.56 \pm 0.16$, $a=63.60 \pm 0.13$, $b=125.78+0.15$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=106.11 \pm 0.11$, $a=73.30 \pm 0.16$, $b=131.89 \pm 0.01$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 낮아졌지만 큰 차이는 없었으며, 적색도(redness, a)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 높아졌지만 큰 차이는 없었음. 또한 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 L 값은 높고, a과 b 값은 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타났음. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도 값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되지만, 감자와 당근에서는 다른 생식원료보다는 색도의 변화가 심하지 않은 것으로 나타남. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않았음.

④ 감자

표 120.은 생식제품 원료 중 감자의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각 샘플을 취하여 색차계(CR-310, MINOLTA, Japan)를 이용하여 측정함. 각각 초기 색도값은 NaOCl 처리구에서 $L=75.93 \pm 0.15$, $a=-3.35 \pm 0.17$, $b=27.19+0.09$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=79.46 \pm 0.11$, $a=-4.32 \pm 0.02$, $b=26.16 \pm 0.18$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 낮아졌지만 큰 차이는 없었으며, 적색도(redness, a)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 높아졌지만 큰 차이는 없었음. 또한 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 L값은 높고, a과 b 값은 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도 값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되지만, 감자와 당근에서는 다른 생식원료보다는 색도의 변화가 심하지 않은 것으로 나타남. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않았음.

☞ 119. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Carrot by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*				
			Storage time(day)				
			5	10	15	20	30
L	4	NaOCl	100.62 ± 1.26 ^{aB}	99.56 ± 0.94 ^{aB***}	105.31 ± 0.99 ^{1B}	99.04 ± 1.26 ^{1A}	98.80 ± 2.11 ^{1A}
		SLEW	104.36 ± 3.45 ^{2B}	102.85 ± 0.24 ^{2B}	98.48 ± 2.14 ^{2A}	104.34 ± 1.47 ^{2B}	88.60 ± 2.98 ^{2A}
	10	NaOCl	91.98 ± 2.54 ^{3A}	92.63 ± 2.87 ^{3A}	101.48 ± 2.37 ^{2B}	102.22 ± 1.61 ^{1B}	95.24 ± 2.87 ^{2A}
		SLEW	99.66 ± 2.36 ^{3A}	96.21 ± 2.36 ^{3A}	106.43 ± 2.66 ^{2B}	106.46 ± 1.92 ^{1B}	98.47 ± 3.08 ^{2A}
	15	NaOCl	106.90 ± 1.34 ^{1B}	101.15 ± 1.03 ^{1B}	95.24 ± 1.84 ^{2A}	-	-
		SLEW	93.20 ± 1.75 ^{2A}	94.21 ± 1.24 ^{2A}	98.47 ± 1.32 ^{2A}	-	-
	20	NaOCl	95.24 ± 3.02 ^{2A}	93.78 ± 1.33 ^{3A}	-	-	-
		SLEW	98.47 ± 0.13 ^{2B}	98.45 ± 1.58 ^{2B}	-	-	-
	25	NaOCl	105.21 ± 2.58 ^{3A}	-	-	-	-
		SLEW	106.68 ± 2.69 ^{3A}	-	-	-	-
	30	NaOCl	94.49 ± 3.05 ^{2A}	-	-	-	-
		SLEW	96.08 ± 2.64 ^{2A}	-	-	-	-
a	4	NaOCl	65.53 ± 2.14 ^{1A}	68.91 ± 0.16 ^{1A}	61.58 ± 4.67 ^{1A}	74.94 ± 3.69 ^{1B}	75.91 ± 1.34 ^{1B}
		SLEW	74.29 ± 1.34 ^{1B}	71.39 ± 3.11 ^{1B}	68.13 ± 0.24 ^{1A}	67.08 ± 2.58 ^{1A}	68.74 ± 1.64 ^{1A}
	10	NaOCl	80.69 ± 2.57 ^{2C}	76.34 ± 2.06 ^{2B}	73.87 ± 2.15 ^{2B}	64.47 ± 1.77 ^{1A}	74.77 ± 3.66 ^{1B}
		SLEW	72.15 ± 0.41 ^{1A}	69.65 ± 1.67 ^{1A}	61.98 ± 2.46 ^{3A}	55.61 ± 2.64 ^{2A}	76.79 ± 2.15 ^{1B}
	15	NaOCl	61.32 ± 1.23 ^{1A}	67.07 ± 1.09 ^{1A}	74.77 ± 1.00 ^{1B}	-	-
		SLEW	77.68 ± 1.52 ^{1B}	71.68 ± 1.57 ^{1B}	76.79 ± 1.38 ^{1B}	-	-
	20	NaOCl	74.77 ± 2.84 ^{1B}	68.41 ± 1.67 ^{1A}	-	-	-
		SLEW	76.79 ± 3.01 ^{1B}	65.21 ± 1.64 ^{1A}	-	-	-
	25	NaOCl	63.04 ± 2.57 ^{1A}	-	-	-	-
		SLEW	73.62 ± 2.61 ^{1A}	-	-	-	-
	30	NaOCl	70.12 ± 2.31 ^{1A}	-	-	-	-
		SLEW	75.14 ± 2.64 ^{1A}	-	-	-	-
b	4	NaOCl	130.37 ± 1.93 ^{1B}	127.20 ± 1.58 ^{2A}	125.56 ± 2.88 ^{2A}	126.24 ± 1.23 ^{2A}	130.83 ± 1.45 ^{1B}
		SLEW	133.62 ± 1.37 ^{1B}	131.20 ± 1.46 ^{1B}	125.83 ± 0.88 ^{2A}	134.92 ± 1.32 ^{1B}	126.55 ± 1.42 ^{1A}
	10	NaOCl	129.81 ± 2.12 ^{1B}	129.84 ± 2.29 ^{1B}	127.54 ± 1.67 ^{1B}	129.99 ± 2.58 ^{1B}	123.15 ± 2.19 ^{1A}
		SLEW	128.37 ± 1.95 ^{1B}	117.42 ± 3.08 ^{2A}	119.50 ± 1.92 ^{1A}	114.64 ± 2.96 ^{1A}	119.39 ± 2.22 ^{1A}
	15	NaOCl	123.86 ± 2.87 ^{1A}	127.92 ± 1.34 ^{1B}	123.15 ± 1.45 ^{1A}	-	-
		SLEW	137.27 ± 3.98 ^{2C}	126.47 ± 2.60 ^{1A}	129.39 ± 1.87 ^{1B}	-	-
	20	NaOCl	123.15 ± 1.14 ^{1A}	130.31 ± 1.59 ^{1B}	-	-	-
		SLEW	119.39 ± 1.67 ^{1A}	115.08 ± 0.78 ^{1A}	-	-	-
	25	NaOCl	127.10 ± 2.64 ^{1A}	-	-	-	-
		SLEW	127.53 ± 2.80 ^{1A}	-	-	-	-
	30	NaOCl	120.34 ± 2.30 ^{1A}	-	-	-	-
		SLEW	133.52 ± 2.67 ^{1A}	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

Table 120. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Potato by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*				
			Storage time(day)				
			5	10	15	20	30
L	4	NaOCl	76.28 ± 2.12 ^{***A}	75.29 ± 2.58 ^{***A}	82.75 ± 1.12 ^{2A}	77.08 ± 0.24 ^{4A}	75.93 ± 0.16 ^{4A}
		SLEW	77.37 ± 2.45 ^{3A}	82.12 ± 2.49 ^{3A}	76.84 ± 1.13 ^{3A}	73.91 ± 0.29 ^{4A}	76.53 ± 0.64 ^{4A}
	10	NaOCl	77.78 ± 1.09 ^{3A}	75.52 ± 3.12 ^{3A}	82.24 ± 1.95 ^{3A}	86.60 ± 0.56 ^{2B}	79.48 ± .23 ^{3A}
		SLEW	80.41 ± 1.82 ^{3A}	74.83 ± 2.69 ^{3A}	82.32 ± 1.65 ^{3A}	83.25 ± 2.21 ^{3A}	88.98 ± 50.24 ^{2B}
	15	NaOCl	80.84 ± 2.34 ^{2B}	75.39 ± 3.25 ^{3A}	79.48 ± 0.65 ^{3A}	-	-
		SLEW	81.83 ± 1.56 ^{2B}	74.84 ± 3.24 ^{3A}	78.98 ± 1.68 ^{3A}	-	-
	20	NaOCl	77.04 ± 6.45 ^{3A}	80.13 ± 1.67 ^{2B}	-	-	-
		SLEW	78.36 ± 1.08 ^{2B}	83.14 ± 4.91 ^{1B}	-	-	-
	25	NaOCl	81.65 ± 4.36 ^{3A}	-	-	-	-
		SLEW	82.81 ± 3.58 ^{3A}	-	-	-	-
	30	NaOCl	75.62 ± 1.64 ^{3A}	-	-	-	-
		SLEW	78.94 ± 2.85 ^{3A}	-	-	-	-
a	4	NaOCl	-3.53 ± 2.61 ^{3A}	-3.01 ± 3.64 ^{3A}	-2.75 ± 0.45 ^{3A}	-3.93 ± 1.34 ^{3A}	-5.76 ± 0.37 ^{2B}
		SLEW	-3.45 ± 2.00 ^{4A}	-2.20 ± 6.05 ^{3A}	-5.00 ± 0.38 ^{2B}	-5.10 ± 1.36 ^{2B}	-4.14 ± 1.68 ^{2B}
	10	NaOCl	-2.18 ± 1.64 ^{3A}	-1.36 ± 2.13 ^{3A}	-1.50 ± 1.67 ^{3A}	-2.50 ± 3.31 ^{3A}	-3.42 ± 0.23 ^{3A}
		SLEW	-2.85 ± 1.69 ^{3A}	-1.14 ± 6.40 ^{3A}	-2.58 ± 3.25 ^{3A}	-1.19 ± 0.21 ^{3A}	-1.61 ± 0.12 ^{3A}
	15	NaOCl	-3.68 ± 3.05 ^{3A}	-2.69 ± 2.56 ^{3A}	-3.42 ± 0.62 ^{3A}	-	-
		SLEW	-3.24 ± 3.58 ^{3A}	-2.43 ± 3.54 ^{3A}	-3.61 ± 0.28 ^{3A}	-	-
	20	NaOCl	-2.86 ± 2.08 ^{3A}	-5.27 ± 3.64 ^{4A}	-	-	-
		SLEW	-2.92 ± 3.21 ^{3A}	-4.78 ± 2.01 ^{4A}	-	-	-
	25	NaOCl	-1.03 ± 6.01 ^{3A}	-	-	-	-
		SLEW	-3.64 ± 3.64 ^{3A}	-	-	-	-
	30	NaOCl	-1.73 ± 2.64 ^{3A}	-	-	-	-
		SLEW	-1.18 ± 1.25 ^{3A}	-	-	-	-
b	4	NaOCl	31.26 ± 2.63 ^{2B}	35.41 ± 3.26 ^{3a1AB}	36.32 ± 2.31 ^{3a1AB}	41.85 ± 1.2 ^{2a1B}	38.60 ± 3.06 ^{2B}
		SLEW	29.41 ± 2.57 ^{3A}	34.57 ± 3.24 ^{3a1AB}	32.54 ± 1.32 ^{3A}	38.27 ± 1.58 ^{2B}	33.10 ± 0.34 ^{3a1AB}
	10	NaOCl	31.56 ± 1.72 ^{3a1AB}	32.96 ± 3.23 ^{3a1B}	37.47 ± 2.72 ^{2B}	37.85 ± 0.19 ^{2B}	38.64 ± 1.11 ^{2B}
		SLEW	28.74 ± 0.31 ^{3A}	33.77 ± 2.45 ^{3a1B}	38.38 ± 3.21 ^{2B}	39.60 ± 2.54 ^{2B}	35.68 ± 2.50 ^{3a1B}
	15	NaOCl	27.59 ± 3.63 ^{3A}	35.00 ± 2.89 ^{3a1B}	38.64 ± 0.31 ^{2B}	-	-
		SLEW	30.13 ± 3.96 ^{3a1AB}	34.98 ± 2.97 ^{3a1AB}	35.68 ± 0.69 ^{3a1AB}	-	-
	20	NaOCl	41.79 ± 2.42 ^{2C}	37.11 ± 2.85 ^{2B}	-	-	-
		SLEW	29.50 ± 3.24 ^{3A}	32.12 ± 3.01 ^{2B}	-	-	-
	25	NaOCl	39.96 ± 2.89 ^{3A}	-	-	-	-
		SLEW	31.82 ± 3.05 ^{3a1B}	-	-	-	-
	30	NaOCl	30.47 ± 3.62 ^{3a1B}	-	-	-	-
		SLEW	29.94 ± 3.28 ^{3A}	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

⑤ 케일

표 121은 생식제품 원료 중 케일의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각 샘플을 취하여 색차계(CR-310, MINOLTA, Japan)를 이용하여 측정함. 각각 초기 색도값은 NaOCl 처리구에서 $L=10.56 \pm 0.26$, $a=-10.52 \pm 0.13$, $b=14.53 \pm 0.10$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=9.15 \pm 0.20$, $a=-8.45 \pm 0.06$, $b=10.26 \pm 0.05$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 녹색값이 황색으로 변하기 때문에 밝아져 값이 높아졌고, 적색도(redness, a)를 나타내는 값도 녹색이 사라지면서 높아짐. 또한 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 L, a, b 값 모두 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 하지만 신선초 보다 제품의 손상도가 빠르게 진행되어 저장기간과 온도에 큰 영향을 나타내는 것으로 판단되며 이로 인해 색도의 변화가 이루어진 것으로 사료됨. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않았음.

⑥ 신선초

표 122은 생식제품 원료 중 신선초의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 30일) 동안 차아염소산나트륨(NaOCl) 150 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 미산성 저농도 전해수(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각 샘플을 취하여 색차계(CR-310, MINOLTA, Japan)를 이용하여 측정함. 각각 초기 색도값은 NaOCl 처리구에서 $L=2.88 \pm 0.21$, $a=-14.92 \pm 0.16$, $b=5.03 \pm 0.08$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=2.50 \pm 0.13$, $a=-15.30 \pm 0.09$, $b=8.32 \pm 0.15$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 녹색값이 황색으로 변하기 때문에 밝아져 값이 높아졌고, 적색도(redness, a)를 나타내는 값도 녹색이 사라지면서 높아짐. 또한 NaOCl 처리구보다 SLEW 처리구에서 L, a, b 값 모두 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 미생물 부패로 인해 색도의 변화가 이루어진 것으로 사료됨. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않았음.

ख 121. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Kale by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*				
			Storage time(day)				
			5	10	15	20	30
L	4	NaOCl	11.59 ± 1.32 ^{***A}	10.36 ± 1.24 ^{***A}	12.34 ± 1.24 ^{BA}	43.28 ± 1.25 ^{5C}	-
		SLEW	7.06 ± 0.89 ^{BA}	9.90 ± 1.56 ^{BA}	19.37 ± 1.25 ^{5BA}	23.66 ± 1.34 ^{AB}	-
	10	NaOCl	8.55 ± 1.34 ^{BA}	15.64 ± 1.67 ^{BB}	18.78 ± 1.95 ^{5BB}	-	-
		SLEW	7.87 ± 1.36 ^{BA}	12.94 ± 1.47 ^{BA}	17.61 ± 2.57 ^{5BB}	-	-
	15	NaOCl	15.08 ± 2.33 ^{BB}	19.00 ± 2.52 ^{5C}	-	-	-
		SLEW	12.04 ± 1.21 ^{BA}	15.64 ± 0.94 ^{BB}	-	-	-
	20	NaOCl	25.62 ± 1.34 ^{BB}	27.15 ± 1.24 ^{BB}	-	-	-
		SLEW	16.99 ± 1.67 ^{BA}	20.03 ± 1.75 ^{BB}	-	-	-
	25	NaOCl	25.49 ± 1.36 ^{BB}	-	-	-	-
		SLEW	18.73 ± 1.75 ^{BA}	-	-	-	-
	30	NaOCl	34.32 ± 1.65 ^{5B}	-	-	-	-
		SLEW	19.70 ± 1.24 ^{BA}	-	-	-	-
a	4	NaOCl	-9.21 ± 2.03 ^{5A}	-9.98 ± 1.57 ^{5A}	-7.31 ± 1.67 ^{5A}	-5.01 ± 1.23 ^{5A}	-
		SLEW	-7.95 ± 2.10 ^{5A}	-6.31 ± 1.26 ^{5A}	-4.77 ± 1.95 ^{5B}	-1.04 ± 1.82 ^{5B}	-
	10	NaOCl	-7.68 ± 3.25 ^{5A}	-3.07 ± 1.25 ^{5A}	-3.98 ± 3.31 ^{5BA}	-	-
		SLEW	-6.65 ± 2.22 ^{5A}	-4.96 ± 1.36 ^{5BA}	-2.01 ± 2.56 ^{5BB}	-	-
	15	NaOCl	-3.59 ± 4.12 ^{5BA}	-1.13 ± 1.32 ^{5BB}	-	-	-
		SLEW	-3.68 ± 1.56 ^{5BA}	-1.46 ± 1.24 ^{5BB}	-	-	-
	20	NaOCl	2.57 ± 1.25 ^{5A}	5.85 ± 1.68 ^{5A}	-	-	-
		SLEW	-7.40 ± 1.67 ^{5B}	4.52 ± 1.57 ^{5A}	-	-	-
	25	NaOCl	4.44 ± 1.23 ^{5B}	-	-	-	-
		SLEW	0.70 ± 1.73 ^{5A}	-	-	-	-
	30	NaOCl	2.96 ± 1.52 ^{5A}	-	-	-	-
		SLEW	-0.63 ± 1.57 ^{5B}	-	-	-	-
b	4	NaOCl	14.85 ± 3.00 ^{5BA}	12.22 ± 1.58 ^{5A}	23.63 ± 1.62 ^{5BB}	50.42 ± 2.14 ^{5C}	-
		SLEW	9.00 ± 1.29 ^{5A}	14.97 ± 1.69 ^{5A}	29.01 ± 1.57 ^{5BB}	26.36 ± 3.60 ^{5B}	-
	10	NaOCl	10.38 ± 1.63 ^{5A}	24.00 ± 1.57 ^{5BB}	28.92 ± 2.10 ^{5BC}	-	-
		SLEW	10.20 ± 5.12 ^{5A}	21.11 ± 2.31 ^{5BB}	35.76 ± 2.18 ^{5C}	-	-
	15	NaOCl	22.73 ± 1.37 ^{5AB}	31.83 ± 1.09 ^{5B}	-	-	-
		SLEW	17.49 ± 2.68 ^{5BA}	24.36 ± 1.07 ^{5BA}	-	-	-
	20	NaOCl	15.32 ± 1.59 ^{5BA}	26.05 ± 1.34 ^{5BAB}	-	-	-
		SLEW	27.13 ± 1.57 ^{5AB}	44.50 ± 1.24 ^{5B}	-	-	-
	25	NaOCl	41.44 ± 1.24 ^{5C}	-	-	-	-
		SLEW	31.81 ± 1.34 ^{5BA}	-	-	-	-
	30	NaOCl	25.08 ± 1.34 ^{5BA}	-	-	-	-
		SLEW	23.91 ± 1.83 ^{5BA}	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

☒ 122. Effect of electrolyzed water on chromaticity in *Angelica utilis makino* by different temperature during storage.

Value	Storage Tep. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*				
			Storage time(day)				
			5	10	15	20	30
L	4	NaOCl	3.89 ± 0.88 ^{***A}	11.02 ± 1.12 ^{***B}	15.06 ± 1.25 ^{***B}	20.26 ± 1.73 ^{***C}	22.41 ± 1.32 ^{***C}
		SLEW	2.79 ± 1.24 ^{***A}	3.69 ± 1.15 ^{***A}	5.27 ± 1.32 ^{***A}	6.05 ± 1.82 ^{***A}	9.60 ± 1.24 ^{***A}
	10	NaOCl	1.74 ± 2.35 ^{***A}	2.46 ± 1.45 ^{***A}	24.58 ± 2.50 ^{***B}	21.28 ± 1.82 ^{***B}	-
		SLEW	1.60 ± 2.41 ^{***A}	4.06 ± 1.36 ^{***A}	15.34 ± 2.09 ^{***B}	16.74 ± 1.76 ^{***B}	-
	15	NaOCl	1.62 ± 3.01 ^{***A}	8.06 ± 2.69 ^{***B}	11.77 ± 1.21 ^{***B}	-	-
		SLEW	1.48 ± 1.64 ^{***A}	1.35 ± 1.37 ^{***A}	9.17 ± 1.24 ^{***B}	-	-
	20	NaOCl	5.19 ± 1.20 ^{***A}	12.30 ± 2.34 ^{***B}	-	-	-
		SLEW	6.85 ± 2.08 ^{***A}	9.41 ± 1.24 ^{***B}	-	-	-
	25	NaOCl	9.11 ± 3.68 ^{***A}	-	-	-	-
		SLEW	9.79 ± 2.05 ^{***A}	-	-	-	-
	30	NaOCl	4.63 ± 1.75 ^{***A}	-	-	-	-
		SLEW	1.78 ± 1.35 ^{***A}	-	-	-	-
a	4	NaOCl	-12.26 ± 2.12 ^{***A}	-13.17 ± 1.36 ^{***A}	-11.71 ± 1.24 ^{***A}	-7.72 ± 3.21 ^{***B}	-1.38 ± 0.39 ^{***C}
		SLEW	-15.07 ± 2.13 ^{***A}	-16.91 ± 1.54 ^{***A}	-14.34 ± 1.25 ^{***A}	-8.30 ± 1.24 ^{***B}	-3.34 ± 1.24 ^{***C}
	10	NaOCl	-11.30 ± 2.35 ^{***A}	-7.94 ± 1.25 ^{***B}	-4.48 ± 1.27 ^{***B}	-2.48 ± 1.70 ^{***C}	-
		SLEW	-15.65 ± 1.23 ^{***A}	-8.79 ± 1.68 ^{***B}	-7.05 ± 1.39 ^{***B}	-5.61 ± 1.02 ^{***B}	-
	15	NaOCl	-10.06 ± 1.45 ^{***A}	-6.58 ± 1.89 ^{***A}	-1.91 ± 1.36 ^{***B}	-	-
		SLEW	-12.85 ± 1.24 ^{***A}	-0.93 ± 1.08 ^{***B}	-1.72 ± 1.36 ^{***B}	-	-
	20	NaOCl	-7.73 ± 2.03 ^{***B}	-6.92 ± 1.69 ^{***B}	-	-	-
		SLEW	-11.26 ± 1.17 ^{***A}	-7.34 ± 0.87 ^{***B}	-	-	-
	25	NaOCl	-7.47 ± 1.32 ^{***A}	-	-	-	-
		SLEW	-2.98 ± 1.53 ^{***B}	-	-	-	-
	30	NaOCl	-0.67 ± 1.53 ^{***A}	-	-	-	-
		SLEW	-0.78 ± 1.68 ^{***A}	-	-	-	-
b	4	NaOCl	5.95 ± 2.45 ^{***A}	8.74 ± 1.68 ^{***A}	7.75 ± 1.34 ^{***A}	11.85 ± 1.25 ^{***A}	15.39 ± 0.97 ^{***B}
		SLEW	8.31 ± 1.68 ^{***A}	10.26 ± 1.32 ^{***A}	9.37 ± 1.35 ^{***A}	13.56 ± 1.68 ^{***B}	14.37 ± 1.28 ^{***B}
	10	NaOCl	2.60 ± 2.14 ^{***A}	3.54 ± 2.35 ^{***A}	34.20 ± 1.74 ^{***C}	17.95 ± 1.39 ^{***B}	-
		SLEW	1.82 ± 1.30 ^{***A}	6.33 ± 2.34 ^{***A}	8.54 ± 1.68 ^{***A}	25.84 ± 3.53 ^{***B}	-
	15	NaOCl	2.08 ± 1.20 ^{***A}	11.36 ± 1.06 ^{***A}	17.75 ± 1.24 ^{***B}	-	-
		SLEW	1.97 ± 1.32 ^{***A}	1.79 ± 2.08 ^{***A}	15.33 ± 2.58 ^{***B}	-	-
	20	NaOCl	12.45 ± 2.58 ^{***A}	18.19 ± 1.52 ^{***B}	-	-	-
		SLEW	8.21 ± 1.87 ^{***A}	13.76 ± 2.34 ^{***A}	-	-	-
	25	NaOCl	32.87 ± 0.93 ^{***A}	-	-	-	-
		SLEW	16.05 ± 1.37 ^{***A}	-	-	-	-
	30	NaOCl	23.10 ± 2.64 ^{***A}	-	-	-	-
		SLEW	20.58 ± 1.95 ^{***A}	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

***lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p < 0.05$).

다. 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발

(1) 물리적(초음파) 및 화학적(미산성 저농도 전해수) 살균 처리 조건 및 병용처리 살균 소독력 평가

(가) 생식제품 원물 종류 및 제품에 대한 위해미생물 오염도 조사

① 곡류 (현미, 보리)

생식제품 중 채소류를 원료로 한 제품의 위해 미생물 오염도 조사를 한 결과 *Bacillus cereus*가 가장 많이 검출됨. 따라서 병용처리를 이용한 위해미생물 저감화 대상으로 *Bacillus cereus*를 이용함.

② 구근류 (당근, 감자)

생식제품 중 구근류를 원료로 한 제품의 위해 미생물 오염도 조사를 한 결과 *Bacillus cereus*가 가장 많이 검출됨. 따라서 병용처리를 이용한 위해미생물 저감화 대상으로 *Bacillus cereus*를 이용함.

③ 채소류 (케일, 신선초)

생식제품 중 채소류를 원료로 한 제품의 위해 미생물 오염도 조사를 한 결과 *Escherichia coli* O157:H7이 가장 많이 검출됨. 따라서 병용처리를 이용한 위해미생물 저감화 대상으로 *Escherichia coli* O157:H7가 이용함.

표 123. Microbial contamination on Brown rice and Baraly

Sample	Bacteria	Log CFU/g
Brown rice	Total aerobic bacteria	3.89 ± 0.11
	<i>E. coli</i> and <i>Coliform</i>	1.02 ± 0.15
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0
	<i>Bacillus cereus</i>	2.93 ± 0.06
	Baraly	Total aerobic bacteria
Baraly	<i>E. coli</i> and <i>Coliform</i>	1.22 ± 0.12
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0
	<i>Bacillus cereus</i>	1.18 ± 0.18

☿ 124. Microbial contamination on Potato and Carrot

Sample	Bacteria	Log CFU/g
Potato	Total aerobic bacteria	3.34 ± 0.03
	<i>E. coli</i> and <i>Coliform</i>	1.22 ± 0.02
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0
	<i>Bacillus cereus</i>	2.32 ± 0.03
Carrot	Total aerobic bacteria	3.49 ± 0.01
	<i>E. coli</i> and <i>Coliform</i>	1.01 ± 0.03
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0
	<i>Bacillus cereus</i>	2.38 ± 0.12

☿ 125. Microbial contamination on Kale and Sinseoncheo

Sample	Bacteria	Log CFU/g
Kale	Total aerobic bacteria	5.59 ± 0.10
	<i>E. coli</i> and <i>Coliform</i>	2.97 ± 0.08
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	4.62 ± 0.07
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0
	<i>Bacillus cereus</i>	0
Sinseoncheo	Total aerobic bacteria	4.32 ± 0.20
	<i>E. coli</i> and <i>Coliform</i>	2.16 ± 0.07
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	3.31 ± 0.12
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0
	<i>Bacillus cereus</i>	0

(나) 물리적(초음파) 및 화학적(미산성 저농도 전해수) 살균 처리 살균소독력 평가

① 현미

현미를 각각 다른 AED와 온도, 시간을 설정하여 처리한 결과 70 °C 이상에서는 현미의 물성이 좋지 않음. 400W/L, 70 °C, 5분이 2.53 log CFU/g 감소하여 가장 저감화 효과가 좋았으나, 현미의 품질에 좋지 않은 영향을 주어 2.15 log CFU/g 감소한 400W/L, 40 °C, 3분 조건에서 처리한 현미를 최적조건으로 설정함.

표 126. Effect of ultrasonication on the reduction of *Bacillus cereus* (means ± standard deviation; log CFU/g) inoculated on brown rice

	Time	Temperature		
		25°C	40°C	60°C
SDW*	1	0.30 ± 0.08a	0.45 ± 0.01dc	0.60 ± 0.06e
	3	0.36 ± 0.07b	0.55 ± 0.04e	0.74 ± 0.15f
	5	0.43 ± 0.04cb	0.63 ± 0.05e	0.88 ± 0.14h
US (100 W/L)†	1	0.58 ± 0.11a	1.21 ± 0.15cd	1.77 ± 0.10fg
	3	0.80 ± 0.1ab	1.55 ± 0.14def	1.99 ± 0.18g
	5	1.03 ± 0.08bc	1.78 ± 0.08efg	2.23 ± 0.14h
US (200 W/L)†	1	0.73 ± 0.11a	1.28 ± 0.10c	1.90 ± 0.02f
	3	0.92 ± 0.12a	1.21 ± 0.10bcd	2.11 ± 0.03g
	5	1.06 ± 0.06b	1.88 ± 0.03ef	2.38 ± 0.01h
US (400 W/L)†	1	1.54 ± 0.01a	2.08 ± 0.04c	2.22 ± 0.12f
	3	0.79 ± 0.02b	2.15 ± 0.06de	2.41 ± 0.05hg
	5	1.98 ± 0.06bc	2.30 ± 0.09efh	2.53 ± 0.01g

^{a-h}Numbers within each column followed by different small letters are significantly different ($P < 0.05$);

* SDW (Sterilized deionized water);

† US (Thermo-sonication) with the AED of 100, 200, and 400 W/L

② 보리

보리를 각각 다른 AED와 온도, 시간을 설정하여 처리한 결과 70 °C 이상에서는 보리의 물성이 좋지 않음. 400W/L, 70 °C, 5분이 2.39 log CFU/g 감소하여 가장 저감화 효과가 좋았으나, 보리의 품질에 좋지 않은 영향을 주어 2.05 log CFU/g 감소한 400W/L, 40 °C, 3분 조건에서 처리한 보리를 최적조건으로 설정함.

표 127. Effect of ultrasonication on the reduction of *Bacillus cereus* (means ± standard deviation; log CFU/g) inoculated on barley

	Time	Temperature		
		25°C	40°C	60°C
SDW*	1	0.23 ± 0.10a	0.37 ± 0.02ab	0.61 ± 0.05dbc
	3	0.32 ± 0.09a	0.50 ± 0.01b	0.76 ± 0.03ed
	5	0.39 ± 0.15a	0.59 ± 0.04cb	0.85 ± 0.02fe
US (100 W/L)†	1	0.52 ± 0.04a	0.81 ± 0.01abc	1.28 ± 0.10de
	3	0.78 ± 0.04ab	1.02 ± 0.01bcd	1.65 ± 0.12ef
	5	0.84 ± 0.04abc	1.23 ± 0.09cd	1.90 ± 0.04f
US (200 W/L)†	1	0.77 ± 0.12a	1.03 ± 0.17ab	1.55 ± 0.15de
	3	0.86 ± 0.08ab	1.21 ± 0.10bcd	1.89 ± 0.013ef
	5	0.97 ± 0.08ab	1.54 ± 0.13cde	2.18 ± 0.14f
US (400 W/L)†	1	0.80 ± 0.14a	1.41 ± 0.05c	1.99 ± 0.18f
	3	0.94 ± 0.11ab	2.05 ± 0.06def	2.25 ± 0.13gh
	5	1.24 ± 0.13bc	2.13 ± 0.03efh	2.39 ± 0.02h

^{a-h}Numbers within each column followed by different small letters are significantly different ($P < 0.05$);

* SDW (Sterilized deionized water);

† US (Thermo-sonication) with the AED of 100, 200, and 400 W/L

③ 당근

당근을 각각 다른 AED와 온도, 시간을 설정하여 처리한 결과 60 ℃ 이상에서는 당근의 물성이 좋지 않음. 400 W/L, 60 ℃, 5분이 2.50log CFU/g 감소하여 저감화 효과가 좋았으나, 당근의 품질에 좋지 않은 영향을 주어 2.34 log CFU/g 감소한 400 W/L, 40 ℃, 3분 조건에서 처리한 당근을 최적조건으로 설정함.

표 128. Effect of ultrasonication on the reduction of *Bacillus cereus* (means \pm standard deviation; log CFU/g) inoculated on carrot

	Time	Temperature		
		25°C	40°C	60°C
SDW*	1	0.10 \pm 0.001 ^{ab}	0.11 \pm 0.001 ^{ab}	0.13 \pm 0.001 ^{na}
	3	0.10 \pm 0.001 ^{ab}	0.13 \pm 0.001 ^{bc}	0.19 \pm 0.001 ^{cb}
	5	0.10 \pm 0.001 ^{ab}	0.14 \pm 0.002 ^{bc}	0.20 \pm 0.002 ^{cd}
US (100 W/L)†	1	0.10 \pm 0.001 ^{ab}	0.16 \pm 0.003 ^{ac}	0.27 \pm 0.002 ^{ad}
	3	0.11 \pm 0.011 ^{ab}	0.20 \pm 0.004 ^{ad}	0.29 \pm 0.002 ^{ad}
	5	0.13 \pm 0.011 ^{ab}	0.24 \pm 0.001 ^{ad}	0.35 \pm 0.002 ^{ade}
US (200 W/L)†	1	1.17 \pm 0.013 ^{ac}	1.56 \pm 0.010 ^{ac}	1.69 \pm 0.007 ^{ae}
	3	1.42 \pm 0.014 ^{ac}	1.78 \pm 0.008 ^{ac}	1.75 \pm 0.008 ^{ae}
	5	1.53 \pm 0.011 ^{ac}	1.82 \pm 0.009 ^{ac}	1.77 \pm 0.010 ^{ae}
US (400 W/L)†	1	2.20 \pm 0.018 ^{ad}	2.31 \pm 0.014 ^{ad}	2.26 \pm 0.021 ^{ah}
	3	2.23 \pm 0.017 ^{ad}	2.34 \pm 0.014 ^{ad}	2.45 \pm 0.018 ^{ah}
	5	2.40 \pm 0.016 ^{ad}	2.36 \pm 0.015 ^{ad}	2.50 \pm 0.011 ^{ah}

^{a-h}Numbers within each column followed by different small letters are significantly different ($P < 0.05$);

* SDW (Sterilized deionized water);

† US (Thermo-sonication) with the AED of 100, 200, and 400 W/L

④ 감자

감자를 각각 다른 AED와 온도, 시간을 설정하여 처리한 결과 60 °C 이상에서는 감자의 물성이 좋지 않음. 400 W/L, 60 °C, 5분이 2.93 log CFU/g 감소하여 저감화 효과가 좋았으나, 감자의 품질에 좋지 않은 영향을 주어 2.67 log CFU/g 감소한 400 W/L, 40 °C, 3분 조건에서 처리한 감자를 최적조건으로 설정함.

표 129. Effect of ultrasonication on the reduction of *Bacillus cereus* (means ± standard deviation; log CFU/g) inoculated on potato

	Time	Temperature		
		25°C	40°C	60°C
SDW*	1	0.23 ± 0.002 ^{abc}	0.65 ± 0.002 ^{abc}	1.32 ± 0.002 ^{abc}
	3	0.45 ± 0.003 ^{abc}	0.88 ± 0.001 ^{abd}	1.35 ± 0.003 ^{abe}
	5	0.51 ± 0.002 ^{abc}	0.91 ± 0.002 ^{abc}	1.43 ± 0.004 ^{abe}
US (100 W/L)†	1	0.71 ± 0.011 ^{abd}	0.99 ± 0.002 ^{abc}	1.69 ± 0.004 ^{abe}
	3	0.80 ± 0.009 ^{abd}	1.03 ± 0.002 ^{abd}	1.75 ± 0.004 ^{abe}
	5	0.88 ± 0.002 ^{abd}	1.13 ± 0.004 ^{abd}	1.78 ± 0.005 ^{abe}
US (200 W/L)†	1	1.75 ± 0.014 ^{abe}	1.85 ± 0.003 ^{abe}	1.89 ± 0.008 ^{abe}
	3	1.81 ± 0.008 ^{abe}	1.87 ± 0.005 ^{abe}	1.95 ± 0.007 ^{abe}
	5	1.83 ± 0.009 ^{abe}	1.92 ± 0.007 ^{abe}	1.99 ± 0.010 ^{abe}
US (400 W/L)†	1	1.88 ± 0.010 ^{abe}	2.62 ± 0.012 ^{abf}	2.81 ± 0.013 ^{abf}
	3	2.03 ± 0.011 ^{abf}	2.67 ± 0.013 ^{abf}	2.85 ± 0.012 ^{abf}
	5	2.06 ± 0.016 ^{abf}	2.72 ± 0.011 ^{abf}	2.93 ± 0.015 ^{abf}

^{a-h}Numbers within each column followed by different small letters are significantly different ($P < 0.05$);

* SDW (Sterilized deionized water);

† US (Thermo-sonication) with the AED of 100, 200, and 400 W/L

⑤ 케일

케일을 각각 다른 AED와 온도, 시간을 설정하여 처리한 결과 50 ℃ 이상에서는 케일의 물성이 좋지 않음. 400 W/L, 50 ℃, 5분이 2.97 log CFU/g 감소하여 저감화 효과가 좋았으나, 케일의 품질에 좋지 않은 영향을 주어 2.42 log CFU/g 감소한 400 W/L, 40 ℃, 3분 조건에서 처리한 케일을 최적조건으로 설정함.

표 130. Effect of ultrasonication on the reduction of Escherichia coli O157:H7 (means ± standard deviation; log CFU/g) inoculated on kale

	Time	Temperature		
		25°C	40°C	50°C
SDW*	1	0.52 ± 0.04 ^e	0.79 ± 0.04 ^h	0.90 ± 0.03 ^g
	3	0.59 ± 0.03 ^{de}	1.42 ± 0.03 ^e	1.47 ± 0.04 ^f
	5	0.62 ± 0.03 ^{cde}	1.54 ± 0.01 ^d	1.57 ± 0.01 ^e
US (100 W/L)†	1	0.61 ± 0.03 ^{cde}	0.96 ± 0.03 ^g	1.44 ± 0.03 ^f
	3	0.62 ± 0.04 ^{cde}	1.20 ± 0.03 ^f	1.57 ± 0.06 ^e
	5	0.68 ± 0.04 ^{bcd}	1.40 ± 0.04 ^e	1.63 ± 0.03 ^e
US (200 W/L)†	1	0.69 ± 0.06 ^{abcd}	1.38 ± 0.02 ^e	1.76 ± 0.02 ^d
	3	0.71 ± 0.03 ^{abc}	1.64 ± 0.05 ^c	1.95 ± 0.02 ^c
	5	0.74 ± 0.03 ^{ab}	1.71 ± 0.04 ^c	2.03 ± 0.03 ^c
US (400 W/L)†	1	0.75 ± 0.04 ^{ab}	1.90 ± 0.04 ^b	2.55 ± 0.03 ^b
	3	0.77 ± 0.05 ^{ab}	2.42 ± 0.02 ^a	2.92 ± 0.03 ^a
	5	0.80 ± 0.03 ^a	2.46 ± 0.01 ^a	2.97 ± 0.02 ^a

^{a-h}Numbers within each column followed by different small letters are significantly different ($P < 0.05$);

* SDW (Sterilized deionized water);

† US (Thermo-sonication) with the AED of 100, 200, and 400 W/L

⑥ 신선초

신선초를 각각 다른 AED와 온도, 시간을 설정하여 처리한 결과 60 °C 이상에서는 신선초의 물성이 좋지 않음. 400 W/L, 60 °C, 5분이 2.91 log CFU/g 감소하여 저감화 효과가 좋았으나, 신선초의 품질에 좋지 않은 영향을 주어 2.39 log CFU/g 감소한 400 W/L, 40 °C, 3분 조건에서 처리한 신선초를 최적조건으로 설정함.

표 131. Effect of ultrasonication on the reduction of Escherichia coli O157:H7 (means ± standard deviation; log CFU/g) inoculated on Sinseonchoe

Tem	Temperature			
	25°C	40°C	60°C	
SDW*	1	0.55 ± 0.03 ^f	0.71 ± 0.03 ^h	0.79 ± 0.02 ^g
	3	0.59 ± 0.04 ^{ef}	1.49 ± 0.03 ^d	1.53 ± 0.04 ^{ef}
	5	0.60 ± 0.04 ^{ef}	1.51 ± 0.05 ^d	1.56 ± 0.04 ^e
US (100 W/L)†	1	0.61 ± 0.03 ^{def}	0.95 ± 0.04 ^g	1.40 ± 0.05 ^f
	3	0.62 ± 0.03 ^{def}	1.15 ± 0.03 ^f	1.53 ± 0.04 ^{ef}
	5	0.64 ± 0.02 ^{cdef}	1.35 ± 0.03 ^e	1.60 ± 0.04 ^e
US (200 W/L)†	1	0.65 ± 0.03 ^{cde}	1.33 ± 0.03 ^e	1.75 ± 0.03 ^d
	3	0.68 ± 0.03 ^{bcde}	1.65 ± 0.04 ^c	1.97 ± 0.06 ^c
	5	0.71 ± 0.02 ^{abcd}	1.74 ± 0.04 ^c	2.04 ± 0.03 ^c
US (400 W/L)†	1	0.72 ± 0.03 ^{abc}	1.91 ± 0.03 ^b	2.58 ± 0.05 ^b
	3	0.75 ± 0.05 ^{ab}	2.39 ± 0.06 ^a	2.85 ± 0.04 ^a
	5	0.78 ± 0.06 ^a	2.46 ± 0.05 ^a	2.91 ± 0.07 ^a

^{a-h}Numbers within each column followed by different small letters are significantly different ($P < 0.05$);

* SDW (Sterilized deionized water);

† US (Thermo-sonication) with the AED of 100, 200, and 400 W/L

(다) 물리적(초음파) 및 화학적(미산성 전해수) 병용처리 살균소독력 평가

① 현미

초음파 처리와 전해수 조건을 바탕으로 방법을 달리하여 (증류수, 초음파, 전해수, 초음파 처리 후 전해수 처리, 전해수 처리 후 초음파, 초음파와 전해수 동시처리) 병행 처리한 결과 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때 2.6 log CFU/g 감소하여 가장 좋은 효과를 보임.

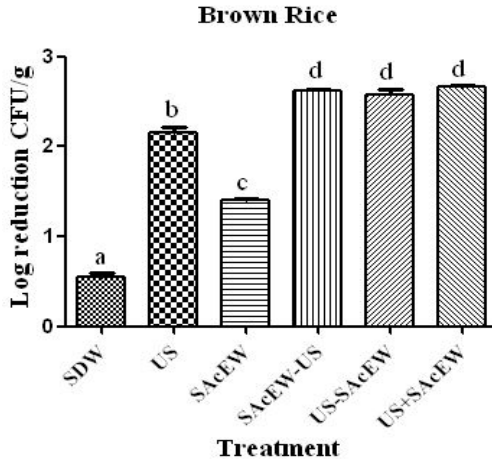


그림 297. Inactivation effect of Thermo-sonication combined with SAcEW on *Bacillus cereus* inoculated on brown rice

SDW : Sterilized Distilled water

US : Thermo-sonication

SAcEW : slightly acidic electrolyzed water

US-SAcEW : Thermo-sonication treatment followed by SAcEW treatment

SAcEW-US : SAcEW treatment followed by Thermo-sonication treatment

US+SAcEW : Thermo-sonication treatment combined at same time SAcEW treatment

② 보리

초음파 처리와 전해수 조건을 바탕으로 방법을 달리하여 (증류수, 초음파, 전해수, 초음파 처리 후 전해수 처리, 전해수 처리 후 초음파, 초음파와 전해수 동시처리) 병행 처리한 결과 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때 2.6 log CFU/g 감소하여 가장 좋은 효과를 보임.

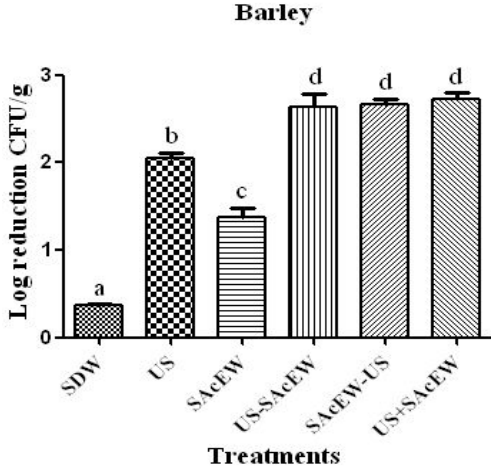


그림 298. Inactivation effect of thermo-sonication combined with SAcEW on *Bacillus cereus* inoculated on barley

SDW : Sterilized Distilled water

US : Thermo-sonication

SAcEW : Slightly acidic electrolyzed water

US-SAcEW : Thermo-sonication treatment followed by SAcEW treatment

SAcEW-US : SAcEW treatment followed by Thermo-sonication treatment

US+SAcEW : Thermo-sonication treatment combined at same time SAcEW treatment

③ 당근

초음파 처리와 전해수 조건을 바탕으로 방법을 달리하여 (증류수, 초음파, 전해수, 초음파 처리 후 전해수 처리, 전해수 처리 후 초음파, 초음파와 전해수 동시처리) 병행 처리한 결과 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때 2.9 log CFU/g 감소하여 가장 좋은 효과를 보임.

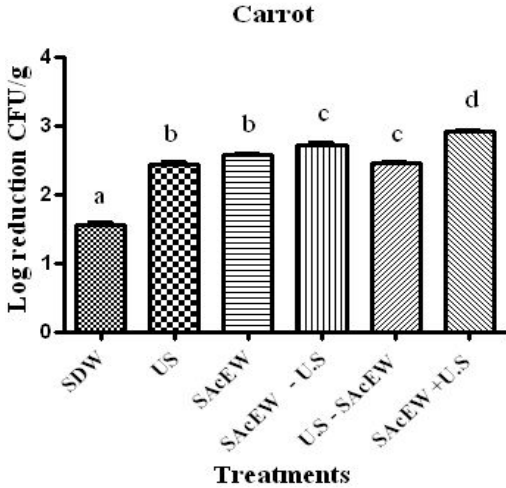


그림 299. Inactivation effect of thermo-sonication combined with SAcEW on *Bacillus cereus* inoculated on carrot

SDW : Sterilized Distilled water

US : Thermo-sonication

SAcEW : Slightly acidic electrolyzed water

US-SAcEW : Thermo-sonication treatment followed by SAcEW treatment

SAcEW-US : SAcEW treatment followed by Thermo-sonication treatment

US+SAcEW : Thermo-sonication treatment combined at same time SAcEW treatment

④ 감자

초음파 처리와 전해수 조건을 바탕으로 방법을 달리하여 (증류수, 초음파, 전해수, 초음파 처리 후 전해수 처리, 전해수 처리 후 초음파, 초음파와 전해수 동시처리) 병행 처리한 결과 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때 3.01 log CFU/g 감소하여 가장 좋은 효과를 보임.

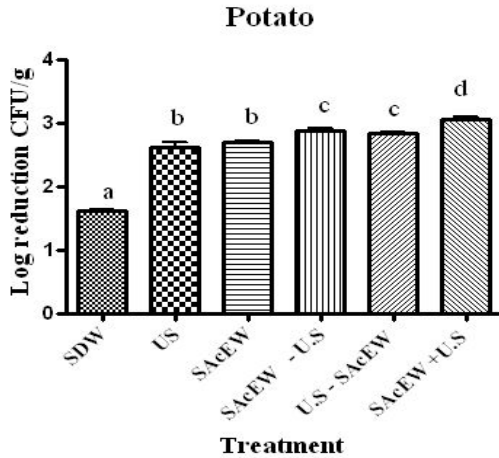


그림 300. Inactivation effect of thermo-sonication combined with SAcEW on *Bacillus cereus* inoculated on potato

SDW : Sterilized Distilled water

US : Thermo-sonication

SAcEW : Slightly acidic electrolyzed water

US-SAcEW : Thermo-sonication treatment followed by SAEW treatment

SAcEW-US : SAEW treatment followed by Thermo-sonication treatment

US+SAcEW : Thermo-sonication treatment combined at same time SAEW treatment

⑤ 케일

초음파 처리와 전해수 조건을 바탕으로 방법을 달리하여 (증류수, 초음파, 전해수, 초음파 처리 후 전해수 처리, 전해수 처리 후 초음파, 초음파와 전해수 동시처리) 병행 처리한 결과 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리한 군을 최적조건으로 선택하였을 때 3.21 log CFU/g로 감소하여 가장 좋은 효과를 보임.

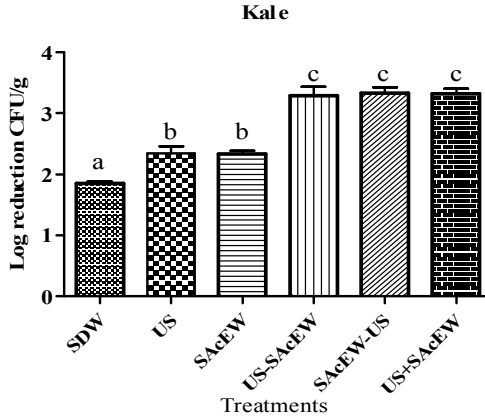


그림 301. Inactivation effect of thermo-sonication combined with SAcEW on *E.coli*O157:H7 inoculated on kale

SDW : Sterilized Distilled water

US : Thermo-sonication

SAcEW : Slightly acidic electrolyzed water

US-SAcEW : Thermo-sonication treatment followed by SAEW treatment

SAcEW-US : SAEW treatment followed by Thermo-sonication treatment

US+SAcEW : Thermo-sonication treatment combined at same time SAEW treatment

⑥ 신선초

초음파 처리와 전해수 조건을 바탕으로 방법을 달리하여 (증류수, 초음파, 전해수, 초음파 처리 후 전해수 처리, 전해수 처리 후 초음파, 초음파와 전해수 동시처리) 병행 처리한 결과 전해수 처리 후 초음파를 처리했을 때 가장 좋은 효과를 보였으나 품질 변화에 좋지 않은 영향을 줌. 또한 초음파와 전해수를 동시에 처리했을 때와 유의적인 차이를 보이지 않아 3 log CFU/g 감소한 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리한 군을 최적조건으로 선택함.

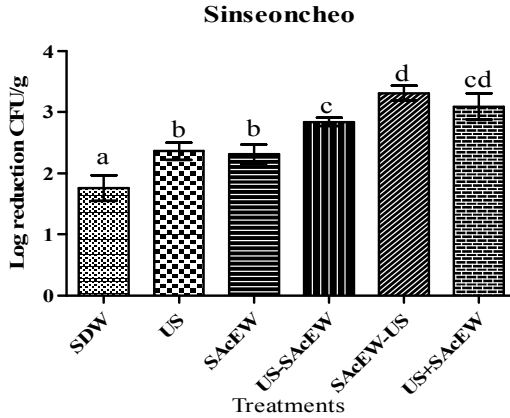


그림 302. Inactivation effect of thermo-sonication combined with SAcEW on *E.coli*O157:H7 inoculated on sinseoncheo

SDW : Sterilized Distilled water

US : Thermo-sonication

SAcEW : Slightly acidic electrolyzed water

US-SAcEW : Thermo-sonication treatment followed by SAcEW treatment

SAcEW-US : SAcEW treatment followed by Thermo-sonication treatment

US+SAcEW : Thermo-sonication treatment combined at same time SAcEW treatment

(2) 병용처리(초음파/미산성 저농도 전해수)한 생식제품 원료의 저장 중 미생물학적·이화학적 품질 변화 분석

(가) 저장에 따른 미생물 균총 변화

① 현미

표 132은 생식제품 원료 중 현미를 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW), 초음파(400 W/L, 40 °C)에 3분간 침지한 처리구의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 °C) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 중 총균수, 바실러스균에 대한 균총 변화를 나타낸 결과임. 상수(TW) 처리구와 SLEW 처리구에서의 초기 총균수(0 day)는 각각 $5.12 \pm 0.03 \log \text{CFU/mL}$, $3.21 \pm 0.07 \log \text{CFU/mL}$ 로, SLEW 처리구가 TW 처리구보다 1.91 log CFU/mL 더 낮음을 나타냄. 초기 바실러스균은 TW 처리구 $3.98 \pm 0.13 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구 $2.63 \pm 0.9 \log \text{CFU/mL}$ 로서 SLEW 처리구가 TW 처리구보다 1.65 log CFU/mL 더 낮았음. 각 온도별로 저장기간이 경과함에 따라 총균수와 바실러스균이 증가하는 경향을 나타냄.

② 보리

표 133은 생식제품 원료 중 현미를 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 °C) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 중 총균수, 바실러스균에 대한 균총 변화를 나타낸 결과임. 총균수와 바실러스균을 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 각각 TW 처리구에서 $4.02 \pm 0.11 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $2.98 \pm 0.06 \log \text{CFU/mL}$ 이었고, 초기 바실러스균수는 각각 TW 처리구에서 $4.05 \pm 0.09 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $3.86 \pm 0.12 \log \text{CFU/mL}$ 로 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 0.20 log CFU/mL 이상 살균력을 나타냄. 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있으나, TW 처리구 보다 SLEW 처리구에서 균수의 증가율이 낮음을 볼 수 있음. 또한 저장기간(0 day)에서의 초기 균수의 양이 적을수록 균수의 증가율이 낮음. 총균수 보다 바실러스균이 온도의 영향을 쉽게 받아 낮은 온도에서 쉽게 균수 증가 하는 것으로 나타났으며 현미보다 보리가 높은 온도에서 쉽게 부패하는 경향을 나타냄. 저장온도 20, 25, 30 °C에서는 저장기간 5일 이후에는 대부분 $9.00 \log \text{CFU/mL}$ 이상으로 균수가 증가 하였으며, 그 이후의 저장기간에서는 균수를 측정하지 않음.

☞ 132. Effect of electrolyzed water on inactivation of total bacteria and Bacillus in Brown rice by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	log CFU/mL*						
			Storage time (day)						
			0	5	10	15	20	25	30
Total bacteria	4	TW	5.12 ± 0.03	4.68 ± 0.13	5.31 ± 0.02	5.66 ± 0.11	5.89 ± 0.16	6.72 ± 0.04	7.23 ± 0.03
		SLEW	3.21 ± 0.07	3.48 ± 0.09	4.31 ± 0.14	4.74 ± 0.07	4.92 ± 0.12	5.26 ± 0.11	5.61 ± 0.04
	10	TW	5.12 ± 0.03	5.34 ± 0.16	6.23 ± 0.03	7.40 ± 0.12	8.62 ± 0.03	> 9.00	> 9.00
		SLEW	3.21 ± 0.07	4.34 ± 0.14	5.49 ± 0.19	6.80 ± 0.14	7.54 ± 0.16	8.86 ± 0.07	> 9.00
	15	TW	5.12 ± 0.03	6.20 ± 0.08	8.32 ± 0.21	> 9.00	> 9.00	> 9.00	-
		SLEW	3.21 ± 0.07	5.42 ± 0.12	7.48 ± 0.11	8.61 ± 0.03	8.92 ± 0.13	> 9.00	-
	20	TW	5.12 ± 0.03	8.63 ± 0.04	> 9.00	> 9.00	> 9.00	-	-
		SLEW	3.21 ± 0.07	7.30 ± 0.11	> 9.00	> 9.00	> 9.00	-	-
	25	TW	5.12 ± 0.03	> 9.00	> 9.00	> 9.00	-	-	-
		SLEW	3.21 ± 0.07	8.41 ± 0.20	> 9.00	> 9.00	-	-	-
	30	TW	5.12 ± 0.03	> 9.00	> 9.00	-	-	-	-
		SLEW	3.21 ± 0.07	> 9.00	> 9.00	-	-	-	-
Bacillus	4	TW	3.98 ± 0.13	4.09 ± 0.11	4.42 ± 0.09	4.83 ± 0.17	5.95 ± 0.05	6.36 ± 0.03	7.83 ± 0.06
		SLEW	2.63 ± 0.09	3.52 ± 0.06	3.92 ± 0.16	4.62 ± 0.03	4.98 ± 0.12	5.72 ± 0.02	6.83 ± 0.05
	10	TW	3.98 ± 0.13	5.32 ± 0.05	5.51 ± 0.04	6.41 ± 0.11	7.78 ± 0.06	8.69 ± 0.13	8.89 ± 0.14
		SLEW	2.63 ± 0.09	4.24 ± 0.12	4.79 ± 0.17	5.74 ± 0.07	6.86 ± 0.21	7.46 ± 0.03	7.96 ± 0.08
	15	TW	3.98 ± 0.13	6.49 ± 0.15	6.96 ± 0.11	7.72 ± 0.07	8.84 ± 0.18	> 9.00	-
		SLEW	2.63 ± 0.09	5.30 ± 0.03	5.78 ± 0.06	6.87 ± 0.06	7.58 ± 0.16	> 9.00	-
	20	TW	3.98 ± 0.13	7.62 ± 0.17	8.58 ± 0.03	> 9.00	> 9.00	-	-
		SLEW	2.63 ± 0.09	7.06 ± 0.21	7.84 ± 0.09	8.45 ± 0.18	> 9.00	-	-
	25	TW	3.98 ± 0.13	7.56 ± 0.11	8.58 ± 0.06	> 9.00	-	-	-
		SLEW	2.63 ± 0.09	7.31 ± 0.18	7.68 ± 0.17	> 9.00	-	-	-
	30	TW	3.98 ± 0.13	8.88 ± 0.09	> 9.00	-	-	-	-
		SLEW	2.63 ± 0.09	8.67 ± 0.04	> 9.00	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

☿ 133. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and Bacillus in barley by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	log CFU/mL*						
			Storage time (day)						
			0	5	10	15	20	25	30
Total bacteria	4	TW	4.02 ± 0.11	4.12 ± 0.08	4.52 ± 0.03	4.97 ± 0.18	5.72 ± 0.07	5.99 ± 0.21	6.62 ± 0.09
		SLEW	2.98 ± 0.06	3.25 ± 0.11	3.61 ± 0.17	3.85 ± 0.03	4.48 ± 0.11	4.79 ± 0.12	5.57 ± 0.15
	10	TW	4.02 ± 0.11	5.53 ± 0.12	5.78 ± 0.06	5.96 ± 0.08	6.71 ± 0.17	6.93 ± 0.07	7.68 ± 0.06
		SLEW	2.98 ± 0.06	4.35 ± 0.09	4.68 ± 0.04	5.62 ± 0.18	5.91 ± 0.14	6.58 ± 0.03	6.87 ± 0.11
	15	TW	4.02 ± 0.11	5.86 ± 0.03	6.59 ± 0.12	7.83 ± 0.21	> 9.00	> 9.00	-
		SLEW	2.98 ± 0.06	4.51 ± 0.18	5.78 ± 0.05	6.72 ± 0.08	8.84 ± 0.09	> 9.00	-
	20	TW	4.02 ± 0.11	7.73 ± 0.11	8.49 ± 0.19	> 9.00	-	-	-
		SLEW	2.98 ± 0.06	6.28 ± 0.06	7.43 ± 0.15	> 9.00	-	-	-
	25	TW	4.02 ± 0.11	7.89 ± 0.21	8.83 ± 0.02	-	-	-	-
		SLEW	2.98 ± 0.06	7.35 ± 0.08	7.67 ± 0.06	-	-	-	-
	30	TW	4.02 ± 0.11	> 9.00	> 9.00	-	-	-	-
		SLEW	2.98 ± 0.06	8.94 ± 0.13	> 9.00	-	-	-	-
Bacillus	4	TW	4.05 ± 0.09	5.21	5.59	6.47	7.48	7.84	8.42
		SLEW	3.86 ± 0.12	4.18	4.58	4.76	6.12	6.47	7.49
	10	TW	4.05 ± 0.09	6	6	7	8	8	> 9.00
		SLEW	3.86 ± 0.12	5	6	6	7	7	8.94 ± 0.09
	15	TW	4.05 ± 0.09	7.72 ± 0.11	8.44 ± 0.16	8.95 ± 0.04	> 9.00	> 9.00	-
		SLEW	3.86 ± 0.12	6.33 ± 0.05	7.82 ± 0.18	7.56 ± 0.13	8.92 ± 0.05	> 9.00	-
	20	TW	4.05 ± 0.09	7.47 ± 0.06	7.84 ± 0.21	> 9.00	-	-	-
		SLEW	3.86 ± 0.12	6.53 ± 0.09	6.77 ± 0.18	8.63 ± 0.	-	-	-
	25	TW	4.05 ± 0.09	8.58 ± 0.14	> 9.00	-	-	-	-
		SLEW	3.86 ± 0.12	7.64 ± 0.09	> 9.00	-	-	-	-
	30	TW	4.05 ± 0.09	8.83 ± 0.16	> 9.00	-	-	-	-
		SLEW	3.86 ± 0.12	7.88 ± 0.03	> 9.00	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p < 0.05$).

③ 당근

표 134는 생식제품 원료 중 현미를 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 중 총균수, 바실러스균에 대한 균총 변화를 나타낸 결과임. 총균수와 바실러스균을 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 TW 처리구에서 $4.57 \pm 0.13 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $2.75 \pm 0.04 \log \text{CFU/mL}$ 로 약 1.7배이상의 살균력을 보여줌. 초기 바실러스균수는 각각 TW 처리구에서 $2.73 \pm 0.04 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $2.05 \pm 0.08 \log \text{CFU/mL}$ 로 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 $0.68 \log \text{CFU/mL}$ 이상의 살균력을 보여줌. 당근은 20일 이후부터 $9.00 \log \text{CFU/mL}$ 이상으로 균수가 증가하여 상품가치가 없는 품질로 변화되었으므로 25일 20-30 ℃에서부터 측정하지 않음.

④ 감자

표 135은 생식제품 원료 중 현미를 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 중 총균수, 바실러스균에 대한 균총 변화를 나타낸 결과임. 총균수와 바실러스균을 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 각각 TW 처리구에서 $4.75 \pm 0.14 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $3.42 \pm 0.12 \log \text{CFU/mL}$ 로 SLEW에서 보다 높은 살균력을 나타내었고, 초기 바실러스균수는 각각 TW 처리구와 SLEW 처리구에서 초기 바실러스균수는 각각 TW 처리구에서 $3.46 \pm 0.12 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $2.52 \pm 0.12 \log \text{CFU/mL}$ 로 측정됨. 총균수에서는 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있으나, TW 처리구 보다 SLEW 처리구에서 균수의 증가율이 낮음을 볼 수 있음. 총균수와 바실러스균은 $9.00 \log \text{CFU/mL}$ 이상 균수가 다른 샘플에 비해 빨리 나타나지 않았지만, 외관상 결표면이 부패하거나 썩이 나서 상품의 가치가 없는 것으로 판단하여 그 이후의 저장기간에서는 균수를 측정하지 않음.

⌘ 134. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and Bacillus in Carrot by different temperature during storage

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	log CFU/mL*						
			Storage time (day)						
			0	5	10	15	20	25	30
Total bacteria	4	TW	4.57 ± 0.13	3.43 ± 0.02	3.58 ± 0.11	3.66 ± 0.03	3.79 ± 0.13	3.97 ± 0.07	4.23 ± 0.17
		SLEW	2.75 ± 0.04	2.09 ± 0.12	2.31 ± 0.07	2.46 ± 0.16	2.81 ± 0.10	2.95 ± 0.03	3.23 ± 0.08
	10	TW	4.57 ± 0.13	4.02 ± 0.11	4.12 ± 0.15	4.49 ± 0.12	4.80 ± 0.08	4.93 ± 0.16	5.21 ± 0.19
		SLEW	2.75 ± 0.04	3.31 ± 0.03	3.57 ± 0.13	3.62 ± 0.18	3.75 ± 0.07	3.84 ± 0.21	3.97 ± 0.10
	15	TW	4.57 ± 0.13	4.23 ± 0.07	5.69 ± 0.18	5.89 ± 0.03	6.88 ± 0.14	7.98 ± 0.02	8.89 ± 0.12
		SLEW	2.75 ± 0.04	3.31 ± 0.16	4.52 ± 0.03	4.87 ± 0.11	5.74 ± 0.02	6.67 ± 0.08	7.32 ± 0.11
	20	TW	4.57 ± 0.13	5.34 ± 0.14	6.20 ± 0.06	7.31 ± 0.13	> 9.00	-	-
		SLEW	2.75 ± 0.04	4.69 ± 0.02	4.98 ± 0.11	6.53 ± 0.03	8.47 ±	-	-
	25	TW	4.57 ± 0.13	6.12 ± 0.21	7.78 ± 0.07	> 9.00	> 9.00	-	-
		SLEW	2.75 ± 0.04	5.23 ± 0.08	6.49 ± 0.03	7.60 ±	> 9.00	-	-
	30	TW	4.57 ± 0.13	6.39 ± 0.17	8.68 ±	> 9.00	> 9.00	-	-
		SLEW	2.75 ± 0.04	5.59 ± 0.14	7.84 ±	> 9.00	> 9.00	-	-
Bacillus	4	TW	2.73 ± 0.03	3.26 ± 0.15	3.59 ± 0.18	3.93 ± 0.09	4.86 ± 0.12	5.78 ± 0.14	6.95 ± 0.12
		SLEW	2.05 ± 0.08	2.35 ± 0.11	3.53 ± 0.13	3.58 ± 0.16	3.82 ± 0.17	4.79 ± 0.15	5.83 ± 0.18
	10	TW	2.73 ± 0.03	4.17 ± 0.19	4.47 ± 0.08	4.89 ± 0.13	5.74 ± 0.05	6.75 ± 0.17	7.98 ± 0.14
		SLEW	2.05 ± 0.08	3.43 ± 0.07	3.89 ± 0.11	4.68 ± 0.09	4.92 ± 0.12	5.57 ± 0.19	6.87 ± 0.06
	15	TW	2.73 ± 0.03	5.25 ± 0.13	5.74 ± 0.19	5.89 ± 0.06	6.97 ± 0.03	8.47 ± 0.07	8.89 ± 0.02
		SLEW	2.05 ± 0.08	4.36 ± 0.12	4.73 ± 0.03	4.97 ± 0.11	5.89 ± 0.07	7.84 ± 0.05	8.56 ± 0.12
	20	TW	2.73 ± 0.03	6.36 ± 0.11	6.79 ± 0.07	7.72 ± 0.17	8.79 ± 0.16	-	-
		SLEW	2.05 ± 0.08	5.21 ± 0.16	5.72 ± 0.03	6.74 ± 0.08	7.89 ± 0.03	-	-
	25	TW	2.73 ± 0.03	7.58 ± 0.12	8.78 ± 0.11	> 9.00	> 9.00	-	-
		SLEW	2.05 ± 0.08	6.79 ± 0.08	7.46 ± 0.05	8.68 ± 0.14	> 9.00	-	-
	30	TW	2.73 ± 0.03	7.84 ± 0.14	8.61 ± 0.05	> 9.00	> 9.00	-	-
		SLEW	2.05 ± 0.08	7.42 ± 0.06	7.95 ± 0.14	8.88 ± 0.13	> 9.00	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

****ND, no detectable survivors by direct plating procedure.

⌘ 106. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and coliform in Potato by different temperature during storage.

☞ 135. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and Bacillus in Potato by different temperature during storage

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	log CFU/mL*						
			Storage time (day)						
			0	5	10	15	20	25	30
Total bacteria	4	TW	4.75 ± 0.14	5.53 ± 0.13	5.98 ± 0.19	6.84 ± 0.03	7.79 ± 0.11	8.86 ± 0.18	> 9.00
		SLEW	3.42 ± 0.12	4.76 ± 0.11	4.80 ± 0.21	5.86 ± 0.08	6.90 ± 0.14	7.97 ± 0.02	8.65 ± 0.08
	10	TW	4.75 ± 0.14	6.14 ± 0.09	6.46 ± 0.13	7.58 ± 0.15	7.83 ± 0.12	> 9.00	-
		SLEW	3.42 ± 0.12	4.67 ± 0.03	5.52 ± 0.19	6.59 ± 0.18	6.83 ± 0.09	> 9.00	-
	15	TW	4.75 ± 0.14	5.42 ± 0.07	6.98 ± 0.07	7.63 ± 0.12	8.84 ± 0.07	-	-
		SLEW	3.42 ± 0.12	4.73 ± 0.17	6.34 ± 0.02	6.81 ± 0.19	7.59 ± 0.03	-	-
	20	TW	4.75 ± 0.14	7.36 ± 0.21	7.84 ± 0.17	8.64 ± 0.12	-	-	-
		SLEW	3.42 ± 0.12	5.46 ± 0.19	6.53 ± 0.18	8.48 ± 0.16	-	-	-
	25	TW	4.75 ± 0.14	8.11 ± 0.04	8.51 ± 0.16	-	-	-	-
		SLEW	3.42 ± 0.12	7.46 ± 0.08	7.58 ± 0.05	-	-	-	-
	30	TW	4.75 ± 0.14	8.47 ± 0.07	-	-	-	-	-
		SLEW	3.42 ± 0.12	7.50 ± 0.11	-	-	-	-	-
Bacillus	4	TW	3.46 ± 0.12	3.49 ± 0.15	4.53 ± 0.09	5.38 ± 0.07	5.74 ± 0.02	5.97 ± 0.16	6.74 ± 0.05
		SLEW	2.52 ± 0.03	3.15 ± 0.11	3.39 ± 0.03	4.56 ± 0.04	4.72 ± 0.09	4.94 ± 0.03	5.23 ± 0.13
	10	TW	3.46 ± 0.12	4.53 ± 0.07	4.96 ± 0.18	5.86 ± 0.15	6.79 ± 0.03	7.21 ± 0.02	-
		SLEW	2.52 ± 0.03	3.36 ± 0.05	4.23 ± 0.06	4.75 ± 0.17	5.39 ± 0.19	5.97 ± 0.16	-
	15	TW	3.46 ± 0.12	4.98 ± 0.06	6.79 ± 0.15	7.19 ± 0.03	7.81 ± 0.09	-	-
		SLEW	2.52 ± 0.03	4.43 ± 0.08	5.49 ± 0.03	5.92 ± 0.18	6.76 ± 0.16	-	-
	20	TW	3.46 ± 0.12	6.72 ± 0.03	7.31 ± 0.02	8.61 ± 0.02	-	-	-
		SLEW	2.52 ± 0.03	5.42 ± 0.14	5.71 ± 0.11	7.73 ± 0.13	-	-	-
	25	TW	3.46 ± 0.12	7.73 ± 0.06	> 9.00	-	-	-	-
		SLEW	2.52 ± 0.03	6.92 ± 0.03	8.58 ± 0.04	-	-	-	-
	30	TW	3.46 ± 0.12	> 9.00	-	-	-	-	-
		SLEW	2.52 ± 0.03	8.91 ± 0.13	-	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

****ND, no detectable survivors by direct plating procedure.

⑤ 케일

표 136은 생식제품 원료 중 현미를 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 중 총균수, 바실러스균에 대한 균총 변화를 나타낸 결과임. 총균수와 바실러스균을 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 각각 TW 처리구에서 $4.34 \pm 0.08 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $3.97 \pm 0.17 \log \text{CFU/mL}$ 이었고, 초기 바실러스균수는 각각 TW 처리구에서 3.49 ± 0.12 , SLEW 처리구에서 $2.48 \pm 0.17 \log \text{CFU/mL}$ 로 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 높은 살균력을 나타냄. 다른 제품 원료보다 부패 및 외관상 상품가치 하락 정도가 빨랐으며, 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있었음. TW 처리구 보다 SLEW 처리구에서 균수의 증가율이 낮았음. 또한 저장기간(0 day)에서의 초기 균수의 양이 적을수록 균수의 증가율이 낮았음. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5일 이후에는 대부분 $>9.00 \log \text{CFU/mL}$ 이상으로 균수가 증가한 것으로 판단되며, 제품으로 쓸 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 균수를 측정하지 않음.

⑥ 신선초

표 137은 생식제품 원료 중 현미를 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 중 총균수, 바실러스균에 대한 균총 변화를 나타낸 결과임. 총균수와 바실러스균을 대상으로 측정하였으며, 초기 총균수(0 day)는 각각 TW 처리구에서 $4.69 \pm 0.08 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $4.35 \pm 0.12 \log \text{CFU/mL}$ 이었고, 초기 바실러스균수는 각각 TW 처리구에서 $3.84 \pm 0.11 \log \text{CFU/mL}$, SLEW 처리구에서 $2.35 \log \text{CFU/mL}$ 로 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 높은 살균력을 나타냄. 신선초는 케일 제품 다음으로 부패 및 외관상 상품가치 하락 정도가 빨랐으며, 저장기간이 경과함에 따라 모든 저장온도에서 균수가 증가하는 것을 볼 수 있었음. 또한 저장기간(0 day)에서의 초기 균수의 양이 적을수록 균수의 증가율이 낮았음. 제품으로 쓸 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 균수를 측정하지 않음.

表 136. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and Bacillus in Kale by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (℃)	Sanitizer	log CFU/mL*							
			Storage time (day)							
			0	5	10	15	20	25	30	
Total bacteria	4	TW	4.34 ± 0.08	4.75 ± 0.11	5.48 ± 0.07	5.96 ± 0.13	6.99 ± 0.11	7.03 ± 0.21	-	
		SLEW	3.97 ± 0.17	4.31 ± 0.03	4.89 ± 0.13	5.35 ± 0.17	5.87 ± 0.03	6.89 ± 0.15	-	
	10	TW	4.34 ± 0.08	7.01 ± 0.02	7.53 ± 0.08	8.79 ± 0.03	> 9.00	-	-	
		SLEW	3.97 ± 0.17	6.98 ± 0.17	7.21 ± 0.19	7.84 ± 0.12	> 9.00	-	-	
	15	TW	4.34 ± 0.08	8.31 ± 0.09	8.89 ± 0.04	> 9.00	-	-	-	
		SLEW	3.97 ± 0.17	7.35 ± 0.11	7.87 ± 0.15	> 9.00	-	-	-	
	20	TW	4.34 ± 0.08	8.72 ± 0.17	> 9.00	-	-	-	-	
		SLEW	3.97 ± 0.17	8.34 ± 0.14	> 9.00	-	-	-	-	
	25	TW	4.34 ± 0.08	> 9.00	> 9.00	-	-	-	-	
		SLEW	3.97 ± 0.17	> 9.00	> 9.00	-	-	-	-	
	30	TW	4.34 ± 0.08	> 9.00	-	-	-	-	-	
		SLEW	3.97 ± 0.17	> 9.00	-	-	-	-	-	
	Bacillus	4	TW	3.49 ± 0.12	3.76 ± 0.16	4.23 ± 0.09	4.64 ± 0.15	5.67 ± 0.05	6.49 ± 0.13	-
			SLEW	2.48 ± 0.17	3.41 ± 0.04	3.89 ± 0.18	4.31 ± 0.05	4.71 ± 0.17	5.89 ± 0.06	-
10		TW	3.49 ± 0.12	4.36 ± 0.11	4.89 ± 0.08	5.78 ± 0.12	6.84 ± 0.16	-	-	
		SLEW	2.48 ± 0.17	3.69 ± 0.09	4.63 ± 0.15	4.96 ± 0.08	5.94 ± 0.07	-	-	
15		TW	3.49 ± 0.12	6.51 ± 0.15	7.74 ± 0.16	8.41 ± 0.16	-	-	-	
		SLEW	2.48 ± 0.17	5.16 ± 0.09	6.49 ± 0.11	7.82 ± 0.21	-	-	-	
20		TW	3.49 ± 0.12	7.89 ± 0.21	> 9.00	-	-	-	-	
		SLEW	2.48 ± 0.17	7.36 ± 0.05	8.88	-	-	-	-	
25		TW	3.49 ± 0.12	8.58 ± 0.12	> 9.00	-	-	-	-	
		SLEW	2.48 ± 0.17	7.83 ± 0.14	> 9.00	-	-	-	-	
30		TW	3.49 ± 0.12	8.88 ± 0.13	-	-	-	-	-	
		SLEW	2.48 ± 0.17	7.99 ± 0.05	-	-	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p < 0.05$).

表 108. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and Bacillus in *Angelica utilis makino* by different temperature during

storage.

표 137. Effect of electrolyzed water on inactivation of total count bacteria and Bacillus in Sinseoncho by different temperature during storage.

Strains	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	log CFU/mL*						
			Storage time (day)						
			0	5	10	15	20	25	30
Total bacteria	4	TW	4.69 ± 0.08	5.64 ± 0.11	5.87 ± 0.08	6.52 ± 0.07	6.91 ± 0.12	7.83 ± 0.19	-
		SLEW	4.35 ± 0.12	4.72 ± 0.03	4.96 ± 0.05	5.74 ± 0.17	6.75 ± 0.08	6.98 ± 0.03	-
	10	TW	4.69 ± 0.08	6.41 ± 0.14	6.68 ± 0.17	7.59 ± 0.08	8.83 ± 0.04	-	-
		SLEW	4.35 ± 0.12	5.79 ± 0.03	5.99 ± 0.04	6.82 ± 0.21	7.57 ± 0.18	-	-
	15	TW	4.69 ± 0.08	6.84 ± 0.16	7.21 ± 0.20	-	-	-	-
		SLEW	4.35 ± 0.12	4.79 ± 0.13	6.31 ± 0.09	-	-	-	-
	20	TW	4.69 ± 0.08	6.96 ± 0.07	7.84 ± 0.18	-	-	-	-
		SLEW	4.35 ± 0.12	5.87 ± 0.12	6.72 ± 0.15	-	-	-	-
	25	TW	4.69 ± 0.08	8.37 ± 0.03	>9.00	-	-	-	-
		SLEW	4.35 ± 0.12	7.66 ± 0.11	8.63 ± 0.06	-	-	-	-
	30	TW	4.69 ± 0.08	8.79 ± 0.08	>9.00	-	-	-	-
		SLEW	4.35 ± 0.12	7.49 ± 0.04	>9.00	-	-	-	-
Bacillus	4	TW	3.84 ± 0.11	4.35 ± 0.04	4.61 ± 0.05	5.73 ± 0.15	6.71 ± 0.05	7.85 ± 0.14	-
		SLEW	2.35 ± 0.09	4.04 ± 0.03	4.29 ± 0.19	4.58 ± 0.07	5.95 ± 0.06	6.89 ± 0.06	-
	10	TW	3.84 ± 0.11	6.42 ± 0.19	6.59 ± 0.14	7.85 ± 0.19	8.75 ± 0.04	-	-
		SLEW	2.35 ± 0.09	5.31 ± 0.14	6.27 ± 0.11	6.78 ± 0.12	7.96 ± 0.05	-	-
	15	TW	3.84 ± 0.11	6.79 ± 0.03	6.99 ± 0.07	-	-	-	-
		SLEW	2.35 ± 0.09	5.79 ± 0.04	6.57 ± 0.15	-	-	-	-
	20	TW	3.84 ± 0.11	7.59 ± 0.11	7.96 ± 0.19	-	-	-	-
		SLEW	2.35 ± 0.09	6.53 ± 0.12	6.89 ± 0.06	-	-	-	-
	25	TW	3.84 ± 0.11	7.31 ± 0.12	8.62 ± 0.17	-	-	-	-
		SLEW	2.35 ± 0.09	6.73 ± 0.07	7.39 ± 0.21	-	-	-	-
	30	TW	3.84 ± 0.11	7.97 ± 0.15	8.87 ± 0.14	-	-	-	-
		SLEW	2.35 ± 0.09	7.57 ± 0.13	7.85 ± 0.09	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination($p<0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p<0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p<0.05$).

(나) 이화학적 품질변화

① 현미

표 138은 생식제품 원료 중 현미의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 동안 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각각 초기 색도값은 TW 처리구에서 $L=85.70 \pm 0.40$, $a=18.76 \pm 0.66$, $b=50.23 \pm 0.44$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=85.88 \pm 0.320$, $a=19.32 \pm 0.43$, $b=50.65 \pm 0.12$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 낮아졌고, 적색도(redness, a)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 높아짐. 또한 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 L값은 높고, a와 b 값은 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도 값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 미생물 부패로 인해 색도의 변화가 이루어진 것으로 사료됨. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않음.

② 보리

표 139은 생식제품 원료 중 보리의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 ℃) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 동안 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각각 초기 색도값은 TW 처리구에서 $L=85.70 \pm 0.40$, $a=6.68 \pm 0.13$, $b=50.23 \pm 0.44$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=85.88 \pm 0.32$, $a=19.32 \pm 0.43$, $b=50.65 \pm 0.12$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 낮아졌고, 적색도(redness, a)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 높아짐. 또한 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 L값은 높고, a와 b 값은 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도 값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 미생물 부패로 인해 색도의 변화가 이루어진 것으로 사료됨. 저장온도 20, 25, 30 ℃에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않음.

☿ 138. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Brown rice by different temperature during storage.

Value	Storage Temp (°C)	Sanitizer	Chromaticity*							
			Storage time(day)							
			0	5	10	15	20	25	30	
L	4	TW	85.70 ± 0.40	86.02 ± 0.65	86.40 ± 0.77	89.33 ± 0.34	95.84 ± 0.52	101.92 ± 0.23	105.68 ± 0.67	
		SLEW	85.88 ± 0.32	87.12 ± 0.54	87.76 ± 0.51	89.41 ± 0.76	94.92 ± 0.22	102.45 ± 0.33	102.87 ± 0.31	
	10	TW	85.70 ± 0.40	88.05 ± 0.32	89.44 ± 0.21	94.62 ± 0.07	-	-	-	
		SLEW	85.88 ± 0.32	89.11 ± 0.21	89.45 ± 0.43	91.66 ± 0.22	-	-	-	
	15	TW	85.70 ± 0.40	89.77 ± 0.24	91.92 ± 0.41	-	-	-	-	
		SLEW	85.88 ± 0.32	89.82 ± 0.72	91.34 ± 0.21	-	-	-	-	
	20	TW	85.70 ± 0.40	91.05 ± 0.44	92.77 ± 0.33	-	-	-	-	
		SLEW	85.88 ± 0.32	90.89 ± 0.22	92.88 ± 0.45	-	-	-	-	
	25	TW	85.70 ± 0.40	93.66 ± 0.52	-	-	-	-	-	
		SLEW	85.88 ± 0.32	92.04 ± 0.45	-	-	-	-	-	
	30	TW	85.70 ± 0.40	97.92 ± 0.21	-	-	-	-	-	
		SLEW	85.88 ± 0.32	98.04 ± 0.32	-	-	-	-	-	
	a	4	TW	18.76 ± 0.66	18.32 ± 0.32	17.92 ± 0.55	16.65 ± 0.21	16.62 ± 0.65	15.02 ± 0.23	14.76 ± 0.43
			SLEW	19.32 ± 0.43	19.03 ± 0.21	18.89 ± 0.22	18.55 ± 0.02	17.79 ± 0.11	17.55 ± 0.24	16.92 ± 0.31
		10	TW	18.76 ± 0.66	17.04 ± 0.21	15.59 ± 0.23	12.88 ± 0.45	-	-	-
			SLEW	19.32 ± 0.43	18.77 ± 0.35	17.05 ± 0.22	16.88 ± 0.03	-	-	-
15		TW	18.76 ± 0.66	16.81 ± 0.22	14.77 ± 0.48	-	-	-	-	
		SLEW	19.32 ± 0.43	17.05 ± 0.45	15.12 ± 0.22	-	-	-	-	
20		TW	18.76 ± 0.66	14.08 ± 0.08	12.56 ± 0.66	-	-	-	-	
		SLEW	19.32 ± 0.43	14.89 ± 0.19	11.55 ± 0.08	-	-	-	-	
25		TW	18.76 ± 0.66	11.82 ± 0.72	-	-	-	-	-	
		SLEW	19.32 ± 0.43	12.06 ± 0.41	-	-	-	-	-	
30		TW	18.76 ± 0.66	10.05 ± 0.02	-	-	-	-	-	
		SLEW	19.32 ± 0.43	9.87 ± 0.41	-	-	-	-	-	
b		4	TW	50.23 ± 0.44	50.77 ± 0.21	50.78 ± 0.15	51.67 ± 0.33	53.07 ± 0.51	54.08 ± 0.04	57.02 ± 0.62
			SLEW	50.65 ± 0.12	51.05 ± 0.32	51.62 ± 0.23	53.08 ± 0.28	56.72 ± 0.43	57.21 ± 0.51	58.63 ± 0.48
		10	TW	50.23 ± 0.44	50.83 ± 0.04	51.44 ± 0.22	53.09 ± 0.29	-	-	-
			SLEW	50.65 ± 0.12	52.09 ± 0.21	52.55 ± 0.55	53.07 ± 0.21	-	-	-
	15	TW	50.23 ± 0.44	51.59 ± 0.35	52.22 ± 0.09	-	-	-	-	
		SLEW	50.65 ± 0.12	52.73 ± 0.01	53.19 ± 0.04	-	-	-	-	
	20	TW	50.23 ± 0.44	52.43 ± 0.59	53.09 ± 0.15	-	-	-	-	
		SLEW	50.65 ± 0.12	53.09 ± 0.21	54.03 ± 0.37	-	-	-	-	
	25	TW	50.23 ± 0.44	54.03 ± 0.61	-	-	-	-	-	
		SLEW	50.65 ± 0.12	54.66 ± 0.06	-	-	-	-	-	
	30	TW	50.23 ± 0.44	55.17 ± 0.03	-	-	-	-	-	
		SLEW	50.65 ± 0.12	55.45 ± 0.22	-	-	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p < 0.05$).

☞ 139. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Barely by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*						
			Storage time(day)						
			0	5	10	15	20	25	30
L	4	TW	80.45 ± 0.45	80.77 ± 0.35	81.44 ± 0.21	86.06 ± 0.04	89.41 ± 0.12	91.55 ± 0.22	94.91 ± 0.23
		SLEW	80.81 ± 0.03	81.32 ± 0.42	83.29 ± 0.07	86.91 ± 0.54	91.22 ± 0.41	94.02 ± 0.39	96.22 ± 0.38
	10	TW	80.45 ± 0.45	81.66 ± 0.32	82.01 ± 0.11	86.87 ± 0.34	-	-	-
		SLEW	80.81 ± 0.03	81.92 ± 0.12	83.83 ± 0.51	87.01 ± 0.05	-	-	-
	15	TW	80.45 ± 0.45	82.43 ± 0.04	84.76 ± 0.51	-	-	-	-
		SLEW	80.81 ± 0.03	82.45 ± 0.41	86.05 ± 0.31	-	-	-	-
	20	TW	80.45 ± 0.45	83.57 ± 0.07	85.23 ± 0.45	-	-	-	-
		SLEW	80.81 ± 0.03	83.45 ± 0.21	86.77 ± 0.04	-	-	-	-
	25	TW	80.45 ± 0.45	84.03 ± 0.23	-	-	-	-	-
		SLEW	80.81 ± 0.03	84.06 ± 0.23	-	-	-	-	-
	30	TW	80.45 ± 0.45	85.07 ± 0.04	-	-	-	-	-
		SLEW	80.81 ± 0.03	85.66 ± 0.09	-	-	-	-	-
a	4	TW	8.05 ± 0.23	8.01 ± 0.31	7.89 ± 0.61	7.81 ± 0.22	7.62 ± 0.41	7.58 ± 0.52	7.53 ± 0.44
		SLEW	7.98 ± 0.12	7.81 ± 0.02	7.72 ± 0.27	7.56 ± 0.61	7.48 ± 0.36	7.40 ± 0.22	7.36 ± 0.12
	10	TW	8.05 ± 0.23	7.94 ± 0.24	7.66 ± 0.25	7.59 ± 0.31	-	-	-
		SLEW	7.98 ± 0.12	7.55 ± 0.31	7.33 ± 0.07	7.29 ± 0.04	-	-	-
	15	TW	8.05 ± 0.23	7.56 ± 0.31	7.46 ± 0.04	-	-	-	-
		SLEW	7.98 ± 0.12	7.21 ± 0.15	7.11 ± 0.21	-	-	-	-
	20	TW	8.05 ± 0.23	7.24 ± 0.26	7.21 ± 0.21	-	-	-	-
		SLEW	7.98 ± 0.12	7.12 ± 0.44	6.88 ± 0.11	-	-	-	-
	25	TW	8.05 ± 0.23	7.03 ± 0.14	-	-	-	-	-
		SLEW	7.98 ± 0.12	6.34 ± 0.21	-	-	-	-	-
	30	TW	8.05 ± 0.23	5.78 ± 0.02	-	-	-	-	-
		SLEW	7.98 ± 0.12	5.16 ± 0.31	-	-	-	-	-
b	4	TW	25.02 ± 0.03	26.77 ± 0.05	28.59 ± 0.81	32.09 ± 0.33	35.91 ± 0.07	39.02 ± 0.25	40.02 ± 0.32
		SLEW	24.43 ± 0.41	25.39 ± 0.34	28.88 ± 0.14	30.11 ± 0.31	34.01 ± 0.12	37.06 ± 0.21	38.15 ± 0.34
	10	TW	25.02 ± 0.03	27.05 ± 0.05	29.52 ± 0.01	35.77 ± 0.05	-	-	-
		SLEW	24.43 ± 0.41	26.68 ± 0.25	30.33 ± 0.45	34.16 ± 0.09	-	-	-
	15	TW	25.02 ± 0.03	28.55 ± 0.21	31.02 ± 0.12	-	-	-	-
		SLEW	24.43 ± 0.41	27.56 ± 0.26	30.78 ± 0.28	-	-	-	-
	20	TW	25.02 ± 0.03	50.23 ± 0.44	32.66 ± 0.41	-	-	-	-
		SLEW	24.43 ± 0.41	50.65 ± 0.12	31.55 ± 0.21	-	-	-	-
	25	TW	25.02 ± 0.03	29.04 ± 0.05	-	-	-	-	-
		SLEW	24.43 ± 0.41	29.54 ± 0.25	-	-	-	-	-
	30	TW	25.02 ± 0.03	30.44 ± 0.06	-	-	-	-	-
		SLEW	24.43 ± 0.41	30.53 ± 0.46	-	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

③ 당근

표 140은 생식제품 원료 중 당근의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 °C) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 동안 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각각 초기 색도값은 TW 처리구에서 $L=102.45 \pm 0.21$, $a=77.42 \pm 0.32$, $b=128.02 \pm 0.29$ 로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=102.78 \pm 0.44$, $a=78.29 \pm 0.62$, $b=128.55 \pm 0.38$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 낮아졌지만 큰 차이는 없었으며, 적색도(redness, a)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 높아졌지만 큰 차이는 없었음. 또한 TW처리구보다 SLEW 처리구에서 L값은 높고, a와 b 값은 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도 값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되지만, 감자와 당근에서는 다른 생식원료보다는 색도의 변화가 심하지 않은 것으로 나타남. 저장온도 20, 25, 30 °C에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않음.

④ 감자

표 141은 생식제품 원료 중 감자의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 °C) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 동안 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각각 초기 색도값은 TW 처리구에서 $L=80.33 \pm 0.02$, $a=-2.97 \pm 0.41$, $b=29.03 \pm 0.19$ 로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=79.54 \pm 0.41$, $a=-3.56 \pm 0.22$, $b=28.67 \pm 0.32$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 낮아졌지만 큰 차이는 없었으며, 적색도(redness, a)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 값이 높아졌지만 큰 차이는 없었음. 또한 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 L값은 높고, a와 b 값은 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도 값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되지만, 감자와 당근에서는 다른 생식원료보다는 색도의 변화가 심하지 않은 것으로 나타남. 저장온도 20, 25, 30 °C에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않음.

표 140. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Carrot by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*						
			Storage time(day)						
			0	5	10	15	20	25	30
L	4	TW	102.45±0.21	102.04±0.23	101.55±0.44	100.29±0.28	99.87±0.01	98.77±0.26	98.06±0.33
		SLEW	102.78±0.44	102.11±0.54	101.36±0.16	101.19±0.49	100.8±0.39	99.78±0.72	99.52±0.58
	10	TW	102.45±0.21	101.89±0.11	101.42±0.01	100.08±0.04	99.48±0.25	98.23±0.42	97.77±0.08
		SLEW	102.78±0.44	101.88±0.32	100.93±0.38	100.67±0.32	99.61±0.10	99.26±0.05	99.01±0.12
	15	TW	102.45±0.21	101.45±0.07	101.09±0.02	99.88±0.11	-	-	-
		SLEW	102.78±0.44	101.54±0.31	100.22±0.06	99.57±0.72	-	-	-
	20	TW	102.45±0.21	101.03±0.13	100.76±0.42	-	-	-	-
		SLEW	102.78±0.44	101.01±0.05	100.08±0.33	-	-	-	-
	25	TW	102.45±0.21	100.83±0.78	-	-	-	-	-
		SLEW	102.78±0.44	100.71±0.18	-	-	-	-	-
	30	TW	102.45±0.21	100.42±0.31	-	-	-	-	-
		SLEW	102.78±0.44	100.22±0.24	-	-	-	-	-
a	4	TW	77.42±0.32	77.01±0.12	76.43±0.27	76.02±0.02	75.82±0.38	75.51±0.03	75.22±0.01
		SLEW	78.29±0.62	77.74±0.22	77.61±0.41	77.32±0.38	76.77±0.19	76.59±0.13	76.03±0.42
	10	TW	77.42±0.32	76.68±0.22	76.02±0.18	75.78±0.03	75.02±0.02	74.93±0.21	74.23±0.33
		SLEW	78.29±0.62	77.03±0.04	76.98±0.08	76.33±0.32	76.01±0.03	75.99±0.32	75.43±0.26
	15	TW	77.42±0.32	76.33±0.29	75.83±0.02	75.22±0.21	-	-	-
		SLEW	78.29±0.62	76.67±0.06	76.01±0.07	75.78±0.55	-	-	-
	20	TW	77.42±0.32	76.02±0.06	75.52±0.43	-	-	-	-
		SLEW	78.29±0.62	76.05±0.03	75.76±0.08	-	-	-	-
	25	TW	77.42±0.32	76.59±0.02	-	-	-	-	-
		SLEW	78.29±0.62	75.82±0.43	-	-	-	-	-
	30	TW	77.42±0.32	78.21±0.03	-	-	-	-	-
		SLEW	78.29±0.62	75.23±0.28	-	-	-	-	-
b	4	TW	128.02±0.29	128.41±0.72	128.95±0.49	129.04±0.02	129.52±0.38	129.88±0.01	130.23±0.34
		SLEW	128.55±0.38	128.94±0.28	129.38±0.01	129.71±0.66	130.22±0.28	130.76±0.12	131.48±0.22
	10	TW	128.02±0.29	128.93±0.32	129.63±0.33	130.22±0.33	130.89±0.28	131.02±0.33	131.78±0.02
		SLEW	128.55±0.38	129.43±0.23	129.88±0.29	130.28±0.28	130.39±0.05	131.78±0.04	132.22±0.45
	15	TW	128.02±0.29	129.32±0.28	129.92±0.22	130.87±0.63	-	-	-
		SLEW	128.55±0.38	129.87±0.29	130.52±0.39	130.92±0.28	-	-	-
	20	TW	128.02±0.29	129.83±0.32	130.43±0.28	-	-	-	-
		SLEW	128.55±0.38	130.23±0.21	130.77±0.21	-	-	-	-
	25	TW	128.02±0.29	130.02±0.28	-	-	-	-	-
		SLEW	128.55±0.38	130.88±0.31	-	-	-	-	-
	30	TW	128.02±0.29	128.02±0.29	-	-	-	-	-
		SLEW	128.55±0.38	128.55±0.38	-	-	-	-	-

*The data represent the mean±SD of three determination($p<0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p<0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p<0.05$).

Table 141. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Potato by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*							
			Storage time(day)							
			0	5	10	15	20	25	30	
L	4	TW	80.33±0.02	79.57±0.26	78.51±0.19	78.27±0.09	77.71±0.04	77.62±0.23	77.45±0.51	
		SLEW	79.54±0.41	79.91±0.06	78.81±0.02	78.41±0.33	77.53±0.17	77.21±0.07	77.03±0.28	
	10	TW	80.33±0.02	78.86±0.01	78.01±0.06	77.61±0.02	77.04±0.26	76.61±0.41	76.03±0.27	
		SLEW	79.04±0.41	78.55±0.25	77.51±0.28	77.15±0.27	76.59±0.51	76.04±0.57	75.73±0.15	
	15	TW	80.33±0.02	78.03±0.06	76.93±0.21	76.32±0.37	-	-	-	
		SLEW	79.04±0.41	77.83±0.31	76.61±0.05	75.44±0.38	-	-	-	
	20	TW	80.33±0.02	77.51±0.19	76.11±0.05	-	-	-	-	
		SLEW	79.04±0.41	77.02±0.06	76.12±0.21	-	-	-	-	
	25	TW	80.33±0.02	76.55±0.07	-	-	-	-	-	
		SLEW	79.04±0.41	76.31±0.21	-	-	-	-	-	
	30	TW	80.33±0.02	76.03±0.21	-	-	-	-	-	
		SLEW	79.04±0.41	75.98±0.58	-	-	-	-	-	
	a	4	TW	-2.97±0.41	-3.09±0.09	-3.12±0.04	-3.56±0.65	-4.23±0.02	-4.61±0.15	-4.76±0.22
			SLEW	-3.56±0.22	-3.89±0.15	-4.04±0.02	-4.83±0.01	-5.04±0.29	-5.43±0.61	-5.59±0.18
10		TW	-2.97±0.41	-3.68±0.27	-4.21±0.05	-4.44±0.06	-4.56±0.27	-4.98±0.12	-5.33±0.01	
		SLEW	-3.56±0.22	-4.02±0.21	-4.55±0.41	-4.91±0.28	-5.51±0.26	-5.84±0.01	-5.81±0.47	
15		TW	-2.97±0.41	-4.01±0.03	-4.58±0.23	-4.71±0.01	-	-	-	
		SLEW	-3.56±0.22	-4.38±0.06	-4.72±0.44	-5.19±0.51	-	-	-	
20		TW	-2.97±0.41	-4.56±0.01	-4.89±0.43	-	-	-	-	
		SLEW	-3.56±0.22	-4.76±0.51	-5.23±0.01	-	-	-	-	
25		TW	-2.97±0.41	-4.71±0.31	-	-	-	-	-	
		SLEW	-3.56±0.22	-4.95±0.21	-	-	-	-	-	
30		TW	-2.97±0.41	-4.87±0.28	-	-	-	-	-	
		SLEW	-3.56±0.22	-5.22±0.04	-	-	-	-	-	
b		4	TW	29.03±0.19	29.67±0.01	30.22±0.11	32.05±0.05	33.56±0.01	34.01±0.04	35.32±0.24
			SLEW	28.67±0.32	29.22±0.06	30.88±0.26	31.98±0.07	33.77±0.27	34.32±0.29	35.01±0.37
	10	TW	29.03±0.19	29.83±0.04	30.61±0.09	32.87±0.41	34.06±0.22	34.78±0.01	35.91±0.07	
		SLEW	28.67±0.32	29.78±0.26	31.54±0.62	32.43±0.09	34.78±0.41	35.31±0.51	36.31±0.37	
	15	TW	29.03±0.19	30.12±0.04	30.89±0.02	33.05±0.18	-	-	-	
		SLEW	28.67±0.32	29.97±0.32	31.89±0.28	32.88±0.01	-	-	-	
	20	TW	29.03±0.19	29.03±0.19	30.58±0.02	-	-	-	-	
		SLEW	28.67±0.32	28.67±0.32	30.41±0.21	-	-	-	-	
	25	TW	29.03±0.19	30.74±0.38	-	-	-	-	-	
		SLEW	28.67±0.32	30.97±0.47	-	-	-	-	-	
	30	TW	29.03±0.19	31.02±0.03	-	-	-	-	-	
		SLEW	28.67±0.32	31.32±0.02	-	-	-	-	-	

*The data represent the mean ± SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

⑤ 케일

표 142은 생식제품 원료 중 케일의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 °C) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 동안 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각각 초기 색도값은 TW 처리구에서 $L=41.66 \pm 0.23$, $a=-10.55 \pm 0.61$, $b=22.01 \pm 0.04$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=40.97 \pm 0.01$, $a=-11.03 \pm 0.22$, $b=21.49 \pm 0.11$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 녹색잎이 황색으로 변하기 때문에 밝아져 값이 높아졌고, 적색도(redness, a)를 나타내는 값도 녹색이 사라지면서 높아짐. 또한 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 L, a, b 값 모두 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 하지만 신선초 보다 제품의 손상도가 빠르게 진행되어 저장기간과 온도에 큰 영향을 나타내는 것으로 판단되며 이로 인해 색도의 변화가 이루어진 것으로 사료됨. 저장온도 20, 25, 30 °C에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않음.

⑥ 신선초

표 143은 생식제품 원료 중 신선초의 각 온도별(4, 10, 15, 20, 25, 30 °C) 저장 기간(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일) 동안 상수(TW) 30 mg/L으로 10분간 침지한 처리구와 초음파에 전해수를 넣어 동시 처리했을 때(SLEW) 30 mg/L으로 3분간 침지한 처리구의 색도변화를 나타낸 결과임. 각각 초기 색도값은 TW 처리구에서 $L=2.88 \pm 0.21$, $a=-14.80 \pm 0.01$, $b=14.82 \pm 0.71$ 으로 나타났고, SLEW 처리구에서는 $L=3.17 \pm 0.44$, $a=-15.44 \pm 0.33$, $b=14.03 \pm 0.59$ 값을 나타냄. 전체적으로 명도(lightness, L)와 황색도(yellowness, b)를 나타내는 값에서는 저장 온도가 높을수록, 저장기간이 길수록 녹색잎이 황색으로 변하기 때문에 밝아져 값이 높아졌고, 적색도(redness, a)를 나타내는 값도 녹색이 사라지면서 높아짐. 또한 TW 처리구보다 SLEW 처리구에서 L, a, b 값 모두 낮게 나타났으며 SLEW 처리가 보다 효과가 높은 것으로 나타남. 본 결과를 미루어 보아 저장기간이 길수록, 저장 온도가 높을수록 색도값에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 미생물 부패로 인해 색도의 변화가 이루어진 것으로 사료됨. 저장온도 20, 25, 30 °C에서는 저장기간 5, 10일 이후에는 대부분 제품으로 사용할 수 없을 정도로 심하게 부패가 진행되어 그 이후의 저장기간에서는 색도를 측정하지 않음.

Table 14.2. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Kale by different temperature during storage.

Value	Storage Temp. (°C)	Sanitizer	Chromaticity*						
			Storage time(day)						
			0	5	10	15	20	25	30
L	4	TW	41.66±0.23	42.88±0.36	48.94±0.02	55.49±0.61	62.54±0.32	70.33±0.37	-
		SLEW	40.97±0.01	43.65±0.53	49.05±0.35	53.52±0.04	60.38±0.23	69.67±0.52	-
	10	TW	41.66±0.23	43.32±0.32	49.33±0.06	55.93±0.01	-	-	-
		SLEW	40.97±0.01	43.88±0.13	49.78±0.31	53.99±0.22	-	-	-
	15	TW	41.66±0.23	43.78±0.04	50.62±0.32	-	-	-	-
		SLEW	40.97±0.01	44.32±0.27	50.35±0.02	-	-	-	-
	20	TW	41.66±0.23	44.32±0.03	51.34±0.27	-	-	-	-
		SLEW	40.97±0.01	44.18±0.26	51.23±0.38	-	-	-	-
	25	TW	41.66±0.23	44.67±0.07	-	-	-	-	-
		SLEW	40.97±0.01	44.67±0.09	-	-	-	-	-
	30	TW	41.66±0.23	45.33±0.44	-	-	-	-	-
		SLEW	40.97±0.01	45.71±0.38	-	-	-	-	-
a	4	TW	-10.55±0.61	-10.03±0.44	-9.86±0.36	-8.33±0.04	-6.04±0.05	-4.52±0.16	-
		SLEW	-11.03±0.22	-10.67±0.35	-9.93±0.54	-8.65±0.41	-6.43±0.22	-4.02±0.04	-
	10	TW	-10.55±0.61	-9.78±0.23	-9.21±0.43	-7.67±0.49	-	-	-
		SLEW	-11.03±0.22	-10.12±0.26	-9.28±0.29	-8.02±0.33	-	-	-
	15	TW	-10.55±0.61	-9.54±0.11	-9.12±0.04	-	-	-	-
		SLEW	-11.03±0.22	-9.67±0.08	-8.92±0.47	-	-	-	-
	20	TW	-10.55±0.61	-9.01±0.09	-8.77±0.35	-	-	-	-
		SLEW	-11.03±0.22	-9.02±0.04	-8.33±0.21	-	-	-	-
	25	TW	-10.55±0.61	-8.73±0.33	-	-	-	-	-
		SLEW	-11.03±0.22	-8.66±0.04	-	-	-	-	-
	30	TW	-10.55±0.61	-7.55±0.26	-	-	-	-	-
		SLEW	-11.03±0.22	-8.03±0.32	-	-	-	-	-
b	4	TW	22.01±0.04	22.67±0.39	27.54±0.03	30.44±0.43	42.09±0.33	51.28±0.02	-
		SLEW	21.49±0.11	21.98±0.23	27.66±0.43	32.01±0.37	43.54±0.23	52.54±0.04	-
	10	TW	22.01±0.04	23.57±0.33	28.92±0.35	31.02±0.11	-	-	-
		SLEW	21.49±0.11	22.34±0.27	28.45±0.65	32.87±0.44	-	-	-
	15	TW	22.01±0.04	24.02±0.33	29.22±0.21	-	-	-	-
		SLEW	21.49±0.11	22.89±0.29	29.31±0.37	-	-	-	-
	20	TW	22.01±0.04	24.55±0.38	29.78±0.52	-	-	-	-
		SLEW	21.49±0.11	23.82±0.55	29.94±0.48	-	-	-	-
	25	TW	22.01±0.04	25.43±0.88	-	-	-	-	-
		SLEW	21.49±0.11	24.57±0.33	-	-	-	-	-
	30	TW	22.01±0.04	25.88±0.03	-	-	-	-	-
		SLEW	21.49±0.11	25.34±0.44	-	-	-	-	-

*The data represent the mean±SD of three determination ($p < 0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different ($p < 0.05$).

☒ 143. Effect of electrolyzed water on chromaticity in Sinseoncho by different temperature during storage.

Val ue	Storag e Temp. (℃)	Sanitiz er	Chromaticity*						
			Storage time(day)						
			0	5	10	15	20	25	30
L	4	TW	2.88±0.21	5.34±0.33	11.29±0.21	15.72±0.49	20.51±0.24	32.22±0.03	36.12±0.23
		SLEW	3.17±0.44	6.37±0.28	10.83±0.03	20.38±0.21	24.78±0.01	30.26±0.44	35.21±0.36
	10	TW	2.88±0.21	6.02±0.02	11.87±0.51	16.55±0.01	22.39±0.12	-	-
		SLEW	3.17±0.44	6.85±0.03	11.45±0.27	20.33±0.32	25.02±0.01	-	-
	15	TW	2.88±0.21	6.58±0.38	12.45±0.23	16.22±0.32	-	-	-
		SLEW	3.17±0.44	7.37±0.56	12.01±0.02	20.83±0.43	-	-	-
	20	TW	2.88±0.21	7.01±0.23	12.89±0.15	-	-	-	-
		SLEW	3.17±0.44	7.78±0.25	12.67±0.41	-	-	-	-
	25	TW	2.88±0.21	7.33±0.29	-	-	-	-	-
		SLEW	3.17±0.44	8.38±0.08	-	-	-	-	-
	30	TW	2.88±0.21	7.89±0.02	-	-	-	-	-
		SLEW	3.17±0.44	8.56±0.55	-	-	-	-	-
a	4	TW	-14.80±0.01	-12.06±0.28	-11.83±0.03	-9.84±0.07	-7.07±0.32	-6.33±0.39	-4.59±0.13
		SLEW	-15.44±0.33	-13.39±0.31	-12.08±0.24	-10.43±0.05	-8.32±9.37	-6.92±0.01	-5.11±0.39
	10	TW	-14.80±0.01	-11.33±0.32	-11.02±0.38	-9.31±0.02	-6.77±0.44	-	-
		SLEW	-15.44±0.33	-12.74±0.01	-11.78±0.43	-10.21±0.03	-6.64±0.33	-	-
	15	TW	-14.80±0.01	-11.03±0.26	-10.78±0.06	-8.92±0.12	-	-	-
		SLEW	-15.44±0.33	-12.32±.08	-11.42±0.33	-9.82±0.02	-	-	-
	20	TW	-14.80±0.01	-10.78±0.42	-10.22±0.65	-	-	-	-
		SLEW	-15.44±0.33	-11.56±0.23	-10.87±0.44	-	-	-	-
	25	TW	-14.80±0.01	-10.32±0.29	-	-	-	-	-
		SLEW	-15.44±0.33	-10.54±0.02	-	-	-	-	-
	30	TW	-14.80±0.01	-9.87±-0.33	-	-	-	-	-
		SLEW	-15.44±0.33	-9.55±0.27	-	-	-	-	-
b	4	TW	14.82±0.71	16.03±0.04	20.53±0.62	27.72±0.31	30.88±0.06	44.39±0.03	52.74±0.24
		SLEW	14.03±0.59	16.34±0.32	23.34±0.37	27.03±0.01	31.57±0.23	46.02±0.38	51.43±0.29
	10	TW	14.82±0.71	16.34±0.12	21.04±0.05	28.42±0.35	31.02±0.01	-	-
		SLEW	14.03±0.59	16.08±0.05	23.96±0.41	27.67±0.54	32.04±0.38	-	-
	15	TW	14.82±0.71	16.87±0.26	21.55±0.63	29.03±0.06	-	-	-
		SLEW	14.03±0.59	16.47±0.08	24.33±0.54	28.33±0.54	-	-	-
	20	TW	14.82±0.71	17.42±0.07	21.93±0.48	-	-	-	-
		SLEW	14.03±0.59	17.05±0.04	24.98±0.08	-	-	-	-
	25	TW	14.82±0.71	17.95±0.33	-	-	-	-	-
		SLEW	14.03±0.59	17.66±0.48	-	-	-	-	-
	30	TW	14.82±0.71	18.34±0.17	-	-	-	-	-
		SLEW	14.03±0.59	18.46±0.22	-	-	-	-	-

*The data represent the mean ± SD of three determination($p<0.05$).

**lower case : Within the same column with different letter were significantly different($p<0.05$).

***Capital : Within the same row with different letter were significantly different($p<0.05$).

(3) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 저장 온도별 미생물 생육 변화

(가) 현미

최적조건을 통해 초음파와 전해수를 병행 처리한 현미와 처리하지 않은 현미(대조군)에서 각 저장 온도(5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ℃)와 시간에 따른 *B. cereus*의 growth data를 그림 303에 나타냄. *B. cereus*는 초기에 3 Log CFU/g에서 배양하여 35 ℃에서 12시간, 30 ℃에서는 15시간, 25 ℃에서는 20시간 이내에 생육하여 다른 온도에 비하여 빠른 증식을 나타내었고, 20 ℃에서는 36시간, 15 ℃에서는 50시간, 10 ℃에서는 75시간, 5 ℃에서는 125시간에서 증식하기 시작하여, 온도가 낮아질수록 생육이 느린 것으로 나타남. 또한 온도별로 볼 때 30 ℃이상에서는 28시간, 25 ℃에서는 50시간, 20 ℃에서는 80시간, 15 ℃에서는 100시간, 10 ℃에서는 150시간 이내에 8 Log CFU/g을 초과한 결과를 보임. 초음파와 전해수를 병행 처리한 현미에서 시간, 온도별 성장속도가 느린 것을 보임. 그러나 5, 10 ℃에서도 생육이 가능한 것으로 보아 식품에서의 미생물학적 안전성 확보를 위하여 위생관리, 적절한 관리 온도 설정 등이 중요할 것으로 생각됨. 또한 처리한 현미가 미생물 저감상태에서 생육하기 시작하여 대조군에 비해 저장 시 오염속도가 느릴 것으로 판단됨.

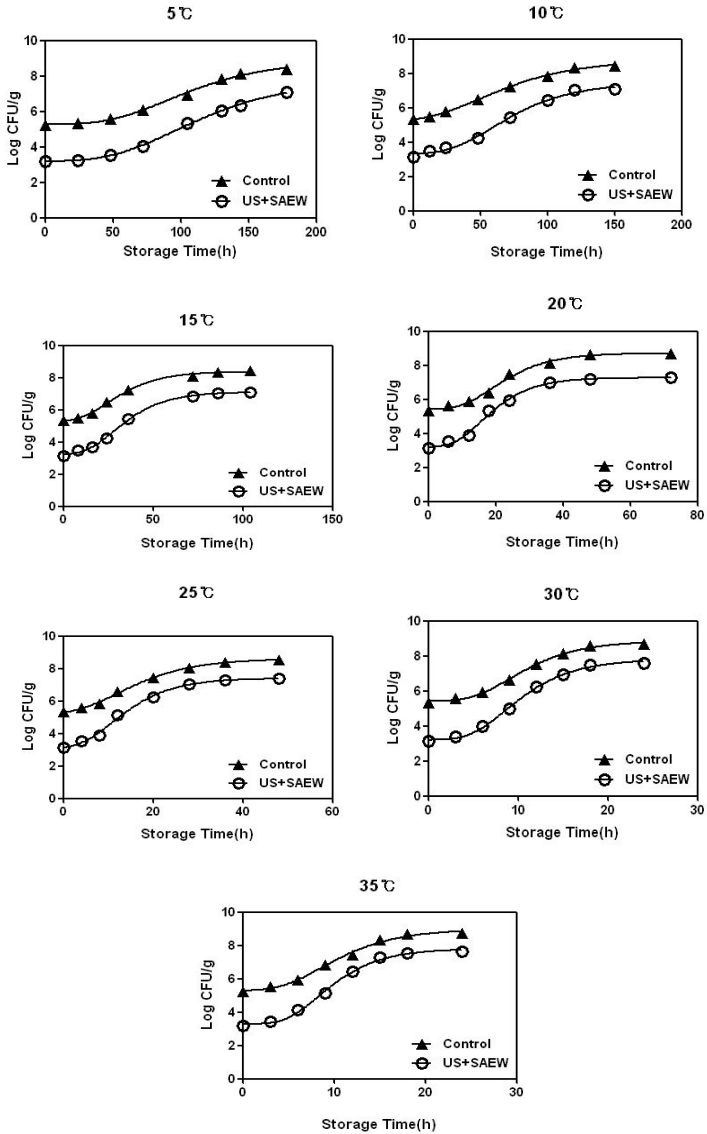


그림 303. Growth curves of *Bacillus cereus* inoculated on untreated(control), brown rice treated with thermo-sonication combined with SAEW at different storage temperatures.

(나) 감자

최적조건을 통해 초음파와 전해수를 병행 처리한 감자와 처리하지 않은 감자(대조군)에서 각 저장 온도(5, 10, 15, 20, 25, 30, 34 °C)와 시간에 따른 *B. cereus*의 growth data를 그림 304에 나타냄. *B. cereus*는 초기에 3.3 Log CFU/g에서 배양하여 34 °C에서 12시간, 30 °C에서는 20시간, 25 °C에서는 40시간 이내에 생육하여 다른 온도에 비하여 빠른 증식을 나타내었고, 20 °C에서는 36시간, 15 °C에서는 50시간, 10 °C에서는 144시간, 5 °C에서는 150시간에서 증식하기 시작하여, 온도가 낮아질수록 생육이 느린 것으로 나타남. 또한 온도별로 볼 때 30 °C이상에서는 36시간, 25 °C에서는 72시간, 20 °C에서는 120시간, 15 °C에서는 192시간, 10 °C에서는 336시간 이내에 8 Log CFU/g을 초과한 결과를 보임. 초음파와 전해수를 병행 처리한 감자에서 시간, 온도별 성장속도가 느린 것을 보임. 그러나 5, 10 °C에서도 생육이 가능한 것으로 보아 식품에서의 미생물학적 안전성 확보를 위하여 위생관리, 적절한 관리 온도 설정 등이 중요할 것으로 생각됨. 또한 처리한 감자가 미생물 저감상태에서 생육하기 시작하여 대조군에 비해 저장 시 오염속도가 느릴 것으로 판단됨.

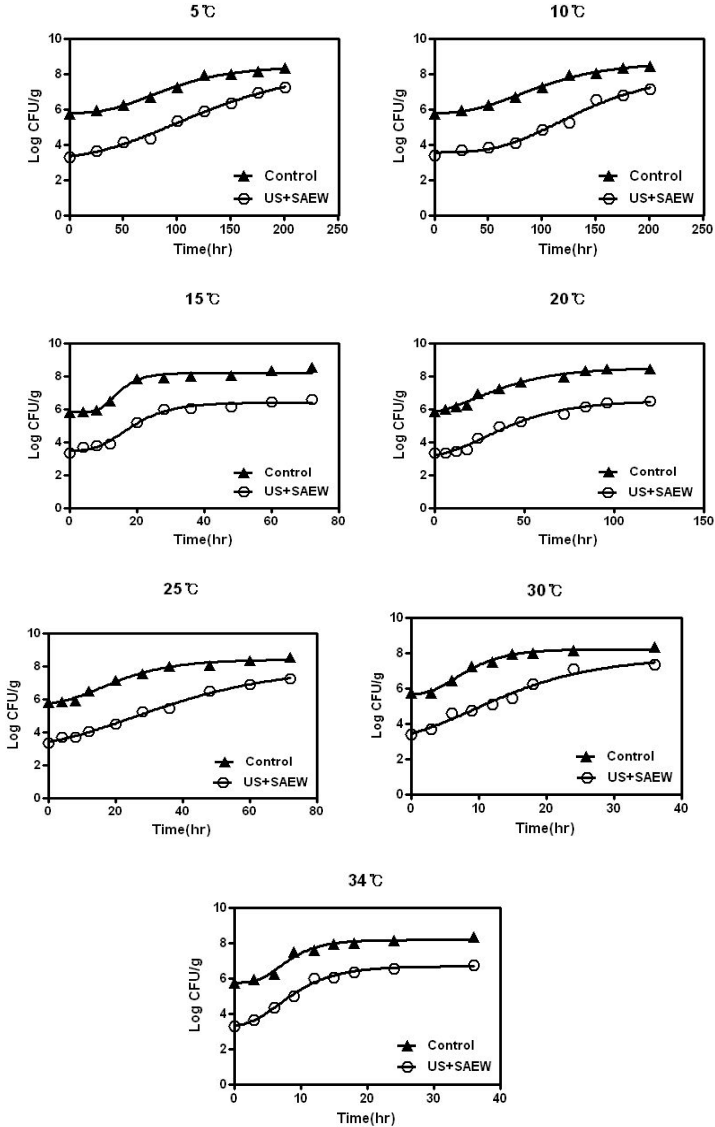


그림 304. Growth curves of *Bacillus cereus* inoculated on untreated(control) potato treated with thermo-sonication combined with SAEW at different storage temperatures.

(다) 케일

최적조건을 통해 초음파와 전해수를 병행 처리한 케일과 처리하지 않은 케일(대조군)에서 각 저장 온도(4, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ℃)와 시간에 따른 *E.coli* O157:H7의 growth data를 그림 305에 나타냄. *E.coli* O157:H7는 초기에 3 Log CFU/g에서 배양하여 35 ℃, 30 ℃에서 12시간, 25 ℃에서는 24시간 이내에 생육하여 다른 온도에 비하여 빠른 증식을 나타내었고, 20 ℃에서는 24시간, 15 ℃에서는 40시간, 10 ℃에서는 100시간, 4 ℃에서는 200시간에서 증식하기 시작하여, 온도가 낮아질수록 생육이 느린 것으로 나타남. 또한 온도별로 볼 때 30 ℃이상에서는 25시간, 25 ℃에서는 50시간, 20 ℃에서는 80시간, 15 ℃에서는 120시간, 10 ℃에서는 150시간 이후에 6 Log CFU/g 이상 생육 가능 결과를 보임. 초음파와 전해수를 병행 처리한 케일에서 시간, 온도별 성장속도가 느린 것을 보임. 그러나 4, 10 ℃에서도 생육이 가능한 것으로 보아 식품에서의 미생물학적 안전성 확보를 위하여 위생관리, 적절한 관리 온도 설정 등이 중요할 것으로 생각됨. 또한 처리한 케일이 미생물 저감상태에서 생육하기 시작하여 대조군에 비해 저장 시 오염속도가 느릴 것으로 판단됨.

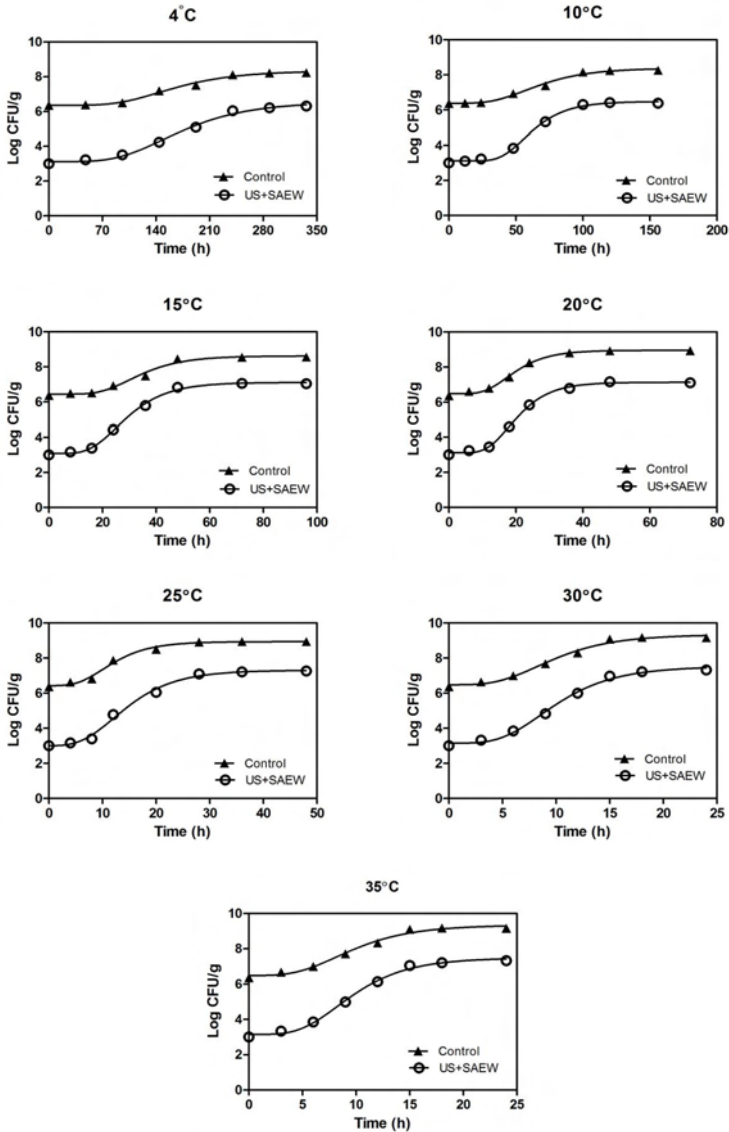


그림 305. Growth curves of *E. coli*O157:H7 on control and kale treated by thermo-sonication combined with SAEW(US+SAcEW) at different storage temperatures

(4) 초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 위해미생물 생육 예측 모델 개발

(가) 모델개발 및 통계분석

① 혐미

병용처리 한 감자에서 각 저장 온도(5, 10, 15, 20, 25, 30, 34 °C)와 시간에 따른 *B. cereus*의 growth data를 modified Gompertz model 모델식에 fitting하여 얻은 생육변수(SGR, LT)와 R²값을 표 144.에 나타냄. 1차 모델 선정을 위해 modified Gompertz model R²을 비교한 결과 Gompertz model은 0.9918-0.9992의 R²값의 결과를 나타내어 R²값이 1.0에 근접하여 2차 모델을 위한 1차 모델로써 높은 통계적 적합을 보여 2차 생육예측모델 개발 및 개발된 모델의 적합성 평가를 함.

표 144. Parameters of modified Gompertz growth model developed after thermo-sonication combined with SAEW treatment of *B.cereus* inoculated into brown rice.

Storage Temperature	Treated (US+SAEW)		
	GR	LT	R ²
5 °C	0.03695	104.6	0.9969
10 °C	0.05184	66.78	0.9963
15 °C	0.1066	32.14	0.9981
20 °C	0.1684	18.03	0.9941
25 °C	0.1547	12.42	0.9945
30 °C	0.3838	10.23	0.9992
35 °C	0.4543	10.02	0.9992

G.R: growth rate

L.T: lag time

R²:coefficient of regression

② 감자

병용처리 한 감자에서 각 저장 온도(4, 10, 15, 20, 25, 30, 34 °C)와 시간에 따른 *B. cereus*의 growth data를 modified Gompertz model 모델식에 fitting하여 얻은 생육변수(SGR, LT)와 R2값을 표 145.에 나타냄. 1차 모델 선정을 위해 modified Gompertz model R2을 비교한 결과 Gompertz model은 0.980-0.995의 R2값의 결과를 나타내어 R2값이 1.0에 근접하여 2차 모델을 위한 1차 모델로써 높은 통계적 적합을 보여 2차 생육예측모델 개발 및 개발된 모델의 적합성 평가를 함.

표 145. Parameters of modified Gompertz growth model developed after thermo-sonication combined with SAEW treatment of *B.cereus* inoculated into potato

Storage Temperature	Treated (US+SAEW)		
	GR	LT	R ²
5 °C	0.0140	50.4327	0.9855
10 °C	0.0342	41.8572	0.9942
15 °C	0.0452	22.1322	0.9898
20 °C	0.1074	12.6632	0.9922
25 °C	0.1393	8.2660	0.9959
30 °C	0.2353	7.2293	0.9808
35 °C	0.2516	1.2439	0.9907

G.R: growth rate

L.T: lag time

R²:coefficient of regression

③ 케일

병용처리 한 케일에서 각 저장 온도(4, 10, 15, 20, 25, 30, 35 °C)와 시간에 따른 *E.coli* O157:H7의 growth data를 modified Gompertz model 모델식에 fitting하여 얻은 생육변수(SGR, LT)와 R2값을 표 146.에 나타냄. 1차 모델 선정을 위해 modified Gompertz model R2을 비교한 결과 Gompertz model은 0.994-0.998의 R2값의 결과를 나타내어 R2값이 1.0에 근접하여 2차 모델을 위한 1차 모델로써 높은 통계적 적합을 보여 2차 생육예측모델 개발 및 개발된 모델의 적합성 평가를 함.

표 146. Parameters of modified Gompertz growth model developed after thermo-sonication combined with SAEW treatment of *E.coli*O157:H7 inoculated into kale

Storage Temperature	Treated (US+SAEW)		
	GR	LT	R ²
5 °C	0.021	88.29	0.9937
10 °C	0.070	38.12	0.9976
15 °C	0.144	15.00	0.9976
20 °C	0.223	11.27	0.9982
25 °C	0.255	5.90	0.9936
30 °C	0.425	4.78	0.9951
35 °C	0.446	4.68	0.9958

G.R: growth rate

L.T: lag time

R²:coefficient of regression

(나) 예측모델의 적합성 검증

① 현미

Gompertz model로부터 얻은 SGR과 LT값을 SPSS로 분석한 후 Square root model에 적용하여 유도한 2차 모델식과 개발된 모델의 검증 결과를 표 147,148에 나타냄. 검증결과 Bf, Af에서의 SGR 값이 및 LT 값이 모두 1에 가까운 값을 나타내어, 실험을 통해 얻은 예측 값과 개발된 모델로부터 얻은 예측 값이 높은 상관관계가 있음이 확인됨. 따라서 1차 모델에 의해 유도된 모델의 정확도가 매우 높은 것으로 생각되며, 이 모델을 이용하여 예 대한 2종 위해미생물의 정량적 위해평가에 사용 가능할 것으로 생각됨.

표 147. Secondary models of *Bacillus cereus* inoculated on untreated brown rice(control) and brown rice treated by ultrasonication combined with slightly acidic electrolyzed water(US+SACeW).

	Equation	^a R ²	^b R _{Adj}	Sig.
Control	$\sqrt{\text{SGR}}=0.023\text{T}+0.075^{\text{c}}$	0.983	0.967	0.0001
	$\text{Ln}(\text{LT})=-0.075\text{T}+4.716^{\text{d}}$	0.968	0.936	0.001
US+SACeW	$\sqrt{\text{SGR}}=0.01\text{T}+0.073$	0.967	0.935	0.001
	$\text{Ln}(\text{LT})=-0.084\text{T}+4.872$	0.963	0.928	0.001

^a Correlation coefficient.

^b Adjusted determination coefficient.

^c Square root model equation for specific growth rate.

^d Natural logarithm model for lag time.

표 148. Statistic characteristics for validation of developed secondary models on untreated brown rice (control) and brown rice treated by ultrasonication combined with slightly acidic electrolyzed water (US+SacEW).

	Specific growth rate		Lag time	
	B_f^a	A_f^b	B_f	A_f
Control	1.01	1.04	1.01	1.04
US+SAEW	0.99	1.11	1.01	1.04

^a Bias factor.

^b Accuracy factor

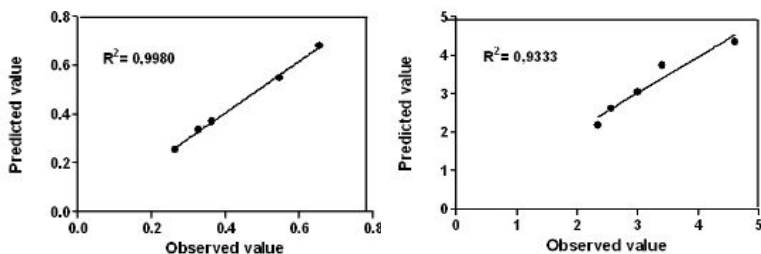


그림 306. Observed value versus predicted SGR,LT obtained from developed secondary models for growth of *B.cereus* in brown rice treated SAcEw+U.S

② 감자

Gompertz model로부터 얻은 SGR과 LT값을 SPSS로 분석한 후 Square root model에 적용하여 유도한 2차 모델식과 개발된 모델의 검증 결과를 표 149,150에 나타냄. 검증결과 Bf, Af에서의 SGR 값 및 LT 값이 모두 1에 가까운 값을 나타내어, 실험을 통해 얻은 예측 값과 개발된 모델로부터 얻은 예측 값이 높은 상관관계가 있음이 확인됨. 따라서 1차 모델에 의해 유도된 모델의 정확도가 매우 높은 것으로 생각되며, 이 모델을 이용하여 감자에 대한 2종 위해미생물의 정량적 위해평가에 사용 가능할 것으로 생각됨.

표 149. Secondary models of *Bacillus cereus* inoculated on untreated potato(control) and potato treated by ultrasonication combined with slightly acidic electrolyzed water(US+SAEW).

	Equation	^a R ²	^b R _{Adj}	Sig.
Control	$\sqrt{\text{SGR}} = 0.027T - 0.118$	0.97	0.97	0.0001
	$\text{Ln}(\text{LT}) = -0.038T + 4538^{\text{d}}$	0.94	0.93	0.001
US+SAEW	$\sqrt{\text{SGR}} = 0.014T + 0.038$	0.98	0.97	0.001
	$\text{Ln}(\text{LT}) = -0.098T + 4530$	0.93	0.91	0.001

^a Correlation coefficient.

^b Adjusted determination coefficient.

^c Square root model equation for specific growth rate.

^d Natural logarithm model for lag time.

표 150. Statistic characteristics for validation of developed secondary models on untreated potato (control) and potato treated by ultrasonication combined with slightly acidic electrolyzed water (US+SacEW).

	Specific growth rate		Lag time	
	B_f^a	A_f^b	B_f	A_f
Control	1.01	1.03	1.07	1.08
US+SAEW	1.00	1.03	1.02	1.05

^a Bias factor.

^b Accuracy factor

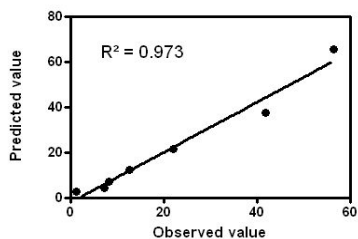
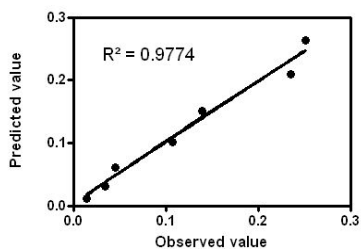


그림 307. Observed value versus predicted SGR,LT obtained from developed secondary models for growth of *B.cereus* in potato treated SAcEw+U.S

③ 케일

Gompertz model로부터 얻은 SGR과 LT값을 SPSS로 분석한 후 Square root model에 적용하여 유도한 2차 모델식과 개발된 모델의 검증 결과를 표 151,152에 나타냄. 검증결과 Bf, Af에서의 SGR 및 LT 값이 모두 1에 가까운 값을 나타내어, 실험을 통해 얻은 예측 값과 개발된 모델로부터 얻은 예측 값이 높은 상관관계가 있음이 확인됨. 따라서 1차 모델에 의해 유도된 모델의 정확도가 매우 높은 것으로 생각되며, 이 모델을 이용하여 케일에 대한 2종 위해미생물의 정량적 위해평가에 사용 가능할 것으로 생각됨.

표 151. Secondary models of *E.coli*O157:H7 inoculated on untreated kale(control) and kale treated by ultrasonication combined with slightly acidic electrolyzed water(US+SAEW).

	Equation	^a R ²	^b R _{Adj}	Sig.
Control	$\sqrt{\text{SGR}} = 0.015\text{T} + 0.05$	0.97	0.97	0.0001
	$\text{Ln}(\text{LT}) = -0.1\text{T} + 4.538^{\text{d}}$	0.94	0.93	0.001
US+SAEW	$\sqrt{\text{SGR}} = 0.017\text{T} + 0.97$	0.98	0.97	0.001
	$\text{Ln}(\text{LT}) = -0.098\text{T} + 4.530$	0.93	0.91	0.001

^a Correlation coefficient.

^b Adjusted determination coefficient.

^c Square root model equation for specific growth rate.

^d Natural logarithm model for lag time.

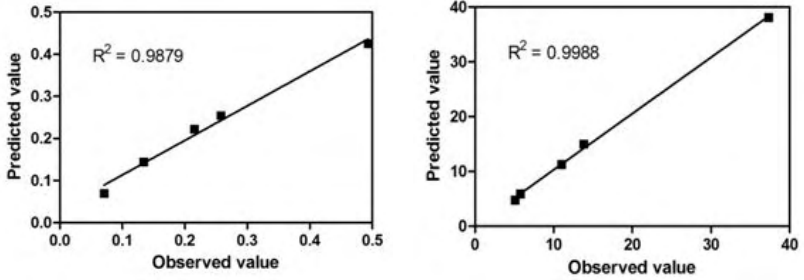


그림 308. Observed value versus predicted SGR, LT obtained from developed secondary models for growth of *E.coli*O157:H7 in kale treated US+SACeW.

표 152. Statistic characteristics for validation of developed secondary models on untreated kale (control) and kale treated by ultrasonication combined with slightly acidic electrolyzed water (US+SACeW).

	Specific growth rate		Lag time	
	B_f^a	A_f^b	B_f	A_f
Control	1.04	1.07	0.98	1.03
US+SAEW	1.01	1.06	0.98	1.04

^a Bias factor.

^b Accuracy factor

라. 신선편이식품의 aqueous ClO₂ 처리를 적용한 시료의 저장 중 품질 변화 분석

(1) 신선편이식품의 위해정보 입수 및 분석

2008년 식품의약품안전청(현 식품의약품안전처) 발표자료에 근거한 신선편이식품 중 2008년 7월 7일부터 24일까지 이마트, 홈플러스, 롯데마트와 같은 대형마트에서 셀러드 총 25건 수거하여 미생물학적 오염도를 검사한 결과 40%가 부적합 판정을 받은 것으로 보고됨(표 153). 또한 대전식품의약품안전청은 10월 15일부터 3일간 대형마트 및 식품 집객열소 등에서 판매되고 있는 셀러드를 검사한 결과 총 18건 중 3개 제품에서 대장균이 검출됨(표 154).

대장균은 오염 지표 균으로써 식품가공 작업자의 개인위생관리가 부적절하거나 세척 소독이 미흡하여 검출되는 세균으로 식중독 발생을 사전에 예방하고, 셀러드의 미생물학적 오염도를 낮추기 위한 기술 개발이 시급함을 알 수 있음. 따라서 본 연구를 통해 신선편이식품의 위생학적 문제점을 개선하여 보다 안전한 식품을 공급하기 위한 전처리 기술을 개발하고자 함.

표 153. 신선편이식품 셀러드 부적합 현황

제품명	부적합내역			비고
	검사항목	결과	기준	
후레쉬한국형 셀러드	대장균	양성	음성	이마트 (은평점)
이마트후레쉬 사상체질에 맞는 태양인셀러드	대장균	양성	음성	이마트 (은평점)
웰빙플러스 양배추 셀러드	대장균	양성	음성	홈플러스 (영등포점)
셀러드타임 패밀리셀러드	대장균	양성	음성	홈플러스 (영등포점)
웰빙플러스 베이비셀러드	대장균	양성	음성	홈플러스 (영등포점)
간편과일 300B	대장균	양성	음성	롯데마트 (구로점)
패밀리셀러드 (3mix)	대장균	양성	음성	롯데마트 (구로점)
디너셀러드	대장균	양성	음성	롯데마트 (영등포점)
마이올렛셀러드	대장균	양성	음성	롯데마트 (영등포점)
패밀리셀러드 (10mix)	대장균	양성	음성	롯데마트 (영등포점)

자료출처: 지방식품의약품안전청(2008)

표 154 신선편이식품 샐러드 부적합 현황

제품명	부적합내역		
	검사항목	결과	기준
패밀리샐러드	대장균	검출	불검출
웰빙플러스 토마토샐러드	대장균	검출	불검출
양상추 샐러드	대장균	검출	불검출

자료출처: 대전지방식품의약품안전청(2008)

(2) Aqueous ClO₂ 최적 처리 조건 수립

① 당근의 미생물 생육 변화

당근을 물과 aqueous ClO₂로 처리한 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 155. Aqueous ClO₂ 농도 별로 처리된 당근의 초기 총 균수는 6.60 log CFU/g이었는데, 물에 5분간 침지 처리한 경우 총 균수에 있어서 0.35 log CFU/g이 감소되어 큰 효과를 나타내지 않았음. 반면에 aqueous ClO₂를 5, 10 ppm 처리 시, 대조구와 비교하여 0.93, 0.10 log CFU/g의 차이를 보였으며, 특히 50 ppm에서는 1.76 log CFU/g의 차이로 물에 침지한 경우보다 큰 차이를 나타내었음.

초기 효모와 곰팡이 수는 4.43 log CFU/g이었는데, 물에 침지 처리한 시료가 0.22 log CFU/g 감소를 보인 반면에, aqueous ClO₂에 침지한 시료는 대조구와 비교하여 5 ppm에서 1.32 log CFU/g, 10 ppm에서 1.30 log CFU/g 감소를 보였고, 50 ppm에서는 2.22 log CFU/g로 크게 감소한 것을 알 수 있었음. 따라서 본 연구는 대조구나 물에 침지한 시료에 비해 aqueous ClO₂ 처리가 초기 미생물수 억제에 효과적이라는 것을 시사함.

표 155. Inactivation of microorganisms in carrot by aqueous ClO₂ treatment

(log CFU/g)

Treatment	Total aerobic bacteria	Yeast and mold
Control	6.60 ± 0.22 ^A	4.43 ± 0.27 ^A
Water	6.25 ± 0.27 ^A	4.21 ± 0.39 ^A
5 ppm ClO ₂	5.67 ± 0.06 ^B	3.11 ± 0.05 ^B
10 ppm ClO ₂	5.50 ± 0.20 ^B	3.13 ± 0.05 ^B
50 ppm ClO ₂	4.84 ± 0.28 ^C	2.21 ± 0.04 ^C

¹⁾ Any means in the same row (A-D) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

② 레드 치커리와 청경채의 미생물 생육 변화

레드 치커리와 청경채를 물과 aqueous ClO₂로 처리한 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 156). 레드 치커리와 청경채의 총 호기성 세균은 6.03, 6.01 log CFU/g이었고, 물로 세척한 처리구는 5.82, 5.57 log CFU/g으로 각각 0.21, 0.44 log CFU/g의 초기 미생물 수 감소를 보였음. 이러한 결과는 물 세척만으로는 미생물 수 감소가 충분하지 않음을 보여준다. 레드 치커리는 aqueous ClO₂ 처리구에서 4.59 log CFU/g을 나타내어, 대조구와 비교하여 1.44 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음. 한편, 청경채는 aqueous ClO₂ 처리구에서 4.77 log CFU/g으로 1.24 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였음. 따라서 aqueous ClO₂ 처리는 신선채소인 레드 치커리와 청경채의 미생물학적 안전성을 효과적으로 보장해 준다고 생각됨.

레드 치커리와 청경채의 효모 및 곰팡이 수의 경우에도 총 호기성 세균의 결과와 비슷한 경향을 나타냈음. 레드 치커리와 청경채 저장 초기 대조구의 경우 5.68, 5.22 log CFU/g이었고, 물로 세척한 처리구는 5.41, 4.96 log CFU/g으로 0.27, 0.26 log CFU/g의 감소를 보였음. 또한 aqueous ClO₂ 처리구는 4.39, 4.69 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 각각 1.29, 0.63 log CFU/g의 미생물 수 감소 효과를 나타냈음. 따라서 화학적 처리인 aqueous ClO₂ 처리는 신선 채소의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 초기 미생물 수를 감소시키고, 미생물 생육을 저해하는 효과적인 비열 처리 기술으로써 레드 치커리와 청경채 같은 샐러드의 미생물학적 안전성을 확보할 수 있다고 생각됨.

표 156. Inactivation of microorganisms in red chicory and pak choi by aqueous ClO₂ treatment (logCFU/g)

Samples	Treatment	Total aerobic bacteria	Yeast and mold
Red chicory	Control	6.03 ± 0.03 ^A	5.68 ± 0.17 ^A
	Water	5.82 ± 0.09 ^B	5.41 ± 0.10 ^B
	ClO ₂	4.59 ± 0.10 ^C	4.39 ± 0.09 ^C
Pak choi	Control	6.01 ± 0.08 ^A	5.22 ± 0.07 ^A
	Water	5.57 ± 0.17 ^B	4.96 ± 0.05 ^B
	ClO ₂	4.77 ± 0.09 ^C	4.59 ± 0.10 ^C

¹⁾ Any means in the same row (A-D) followed by different letters are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

③ 딸기의 미생물 생육 변화

딸기를 물과 aqueous ClO₂로 처리한 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 157). 대조구의 경우 딸기의 총 호기성 세균은 3.09 log CFU/g이었고, 물로 세척한 처리구는 2.68 log CFU/g으로 0.41 log CFU/g의 초기 미생물 수 감소를 보였음. Aqueous ClO₂ 처리구는 1.89 log CFU/g으로 1.20 log CFU/g의 감균효과를 나타냈음.

딸기의 효모 및 곰팡이 수의 경우에도 총 호기성 세균의 결과와 비슷한 경향을 나타냈는데, 대조구의 경우 3.02 log CFU/g이었고, 물로 세척한 처리구는 2.64 log CFU/g으로 0.38 log CFU/g의 감소를 보였음. 또한 aqueous ClO₂ 처리구는 1.48 log CFU/g으로 1.54 log CFU/g의 감균효과를 나타냈음. 따라서 aqueous ClO₂ 처리는 수확 후 딸기 표면의 초기 미생물 수를 감소시키는 효과적인 비가열 처리 기술로써 딸기의 미생물학적 안전성을 확보할 수 있다고 생각됨.

표 157. Inactivation of microorganisms in strawberries by aqueous ClO₂ treatment (log CFU/g)

Treatment	Total aerobic bacteria	Yeast and mold
Control	3.09 ± 0.05 ^A	3.02 ± 0.03 ^A
Water	2.68 ± 0.01 ^B	2.64 ± 0.03 ^B
ClO ₂	1.89 ± 0.05 ^C	1.48 ± 0.05 ^C

¹⁾ Any means in the same row (A-D) followed by different letters are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

(3) Aqueous ClO₂ 처리를 위한 고품질화 기초 연구

① Aqueous ClO₂ 농도별, 시간별로 처리하여 dR value와 tR value를 측정

본 연구에서는 nonthermal treatment 화학적 수단으로 aqueous ClO₂를 사용하였음. 따라서 aqueous ClO₂에 대한 각기 병원성 미생물의 d_R value와 t_R value를 측정함으로써 조사효과를 확인해 보고자 하였음. Aqueous ClO₂ 처리농도에 대한 병원성 미생물의 감수성을 측정하기 위한 survival curve는 root mean square error (RMSE) 와 correlation coefficient (R²) 값을 비교하여 first order linear model과 Weibull model 중 적합한 model을 선택하여 나타냈음.

농도별 처리 실험에서 Weibull model의 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. Typhimurium*과 *S. Enteritidis*의 RMSE는 각각 0.09, 0.17, 0.12, 0.14, 0.01인 반면 first order kinetics model은 0.26, 0.22, 0.12, 0.32, 0.17을 나타냈음(표 158). 그러나 Weibull model과 first order linear model의 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus*와 *S. Typhimurium*의 R²는 0.98-0.99로 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났음.

Weibull model을 사용하여 aqueous ClO₂ 처리한 병원성 미생물의 감수성을 나타낸 survival curve는 그림 309에서 나타냈음. *S. aureus*와 *S. Enteritidis*의 slope가 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. Typhimurium*와 비교하여 가파른 경사를 나타냈음.

Thermal processing의 D-value와 유사한 d_R value는 aqueous ClO₂ 처리에 대한 병원성 미생물의 감수성을 나타냄. *S. aureus*와 *S. Enteritidis*의 d_R value는 다른 병원성 미생물과 비교하여 작은 값을 나타내며 이는 aqueous ClO₂ 처리에 대해 보다 민감하다는 것을 알 수 있음(표 159).

표 158. Evaluation of the two kinetic models on the inactivation of major foodborne pathogens by aqueous ClO₂ treatment

Microorgani sm	Models	RMSE ¹⁾	R ²
<i>E. coli</i>	First-order	0.26	0.98
O157:H7	Weibull	0.09	0.99
<i>L. monocytogenes</i>	First-order	0.22	0.99
	Weibull	0.17	0.99
<i>S. aureus</i>	First-order	0.12	0.99
	Weibull	0.12	0.99
<i>S. Typhimurium</i>	First-order	0.32	0.98
	Weibull	0.14	0.99
<i>S. Enteritidis</i>	First-order	0.17	0.99
	Weibull	0.01	0.99

¹⁾root mean square error

표 159. Weibull model parameters for inactivation of foodborne pathogens by aqueous ClO₂ treatment

Microorganism	a ¹⁾	β ²⁾	d_R ³⁾
<i>E. coli</i> O157:H7	0.36	0.73	1.13
<i>L. monocytogenes</i>	0.80	1.12	1.68
<i>S. aureus</i>	0.34	1.02	0.77
<i>S. Typhimurium</i>	0.85	1.21	1.69
<i>S. Enteritidis</i>	0.45	1.34	0.83

¹⁾ a : scale parameter

²⁾ β : shape parameter

³⁾ d_R : aqueous ClO₂ concentration required for 90% reduction of the populations of pathogens

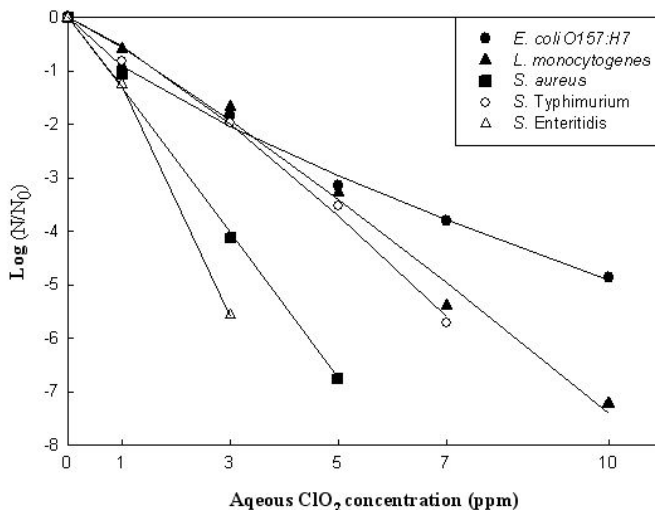


그림 309. Survival curves of major foodborne pathogens by aqueous ClO₂ treatment.

시간별 처리 실험에서 Weibull model의 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. Typhimurium*과 *S. Enteritidis*의 RMSE는 각각 0.05, 0.15, 0.04, 0.07, 0.08로 나타난 반면 first-order kinetic model은 0.14, 0.24, 0.31, 0.37, 0.19로 나타났음(표 160). 또한 Weibull model과 first-order kinetic model의 correlation coefficients(R^2)는 *E. coli*

O157:H7, *L. monocytogenes*와 *S. aureus* 경우에는 두 model 간의 유의적인 큰 차이가 없었지만, *S. Typhimurium*과 *S. Enteritidis*는 Weibull model의 R^2 은 0.99인 반면 first-order kinetic model의 R^2 값은 0.89를 나타냈음(표 160). 따라서 RMSE 값과 R^2 을 고려할 때, first-order kinetic model에 비해 Weibull model이 aqueous ClO₂ 처리에 대한 미생물의 민감성을 측정하기 위한 survival plot의 결과 분석에 더 적합하다고 판단됨. 또한 aqueous ClO₂ 처리 후, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. Typhimurium*, *S. Enteritidis*의 survival curve를 그림 310에 나타내었는데, Weibull model이 first-order kinetic model에 비해 data에 더 적합한 것을 알 수 있었음. *S. Enteritidis* survival plot의 slope를 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. Typhimurium*과 비교하였을 때 다른 식중독균에 비해 보다 큰 slope 값을 가졌는데, 이는 *S. Enteritidis*가 다른 미생물보다 aqueous ClO₂ 처리에 보다 민감하다는 것을 나타냈음.

Weibull model에서 thermal processing의 D-value와 유사한 t_R value는 aqueous ClO₂ 처리에 의한 미생물의 민감성을 나타내는 것으로 각 미생물들의 t_R value는 *E. coli* O157:H7가 aqueous ClO₂ 농도 5 ppm에서 2.49 min로 aqueous ClO₂에 가장 저항성이 컸고, *L. monocytogenes*가 5 ppm에서 1.47 min, *S. aureus*가 5 ppm에서 0.94 min을 나타냈음(표 161). 또한, *S. Typhimurium*과 *S. Enteritidis*이 aqueous ClO₂ 처리 농도 1 ppm에서 각각 0.87 min, 0.08 min으로 나타나, 다른 미생물들 보다 aqueous ClO₂ 처리 농도가 낮았음에도 불구하고 t_R value가 가장 작은 값으로 나타났음(표 161). 따라서 aqueous ClO₂ 처리에 *Salmonella*가 보다 민감함을 보여 주었으며, 특히 *S. Enteritidis*가 가장 민감하다는 것을 나타내었음.

표 160. Evaluation of the two kinetic models on the inactivation of major foodborne pathogens by aqueous ClO₂ treatment

Microorganism	Models	RMSE ¹⁾	R^2
<i>E. coli</i> O157:H7	First-order	0.14	0.98
	Weibull	0.05	0.99
<i>L. monocytogenes</i>	First-order	0.24	0.97
	Weibull	0.15	0.99
<i>S. aureus</i>	First-order	0.31	0.97
	Weibull	0.04	0.99
<i>S. Typhimurium</i>	First-order	0.37	0.89
	Weibull	0.07	0.99
<i>S. Enteritidis</i>	First-order	0.19	0.89
	Weibull	0.08	0.99

¹⁾root mean square error

표 161. Weibull model parameters for inactivation of foodborne pathogens by aqueous ClO₂ treatment

Microorganism	$a^{1)}$	$\beta^{2)}$	$t_R^{3)}$
<i>E. coli</i> O157:H7	0.83	0.76	2.49
<i>L. monocytogenes</i>	0.50	0.77	1.47
<i>S. aureus</i>	0.27	0.67	0.94
<i>S. Typhimurium</i>	0.12	0.42	0.87
<i>S. Enteritidis</i>	0.01	0.43	0.08

¹⁾ a : scale parameter

²⁾ β : shape parameter

³⁾ t_R : time required for 90% reduction of the populations of pathogenic bacteria

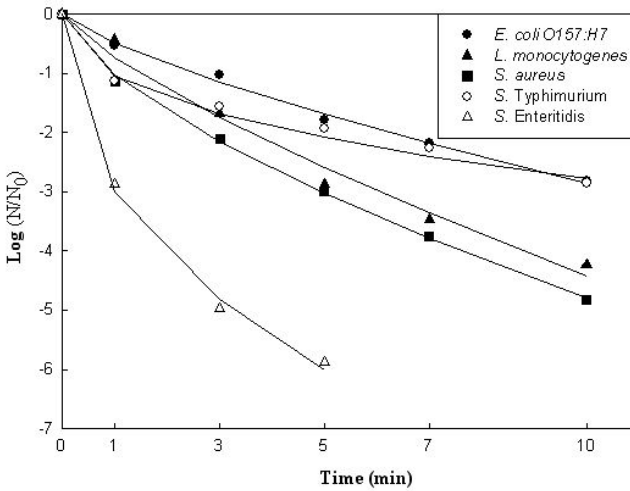


그림 310. Survival curves of major foodborne pathogens by aqueous ClO₂ treatment.

(4) Aqueous ClO₂ 처리를 적용한 다양한 신선편이식품의 미생물 생육 변화 및 품질 변화 분석

(가) 로메인 상추

① Aqueous ClO₂ 처리에 따른 로메인 상추의 미생물 생육 변화

로메인 상추에 물과 aqueous ClO₂를 단일처리한 후 저장 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 162,163). 총 호기성 세균의 저장 초기 대조구는 6.36 log CFU/g이었고, 물로 침지한 처리구는 5.12 log CFU/g으로 1.24 log CFU/g의 초기 미생물 수 감소를 보였음. 반면에 aqueous ClO₂ 단일 처리구는 3.49 log CFU/g으로 2.87 log CFU/g의 감소 효과를 나타냈음(표 162). 효모 및 곰팡이의 초기 대조구는 3.09 log CFU/g, 물로 세척한 처리구는 2.88 log CFU/g로 0.21 log CFU/g 감소하였고, aqueous ClO₂ 처리구는 1.80 log CFU/g으로 1.08 log CFU/g 감소하였음(표 163). 이러한 결과는 물 침지만으로는 미생물 수 감소가 충분하지 않음을 보여줌..

이러한 미생물 수 감소는 저장 중에도 지속되었는데, 저장 7일에 총 호기성 세균 대조구의 미생물 수가 증가하여 6.92 log CFU/g이었고, aqueous ClO₂ 처리구는 4.75 log CFU/g으로 2.17 log CFU/g의 감소 효과를 보였음(표 162). 효모 및 곰팡이의 대조구는 4.70 log CFU/g, aqueous ClO₂ 처리구는 2.96 log CFU/g으로 1.74 log CFU/g의 균일 감소하였음(표 163). 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 둘 다 대조구와 처리구에서 저장기간 동안 미생물수가 증가하는 결과를 나타냈음.

표 162. Effect of aqueous ClO₂ treatment on the total aerobic bacteria in romane lettuce during storage

Treatment	Storage time (days)				
	0	1	3	5	7
Control	6.36 ± 0.04 ^{Ac1)}	6.51 ± 0.26 ^{Ac}	6.71 ± 0.04 ^{Ab}	6.73 ± 0.04 ^{Ab}	6.92 ± 0.11 ^{Aa}
Water	5.12 ± 0.12 ^{Bb}	5.51 ± 0.21 ^{Ba}	5.53 ± 0.09 ^{Ba}	5.58 ± 0.17 ^{Ba}	5.60 ± 0.06 ^{Ba}
ClO ₂	3.49 ± 0.15 ^{Cc}	3.65 ± 0.05 ^{Cd}	3.91 ± 0.07 ^{Cc}	4.22 ± 0.21 ^{Cb}	4.75 ± 0.03 ^{Ca}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-e) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

표 163. Effect of aqueous ClO₂ treatment on the yeast and molds in romane lettuce during storage

Treatment	Storage time (days)				
	0	1	3	5	7
Control	3.09 ± 0.06 ^{Ac1)}	3.47 ± 0.08 ^{Ab}	4.63 ± 0.08 ^{Aa}	4.66 ± 0.11 ^{Aa}	4.70 ± 0.15 ^{Aa}
Water	2.88 ± 0.07 ^{Bc}	2.95 ± 0.03 ^{Bc}	3.70 ± 0.08 ^{Bb}	3.75 ± 0.12 ^{Bb}	4.00 ± 0.10 ^{Ba}
ClO ₂	1.80 ± 0.03 ^{Cd}	2.10 ± 0.06 ^{Cc}	2.32 ± 0.13 ^{Cbc}	2.42 ± 0.08 ^{Cb}	2.96 ± 0.11 ^{Ca}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-d) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

로메인 상추 저장 중 *Salmonella typhimurium*과 *Escherichia coli* O157:H7의 경우에도 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 결과와 비슷한 경향을 나타냈음(표 164,165). 저장 초기 *S. Typhimurium* 대조구는 6.26 log CFU/g이었고 물로 침지한 처리구는 4.24 log CFU/g으로 2.02 log CFU/g의 감소를 보였음. 또한 aqueous ClO₂ 처리구는 3.81 log CFU/g으로 2.45 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음(표 164). *E. coli* O157:H7의 경우 대조구는 6.22 log CFU/g, 물로 세척한 처리구는 5.17 log CFU/g로 1.05 log CFU/g의 감소를 보였고, aqueous ClO₂ 처리구는 4.19 log CFU/g로 2.03 log CFU/g의 감소를 보였음(표 165).

*S. Typhimurium*과 *E. coli* O157:H7은 저장기간 중 동일하게 균이 증가하여 저장 7일에는 대조구의 *S. Typhimurium*은 6.86 log CFU/g, aqueous ClO₂ 처리구는 4.16 log CFU/g로 2.7 log CFU/g감소하였고(표 164), *E. coli* O157:H7은 대조구 6.91 log CFU/g에서 aqueous ClO₂ 처리구 5.13 log CFU/g로 1.78 log CFU/g의 균 감소를 보였음(표 165). 본 연구 결과 대조구와 물 침지한 처리구보다 aqueous ClO₂ 처리가 초기 미생물 사멸뿐만 아니라 저장 중 미생물의 생육에도 영향을 끼치는 것으로 판단됨.

표 164. Effect of aqueous ClO₂ treatment on the *S. Typhimurium* in romane lettuce during storage

(log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	1	3	5	7
Control	6.26 ± 0.05 ^{Ab1)}	6.27 ± 0.06 ^{Ab}	6.32 ± 0.06 ^{Ab}	6.64 ± 0.03 ^{Aa}	6.86 ± 0.10 ^{Aa}
Water	4.24 ± 0.08 ^{Bc}	4.57 ± 0.10 ^{Bb}	4.64 ± 0.11 ^{Bb}	4.87 ± 0.10 ^{Ba}	4.93 ± 0.13 ^{Ba}
ClO ₂	3.81 ± 0.03 ^{Cc}	3.99 ± 0.20 ^{Cb}	4.06 ± 0.05 ^{Cab}	4.08 ± 0.05 ^{Cab}	4.16 ± 0.07 ^{Ca}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

표 165. Effect of aqueous ClO₂ treatment on the *E. coli* O157:H7 in romane lettuce during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	1	3	5	7
Control	6.22 ± 0.10 ^{Ab1)}	6.35 ± 0.16 ^{Ab}	6.74 ± 0.08 ^{Aa}	6.75 ± 0.06 ^{Aa}	6.91 ± 0.05 ^{Aa}
Water	5.17 ± 0.09 ^{Bc}	5.82 ± 0.11 ^{Bb}	5.81 ± 0.06 ^{Bb}	5.83 ± 0.09 ^{Bb}	6.10 ± 0.08 ^{Ba}
ClO ₂	4.19 ± 0.07 ^{Cc}	4.98 ± 0.08 ^{Cb}	5.00 ± 0.07 ^{Cb}	5.01 ± 0.07 ^{Cab}	5.13 ± 0.04 ^{Ca}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

② Aqueous ClO₂ 처리에 따른 로메인 상추의 품질 변화 분석

로메인 상추의 대조구, 물과 aqueous ClO₂ 처리된 시료의 색도를 색차계를 사용하여 Hunter L, a, b value를 측정 한 결과는 표 166-168과 같음.

식중독 균을 집중하지 않은 로메인상추의 저장 초기 Hunter L value는 대조구와 물 처리구, aqueous ClO₂ 처리구가 38 이상의 값으로 처리구간 차이는 없었음. 로메인 상추 저장기간 동안 L value는 대체적으로 증가하는 경향을 보였지만, 각 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았음. 로메인 상추 a value는 저장초기 대조구와 처리구 모두 -10 이하의 값을 보였고, 유의적인 차이가 없었음. 저장기간 동안 a 값은 감소했지만, 처리구 간에 차이는 없었음. b value 역시 저장초기 대조구와 처리구 모두 13이상의 값을 나타내며 각 처리구 간의 유의적인 차이를 보이지 않았고, 저장기간 중 대조구와 처리구간 유의적인 차이는 없었음. 이러한 결과를 통해 물과 aqueous ClO₂ 처리는 로메인상추의 색도 변화에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각됨(표 166).

*S. Typhimurium*과 *E. coli* O157:H7을 각각 접종한 로메인 상추는 저장 초기 L value 둘 다 대조구가 39 이상의 값으로 가장 높게 나타났고, 물 처리구와 aqueous ClO₂ 처리구는 38 이상의 값을 나타내어 대조구보다 낮은 값을 나타냈지만 유의적인 차이는 없었음. a value에서 *S. Typhimurium*은 -10 이하, *E. coli* O157:H7는 -11 이하의 값을 보였고, 유의적인 차이는 없었음. b value는 *S. Typhimurium*의 대조구와 처리구 둘 다 14 이상의 값을 보였고, *E. coli* O157:H7는 대조구가 14 이상의 값으로 처리구에 비해 높은 값을 나타냈지만 유의적인 차이는 없었음. 저장 7일 동안 저장기간에 따른 대조구와 처리구간의 유의적인 차이는 보이지 않음(표 167,168).

따라서 본 연구에서 사용된 aqueous ClO₂는 로메인 상추가 지나는 고유색과 관련된 외관적 색도 품질 측면에서 부정적인 영향을 미치지 않은 것으로 판단됨.

⌘ 166. Color measurement on the total aerobic bacteria and yeast and mold in romane lettuce treated with aqueous ClO₂ during storage

Color parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
L	Control	38.71 ± 0.63 ^{Ab1)}	39.29 ± 1.18 ^{Aab}	39.03 ± 0.56 ^{Ab}	39.09 ± 0.84 ^{Ab}	40.31 ± 0.51 ^{Aa}
	Water	38.57 ± 0.20 ^{Ab}	40.39 ± 0.36 ^{Aa}	39.17 ± 0.72 ^{Aab}	39.55 ± 0.33 ^{Aab}	39.88 ± 0.59 ^{Aab}
	ClO ₂	38.12 ± 0.34 ^{Ab}	39.38 ± 1.31 ^{Aa}	39.87 ± 0.63 ^{Aa}	39.94 ± 1.05 ^{Aa}	39.95 ± 0.60 ^{Aa}
a	Control	-10.62 ± 0.25 ^{Aa}	-10.88 ± 0.45 ^{Aab}	-11.06 ± 0.62 ^{Aab}	-11.49 ± 0.47 ^{Ab}	-11.56 ± 0.81 ^{Ab}
	Water	-10.34 ± 0.82 ^{Aa}	-10.50 ± 0.42 ^{Aa}	-10.80 ± 0.66 ^{Aa}	-11.48 ± 1.33 ^{Aab}	-12.33 ± 0.56 ^{Ab}
	ClO ₂	-10.88 ± 0.21 ^{Aab}	-10.89 ± 0.61 ^{Aab}	-10.59 ± 0.76 ^{Aa}	-11.56 ± 1.24 ^{Aab}	-11.89 ± 0.52 ^{Ab}
b	Control	13.50 ± 0.71 ^{Aab}	12.71 ± 0.59 ^{Ac}	13.30 ± 0.45 ^{Abc}	13.81 ± 0.38 ^{Aab}	14.05 ± 0.37 ^{Aa}
	Water	13.44 ± 1.09 ^{Aab}	12.48 ± 0.22 ^{Ab}	14.08 ± 0.77 ^{Aa}	13.77 ± 0.66 ^{Aa}	14.15 ± 0.78 ^{Aa}
	ClO ₂	13.24 ± 0.79 ^{Ac}	15.06 ± 0.51 ^{Aa}	13.87 ± 0.79 ^{Abc}	14.32 ± 0.55 ^{Aba}	14.19 ± 0.51 ^{Aba}

¹⁾ Any means in the same column (A) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

⌘ 167. Color measurement on the *Salmonella typhimurium* in romane lettuce treated with aqueous ClO₂ during storage

Color parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
L	Control	39.21 ± 0.50 ^{Aab1)}	38.60 ± 0.85 ^{Ab}	39.97 ± 0.85 ^{Aa}	39.14 ± 0.65 ^{Aab}	39.97 ± 0.51 ^{Aa}
	Water	38.92 ± 0.67 ^{Aa}	39.05 ± 0.46 ^{Aa}	38.93 ± 0.69 ^{Aa}	39.47 ± 0.34 ^{Aa}	39.26 ± 0.49 ^{Aa}
	ClO ₂	38.96 ± 0.71 ^{Aa}	39.57 ± 0.97 ^{Aa}	39.49 ± 0.64 ^{Aa}	39.01 ± 0.65 ^{Aa}	39.60 ± 0.53 ^{Aa}
a	Control	-10.57 ± 0.41 ^{Aa}	-11.00 ± 0.36 ^{Aab}	-11.75 ± 1.20 ^{Ab}	-11.29 ± 0.76 ^{Aab}	-11.11 ± 0.51 ^{Aab}
	Water	-10.87 ± 0.24 ^{Aa}	-10.92 ± 0.70 ^{Aa}	-10.67 ± 0.56 ^{Aa}	-10.88 ± 0.50 ^{Aa}	-11.38 ± 0.26 ^{Aa}
	ClO ₂	-10.58 ± 0.45 ^{Aa}	-10.94 ± 0.54 ^{Aa}	-11.56 ± 1.50 ^{Aa}	-11.27 ± 0.14 ^{Aa}	-11.43 ± 0.56 ^{Aa}
b	Control	14.16 ± 0.65 ^{Aa}	14.04 ± 0.75 ^{Aa}	14.17 ± 0.67 ^{Aa}	13.33 ± 0.51 ^{Aa}	13.42 ± 0.44 ^{Aa}
	Water	14.53 ± 0.26 ^{Aa}	13.79 ± 0.52 ^{Abc}	13.83 ± 0.79 ^{Ab}	13.31 ± 0.14 ^{Abc}	13.15 ± 0.36 ^{Ac}
	ClO ₂	14.18 ± 0.75 ^{Aa}	13.71 ± 0.39 ^{Aab}	13.99 ± 0.40 ^{Aab}	13.78 ± 0.17 ^{Aab}	13.53 ± 0.34 ^{Ab}

¹⁾ Any means in the same column (A) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

☿ 168. Color measurement on the *Escherichia coli* O157:H7 in romane lettuce treated with aqueous ClO₂ during storage

Color parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
L	Control	39.32 ± 0.87 ^{Aa1)}	38.82 ± 0.74 ^{Aa}	39.66 ± 0.64 ^{Aa}	39.18 ± 0.57 ^{Aa}	38.79 ± 0.60 ^{Aa}
	Water	38.50 ± 1.46 ^{Ab}	39.26 ± 0.59 ^{Aab}	39.97 ± 0.44 ^{Aa}	39.52 ± 0.41 ^{Aab}	39.17 ± 0.77 ^{Aab}
	ClO ₂	38.07 ± 0.81 ^{Ab}	38.83 ± 0.70 ^{Ab}	39.78 ± 0.38 ^{Aa}	39.95 ± 0.61 ^{Aa}	38.66 ± 0.54 ^{Ab}
a	Control	-11.80 ± 0.50 ^{Aab}	-11.97 ± 0.40 ^{Ab}	-11.93 ± 0.59 ^{Ab}	-11.90 ± 0.69 ^{Ab}	-11.14 ± 0.36 ^{Aa}
	Water	-11.91 ± 0.31 ^{Aa}	-11.94 ± 0.56 ^{Aa}	-11.78 ± 0.89 ^{Aa}	-12.21 ± 1.20 ^{Aa}	-11.50 ± 1.27 ^{Aa}
	ClO ₂	-11.87 ± 0.48 ^{Aa}	-11.30 ± 1.15 ^{Aa}	-11.67 ± 0.99 ^{Aa}	-11.96 ± 0.97 ^{Aa}	-11.60 ± 0.55 ^{Aa}
b	Control	14.13 ± 0.54 ^{Aa}	13.14 ± 0.67 ^{Ab}	14.33 ± 0.20 ^{Aa}	14.42 ± 0.82 ^{Aa}	13.09 ± 0.33 ^{Ab}
	Water	13.92 ± 0.47 ^{Aab}	13.25 ± 1.20 ^{Ab}	14.17 ± 0.56 ^{Aab}	14.94 ± 0.86 ^{Aa}	13.51 ± 0.39 ^{Ab}
	ClO ₂	13.55 ± 0.56 ^{Abc}	13.16 ± 0.88 ^{Ac}	14.22 ± 0.55 ^{Aab}	14.62 ± 0.28 ^{Aa}	13.43 ± 0.68 ^{Abc}

¹⁾ Any means in the same column (A) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

로메인 상추의 aqueous ClO₂ 처리 후 저장 중 외관적 상태, 향 및 종합적 기호도를 9 점 기호척도법으로 조사한 관능적 품질 특성에 대한 결과는 표 169-171과 같음. 식중독 균을 접종하지 않은 로메인 상추와 *S. Typhimurium*, *E. coli* O157:H7를 각각 접종한 로메인 상추 모두 각 시료의 관능적 품질에 대한 점수는 저장기간이 경과함에 따라 대조구를 포함하여 모든 처리구에서 전체적으로 낮아지는 경향을 나타냈음(표 167-171).

식중독균을 접종하지 않은 로메인 상추의 외관적 상태는 저장 1일까지 8점 이상의 높은 점수를 받아 대조구와 처리구간의 유의적인 차이가 없었지만, 저장기간 3일 부터 7일까지 aqueous ClO₂ 처리구가 대조구나 물 처리구에 비해 가장 높은 점수를 받았다. 향은 대조구와 처리구 모두 저장 5일까지 8점 이상의 높은 점수를 받았고, 저장기간 동안 대조구와 처리구간 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났음. 종합적기호도는 aqueous ClO₂ 처리구가 가장 높은 점수를 받아 대조구 및 물 처리구보다 높은 선호도를 보였음(표 169).

*S. Typhimurium*을 접종한 로메인 상추의 외관적 상태는 저장 3일까지 대조구와 처리구 모두 8점 이상의 높은 점수를 보였고, *E. coli* O157:H7를 접종한 로메인 상추의 외관적 상태 역시 대조구를 포함한 모든 처리구에서 저장 1일까지 8점 이상의 높은 점수로 대조구와 처리구간의 유의적인 차이를 보이지 않았음. 각각의 식중독균을 접종한 로메인 상추 모두 저장 3일부터 aqueous ClO₂ 처리구가 대조구나 물 처리구에 비해 유의적으로 가장 높은 점수를 나타내었음. 향은 저장기간 동안 대조구와 처리구 모두 높은 점수를 받았고, 유의적인 차이는 없었음. 종합적 기호도 역시 저장 3일부터 aqueous ClO₂ 처리구가 다른 대조구나 처리구에 비해 높은 선호도를 보였음(표 170,171).

이러한 결과를 통해 로메인 상추에 적용된 aqueous ClO₂ 처리는 대조구와 비교하여 외관적 품질에 많은 영향을 미치지 않는다고 생각됨.

169. Sensory evaluation of nonthermal treated on the total aerobic bacteria and yeast and molds in romane lettuce during storage

Organoleptic parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
Appearance	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa1)}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.13 ± 0.64 ^{Bb}	7.13 ± 0.83 ^{Cc}	6.25 ± 0.89 ^{Cd}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	8.00 ± 0.53 ^{Bb}	7.38 ± 0.52 ^{Bc}	6.63 ± 0.92 ^{Bd}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	8.00 ± 0.53 ^{ABb}	7.38 ± 0.92 ^{ABc}
Odor	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.38 ± 0.74 ^{Aab}	8.13 ± 1.13 ^{Aab}	7.75 ± 1.58 ^{Ab}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	8.50 ± 0.76 ^{Aa}	8.38 ± 0.92 ^{Aa}	8.13 ± 1.25 ^{Aa}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aab}	8.88 ± 0.35 ^{Aab}	8.63 ± 0.52 ^{Aab}	8.38 ± 0.92 ^{Ab}
Overall	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.13 ± 0.64 ^{BCb}	7.13 ± 0.83 ^{Cc}	6.38 ± 0.92 ^{Bd}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	8.00 ± 0.53 ^{Cb}	7.38 ± 0.52 ^{Cc}	6.50 ± 0.93 ^{Bd}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.63 ± 0.52 ^{ABa}	7.75 ± 0.71 ± ^{BCb}	7.13 ± 1.13 ^{ABb}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-d) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

Table 170. Sensory evaluation of nonthermal treated on the *Salmonella typhimurium* in romane lettuce during storage

Organoleptic parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
Appearance	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa1)}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	8.38 ± 0.74 ^{Ba}	7.13 ± 0.83 ^{Bb}	6.63 ± 1.06 ^{Bb}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.13 ± 0.64 ^{Bb}	7.13 ± 0.83 ^{Bc}	6.75 ± 1.04 ^{Bc}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.13 ± 0.64 ^{Ab}	7.25 ± 1.04 ^{ABc}
Odor	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	8.38 ± 0.74 ^{Bab}	7.63 ± 1.30 ^{Ab}	7.38 ± 1.60 ^{Ab}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.38 ± 0.74 ^{Bab}	7.75 ± 1.39 ^{Ab}	7.50 ± 1.69 ^{Ab}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.38 ± 0.74 ^{Aab}	7.88 ± 1.36 ^{Ab}
Overall	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.38 ± 0.74 ^{Ba}	7.13 ± 0.83 ^{Bb}	6.63 ± 1.06 ^{Bb}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.25 ± 0.71 ^{Bab}	7.13 ± 0.83 ^{Bb}	6.75 ± 1.04 ^{Bb}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.13 ± 0.64 ^{Ab}	7.25 ± 1.04 ^{ABc}

¹⁾ Any means in the same column (A-B) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

171. Sensory evaluation of nonthermal treated on the *E. coli* O157:H7 in romane lettuce during storage

Organoleptic parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
Appearance	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa1)}	8.50 ± 0.53 ^{Aa}	7.88 ± 0.64 ^{Bb}	7.00 ± 0.53 ^{Bc}	6.13 ± 0.64 ^{Bd}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.52 ^{Aa}	7.88 ± 0.64 ^{Bb}	7.00 ± 0.76 ^{Bc}	6.25 ± 0.89 ^{Bd}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.25 ± 0.71 ^{Ab}	7.38 ± 0.92 ^{Ac}
Odor	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.52 ^{Aab}	8.25 ± 0.71 ^{Babc}	7.75 ± 1.16 ^{Abc}	7.38 ± 1.60 ^{Ac}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.38 ± 0.74 ^{ABabc}	7.75 ± 1.39 ^{Abc}	7.38 ± 1.85 ^{Ac}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.50 ± 0.76 ^{Aab}	8.00 ± 1.20 ^{Ab}
Overall	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.52 ^{Aa}	8.00 ± 0.53 ^{Bb}	7.00 ± 0.53 ^{Bc}	6.25 ± 0.89 ^{Bd}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	7.88 ± 0.64 ^{Bb}	7.13 ± 0.64 ^{Bc}	6.50 ± 0.93 ^{Bd}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.25 ± 0.71 ^{Ab}	7.38 ± 0.92 ^{Ac}

¹⁾ Any means in the same column (A-B) or row (a-d) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

(나) 케일

① Aqueous ClO₂ 처리에 따른 케일의 미생물 생육 변화

케일을 물, aqueous ClO₂로 처리한 후 저장 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 172,173). 저장 초기 총 호기성 세균의 대조구는 6.07 log CFU/g이었고, 물로 침지한 처리구는 5.44 log CFU/g으로 0.63 log CFU/g의 초기 미생물 수 감소를 보였음. 총 호기성 세균은 aqueous ClO₂ 처리구에서 3.00 log CFU/g을 나타내어, 대조구에 비해 3.07 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음(표 172). 한편, 효모 및 곰팡이는 대조구가 5.45 log CFU/g, 물 처리구가 4.38 log CFU/g으로 1.07 log CFU/g의 감균효과를 나타냈고, aqueous ClO₂ 처리구는 2.36 log CFU/g으로 3.09 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였음(표 173). 이러한 결과는 물 처리보다 aqueous ClO₂ 처리가 미생물 수 감소에 효과적임을 보여줌.

케일의 aqueous ClO₂에 의한 감균 효과는 저장 중에도 지속되었는데, 총 호기성 세균은 저장 7일 후 대조구의 미생물 수가 6.72 log CFU/g으로 증가한 반면에 aqueous ClO₂ 처리구는 4.58 log CFU/g을 나타내어 2.14 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였음(표 172) 효모 및 곰팡이는 저장 7일 후 역시 대조구의 미생물 수가 증가하여 6.12 log CFU/g이었고, aqueous ClO₂ 처리구는 3.48 log CFU/g으로 2.64 log CFU/g 미생물수가 감소하였음(표 173) 총 호기성균과 효모 및 곰팡이는 대조구와 모든 처리구에서 저장기간 동안 미생물 수가 증가하는 결과를 나타냈음.

표 172. Effect of aqueous ClO₂ treatment on the total aerobic bacteria in kale during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	1	3	5	7
Control	6.07 ± 0.09 ^{Ae1)}	6.16 ± 0.01 ^{Ad}	6.50 ± 0.07 ^{Ac}	6.58 ± 0.01 ^{Ab}	6.72 ± 0.05 ^{Aa}
Water	5.44 ± 0.01 ^{Bd}	5.90 ± 0.07 ^{Bc}	5.98 ± 0.08 ^{Bc}	6.12 ± 0.16 ^{Bb}	6.25 ± 0.13 ^{Ba}
ClO ₂	3.00 ± 0.05 ^{Ce}	3.19 ± 0.09 ^{Cd}	3.65 ± 0.10 ^{Cc}	4.06 ± 0.04 ^{Cb}	4.58 ± 0.18 ^{Ca}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-e) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

표 173. Effect of aqueous ClO₂ treatment on the yeast and molds in kale during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	1	3	5	7
Control	5.45 ± 0.12 ^{Ac1)}	5.53 ± 0.12 ^{Ac}	5.90 ± 0.10 ^{Ab}	5.92 ± 0.11 ^{Ab}	6.12 ± 0.10 ^{Aa}
Water	4.38 ± 0.15 ^{Bc}	4.49 ± 0.08 ^{Bbc}	4.60 ± 0.20 ^{Bab}	4.72 ± 0.16 ^{Ba}	4.77 ± 0.16 ^{Ba}
ClO ₂	2.36 ± 0.23 ^{Cd}	2.67 ± 0.11 ^{Cc}	2.84 ± 0.16 ^{Cc}	3.15 ± 0.12 ^{Cb}	3.48 ± 0.13 ^{Ca}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-d) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

S. Typhimurium과 E. coli O157:H7를 접종한 케일의 경우에도 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 비슷한 경향을 나타냈음(표 174, 175). S. Typhimurium과 E. coli O157:H7의 저장 초기 대조구는 6.06, 6.32 log CFU/g이었고, 물로 침지한 처리구는 4.30, 5.29 log CFU/g으로 각각 1.76, 1.03 log CFU/g의 감소를 보였음. 또한 각 시료 aqueous ClO₂ 처리구는 2.20, 3.17 log CFU/g으로 각각 3.86, 3.15 log CFU/g의 감균 효과를 보여 물 처리보다 aqueous ClO₂ 처리가 효과적임을 나타냈음.

S. Typhimurium과 E. coli O157:H7를 접종한 케일의 저장 7일 후, 대조구는 저장 중 증가하여 각각 6.97, 7.45 log CFU/g인 반면에 aqueous ClO₂ 처리구는 3.30, 4.10 log CFU/g로 각각 3.67, 3.35 log CFU/g의 균 감소효과를 보였음. 이러한 결과로 보아 대조구와 모든 처리구에서 저장기간 동안 미생물 수가 증가하는 결과를 나타냈으며 aqueous ClO₂ 처리가 물 처리에 비해 유의적인 차이로 가장 큰 감균 효과를 나타냈음.

표 174. Effect of aqueous ClO₂ treatment on the *Salmonella typhimurium* in kale during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	1	3	5	7
Control	6.06 ± 0.12 ^{Ad1)}	6.27 ± 0.06 ^{Ac}	6.35 ± 0.17 ^{Ac}	6.76 ± 0.02 ^{Ab}	6.97 ± 0.04 ^{Aa}
Water	4.30 ± 0.10 ^{Bc}	4.66 ± 0.30 ^{Bb}	4.79 ± 0.16 ^{Bb}	4.88 ± 0.13 ^{Bab}	5.07 ± 0.15 ^{Ba}
ClO ₂	2.20 ± 0.13 ^{Ce}	2.53 ± 0.09 ^{Cd}	2.98 ± 0.10 ^{Cc}	3.14 ± 0.20 ^{Cb}	3.30 ± 0.11 ^{Ca}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-e) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

표 175. Effect of aqueous ClO₂ treatment on the *E. coli* O157:H7 in kale during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	1	3	5	7
Control	6.32 ± 0.08 ^{A(1)}	6.52 ± 0.02 ^{A(2)}	6.94 ± 0.22 ^{A(3)}	7.32 ± 0.07 ^{A(4)}	7.45 ± 0.10 ^{A(5)}
Water	5.29 ± 0.09 ^{B(1)}	5.67 ± 0.05 ^{B(2)}	5.78 ± 0.07 ^{B(3)}	5.92 ± 0.10 ^{B(4)}	6.07 ± 0.15 ^{B(5)}
ClO ₂	3.17 ± 0.06 ^{C(1)}	3.33 ± 0.10 ^{C(2)}	3.72 ± 0.09 ^{C(3)}	3.85 ± 0.06 ^{C(4)}	4.10 ± 0.10 ^{C(5)}

¹⁾ Any means in the same column (A-D) or row (a-e) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

② Aqueous ClO₂ 처리에 따른 케일의 품질 변화 분석

식중독 균을 집중하지 않은 케일과 *S. Typhimurium*, *E. coli* O157:H7를 각각 접종한 케일의 대조구, 물과 aqueous ClO₂ 처리구의 색도를 색차계를 사용하여 Hunter L, a, b value를 측정 한 결과는 표 176-177과 같음.

저장 초기, 식중독 균을 집중하지 않은 케일의 Hunter L value는 대조구와 처리구 모두 40 이상의 값을 나타내어 유의적인 차이가 없었으며, 저장기간 동안 대조구와 모든 처리구 간에 유의적인 변화가 나타나지 않았음. a value 역시 저장초기 -11 이하의 값을 보였고, 저장기간 중, 대조구와 처리구 간의 유의적인 변화는 않았음. b value는 13 이상의 값을 나타냈으며, 저장기간 동안 각 처리구와 대조구 간의 유의적인 차이를 보이지 않았음(표 176).

*S. Typhimurium*의 L value 역시 모두 39 이상의 값으로 유의적인 차이가 없었고, 저장기간 동안 대조구와 처리구간의 유의적인 차이는 없었음. *E. coli* O157:H7의 L value도 40 이상의 값을 나타내었으며 저장기간에 각 처리구와 대조구는 유의적인 차이를 보이지 않았음. *S. Typhimurium*과 *E. coli* O157:H7의 a 값은 각각 -11 이하, b는 13 이상의 값을 나타내었으며, 저장기간 동안 대조구와 처리구간의 유의적인 차이가 없었음(표 177,178).

이러한 결과를 통해 본 연구에서 사용된 물과 aqueous ClO₂ 처리는 케일의 고유색과 관련된 색도 변화에 큰 영향을 미치지 않는다고 판단됨.

⌘ 176. Color measurement on the total aerobic bacteria and yeast and molds in kale treated with aqueous ClO₂ during storage

Color parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
L	Control	40.72 ± 0.65 ^{Aa1}	40.58 ± 0.36 ^{Aa}	40.61 ± 0.59 ^{Aa}	40.65 ± 0.40 ^{Aa}	40.33 ± 0.26 ^{Aa}
	Water	40.51 ± 0.28 ^{Aa}	40.60 ± 0.26 ^{Aa}	41.09 ± 0.64 ^{Aa}	40.77 ± 0.38 ^{Aa}	40.74 ± 0.34 ^{Aa}
	ClO ₂	40.60 ± 0.57 ^{Aa}	40.71 ± 0.22 ^{Aa}	41.08 ± 0.63 ^{Aa}	40.73 ± 0.40 ^{Aa}	40.46 ± 0.37 ^{Aa}
a	Control	-11.53 ± 0.26 ^{Aa}	-11.38 ± 0.53 ^{Aa}	-11.73 ± 0.30 ^{Aa}	-11.27 ± 0.37 ^{Aa}	-11.22 ± 1.02 ^{Aa}
	Water	-11.50 ± 0.66 ^{Aa}	-10.85 ± 0.46 ^{Aa}	-11.37 ± 0.59 ^{Aa}	-11.59 ± 0.75 ^{Aa}	-11.26 ± 1.20 ^{Aa}
	ClO ₂	-11.44 ± 0.72 ^{Aa}	-10.96 ± 0.40 ^{Aa}	-11.58 ± 0.76 ^{Aa}	-11.60 ± 1.01 ^{Aa}	-10.81 ± 0.13 ^{Aa}
b	Control	13.81 ± 0.69 ^{Aa}	13.71 ± 1.07 ^{Aa}	13.95 ± 0.70 ^{Aa}	13.18 ± 0.34 ^{Aa}	13.79 ± 0.75 ^{Aa}
	Water	13.53 ± 0.72 ^{Ab}	13.03 ± 0.64 ^{Ab}	13.92 ± 0.83 ^{Aa}	12.94 ± 0.66 ^{Ab}	13.48 ± 0.19 ^{Ab}
	ClO ₂	14.12 ± 0.89 ^{Aa}	13.93 ± 0.23 ^{Ab}	13.71 ± 0.57 ^{Ab}	13.16 ± 0.83 ^{Ab}	13.77 ± 0.38 ^{Ab}

¹⁾ Any means in the same column (A) or row (a-b) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

Table 177. Color measurement on the *Salmonella typhimurium* in kale treated with aqueous ClO₂ during storage

Color parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
L	Control	39.40 ± 0.71 ^{Aa}	39.28 ± 0.55 ^{Aa}	39.77 ± 0.61 ^{Aa}	39.86 ± 0.45 ^{Aa}	40.13 ± 0.63 ^{Aa}
	Water	39.52 ± 0.59 ^{Aab}	39.47 ± 0.55 ^{Aab}	39.53 ± 0.61 ^{Aab}	38.99 ± 0.88 ^{Ab}	40.07 ± 0.73 ^{Aa}
	ClO ₂	39.98 ± 0.60 ^{Aab}	39.12 ± 0.65 ^{Ab}	39.18 ± 0.75 ^{Ab}	38.98 ± 0.63 ^{Ab}	40.18 ± 0.83 ^{Aa}
a	Control	-11.08 ± 0.57 ^{Aa}	-11.16 ± 0.43 ^{Aa}	-11.90 ± 0.71 ^{Aa}	-11.89 ± 0.71 ^{Aa}	-11.86 ± 0.66 ^{Aa}
	Water	-11.36 ± 0.82 ^{Aab}	-11.19 ± 0.66 ^{Aab}	-11.94 ± 0.34 ^{Ab}	-11.09 ± 0.46 ^{Aa}	-11.61 ± 0.28 ^{Aab}
	ClO ₂	-11.48 ± 0.30 ^{Aa}	-11.69 ± 0.30 ^{Aa}	-11.46 ± 0.30 ^{Aa}	-11.77 ± 0.46 ^{Aa}	-11.88 ± 0.32 ^{Aa}
b	Control	13.95 ± 0.93 ^{Aa}	14.66 ± 0.67 ^{Aa}	14.31 ± 0.46 ^{Aa}	14.60 ± 0.64 ^{Aa}	14.31 ± 0.60 ^{Aa}
	Water	14.61 ± 12.21 ^{Aa}	14.57 ± 0.37 ^{Aa}	14.13 ± 0.65 ^{Aa}	14.29 ± 0.62 ^{Aa}	14.12 ± 0.27 ^{Aa}
	ClO ₂	14.77 ± 0.55 ^{Aa}	14.76 ± 0.44 ^{Aa}	13.97 ± 0.52 ^{Ab}	14.82 ± 0.31 ^{Aa}	14.63 ± 0.41 ^{Aa}

¹⁾ Any means in the same column (A) or row (a-b) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

⌘ 178. Color measurement on the *E. coli* O157:H7 in kale treated with aqueous ClO₂ during storage

Color parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
L	Control	40.39 ± 0.43 ^{Ab}	40.17 ± 0.51 ^{Ab}	40.98 ± 0.57 ^{Aa}	40.49 ± 0.37 ^{Aab}	40.23 ± 0.09 ^{Ab}
	Water	40.03 ± 0.34 ^{Aa}	40.19 ± 0.67 ^{Aa}	39.99 ± 0.63 ^{Aa}	40.40 ± 0.41 ^{Aa}	40.46 ± 0.32 ^{Aa}
	ClO₂	40.19 ± 0.86 ^{Aa}	40.55 ± 0.38 ^{Aa}	40.33 ± 0.91 ^{Aa}	40.41 ± 0.43 ^{Aa}	40.69 ± 0.77 ^{Aa}
a	Control	-11.79 ± 0.76 ^{Aa}	-11.83 ± 0.11 ^{Aa}	-11.14 ± 0.65 ^{Aa}	-11.25 ± 0.60 ^{Aa}	-11.11 ± 0.44 ^{Aa}
	Water	-11.28 ± 0.52 ^{Aa}	-11.32 ± 0.29 ^{Aa}	-11.19 ± 0.93 ^{Aa}	-11.88 ± 0.81 ^{Aa}	-11.39 ± 0.78 ^{Aa}
	ClO₂	-11.07 ± 0.14 ^{Aab}	-11.51 ± 0.29 ^{Aab}	-10.96 ± 0.30 ^{Aa}	-11.60 ± 0.26 ^{Ab}	-11.35 ± 0.70 ^{Aab}
b	Control	14.50 ± 0.69 ^{Aab}	14.69 ± 0.19 ^{Aab}	14.97 ± 0.79 ^{Aa}	14.05 ± 0.79 ^{Ab}	14.15 ± 0.16 ^{Aab}
	Water	13.91 ± 0.78 ^{Ab}	14.15 ± 0.68 ^{Ab}	15.05 ± 0.42 ^{Aa}	14.53 ± 0.64 ^{Aab}	14.33 ± 0.35 ^{Aab}
	ClO₂	14.18 ± 0.67 ^{Aa}	14.13 ± 0.71 ^{Aa}	14.48 ± 0.78 ^{Aa}	14.82 ± 0.45 ^{Aa}	13.98 ± 0.40 ^{Aa}

¹⁾ Any means in the same column (A) or row (a-b) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

케일의 aqueous ClO₂ 처리 후 저장 중 외관적 상태, 향 및 종합적 기호도를 9점 기호 척도법으로 조사한 관능적 품질 특성에 대한 결과는 표 179-181과 같음. 식중독 균을 접종하지 않은 케일과 *S. Typhimurium*, *E. coli* O157:H7를 각각 접종한 케일 모두 각 시료의 관능적 품질에 대한 점수는 저장기간이 경과함에 따라 대조구를 포함하여 모든 처리구에서 전체적으로 낮아지는 경향을 나타냈음.

식중독균을 접종하지 않은 케일의 외관적 상태는 저장 1일까지 8점 이상의 높은 점수를 받았지만 처리구에 비해 대조구가 유의적으로 낮게 나타났음. 저장기간 3일 부터 5일까지 물 처리구와 aqueous ClO₂ 처리구가 대조구에 비해 높은 점수를 받았으며 저장 7일에는 aqueous ClO₂ 처리구가 대조구와 물 처리구 보다 유의적으로 높게 나타났음. 향은 대조구와 처리구 모두 저장 5일까지 8점 이상의 높은 점수를 받았고, 저장기간 동안 대조구와 처리구간 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났음. 종합적기호도는 저장 7일에 aqueous ClO₂ 처리구가 가장 높은 점수를 받아 대조구 및 물 처리구보다 높은 선호도를 보였음(표 797).

*S. Typhimurium*과 *E. coli* O157:H7를 각각 접종한 케일의 외관적 상태는 저장 1일 까지 대조구와 처리구 모두 8점 이상의 높은 점수를 보였고, 저장기간 동안 aqueous ClO₂ 처리구가 대조구와 물 처리구에 비해 유의적으로 높은 점수를 보였음. 향은 저장 3일 까지 대조구와 처리구 모두 8점 이상의 높은 점수를 받았고, 저장기간 동안 유의적인 차이는 없었음. 종합적 기호도 역시 저장 3일부터 aqueous ClO₂ 처리구가 다른 대조구나 처리구에 비해 높은 선호도를 보였음(표 181-182).

이러한 결과를 통해 케일에 적용된 aqueous ClO₂ 처리는 대조구, 물 처리구와 비교하여 외관적 품질에 많은 영향을 미치지 않는다고 생각됨.

179. Sensory evaluation of nonthermal treated on the total aerobic bacteria and yeast and molds in kale during storage

Organoleptic parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
Appearance	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa1)}	8.63 ± 0.52 ^{Ba}	6.88 ± 0.83 ^{Bb}	6.88 ± 0.83 ^{Bb}	6.00 ± 1.07 ^{Cc}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	7.50 ± 0.53 ^{Ab}	7.00 ± 0.53 ^{Ab}	6.45 ± 1.07 ^{Bc}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	7.50 ± 0.93 ^{Ab}	7.00 ± 0.76 ^{Ab}	6.88 ± 0.93 ^{Ac}
Odor	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	8.00 ± 0.76 ^{Ab}	7.25 ± 1.39 ^{Ac}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.00 ± 0.76 ^{Ab}	7.13 ± 1.64 ^{Ac}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.00 ± 0.76 ^{Ab}	7.13 ± 1.64 ^{Ac}
Overall	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.52 ^{Ba}	7.13 ± 0.99 ^{Bb}	6.88 ± 0.83 ^{Bb}	6.00 ± 1.07 ^{Cc}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	7.63 ± 0.74 ^{Ab}	7.00 ± 0.53 ^{Ab}	6.45 ± 1.07 ^{Bc}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	7.63 ± 0.74 ^{Ab}	7.00 ± 0.76 ^{Ab}	6.88 ± 0.93 ^{Ac}

1) Any means in the same column (A-C) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

☞ 180. Sensory evaluation of nonthermal treated on the *Salmonella typhimurium* in kale during storage

Organoleptic parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
Appearance	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa1)}	8.50 ± 0.52 ^{Ba}	6.80 ± 0.64 ^{Cb}	6.75 ± 0.76 ^{Cb}	6.50 ± 0.93 ^{Cb}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.50 ± 0.53 ^{Ba}	7.03 ± 0.64 ^{Bb}	6.88 ± 0.64 ^{Bb}	6.70 ± 0.83 ^{Bb}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.53 ^{Aa}	7.13 ± 0.64 ^{Ab}	7.00 ± 0.46 ^{Ab}	6.88 ± 0.83 ^{Ab}
Odor	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.63 ± 0.74 ^{Aab}	7.88 ± 0.99 ^{Abc}	7.13 ± 1.64 ^{Ab}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.63 ± 0.74 ^{Aab}	7.88 ± 0.99 ^{Abc}	7.25 ± 1.39 ^{Ac}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.50 ± 0.76 ^{Aab}	7.88 ± 0.99 ^{Abc}	7.25 ± 1.39 ^{Ac}
Overall	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.50 ± 0.52 ^{Ba}	6.80 ± 0.64 ^{Cb}	6.75 ± 0.76 ^{Cb}	6.38 ± 1.19 ^{Cb}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.50 ± 0.53 ^{Aa}	7.03 ± 0.83 ^{Bb}	6.75 ± 0.64 ^{Bb}	6.70 ± 0.83 ^{Bb}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.53 ^{Aa}	7.13 ± 0.46 ^{Ab}	7.00 ± 0.46 ^{Ab}	6.88 ± 0.83 ^{Ab}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

☒ 181. Sensory evaluation of nonthermal treated on the *E. coli* O157:H7 in kale during storage

Organoleptic parameter	Treatment	Storage Time (days)				
		0	1	3	5	7
Appearance	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa1)}	8.63 ± 0.52 ^{Ba}	7.13 ± 0.99 ^{Cb}	6.38 ± 0.74 ^{Cbc}	6.00 ± 0.93 ^{Bbc}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.52 ^{Ba}	7.25 ± 0.71 ^{Bb}	6.63 ± 0.71 ^{Bbc}	6.00 ± 0.74 ^{Bc}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	7.38 ± 0.52 ^{Ab}	6.75 ± 0.52 ^{Ac}	6.38 ± 0.76 ^{Ac}
Odor	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^A	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	7.88 ± 0.99 ^{Abc}	7.13 ± 1.64 ^{Ac}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	7.88 ± 0.99 ^{Ab}	7.25 ± 1.39 ^{Ab}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.88 ± 0.35 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aab}	8.00 ± 0.76 ^{Abc}	7.25 ± 1.39 ^{Ac}
Overall	Control	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.52 ^{Ba}	7.13 ± 0.99 ^{Cb}	6.38 ± 0.74 ^{Cbc}	6.00 ± 0.93 ^{Bbc}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.63 ± 0.52 ^{Ba}	7.25 ± 0.71 ^{Bb}	6.63 ± 0.71 ^{Bbc}	6.00 ± 0.74 ^{Bc}
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Aa}	8.75 ± 0.46 ^{Aa}	7.38 ± 0.52 ^{Ab}	6.75 ± 0.52 ^{Ac}	6.38 ± 0.76 ^{Ac}

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

(다) 치곤

① Aqueous ClO₂ 처리 및 combined treatment에 따른 치곤의 미생물 생육 변화

치곤을 물, aqueous ClO₂ 처리, aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리 후 저장 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 182, 183). 저장 초기 총 호기성 세균의 대조구는 5.86 log CFU/g이었고, 물로 침지한 처리구는 4.88 log CFU/g으로 0.98 log CFU/g의 초기 미생물 수 감소를 보였음. 총 호기성 세균은 aqueous ClO₂ 처리구에서 3.32 log CFU/g을 나타내어, 대조구에 비해 2.54 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음. 그리고 단일 electron beam 처리구에서는 2 kGy의 조사선량을 제외하고는 총 호기성 세균이 검출되지 않았으며, 2 kGy 조사선량에서는 3.25 log CFU/g을 나타내어 대조구와 비교해서 2.61 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음. aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리구에서는 모든 조사선량에서 총 호기성 세균이 검출되지 않았음(표 183). 한편, 효모 및 곰팡이는 대조구가 4.87 log CFU/g, 물 처리구가 4.56 log CFU/g으로 0.31 log CFU/g의 감균효과를 나타냈고, aqueous ClO₂ 처리구는 3.36 log CFU/g으로 1.51 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였으며, 단일 electron beam 처리구와 aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리구 모두에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음(표 183). 이러한 결과는 물과 aqueous ClO₂의 단일 처리보다 전자빔과 병합 처리가 미생물 수 감소에 효과적임을 보여줌.

치곤의 aqueous ClO₂, aqueous ClO₂와 전자빔 병합 처리에 의한 감균 효과는 저장 중에도 지속되었는데, 총 호기성 세균은 저장 11일 후 대조구의 미생물 수가 5.50 log CFU/g 인 반면에 aqueous ClO₂ 처리구는 4.33 log CFU/g을 나타내어 1.17 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였음. 또한 electron beam 2 kGy 처리구는 3.46 log CFU/g을 나타내어 2.04 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였고, 병합 처리구에서는 검출되지 않았음(표 182). 효모 및 곰팡이는 저장 11일 후 미생물 수가 4.85 log CFU/g이었고, aqueous ClO₂ 처리구는 3.41 log CFU/g으로 1.44 log CFU/g 미생물수가 감소하였음. 단일 electron beam 처리구와 aqueous ClO₂와 전자빔 병합 처리구는 11일 후에도 미생물이 검출되지 않았음(표 183).

☒ 182. Effect of nonthermal treatment on the total aerobic bacteria in chicon during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	2	5	8	11
Control	5.86 ±	5.70 ±	5.69 ±	5.54 ±	5.50 ±
	0.19 ^{Aa2)}	0.07 ^{Aab}	0.06 ^{Aabc}	0.14 ^{Abc}	0.21 ^{Ac}
Water	4.88 ±	5.13 ±	5.19 ± 0.11 ^{Ba}	5.22 ±	5.26 ±
	0.13 ^{Ba}	0.20 ^{Ba}		0.02 ^{Ba}	0.04 ^{Bb}
ClO ₂	3.32 ±	4.27 ±	4.14 ±	4.30 ±	4.33 ±
	0.19 ^{Ca}	0.03 ^{Cab}	0.12 ^{Cab}	0.02 ^{Cb}	0.04 ^{Cc}
Electron beam ¹⁾	3.25 ±	2.95 ±	3.28 ±	3.34 ±	3.46 ±
	0.15 ^{Ca}	0.05 ^{Dab}	0.13 ^{Dab}	0.18 ^{Db}	0.11 ^{Dc}
ClO ₂ + Electron beam	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

¹⁾ Electron beam: 2 kGy

²⁾ Any means in the same column (A-D) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

☒ 183. Effect of nonthermal treatment on the yeast and molds in chicon during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	2	5	8	11
Control	4.87 ± 0.15 ^{Aa2)}	4.86 ± 0.07 ^{Aa}	4.85 ± 0.10 ^{Aa}	4.84 ± 0.11 ^{Aa}	4.85 ± 0.09 ^{Aa}
Water	4.56 ± 0.48 ^{Aa}	4.68 ± 0.11 ^{Aa}	4.66 ± 0.07 ^{Aa}	4.66 ± 0.04 ^{Ba}	4.64 ± 0.03 ^{Ba}
ClO ₂	3.36 ± 0.32 ^{Ba}	3.45 ± 0.19 ^{Ba}	3.38 ± 0.16 ^{Ba}	3.39 ± 0.12 ^{Ca}	3.41 ± 0.10 ^{Ca}
Electron beam ¹⁾	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
ClO ₂ + Electron beam	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

¹⁾ Electron beam: 2, 5, 7, 10 kGy

²⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

(5) 신선편이식품의 미생물 저감화를 위한 Aqueous ClO₂ 세척과 전자빔 조사 등 combined nonthermal treatment 조건의 확립

(가) 적근대

① Aqueous ClO₂ 처리 및 combined treatment에 따른 적근대의 미생물 생육 변화

적근대를 물, aqueous ClO₂ 처리, aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리 후 저장 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 184,185). 저장 초기 총 호기성 세균의 대조구는 5.82 log CFU/g이었고, 물로 침지한 처리구는 5.20 log CFU/g으로 0.62 log CFU/g의 초기 미생물 수 감소를 보였음. 총 호기성 세균은 aqueous ClO₂ 처리구에서 3.82 log CFU/g을 나타내어, 대조구에 비해 2.00 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음. 그리고 단일 electron beam 처리구에서는 0.5, 1 kGy의 조사 선량을 제외하고는 총 호기성 세균이 검출 되지 않았으며, 0.5 kGy 조사선량에서는 3.81 log CFU/g, 1 kGy 조사선량에서는 3.32 log CFU/g을 나타내어 대조구와 비교해서 각각 2.01, 2.50 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음. aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리구에서는 모든 조사선량에서 총 호기성 세균이 검출되지 않았음(표 184). 한편, 효모 및 곰팡이는 대조구가 4.91 log CFU/g, 물 처리구가 4.21 log CFU/g으로 0.70 log CFU/g의 감균효과를 나타냈고, aqueous ClO₂ 처리구는 2.93 log CFU/g으로 1.98 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였으며, 단일 electron beam 처리구의 경우 0.5 kGy 조사 선량을 제외하고, 모든 조사선량에서 저장 초기 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음. 0.5 kGy 처리구의 효모 및 곰팡이는 2.78 log CFU/g으로 2.13 log CFU/g의 미생물 감소를 보였음. 반면에, aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리구 모두에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음(표 185). 이러한 결과는 물과 aqueous ClO₂의 단일 처리보다 전자빔과 병합 처리가 미생물 수 감소에 효과적임을 보여줌.

적근대의 aqueous ClO₂, aqueous ClO₂와 전자빔 병합 처리에 의한 감균 효과는 저장 중에도 지속되었는데, 총 호기성 세균은 저장 11일 후 대조구의 미생물 수가 6.27 log CFU/g 인 반면에 aqueous ClO₂ 처리구는 4.05 log CFU/g을 나타내어 2.22 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였음. 또한 electron beam 0.5, 1 kGy 처리구는 각각 4.42, 3.78 log CFU/g을 나타내어 1.85, 2.49 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였고, 병합 처리구에서는 검출되지 않았음(표 184). 효모 및 곰팡이는 저장 11일 후 미생물 수가 5.65 log CFU/g이었고, aqueous ClO₂ 처리구는 3.90 log CFU/g으로 1.75 log CFU/g 미생물수가 감소하였음. 단일 electron beam 처리구의 경우 0.5, 1 kGy 조사선량이 각각 4.08, 3.61 log CFU/g으로 대조구와 비교해 1.57, 2.04 log CFU/g의 미생물 감소를 보였으며, aqueous ClO₂와 전자빔 병합 처리구는 11일 후에도 미생물이 검출되지 않았음(표 185).

표 184. Effect of nonthermal treatment on the total aerobic bacteria in tred swiss chard during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	2	5	8	11
Control	5.82 ± 0.16 ^{Ac1)}	6.03 ± 0.05 ^{Ab}	6.05 ± 0.08 ^{Ab}	6.28 ± 0.03 ^{Aa}	6.27 ± 0.03 ^{Aa}
Water	5.20 ± 0.12 ^{Bc}	5.30 ± 0.05 ^{Bc}	5.44 ± 0.13 ^{Bb}	5.54 ± 0.07 ^{Bb}	5.74 ± 0.09 ^{Ba}
ClO ₂	3.82 ± 0.06 ^{Dc}	3.84 ± 0.10 ^{Dc}	3.89 ± 0.12 ^{Ebc}	3.96 ± 0.06 ^{Eab}	4.05 ± 0.07 ^{Ea}
E-beam 0.5 kGy	3.81 ± 0.10 ^{Dd}	4.02 ± 0.12 ^{Dc}	4.20 ± 0.20 ^{Db}	4.30 ± 0.01 ^{Dab}	4.42 ± 0.09 ^{Ba}
E-beam 1 kGy	3.32 ± 0.03 ^{Ec}	3.41 ± 0.13 ^{Ec}	3.42 ± 0.12 ^{Fbc}	3.54 ± 0.06 ^{Fb}	3.78 ± 0.05 ^{Fa}
ClO ₂ + Electron beam	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

1) Any means in the same column (A-F) or row (a-d) followed by different letters are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

표 185. Effect of nonthermal treatment on the yeast and molds in red swiss chard during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	2	5	8	11
Control	4.91 ± 0.02 ^{Ad1)}	5.04 ± 0.12 ^{Ac}	5.12 ± 0.09 ^{Ac}	5.41 ± 0.08 ^{Ab}	5.65 ± 0.08 ^{Aa}
Water	4.21 ± 0.15 ^{Bc}	4.38 ± 0.27 ^{Bc}	4.59 ± 0.10 ^{Bb}	4.85 ± 0.06 ^{Ba}	5.01 ± 0.04 ^{Ba}
ClO ₂	2.93 ± 0.14 ^{CDe}	3.11 ± 0.12 ^{Dd}	3.31 ± 0.10 ^{Ec}	3.64 ± 0.09 ^{Eb}	3.90 ± 0.08 ^{Da}
E-beam 0.5 kGy	2.78 ± 0.16 ^{DBe}	3.26 ± 0.16 ^{CDd}	3.48 ± 0.07 ^{Dc}	3.83 ± 0.11 ^{Db}	4.08 ± 0.10 ^{Ca}
E-beam 1 kGy	N/D	2.42 ± 0.39 ^{Ed}	2.95 ± 0.05 ^{Fc}	3.34 ± 0.08 ^{Fb}	3.61 ± 0.11 ^{Ea}
ClO ₂ + Electron beam	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

1) Any means in the same column (A-F) or row (a-e) followed by different letters are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

② Aqueous ClO₂ 처리 및 combined treatment에 따른 적근대의 품질 변화 분석

적근대의 대조구, 물, aqueous ClO₂, 전자빔 단일 처리 및 aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리된 시료의 색도를 색차계를 사용하여 Hunter L, a, b value를 측정 한 결과는 표 186와 같음.

적근대의 Hunter L value는 대조구를 비롯한 모든 처리구가 44 이상의 값으로 처리

구들 간의 유의적인 차이는 없었으며, 11일간의 저장기간 동안에도 대조구 및 처리구 간에 차이를 나타내지 않았음. a, b value 역시 L value와 마찬가지로 처리구 간의 차이가 없었고, 저장 중에도 유의적 차이는 보이지 않았음. 이러한 결과를 통해 aqueous ClO_2 전자빔 단일 처리 및 이들의 병합 처리는 적근대의 색도 변화에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각됨. 따라서 본 연구에서 사용된 비가열 처리는 적근대의 외관적 색도 품질 측면에서 부정적인 영향을 끼치지 않은 것으로 판단됨.

186. Change in Hunter color values of non thermal treated red swiss chard during storage at 4 °C

Color parameter	treatment	Storage time (days)				
		0	2	5	8	11
L	Control	43.99 ± 0.63 ^{Ab}	44.21 ± 1.46 ^{ABa}	44.23 ± 0.73 ^{Ba}	43.86 ± 0.91 ^{ABa}	43.88 ± 0.79 ^{Ab}
	Water	44.23 ± 1.29 ^{ABa}	43.95 ± 0.57 ^{ABa}	43.34 ± 0.70 ^{ABa}	44.90 ± 2.68 ^{ABa}	43.89 ± 0.84 ^{Ab}
	ClO ₂	44.31 ± 0.75 ^{ABab}	43.47 ± 0.73 ^{ABbc}	43.06 ± 0.56 ^{Bc}	44.59 ± 0.90 ^{ABa}	44.66 ± 0.60 ^{ABa}
	E-beam 0.5kGy	44.85 ± 0.63 ^{ABa}	44.42 ± 0.67 ^{ABab}	44.59 ± 1.71 ^{ABa}	43.10 ± 1.08 ^{Bb}	44.81 ± 0.99 ^{ABa}
	1kGy	44.99 ± 0.63 ^{ABa}	43.76 ± 1.13 ^{ABa}	43.81 ± 1.76 ^{ABa}	43.59 ± 1.10 ^{ABa}	43.93 ± 0.96 ^{ABa}
	3kGy	44.57 ± 1.25 ^{ABa}	44.50 ± 1.47 ^{ABa}	43.16 ± 0.72 ^{Ba}	44.93 ± 1.49 ^{ABa}	44.11 ± 1.63 ^{ABa}
	4kGy	44.96 ± 0.46 ^{ABa}	43.25 ± 1.80 ^{ABc}	43.42 ± 0.47 ^{ABbc}	45.85 ± 0.60 ^{ABbc}	43.74 ± 1.41 ^{ABbc}
	ClO ₂ + 0.5kGy	44.94 ± 0.58 ^{ABab}	43.92 ± 1.52 ^{ABab}	43.19 ± 0.63 ^{Bb}	45.30 ± 1.14 ^{ABa}	44.79 ± 0.64 ^{ABa}
	ClO ₂ + 1kGy	44.98 ± 0.85 ^{ABa}	44.47 ± 0.97 ^{ABa}	43.10 ± 0.29 ^{Bb}	45.89 ± 0.39 ^{ABa}	44.88 ± 0.99 ^{ABa}
	ClO ₂ + 3kGy	44.93 ± 0.46 ^{ABa}	43.74 ± 0.82 ^{ABbc}	43.04 ± 0.86 ^{Bc}	43.32 ± 0.58 ^{ABc}	44.71 ± 1.19 ^{ABa}
	ClO ₂ + 4kGy	44.80 ± 0.50 ^{ABa}	44.61 ± 0.62 ^{ABab}	43.33 ± 1.15 ^{ABb}	44.15 ± 1.08 ^{ABab}	44.15 ± 1.08 ^{ABab}
	a	Control	-15.59 ± 1.23 ^{Aa}	-15.14 ± 0.49 ^{ABa}	-15.94 ± 0.87 ^{Ba}	-15.60 ± 0.52 ^{BCa}
Water		-14.88 ± 0.95 ^{Aa}	-15.91 ± 0.49 ^{Ba}	-15.68 ± 0.48 ^{ABa}	-15.84 ± 1.08 ^{Ca}	-15.42 ± 1.24 ^{ABa}
ClO ₂		-15.22 ± 1.06 ^{Aa}	-15.92 ± 0.30 ^{Ba}	-15.91 ± 0.41 ^{Ba}	-15.86 ± 0.60 ^{Ca}	-15.83 ± 0.74 ^{ABa}
E-beam 0.5kGy		-14.58 ± 1.19 ^{Aa}	-15.31 ± 0.48 ^{Aa}	-15.48 ± 1.48 ^{ABa}	-15.73 ± 0.70 ^{BCa}	-15.82 ± 0.96 ^{Ba}
1kGy		-14.94 ± 1.09 ^{Aa}	-15.84 ± 1.02 ^{ABa}	-15.85 ± 0.79 ^{ABa}	-15.77 ± 1.11 ^{BCa}	-15.60 ± 0.91 ^{ABa}
3kGy		-15.06 ± 0.52 ^{ABab}	-15.76 ± 0.65 ^{ABb}	-14.72 ± 0.76 ^{ABab}	-14.16 ± 0.74 ^{Aa}	-14.38 ± 1.18 ^{ABab}
4kGy		-15.37 ± 1.11 ^{Aa}	-15.52 ± 0.75 ^{ABa}	-14.65 ± 0.59 ^{ABa}	-14.32 ± 0.36 ^{Aa}	-14.44 ± 1.11 ^{Aa}
ClO ₂ + 0.5kGy		-14.72 ± 0.30 ^{Aa}	-15.00 ± 0.85 ^{ABa}	-15.38 ± 1.55 ^{ABa}	-14.75 ± 0.64 ^{ABa}	-14.81 ± 0.59 ^{ABa}
ClO ₂ + 1kGy		-15.19 ± 0.98 ^{Aa}	-14.83 ± 1.22 ^{ABa}	-15.07 ± 1.63 ^{ABa}	-15.83 ± 0.39 ^{Ca}	-15.25 ± 1.19 ^{ABa}
ClO ₂ + 3kGy		-15.11 ± 0.67 ^{Aa}	-15.38 ± 1.69 ^{ABa}	-15.10 ± 0.62 ^{ABa}	-14.09 ± 0.42 ^{ABa}	-15.31 ± 0.78 ^{ABa}
ClO ₂ + 4kGy		-15.08 ± 1.05 ^{ABab}	-15.88 ± 1.18 ^{Bb}	-14.39 ± 0.75 ^{Aa}	-14.09 ± 0.51 ^{ABa}	-14.79 ± 0.51 ^{ABab}
b		Control	23.79 ± 0.62 ^{Cc}	23.17 ± 0.44 ^{BCc}	24.07 ± 0.73 ^{BCc}	25.53 ± 1.57 ^{ABa}
	Water	24.95 ± 0.44 ^{Aa}	24.93 ± 1.35 ^{ABa}	25.53 ± 0.51 ^{ABa}	25.07 ± 1.09 ^{ABa}	25.06 ± 1.29 ^{Aa}
	ClO ₂	24.78 ± 0.88 ^{ABab}	24.13 ± 1.63 ^{ABCb}	24.84 ± 1.23 ^{ABCb}	25.84 ± 0.55 ^{Aa}	25.50 ± 1.50 ^{ABab}
	E-beam 0.5kGy	24.96 ± 0.91 ^{Aa}	23.62 ± 1.37 ^{ABCb}	25.90 ± 1.38 ^{Aa}	25.53 ± 0.23 ^{ABa}	25.21 ± 0.45 ^{ABa}
	1kGy	24.58 ± 0.32 ^{ABCa}	24.69 ± 1.26 ^{ABa}	24.55 ± 1.44 ^{ABCa}	24.38 ± 1.09 ^{ABa}	25.38 ± 0.93 ^{ABa}
	3kGy	24.01 ± 0.79 ^{BCa}	25.17 ± 1.13 ^{Aa}	24.14 ± 0.56 ^{ABCa}	24.36 ± 0.98 ^{ABa}	24.68 ± 0.81 ^{Aa}
	4kGy	23.84 ± 0.44 ^{Ca}	24.80 ± 0.99 ^{ABCb}	24.73 ± 1.24 ^{ABCa}	24.12 ± 0.93 ^{Ba}	24.72 ± 0.78 ^{Aa}
	ClO ₂ + 0.5kGy	24.95 ± 0.37 ^{ABa}	23.66 ± 0.89 ^{ABCb}	24.44 ± 1.80 ^{ABCa}	24.38 ± 0.87 ^{ABa}	25.48 ± 1.60 ^{ABa}
	ClO ₂ + 1kGy	24.83 ± 1.01 ^{ABa}	23.93 ± 1.30 ^{ABCb}	24.45 ± 2.62 ^{ABCa}	25.64 ± 0.54 ^{ABa}	25.43 ± 0.45 ^{ABa}
	ClO ₂ + 3kGy	24.07 ± 0.35 ^{ABCab}	23.04 ± 1.80 ^{Bb}	24.30 ± 1.45 ^{ABCb}	24.32 ± 0.77 ^{ABab}	24.40 ± 0.37 ^{ABa}
	ClO ₂ + 4kGy	24.37 ± 0.34 ^{ABCa}	24.80 ± 1.06 ^{ABCa}	24.18 ± 0.46 ^{Bb}	24.51 ± 0.84 ^{ABa}	24.56 ± 0.28 ^{ABa}

1) Any means in the same column (A-C) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

적근대에 물, aqueous ClO_2 , 전자빔 단일 처리 및 aqueous ClO_2 와 전자빔 조사 병합 처리 후 저장 중 외관적 상태, 향 및 종합적 기호도를 9점 기호척도법으로 조사한 관능적 품질 특성에 대한 결과는 표 187과 같음. 적근대의 관능적 품질에 대한 점수는 저장 기간이 경과함에 따라 대조구 및 모든 처리구에서 전체적으로 낮아지는 경향을 나타냈음. 적근대의 외관적 상태의 경우 저장 11일 후, 5점 이상의 점수로 대조구와 비교하여 처리구 간의 유의적 차이가 없었음. 또한, 향과 종합적 기호도 역시 외관적 상태와 마찬가지로 5점 이상의 점수로 대조구와 처리구 간의 차이는 나타나지 않았음. 이러한 결과를 통해 적근대에 적용된 aqueous ClO_2 , 전자빔 단일 및 병합 처리는 대조구와 비교하여 외관적 품질에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각됨. 따라서 본 연구에 사용된 aqueous ClO_2 와 전자빔 단일 처리 또는 전자빔의 병합 처리가 신선 채소인 적근대의 저장 중에 품질을 유지하면서 미생물 오염의 위험을 감소시킬 수 있는 효과적인 처리기술이라고 판단됨.

‡ 187. Sensory evaluation of nonthermal treated red swiss chard during storage at 4 °C

Sensory attributes	treatment	Storage time (days)					
		0	2	5	8	11	
Appearance	Control	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.50 ± 0.53 ^{ABab}	8.13 ± 0.64 ^{Ab}	7.00 ± 1.07 ^{Ac}	6.13 ± 1.13 ^{Ad}	
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{ABab}	8.25 ± 0.71 ^{Ab}	7.00 ± 0.76 ^{Ac}	6.13 ± 1.13 ^{Ad}	
	ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.25 ± 0.46 ^{Ab}	7.00 ± 0.76 ^{Ac}	6.00 ± 1.07 ^{Ad}	
	E-beam 0.5kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{ABa}	7.88 ± 0.99 ^{ABb}	6.88 ± 1.25 ^{Ac}	5.25 ± 1.04 ^{Ad}	
	1kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{ABa}	7.88 ± 0.99 ^{ABb}	6.50 ± 1.31 ^{Ac}	5.38 ± 1.06 ^{Ad}	
	3kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{ABa}	7.50 ± 0.76 ^{ABCb}	6.50 ± 0.76 ^{Ac}	5.25 ± 0.71 ^{Ad}	
	4kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	7.50 ± 0.76 ^{ABCb}	6.25 ± 0.89 ^{Ac}	5.00 ± 0.53 ^{Ad}	
	ClO ₂ + 0.5kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	7.25 ± 0.46 ^{BCb}	6.25 ± 1.28 ^{Ac}	5.25 ± 1.04 ^{Ad}	
	ClO ₂ + 1kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.63 ± 0.52 ^{ABa}	7.00 ± 0.76 ^{Cb}	6.25 ± 0.71 ^{Ac}	5.38 ± 0.52 ^{Ad}	
	ClO ₂ + 3kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{ABa}	6.88 ± 0.64 ^{Cb}	6.00 ± 0.76 ^{Ac}	5.00 ± 0.53 ^{Ad}	
	ClO ₂ + 4kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.38 ± 0.74 ^{ABa}	6.88 ± 0.64 ^{Cb}	6.00 ± 0.76 ^{Ac}	5.25 ± 1.75 ^{Ad}	
	Odor	Control	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.63 ± 0.52 ^{ABa}	8.25 ± 0.46 ^{Ab}	7.00 ± 1.07 ^{Ab}	5.88 ± 1.13 ^{Ac}
		Water	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	8.25 ± 0.71 ^{Ab}	7.25 ± 1.04 ^{Ab}	5.88 ± 1.13 ^{Ac}
		ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{ABa}	8.38 ± 0.52 ^{Ab}	7.25 ± 1.04 ^{Ab}	5.88 ± 0.99 ^{Ac}
E-beam 0.5kGy		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	8.00 ± 1.07 ^{Ab}	7.00 ± 1.51 ^{Ab}	5.25 ± 1.16 ^{Ac}	
1kGy		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	8.00 ± 1.07 ^{Ab}	6.88 ± 1.64 ^{Ab}	5.38 ± 1.19 ^{Ac}	
3kGy		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABab}	8.00 ± 0.93 ^{Ab}	7.00 ± 1.31 ^{Ac}	5.38 ± 0.74 ^{Ad}	
4kGy		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	7.75 ± 0.89 ^{Ab}	6.88 ± 1.25 ^{Ac}	5.25 ± 0.89 ^{Ad}	
ClO ₂ + 0.5kGy		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.63 ± 0.52 ^{ABa}	8.00 ± 0.93 ^{Ab}	6.75 ± 1.58 ^{Ab}	5.38 ± 1.19 ^{Ac}	
ClO ₂ + 1kGy		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.63 ± 0.52 ^{ABab}	8.00 ± 0.93 ^{Ab}	7.00 ± 1.31 ^{Ac}	5.50 ± 0.76 ^{Ad}	
ClO ₂ + 3kGy		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{ABab}	7.88 ± 0.99 ^{Ab}	6.88 ± 1.46 ^{Ac}	5.38 ± 0.74 ^{Ad}	
ClO ₂ + 4kGy		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{ABa}	7.88 ± 0.99 ^{Ab}	6.88 ± 1.46 ^{Ac}	5.75 ± 1.58 ^{Ad}	
Overall acceptability		Control	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.50 ± 0.53 ^{ABa}	8.25 ± 0.71 ^{ABa}	7.00 ± 1.07 ^{Ab}	6.00 ± 1.20 ^{Ac}
		Water	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	8.25 ± 0.71 ^{ABa}	7.00 ± 0.76 ^{Ab}	6.00 ± 1.20 ^{Ac}
		ClO ₂	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{ABa}	8.38 ± 0.52 ^{Ab}	7.00 ± 0.76 ^{Ab}	6.00 ± 1.07 ^{Ac}
	E-beam 0.5kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{ABa}	7.88 ± 0.99 ^{ABCb}	6.75 ± 1.28 ^{Ac}	5.25 ± 1.04 ^{Ad}	
	1kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABab}	7.88 ± 0.99 ^{ABCb}	6.63 ± 1.30 ^{Ac}	5.38 ± 1.06 ^{Ad}	
	3kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	7.50 ± 0.76 ^{BcDb}	6.63 ± 0.74 ^{Ac}	5.25 ± 0.71 ^{Ad}	
	4kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.71 ^{ABa}	7.50 ± 0.76 ^{BcDb}	6.25 ± 0.71 ^{Ac}	4.88 ± 0.64 ^{Ad}	
	ClO ₂ + 0.5kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{ABa}	7.38 ± 0.52 ^{CDb}	6.13 ± 1.25 ^{Ac}	5.25 ± 1.04 ^{Ad}	
	ClO ₂ + 1kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.63 ± 0.52 ^{ABa}	7.13 ± 0.83 ^{CDb}	6.38 ± 0.92 ^{Ac}	5.38 ± 0.52 ^{Ad}	
	ClO ₂ + 3kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{ABa}	7.00 ± 0.76 ^{Cb}	6.13 ± 0.99 ^{Ac}	5.00 ± 0.53 ^{Ad}	
	ClO ₂ + 4kGy	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{ABa}	7.00 ± 0.76 ^{Cb}	6.13 ± 0.99 ^{Ac}	5.25 ± 1.75 ^{Ad}	

¹⁾ Any means in the same column (A-C) or row (a-d) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

(나) 다채

① Aqueous ClO₂ 처리 및 combined treatment에 따른 다채의 미생물 생육 변화

다채를 물, aqueous ClO₂ 처리, aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리 후 저장 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 188, 189). 저장 초기 총 호기성 세균의 대조구는 5.56 log CFU/g이었고, 물로 침지한 처리구는 5.20 log CFU/g으로 0.36 log CFU/g의 초기 미생물 수 감소를 보였음. 총 호기성 세균은 aqueous ClO₂ 처리구에서 3.59 log CFU/g을 나타내어, 대조구에 비해 1.97 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음. 그리고 단일 electron beam 처리구에서는 0.5, 1 kGy의 조사선량을 제외하고는 총 호기성 세균이 검출되지 않았으며, 0.5 kGy 조사선량에서는 3.48 log CFU/g, 1 kGy 조사선량에서는 2.68 log CFU/g을 나타내어 대조구와 비교해서 각각 2.08, 2.88 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈음. aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리구에서는 모든 조사선량에서 총 호기성 세균이 검출되지 않았음(표 188). 한편, 효모 및 곰팡이는 대조구가 3.52 log CFU/g, 물 처리구가 3.18 log CFU/g으로 0.34 log CFU/g의 감균효과를 나타냈고, aqueous ClO₂ 처리구는 2.15 log CFU/g으로 1.37 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였으며, 단일 electron beam 처리구의 경우 0.5 kGy 조사선량을 제외하고, 모든 조사선량에서 저장 초기 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음. 0.5 kGy 처리구의 효모 및 곰팡이는 2.20 log CFU/g으로 1.32 log CFU/g의 미생물 감소를 보였음. 반면에, aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리구 모두에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음(표 189). 이러한 결과는 물과 aqueous ClO₂의 단일 처리보다 전자빔과 병합 처리가 미생물 수 감소에 효과적임을 보여줌.

다채의 aqueous ClO₂, aqueous ClO₂와 전자빔 병합 처리에 의한 감균 효과는 저장 중에도 지속되었는데, 총 호기성 세균은 저장 11일 후 대조구의 미생물 수가 6.33 log CFU/g 인 반면에 aqueous ClO₂ 처리구는 4.50 log CFU/g을 나타내어 1.83 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였음. 또한 electron beam 0.5, 1 kGy 처리구는 각각 4.66, 3.94 log CFU/g을 나타내어 1.67, 2.39 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였고, 병합 처리구에서는 검출되지 않았음(표 188). 효모 및 곰팡이는 저장 11일 후 미생물 수가 3.95 log CFU/g이었고, aqueous ClO₂ 처리구는 3.24 log CFU/g으로 0.71 log CFU/g 미생물수가 감소하였음. 단일 electron beam 처리구의 경우 0.5 kGy 조사선량이 3.49 log CFU/g으로 대조구와 비교해 0.46 log CFU/g의 미생물 감소를 보였으며, 나머지 조사선량에서는 미생물이 검출되지 않았음. 또한, aqueous ClO₂와 전자빔 병합 처리구 역시 11일 후에도 미생물이 검출되지 않았음(표 189).

표 188. Effect of nonthermal treatment on the total aerobic bacteria in tah tasai chinese cabbage during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	2	5	8	11
Control	5.56 ± 0.10 ^{Acl}	5.64 ± 0.06 ^{Ac}	6.14 ± 0.06 ^{Ab}	6.29 ± 0.03 ^{Aa}	6.33 ± 0.05 ^{Aa}
Water	5.20 ± 0.08 ^{Bd}	5.35 ± 0.06 ^{Bc}	5.52 ± 0.13 ^{Bb}	5.78 ± 0.06 ^{Ba}	5.80 ± 0.08 ^{Ba}
ClO ₂	3.59 ± 0.12 ^{Dd}	3.87 ± 0.06 ^{Ec}	3.99 ± 0.06 ^{Eb}	4.39 ± 0.08 ^{Ea}	4.50 ± 0.12 ^{Ea}
E-beam 0.5 kGy	3.48 ± 0.10 ^{Dd}	4.01 ± 0.05 ^{Dc}	4.21 ± 0.12 ^{Db}	4.59 ± 0.02 ^{Da}	4.66 ± 0.06 ^{Da}
E-beam 1 kGy	2.68 ± 0.14 ^{Bd}	3.32 ± 0.12 ^{Fc}	3.57 ± 0.09 ^{Fb}	3.89 ± 0.05 ^{Fa}	3.94 ± 0.04 ^{Fa}
ClO ₂ + Electron beam	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

¹⁾ Any means in the same column (A-F) or row (a-d) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

표 189. Effect of nonthermal treatment on the yeast and molds in tah tasai chinese cabbage during storage

(Log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	2	5	8	11
Control	3.52 ± 0.15 ^{Ab1}	3.64 ± 0.16 ^{Ab}	3.81 ± 0.06 ^{Aa}	3.86 ± 0.06 ^{Aa}	3.95 ± 0.04 ^{Aa}
Water	3.18 ± 0.09 ^{Bc}	3.20 ± 0.05 ^{Bc}	3.38 ± 0.08 ^{Bb}	3.55 ± 0.06 ^{Ba}	3.64 ± 0.04 ^{Ba}
ClO ₂	2.15 ± 0.21 ^{Dc}	2.62 ± 0.28 ^{Cb}	3.00 ± 0.04 ^{Da}	3.11 ± 0.13 ^{Da}	3.24 ± 0.12 ^{Da}
E-beam 0.5 kGy	2.20 ± 0.17 ^{Dd}	2.45 ± 0.21 ^{Cc}	3.19 ± 0.11 ^{Cb}	3.36 ± 0.07 ^{Cab}	3.49 ± 0.02 ^{Ca}
E-beam 1 kGy	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
ClO ₂ + Electron beam	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

¹⁾ Any means in the same column (A-D) or row (a-d) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

㉔ Aqueous ClO₂ 처리 및 combined treatment에 따른 다채의 품질 변화 분석

다채의 대조구, 물, aqueous ClO₂, 전자빔 단일 처리 및 aqueous ClO₂와 전자빔 조사 병합 처리된 시료의 색도를 색차계를 사용하여 Hunter L, a, b value를 측정된 결과는 표 168과 같음.

다채의 저장 초기 Hunter L value는 대조구와 물 처리구, aqueous ClO₂ 처리구, 전자빔 단일 처리 및 병합 처리구 모두 40 이상의 값으로 처리구간 차이는 없었음. 다채 저장기간 동안 L value는 40 이상의 값을 유지하였고, 큰 변화는 없었음. 또한, 각 처리구

간 유의적인 차이를 보이지 않았음. 다채의 a value는 저장초기 대조구와 처리구 모두 -13 이하의 값을 보였고, 유의적인 차이가 없었음. 저장기간 동안 a 값 역시 -13 이하를 유지했으며, 처리구 간에 차이는 없었음. b value 역시 저장초기 대조구와 처리구 모두 20 이상의 값을 나타내며 각 처리구 간의 유의적인 차이를 보이지 않았고, 저장기간 중 대조구와 처리구간 유의적인 차이는 없었음. 이러한 결과를 통해 물과 aqueous ClO₂ 처리, 전자빔 단일 처리 및 이들의 병합처리는 다채의 색도 변화에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각됨(표 190).

따라서 본 연구에서 사용된 aqueous ClO₂와 전자빔 조사 처리는 다채가 지니는 고유 색과 관련된 외관적 색도 품질 측면에서 부정적인 영향을 미치지 않은 것으로 판단됨.

190. Change in Hunter color values of non thermal treated tah tasai chinese cabbage during storage at 4 °C

Color parameter	treatment	Storage time (days)				
		0	2	5	8	11
L	Control	40.85 ± 2.40 ^{Ab}	39.86 ± 1.22 ^{Ab}	40.00 ± 0.66 ^{Ab}	41.21 ± 1.81 ^{Ab}	41.50 ± 1.01 ^{Ab}
	Water	39.55 ± 1.50 ^{Ab}	40.92 ± 0.80 ^{Ab}	40.81 ± 1.36 ^{Ab}	41.20 ± 1.82 ^{Ab}	41.27 ± 0.98 ^{Ab}
	ClO ₂	39.54 ± 0.15 ^{Ab}	40.24 ± 1.62 ^{Ab}	39.69 ± 1.03 ^{Ab}	40.95 ± 1.85 ^{Ab}	39.99 ± 1.52 ^{Ab}
	E-beam 0.5kGy	39.96 ± 0.42 ^{Ab}	40.78 ± 1.30 ^{Ab}	39.62 ± 0.73 ^{Ab}	41.29 ± 1.41 ^{Ab}	41.16 ± 1.00 ^{Ab}
	1kGy	40.79 ± 1.22 ^{Ab}	41.38 ± 1.93 ^{Ab}	40.48 ± 2.04 ^{Ab}	40.94 ± 0.76 ^{Ab}	40.75 ± 0.51 ^{Ab}
	3kGy	40.24 ± 1.96 ^{Ab}	40.10 ± 1.08 ^{Ab}	40.90 ± 1.86 ^{Ab}	41.22 ± 0.60 ^{Ab}	39.87 ± 0.63 ^{Ab}
	4kGy	40.89 ± 0.82 ^{Ab}	40.76 ± 0.96 ^{Ab}	40.17 ± 1.37 ^{Ab}	39.91 ± 0.63 ^{Ab}	40.49 ± 1.02 ^{Ab}
	ClO ₂ + 0.5kGy	40.77 ± 0.85 ^{Ab}	41.59 ± 1.43 ^{Ab}	39.94 ± 0.67 ^{Ab}	40.55 ± 1.00 ^{Ab}	40.37 ± 0.31 ^{Ab}
	ClO ₂ + 1kGy	40.87 ± 0.88 ^{Ab}	40.60 ± 1.25 ^{Ab}	40.11 ± 1.70 ^{Ab}	39.80 ± 1.06 ^{Ab}	40.93 ± 0.85 ^{Ab}
	ClO ₂ + 3kGy	40.69 ± 0.30 ^{Ab}	40.58 ± 0.28 ^{Ab}	40.32 ± 1.09 ^{Ab}	40.02 ± 0.52 ^{Ab}	40.89 ± 0.74 ^{Ab}
	ClO ₂ + 4kGy	40.78 ± 0.59 ^{Ab}	40.60 ± 0.29 ^{Ab}	39.08 ± 1.01 ^{Ab}	40.11 ± 0.70 ^{Ab}	40.71 ± 0.96 ^{Ab}
	a	Control	-13.54 ± 1.22 ^{Ab}	-12.53 ± 1.06 ^{Ab}	-13.33 ± 0.48 ^{Ab}	-12.94 ± 1.15 ^{Ab}
Water		-13.21 ± 0.41 ^{Ab}	-12.38 ± 0.66 ^{Ab}	-12.68 ± 0.46 ^{Ab}	-12.74 ± 1.13 ^{Ab}	-13.39 ± 0.33 ^{Ab}
ClO ₂		-13.78 ± 0.42 ^{Ab}	-12.74 ± 1.38 ^{Ab}	-13.27 ± 0.46 ^{Ab}	-13.02 ± 1.09 ^{Ab}	-13.46 ± 0.20 ^{Ab}
E-beam 0.5kGy		-13.16 ± 0.71 ^{Ab}	-12.71 ± 1.22 ^{Ab}	-13.00 ± 0.60 ^{Ab}	-13.55 ± 0.27 ^{Ab}	-13.58 ± 0.27 ^{Ab}
1kGy		-13.51 ± 0.10 ^{Ab}	-12.62 ± 1.32 ^{Ab}	-13.00 ± 0.49 ^{Ab}	-13.35 ± 0.32 ^{Ab}	-13.15 ± 0.44 ^{Ab}
3kGy		-13.75 ± 0.18 ^{Ab}	-13.13 ± 0.63 ^{Ab}	-13.09 ± 0.73 ^{Ab}	-13.72 ± 0.15 ^{Ab}	-12.97 ± 0.53 ^{Ab}
4kGy		-13.73 ± 0.41 ^{Ab}	-13.14 ± 0.70 ^{Ab}	-13.22 ± 0.55 ^{Ab}	-13.42 ± 0.24 ^{Ab}	-13.50 ± 0.34 ^{Ab}
ClO ₂ + 0.5kGy		-13.35 ± 1.30 ^{Ab}	-12.81 ± 0.48 ^{Ab}	-12.92 ± 0.67 ^{Ab}	-13.62 ± 0.37 ^{Ab}	-13.21 ± 0.61 ^{Ab}
ClO ₂ + 1kGy		-13.16 ± 0.48 ^{Ab}	-13.19 ± 0.61 ^{Ab}	-13.04 ± 0.62 ^{Ab}	-13.64 ± 0.19 ^{Ab}	-13.00 ± 0.41 ^{Ab}
ClO ₂ + 3kGy		-13.02 ± 0.88 ^{Ab}	-13.51 ± 0.43 ^{Ab}	-12.75 ± 0.73 ^{Ab}	-13.26 ± 0.21 ^{Ab}	-13.15 ± 0.21 ^{Ab}
ClO ₂ + 4kGy		-13.59 ± 0.31 ^{Ab}	-12.90 ± 0.73 ^{Ab}	-12.86 ± 0.64 ^{Ab}	-13.62 ± 0.30 ^{Ab}	-13.40 ± 0.28 ^{Ab}
b		Control	21.06 ± 2.82 ^{Ab}	20.14 ± 1.36 ^{Ab}	21.40 ± 0.92 ^{Ab}	21.86 ± 2.11 ^{Ab}
	Water	20.61 ± 0.96 ^{Ab}	20.38 ± 1.93 ^{Ab}	20.10 ± 0.41 ^{Ab}	21.63 ± 2.54 ^{Ab}	20.86 ± 1.49 ^{Ab}
	ClO ₂	20.88 ± 1.13 ^{Ab}	20.69 ± 0.97 ^{Ab}	21.84 ± 1.12 ^{Ab}	21.17 ± 2.42 ^{Ab}	20.36 ± 0.22 ^{Ab}
	E-beam 0.5kGy	20.35 ± 0.35 ^{Ab}	20.79 ± 2.24 ^{Ab}	20.55 ± 1.43 ^{Ab}	20.30 ± 1.82 ^{Ab}	19.75 ± 0.57 ^{Ab}
	1kGy	21.04 ± 1.65 ^{Ab}	20.37 ± 1.50 ^{Ab}	20.71 ± 1.84 ^{Ab}	20.93 ± 1.63 ^{Ab}	19.56 ± 1.14 ^{Ab}
	3kGy	21.19 ± 0.70 ^{Ab}	21.62 ± 1.78 ^{Ab}	20.53 ± 1.87 ^{Ab}	20.51 ± 1.96 ^{Ab}	21.27 ± 2.04 ^{Ab}
	4kGy	21.11 ± 0.58 ^{Ab}	21.06 ± 2.23 ^{Ab}	19.71 ± 0.34 ^{Ab}	20.79 ± 1.60 ^{Ab}	20.05 ± 0.66 ^{Ab}
	ClO ₂ + 0.5kGy	21.15 ± 2.67 ^{Ab}	20.75 ± 2.18 ^{Ab}	21.53 ± 1.44 ^{Ab}	20.11 ± 2.04 ^{Ab}	19.85 ± 1.82 ^{Ab}
	ClO ₂ + 1kGy	20.26 ± 1.85 ^{Ab}	20.62 ± 1.57 ^{Ab}	21.38 ± 1.30 ^{Ab}	20.92 ± 1.93 ^{Ab}	20.52 ± 0.32 ^{Ab}
	ClO ₂ + 3kGy	20.77 ± 1.73 ^{Ab}	20.12 ± 1.21 ^{Ab}	21.71 ± 1.06 ^{Ab}	20.47 ± 2.02 ^{Ab}	20.24 ± 0.42 ^{Ab}
	ClO ₂ + 4kGy	20.93 ± 0.76 ^{Ab}	20.85 ± 1.78 ^{Ab}	21.26 ± 1.19 ^{Ab}	21.35 ± 1.12 ^{Ab}	20.57 ± 1.18 ^{Ab}

¹⁾ Any means in the same column (A-B) or row (a-b) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

다체에 물, aqueous ClO_2 , 전자빔 단일 처리 및 aqueous ClO_2 와 전자빔 조사 병합 처리 후 저장 중 외관적 상태, 향 및 종합적 기호도를 9점 기호척도법으로 조사한 관능적 품질 특성에 대한 결과는 표 191과 같음. 다체의 관능적 품질에 대한 점수는 저장기간이 경과함에 따라 대조구 및 모든 처리구에서 전체적으로 낮아지는 경향을 나타냈음. 다체의 외관적 상태의 경우 저장 11일 후, aqueous ClO_2 와 전자빔 조사 4 kGy의 병합 처리구가 5점의 점수로 가장 낮은 점수를 나타냈으며, 나머지 처리구에서는 5점 이상의 점수로 대조구와 비교하여 처리구 간의 유의적 차이가 없었음. 또한, 향과 종합적 기호도 역시 외관적 상태와 마찬가지로 aqueous ClO_2 와 4 kGy 전자빔 조사 병합 처리구가 가장 낮은 점수를 나타냈으며, 나머지 처리구에서는 대조구와 처리구 간의 차이는 나타나지 않았음. 이러한 결과를 통해 다체에 적용된 aqueous ClO_2 , 전자빔 단일 및 병합 처리는 대조구와 비교하여 외관적 품질에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각되며, aqueous ClO_2 와 병합 처리 시에 전자빔 조사는 3 kGy이 이하의 조사선량을 사용하는 것이 효과적이라고 생각됨. 따라서 본 연구에 사용된 aqueous ClO_2 와 전자빔 단일 처리 또는 전자빔의 병합 처리가 신선 채소인 다체의 저장 중에 품질을 유지하면서 미생물 오염의 위험을 감소시킬 수 있는 효과적인 처리기술이라고 판단됨.

191. Sensory evaluation of nonthermal treated tah tasai chinese cabbage during storage at 4 °C

Sensory attributes	treatment	Storage time (days)				
		0	2	5	8	11
Appearance	Control	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.25 ± 0.71 ^{Ab}	7.75 ± 0.89 ^{Ab}	6.75 ± 1.16 ^{Ac}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	8.13 ± 0.83 ^{Ab}	7.63 ± 1.06 ^{Ab}	6.63 ± 1.19 ^{Ac}
	ClO ₂	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.13 ± 0.83 ^{Ab}	7.88 ± 0.83 ^{ABc}	7.38 ± 0.92 ^{ABc}	6.50 ± 1.20 ^{Ac}
	E-beam 0.5kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.13 ± 0.35 ^{Ab}	7.38 ± 0.52 ^{ABc}	6.63 ± 0.92 ^{ABd}
	1kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	8.00 ± 0.53 ^{ABb}	7.38 ± 0.52 ^{ABc}	6.50 ± 0.93 ^{ABd}
	3kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.50 ± 0.53 ^{Ab}	7.63 ± 0.92 ^{ABc}	7.00 ± 0.53 ^{BCD}	6.00 ± 1.07 ^{ABc}
	4kGy	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	8.38 ± 0.92 ^{Ab}	7.63 ± 0.92 ^{ABc}	6.88 ± 0.64 ^{CDE}	5.88 ± 0.99 ^{ABd}
	ClO ₂ + 0.5kGy	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	8.63 ± 0.52 ^{Ab}	7.63 ± 0.74 ^{ABc}	7.13 ± 0.35 ^{ABc}	5.88 ± 0.99 ^{ABc}
	ClO ₂ + 1kGy	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{Ab}	7.38 ± 0.74 ^{BCD}	6.75 ± 0.71 ^{CDE}	5.88 ± 0.99 ^{ABc}
	ClO ₂ + 3kGy	8.63 ± 0.74 ^{Ab}	8.13 ± 0.99 ^{Ab}	7.13 ± 0.64 ^{CDE}	6.50 ± 0.53 ^{DE}	5.38 ± 1.19 ^{BC}
	ClO ₂ + 4kGy	8.50 ± 0.76 ^{Ab}	8.00 ± 1.07 ^{Ab}	6.63 ± 0.92 ^{DE}	5.75 ± 0.89 ^{Fbc}	5.00 ± 0.93 ^C
	Odor	Control	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	7.88 ± 0.83 ^{Ab}	7.38 ± 0.92 ^{Ab}
Water		9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	7.88 ± 0.83 ^{Ab}	7.38 ± 0.92 ^{Ab}	6.50 ± 1.07 ^{Ac}
ClO ₂		8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.38 ± 0.74 ^{Ab}	7.63 ± 0.74 ^{Ab}	7.25 ± 0.71 ^{Ac}	6.38 ± 1.06 ^{Ad}
E-beam 0.5kGy		8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.00 ± 0.53 ^{Ab}	7.38 ± 0.52 ^{Ab}	6.50 ± 0.93 ^{Ad}
1kGy		8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	7.88 ± 0.64 ^{Ab}	7.38 ± 0.52 ^{Ab}	6.38 ± 0.92 ^{Ac}
3kGy		8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.63 ± 0.52 ^{Ab}	7.88 ± 0.64 ^{Ab}	7.25 ± 0.46 ^{Ac}	6.25 ± 0.89 ^{Ad}
4kGy		8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.63 ± 0.74 ^{Ab}	7.88 ± 0.64 ^{Ab}	7.13 ± 0.64 ^{Ab}	6.13 ± 0.99 ^{Ad}
ClO ₂ + 0.5kGy		8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.50 ± 0.53 ^{Ab}	7.63 ± 0.74 ^{Ab}	7.13 ± 0.64 ^{Ab}	6.00 ± 1.07 ^{Ac}
ClO ₂ + 1kGy		8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{Ab}	7.63 ± 0.74 ^{Ab}	6.88 ± 0.83 ^{Ab}	6.00 ± 1.07 ^{Ac}
ClO ₂ + 3kGy		8.75 ± 0.71 ^{Ab}	8.25 ± 1.04 ^{Ab}	7.50 ± 0.76 ^{bc}	6.75 ± 0.89 ^{Ac}	5.88 ± 1.13 ^{Ad}
ClO ₂ + 4kGy		8.75 ± 0.71 ^{Ab}	8.25 ± 1.04 ^{Ab}	7.38 ± 0.92 ^{bc}	6.63 ± 1.06 ^{Ad}	5.75 ± 1.28 ^{Ad}
Overall acceptability		Control	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.25 ± 0.71 ^{Ab}	7.63 ± 1.07 ^{Ab}
	Water	9.00 ± 0.00 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	8.13 ± 0.83 ^{Ab}	7.63 ± 1.06 ^{Ab}	6.63 ± 1.19 ^{Ac}
	ClO ₂	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.25 ± 0.71 ^{Ab}	7.75 ± 0.89 ^{ABc}	7.38 ± 0.92 ^{ABc}	6.63 ± 1.19 ^{Ac}
	E-beam 0.5kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.13 ± 0.35 ^{Ab}	7.38 ± 0.52 ^{Bc}	6.63 ± 0.92 ^{ABd}
	1kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.75 ± 0.46 ^{Ab}	8.00 ± 0.53 ^{AB}	7.38 ± 0.52 ^{ABc}	6.50 ± 0.93 ^{ABd}
	3kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.50 ± 0.53 ^{Ab}	7.63 ± 0.92 ^{ABc}	7.00 ± 0.53 ^{BC}	6.00 ± 1.07 ^{ABc}
	4kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{Ab}	7.63 ± 0.92 ^{ABc}	6.88 ± 0.64 ^{BCD}	5.75 ± 1.04 ^{ABc}
	ClO ₂ + 0.5kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.63 ± 0.52 ^{Ab}	7.63 ± 0.74 ^{ABc}	7.13 ± 0.35 ^{BC}	5.88 ± 0.99 ^{ABc}
	ClO ₂ + 1kGy	8.88 ± 0.35 ^{Ab}	8.50 ± 0.76 ^{Ab}	7.38 ± 0.74 ^{BCD}	6.75 ± 0.71 ^{BCD}	5.75 ± 1.16 ^{ABc}
	ClO ₂ + 3kGy	8.75 ± 0.71 ^{Ab}	8.13 ± 0.99 ^{Ab}	7.13 ± 0.64 ^{BCD}	6.50 ± 0.53 ^{CD}	5.38 ± 1.19 ^{BC}
	ClO ₂ + 4kGy	8.75 ± 0.71 ^{Ab}	8.13 ± 0.99 ^{Ab}	6.50 ± 1.07 ^{Db}	5.75 ± 1.04 ^{Ebc}	5.00 ± 0.93 ^C

1) Any means in the same column (A-E) or row (a-e) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

(다) 메밀싹

① Aqueous ClO₂ 처리 및 combined treatment에 따른 메밀싹의 미생물 생육 변화

메밀싹을 50 ppm aqueous ClO₂ 처리, 50 ppm aqueous ClO₂와 fumaric acid 및 UVC 조사 병합 처리 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 192, 193). 대조구의 총 호기성 세균은 7.14 log CFU/g이었고, aqueous ClO₂로 침지한 처리구는 5.74 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 1.40 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였음. aqueous ClO₂와 0.2% fumaric acid 및 2 kJ/m² UVC 조사 병합 처리구는 4.32 log CFU/g의 총 호기성 세균 수를 나타내었고, aqueous ClO₂와 0.4% fumaric acid 및 4 kJ/m² UVC 조사의 병합 처리구의 총 호기성 세균은 3.46 log CFU/g을 나타내었음(표 192). 대조구와 비교하여 두 처리구는 각각 2.72, 3.58 log CFU/g의 감균 효과를 보였음.

한편, 효모 및 곰팡이는 대조구가 5.78 log CFU/g, aqueous ClO₂ 처리구는 5.28 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 0.50 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였으며, 50 ppm aqueous ClO₂ 처리 후 0.2% fumaric acid 및 2 kJ/m² UVC 조사 병합 처리구와 fumaric acid 0.4% 및 UVC 4 kJ/m² 조사 병합 처리구는 각각 4.77, 3.87 log CFU/g을 나타내어 대조구와 비교하여 1.01, 1.91 log CFU/g의 감균 효과를 보였음(표 193). 이러한 결과는 aqueous ClO₂의 단일 처리보다 fumaric acid 및 UVC 조사 병합 처리가 메밀싹의 미생물 수 감소에 효과적임을 보여줌.

표 192. Effect of nonthermal treatment on the total aerobic bacteria in buckwheat sprout.

(Log CFU/g)

	Treatment			
	Control	ClO ₂	50 ppm ClO ₂ + 0.2% fumaric acid + 2 kJ/m ² UVC	50 ppm ClO ₂ + 0.4% fumaric acid + 4 kJ/m ² UVC
Total aerobic bacteria	7.14 ± 0.08 ^A	5.74 ± 0.06 ^B	4.32 ± 0.03 ^C	3.46 ± 0.09 ^D

¹⁾ Any means in the same row (A-D) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

표 193. Effect of nonthermal treatment on the yeast and molds in buckwheat sprout.
(Log CFU/g)

	Treatment			
	Control	ClO ₂	50 ppm ClO ₂ + 0.2% fumaric acid + 2 kJ/m ² UVC	50 ppm ClO ₂ + 0.4% fumaric acid + 4 kJ/m ² UVC
Yeast				
and	5.78 ± 0.06 ^A	5.28 ± 0.06 ^B	4.77 ± 0.06 ^C	3.87 ± 0.15 ^D
molds				

¹⁾ Any means in the same row (A-D) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

(6) 신선편이식품 제조 시, 품질 저하 가능한 공정 모니터링 및 분석

레드 치커리, 뉴그린 및 적근대를 이용하여 기존의 신선편이 제조 공정을 토대로 신선편이 샐러드 제조 과정 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 194, 195). 수확 후 레드 치커리, 뉴그린 및 적근대의 초기 총 호기성 세균은 각각 6.44, 6.40, 6.50 log CFU/g이었고, 효모 및 곰팡이의 경우는 4.97, 4.88, 4.95 log CFU/g이었음(표 194). 예냉 후 mixed sample의 총 호기성 세균은 6.27 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 4.98 log CFU/g으로 예냉 처리에 따른 미생물 감균 효과는 보이지 않았음(표 195). 반면에 mixed sample을 50 ppm 차아염소산 나트륨 용액으로 1차 세척한 후 총 호기성 세균은 5.31 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 3.98 log CFU/g으로 대조구(예냉 처리된 mixed sample)와 비교하여 총 호기성 세균은 0.96 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 1.00 log CFU/g의 감균 효과를 보였음(표 196). 1차 세척 후 mixed sample을 비살균 처리한 칼 및 도마를 이용하여 cutting한 처리구의 경우 총 호기성 세균은 5.23 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 3.78 log CFU/g이었고, 칼 및 도마를 50 ppm 차아염소산 나트륨 용액으로 살균 처리한 후 cutting 한 처리구의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이는 각각 5.09, 3.30 log CFU/g으로 비 살균 처리 기구를 이용한 처리구와 비교 시, 총 호기성 세균은 0.14 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 0.48 log CFU/g의 미생물 수 차이를 보였고, 이는 cutting에 사용되는 기구도 신선편이 샐러드 제조 시에 살균 처리를 하는 것이 필요하다는 것을 보여줌(표 197).

살균 처리된 기구를 이용하여 cutting한 mixed sample을 50 ppm 차아염소산 나트륨 용액으로 2차 세척한 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이는 4.26, 2.43 log CFU/g으로 cutting한 sample과 비교 시 총 호기성 세균은 0.83 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 0.87 log CFU/g의 미생물 감소를 나타냈음(표 198). 이러한 결과는 신선편이 샐러드 제조 시 박피 및 절단 공정 후에 2차적인 세척이 필수적인 것으로 판단됨.

2차 세척을 한 mixed sample을 물기 제거를 위한 건조 공정 처리 후 총 호기성 세균은 5.21 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 4.15 log CFU/g으로 2차 세척한 sample과 비교 시 총 호기성 세균은 0.95 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 1.72 log CFU/g의 미생물 수 증가를 보였음(표 199). 이러한 결과로부터 세척 후 건조하는 공정 중 작업장 내의 부

유균 및 낙하균에 의해 미생물 오염이 될 수 있기 때문에 건조 공정의 작업장은 무균 처리된 장소를 선택하는 것이 필요하다고 판단됨.

표 194. After harvest, the number of total aerobic bacteria and yeast and molds in red-chicory, leaf broccoli(new green), and red swiss chard

(Log CFU/g)

	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
Red-chicory	6.44 ± 0.08	4.97 ± 0.05
Leaf broccoli(new green)	6.40 ± 0.32	4.88 ± 0.07
Red swiss chard	6.50 ± 0.18	4.95 ± 0.06

¹⁾ Any means in the same column followed are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

표 195. After pre-cooling, the number of total aerobic bacteria and yeast and molds in mixed sample

(Log CFU/g)

	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
Mixed sample	6.27 ± 0.11	4.98 ± 0.04

표 196. After first washing with 50 ppm NaClO, the number of total aerobic bacteria and yeast and molds in mixed sample

(Log CFU/g)

	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
Mixed sample	5.31 ± 0.01	3.98 ± 0.03

표 197. After cutting and shredding using non-treated and 50 ppm NaClO treated knife, cutting board, the number of total aerobic bacteria and yeast and molds in mixed sample

(Log CFU/g)

	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
Non-treated	5.23 ± 0.21 ^A	3.78 ± 0.07 ^A
50 ppm NaClO treated	5.09 ± 0.10 ^B	3.30 ± 0.00 ^B

¹⁾ Any means in the same column (A-B) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

표 198. After second washing with 50 ppm NaClO, the number of total aerobic bacteria and yeast and molds in mixed sample

(Log CFU/g)

	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
Mixed sample	4.26 ± 0.18	2.43 ± 0.60

표 199. After drying with air, the number of total aerobic bacteria and yeast and molds in mixed sample

(Log CFU/g)

	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
Mixed sample	5.21 ± 0.20	4.15 ± 0.07

예냉 처리된 레드 치커리, 뉴그린 및 적근대를 이용하여 기존의 신선편이 제조 공정을 토대로 신선편이 샐러드 제조 과정 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 미생물 수 변화를 조사하였음(표 200-202). 예냉 처리된 mixed sample의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수는 각각 6.27, 4.98 log CFU/g이었음(표 195). 예냉 처리된 mixed sample을 1차 세척을 위해 물, aqueous ClO₂ 50 ppm, 차아염소산 나트륨 50 ppm 용액에 침지한 후의 총 호기성 세균은 각각 6.03, 4.98, 5.31 log CFU/g으로 대조군(예냉 처리된 mixed sample)과 비교하여 aqueous ClO₂의 처리가 1.29 log CFU/g으로 가장 큰 미생물 감균 효과를 보였으며, 효모 및 곰팡이의 경우에는 각각 4.73, 3.48, 3.98 log CFU/g으로 역시 aqueous ClO₂의 처리가 대조군과 비교해 1.50 log CFU/g으로 가장 큰 미생물 감소를 나타냈음(표 200). 이러한 결과로부터 신선편이 샐러드 제조 시 원재료를 1차 세척하는데 있어서 aqueous ClO₂가 물과 차아염소산 나트륨 용액보다 미생물학적 위해 인자 제어에 더 큰 효과를 나타낼 수 있다고 판단됨.

물, aqueous ClO₂, 차아염소산 나트륨 용액으로 1차 세척한 mixed sample을 물,

aqueous ClO₂ 및 차아염소산 나트륨 용액으로 세척된 칼 및 도마를 이용하여 cutting 후 미생물 수를 조사하였음(표 201). 모든 1차 세척 처리구를 aqueous ClO₂로 세척한 칼과 도마를 이용해 cutting 하였을 때 가장 큰 미생물 감소를 보였으며, 총 호기성 세균의 경우 1차 세척 후 0.38-0.82 log CFU/g, 효모 및 곰팡이의 경우에는 0.74-0.98 log CFU/g의 미생물 감소를 보였음. 이는 신선편이 샐러드 제조 시에 사용되는 기구들도 살균이 필수적이라는 것을 시사하며, 그 때 사용되는 살균제로써 aqueous ClO₂가 물과 차아염소산 나트륨 용액보다 더 효과적이라는 것을 보여줌.

1차 세척과 신선편이 샐러드 제조 시 사용되는 기구의 살균 시 aqueous ClO₂가 가장 큰 효과를 보였기에, 이 같은 결과로부터 aqueous ClO₂로 원료의 1차 세척과 기구 살균을 한 처리구에 2차 세척 시 물, aqueous ClO₂, 차아염소산 나트륨 용액을 처리하여 미생물 수 변화를 조사하였음(표 202). 물, aqueous ClO₂, 차아염소산 나트륨 용액으로 2차 세척 처리 후의 총 호기성 세균은 각각 4.40, 3.15, 3.48 log CFU/g이었고, 효모 및 곰팡이의 경우는 2.65, 1.75, 2.15 log CFU/g이었음. 2차 세척 처리 시에도 aqueous ClO₂ 처리가 cutting 후 처리구와 비교했을 때, 총 호기성 세균은 1.38 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 0.99 log CFU/g 으로 가장 큰 미생물 감균 효과를 보였음. 이는 2차 세척 시에도 aqueous ClO₂의 처리가 물 및 차아염소산 나트륨 용액의 처리보다 더 효과적이라는 것을 보여줌.

따라서 신선편이 샐러드 제조 시에 원 재료의 1차 세척과 cutting에 사용되는 기구 및 cutting 후의 2차 세척 시에 물과 차아염소산 나트륨 용액보다는 aqueous ClO₂의 사용이 미생물학적 위해 인자 제어를 위해 가장 적합한 방법이라고 판단됨.

표 200. Effect of water, ClO₂, NaClO treatment for first washing on the microorganisms in mixed sample

	(Log CFU/g)	
	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
Water	6.03 ± 0.03 ^A	4.73 ± 0.06 ^A
ClO₂ 50 ppm	4.98 ± 0.03 ^C	3.48 ± 0.09 ^C
NaClO 50 ppm	5.31 ± 0.01 ^B	3.98 ± 0.03 ^B

¹⁾ Any means in the same column (A-C) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

☒ 201. After cutting and shredding used water, 50 ppm ClO₂, 50 ppm NaClO treated knife, cutting board, the number of total aerobic bacteria and yeast and molds in mixed sample

(Log CFU/g)

First washing	Knife and cutting board washing	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
Water	Water	6.18 ± 0.10 ^A	4.81 ± 0.03 ^A
	ClO ₂	5.21 ± 0.09 ^C	3.75 ± 0.06 ^B
	NaClO	5.62 ± 0.06 ^B	3.82 ± 0.05 ^B
ClO ₂	Water	6.01 ± 0.06 ^A	4.26 ± 0.04 ^A
	ClO ₂	4.53 ± 0.05 ^C	2.74 ± 0.13 ^C
	NaClO	5.00 ± 0.08 ^B	3.10 ± 0.12 ^B
NaClO	Water	6.14 ± 0.18 ^A	4.80 ± 0.03 ^A
	ClO ₂	4.93 ± 0.10 ^B	3.15 ± 0.21 ^C
	NaClO	5.09 ± 0.10 ^B	3.30 ± 0.00 ^B

¹⁾ Any means in the same column (A-C) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

☒ 202. Effect of water, ClO₂, NaClO treatment for second washing on the microorganisms in mixed sample

(Log CFU/g)

First washing	Knife and cutting board washing	Second washing	Total aerobic bacteria	Yeast and Molds
ClO ₂	ClO ₂	Water	4.40 ± 0.11 ^A	2.65 ± 0.07 ^A
		ClO ₂	3.15 ± 0.18 ^C	1.75 ± 0.21 ^C
		NaClO	3.48 ± 0.01 ^B	2.15 ± 0.21 ^B

¹⁾ Any means in the same column (A-C) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

4. 결론

미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석

- 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석에서 위해 미생물의 저감화를 위한 물리적 전처리 조건을 확립함.
- 미산성 전해수 생성 최적 조건을 확립하기 위해 전처리를 검토하여 *in vitro* 실험을 통해 검증한 결과, 전류량을 1.45 A로 올리고, PCB 전극의 개수를 3개로 늘려 미산성 전해수를 제조하였을 때 전극의 미생물 저감효과가 가장 높은 것으로 나타남.
- 미산성 전해수의 유효염소농도(ACC)별로 저감효과를 확인할 결과 10 ppm 일 때 가장 높은 저감화를 보였으며 5 ppm에서도 5 log이상의 감소를 나타냄.

미산성 저농도 전해수 처리에 의한 식품의 품질 변화

- 국내외 자료를 근거로 하여 미산성 전해수를 활용하여 식품에 응용할 경우, 비가열 식품 즉 신선편이 채소류나 육류 등에 활용이 많은 것으로 나타나 본 연구에서는 양배추와 돼지고기를 대상으로 하여 연구를 수행함.
- 미산성 저농도 전해수나 강산성 전해수의 경우 모두 양배추에 오염된 총균수의 경우 식품 내의 다양한 matrix 속에 존재하는 총균수를 저감화 하는 것이 집중한 식품독균보다 저감화 효과가 감소하는 것으로 나타남.
- 돼지고기에 침지시간과 미산성 전해수의 차아염소산농도별로 처리하였을 때 총균수의 저감효과를 나타냄. 돼지고기가 양배추에 비하여 유기물이 훨씬 많기 때문에 전해수의 살균효과를 감소시킨 것으로 기인하여 미산성 전해수나 강산성 전해수 모두 살균력이 떨어지는 것으로 나타남.
- 미산성 저농도 전해수 살균소독력 평가 결과 침지시간이 증가함에 따라 살균효능이 증가함.
- 미산성 저농도 전해수의 농도가 높을수록, 온도가 증가할수록 살균효능이 증가하는 것을 알 수 있음.
- 품질변화의 최소화를 위해 미산성 저농도 전해수의 최적 농도, 온도를 설정함.
- 최적 농도와 온도를 설정한 미산성 전해수와 초음파 병용 처리한 생식원료는 위해미생물 저감화에 효과가 있음.
- 각각 다른 저장온도에서 미산성 전해수와 초음파를 병용 처리한 생식원료가 대조군 보다 균수의 증가율이 낮고, 이화학적 변화가 적었음.

미산성 저농도 전해수 처리에 의한 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발

- 미산성 전해수와 초음파 병용 처리한 생식원료를 이용한 위해 미생물 예측모델 개발을 통해 위해평가에 이용할 수 있음.

신선편이식품의 aqueous ClO₂ 처리를 적용한 시료의 저장 중 품질 변화 분석

- Aqueous ClO₂는 염소보다 2.5배 높은 산화력과 5배 높은 살균력을 가지면서 발암성분을 형성하지 않는 장점을 가지고 있음.
- Aqueous ClO₂를 당근, 레드치커리, 청경채 등 신선편이식품에 처리한 결과, 색도나 관능평가에 큰 변화 없이 호기성 세균은 1.20-3.07 log CFU/g의 감균 효과를 보였으며, 효모 및 곰팡이는 0.63-3.09 log CFU/g의 감소효과를 나타내었음.
- 또한, electron beam 처리는 식품에 방사능을 유발하지 않고 처리 시간이 짧으며, 처리 후 식품의 온도 변화가 거의 없으면서도 처리 효과가 높은 친환경적인 수단임.
- Aqueous ClO₂를 치킨, 적근대, 다채, 메밀씨에 단일 처리한 결과, 호기성 세균은 1.40-2.54 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 0.50-3.36 log CFU/g의 감소를 보였고, electron beam과 병합 처리 시, 모든 처리구에서 호기성 세균과 효모 및 곰팡이가 검출 되지 않았음.
- UVC 조사는 미생물 내의 핵산 성분이 화학변화를 일으켜 대사 장애를 가져와 증식능력을 잃게 되는 원리로 식품가공공정에 적용시 거의 변화를 주지 않고, 조사 후 잔존하지 않는 장점을 가지고 있음.
- 메밀씨에 Aqueous ClO₂와 UVC 병합처리시, 색도와 품질의 변화 없이 호기성 세균은 3.58 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 1.91 log CFU/g이 감소하여 미생물 수 감소에 효과적인 결과를 나타냈음.
- Aqueous ClO₂, electron beam, UVC 등의 병합 살균 처리는 기존의 차아염소산나트륨 등 염소계 살균제 또는 ozone 등 단일 살균 처리의 문제점을 보완하고 위생적 품질을 유지할 수 있음.
- Aqueous ClO₂, electron beam, UVC 등이 병합된 hurdle technology 처리는 신선편이식품의 고품질을 유지하면서 미생물학적 안전성을 향상시키는데 효과적인 방법으로 사료됨.

제 5 절 비가열처리 가공공정의 현장 적용 탄소저감 시스템 개발

1. 연구 내용

가. 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)

- (1) 전과정평가의 개념
- (2) 이산화탄소 배출량에 대한 IPCC 가이드라인

나. 주요 식품 제조공정에서의 에너지 및 이산화탄소 배출량 평가

- (1) 감자칩의 전과정평가
- (2) 무균포장밥의 전과정평가
- (3) 라면의 사용단계에서의 이산화탄소 배출량평가
- (4) 결론

다. 식품제조업의 주요 공정장치별 CO₂ 발생량에 대한 정량평가 및 수학적 해석

- (1) 열 발생원에 따른 열량 및 등가 CO₂ 발생량
- (2) 살균공정에서의 에너지 소모량과 이산화탄소 발생량 평가
- (3) 건조공정에서의 조건에 따른 airflow 및 온도 분석

라. 식품의 제조공정 중 가열살균 대체기술의 적용성 평가

- (1) 비가열 팽펄스 가공기술을 이용한 분말식품 살균의 유효성 검증
- (2) 저항열처리 가공기술을 이용한 장류식품 살균의 유효성 검증
- (3) 초고압 가공기술을 이용한 각종 식품 살균의 유효성 검증

마. 가열살균 대체기술 적용에 따른 식품제조공정에서의 이산화탄소 저감화 가이드라인

바. 현장 적용 사례 연구: 초고압기술을 적용한 천연 Cloudy 사과주스의 탄소저감효과

- (1) 비가열처리 현장적용 업체 분석
- (2) 현장적용 업체의 공정분석
- (3) 시제품 품질 평가
- (4) 에너지 강도 및 탄소저감 효과 분석

2. 연구 방법

가. 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)

(1) 전과정평가의 개념

- 전과정평가(LCA)란, 제품의 원료생산, 제품제조, 사용, 폐기단계로 정의되는 제품 생산 시스템 전과정에서 발생하는 환경영향을 평가하는 도구로서 제품 생산 시스템 전과정 동안에 투입되는 자원, 에너지와 배출되는 오염물질, 산출물을 정량적으로 목록화하고 이들이 환경에 미치는 잠재적 영향을 체계적으로 평가하는 기법임. 이는 ISO(ISO 14040, 1997)에 기술적 근간을 이루고 있는 국제적으로 표준화된 평가 기법으로서 기존의 단위공정 중심에서 전과정 중심으로의 사고 전환, 사후 오염 처리에서 사전예방으로의 환경 기술 흐름, 지역규모에서 지구규모의 환경영향을 고려하는 국제 환경정책 변화를 반영하고 있음.
- 전과정평가에서는 제품과 관련된 모든 단계를 다룸으로서 하나의 계에서 발생하는 환경문제가 다른 계로 환경영향이 전이되는 문제까지 고려할 수 있다는 것과, 환경영향이 정량화되므로 환경 개선 목표 설정이 쉽다는 데에 있으며, 전과정평가의 궁극적인 목적은 지속가능한 발전을 실현하기 위해서 제품에 관련된 전과정을 통한 자원, 에너지 소비 및 환경오염 부하를 최소화시키고 개선방안을 모색하는데 있음.
- 본 연구에서는 이러한 전과정평가법을 활용하여 식품제조과정에서 발생하는 이산화탄소량을 정량 평가하였으며 전과정평가는 그림 과 같이 목적 및 범위 설정(Goal & Scope Definition), 목록분석(Inventory Analysis), 영향평가(Impact Assessment), 해석(Interpretation)의 4단계로 구성되어 있음.

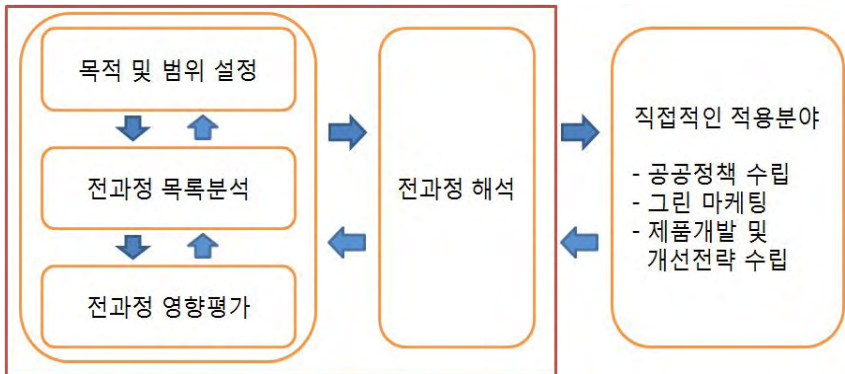


그림 311. 전과정평가 구성도(LCA Framework : ISO 14040).

(2) 이산화탄소 배출량에 대한 IPCC 가이드라인

- 각국의 온실가스 배출통계는 기본적으로 IPCC Guideline에서 제시된 방법론을 사용하여 구축되고 있으며, 2000년 “Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories” 보고서를 통해 온실가스 산정에 있어 발생할 수 있는 배출량의 과소 또는 과대평가를 방지하여 불확실도를 줄일 수 있는 방법론을 제시하고 있음. 각국에서는 IPCC의 방법론을 바탕으로 배출통계를 구축하고 있으나 최근 각 국가별로 개별적인 배출계수를 산출하는 추세를 보이고 있으며 특히 미국 등은 자체적인 시험결과 등을 토대로 자국에 적합한 배출계수를 개발하고 있음.
- 배출량 산정방법의 선택은 배출원의 중요도에 따라 구분하여 결정할 수 있는데 IPCC Good Practice Guidance에서는 주요 배출원을 Key Source Category로 구분하여 배출량 산정 시 우선순위를 두고 있으며, 이산화탄소 배출량의 계산은 다음의 식 (1)을 이용함.

$$\text{이산화탄소 배출량 (kg CO}_2\text{)} = (\text{L} \times \text{tonC/TOE} \times \text{연소율}) \times 44/12 \times 1000 \text{ kg/1 ton} \quad (1)$$

L : 연료소비량(TOE로 환산), tonC/TOE : 탄소배출계수

(가) Tier 1 방법

- 연소의 모든 배출원으로부터의 배출은 일반적으로 국가 에너지 통계로부터 연소된 연료의 양과 평균 배출계수에 기초하여 산정될 수 있기 때문에, Tier 1 방법은 연료에 기초함. Tier 1 배출계수는 모든 관련된 직접적인 온실가스에 이용 가능함.

(나) Tier 2 방법

- 에너지에 대한 Tier 2 방법에서, 연료로부터의 배출은 Tier 1 방법에서 이용된 것과 유사한 연료 통계치로부터 산정되지만, Tier 1 기본값 대신에 국가 고유의 (country-specific) 배출계수가 이용되며, 이용 가능한 국가 고유의 배출계수는 특정한 연료, 연소 기술, 심지어 개별적인 공장에 대해서 다르기 때문에, 이러한 세분화된 조건을 적절히 반영하기 위해 활동자료 역시 보다 세분화되어야 함.
- 이러한 국가 고유의 배출계수가 이용된 연료의 다른 카테고리에서의 탄소 함유량에 관한 상세한 자료 또는 해당 국가에서 적용된 연소기술에 관한 상세한 정보가 도출된다면, 산정치의 불확실도가 감소할 것이고, 시간에 따른 추세가 보다 잘 산정될 수 있음.

(다) Tier 3 방법

- 에너지를 위한 Tier 3 방법에서, 적절한 경우에 개별적인 공장 수준의 상세한 배출모형 내지 측정치 및 자료가 이용되며, 적절히 적용된다면 보다 상세한 정보 및 노력의

비용이 들지만 이들 모형 및 추정치는 주로 non-CO₂ 온실가스를 위한 보다 나은 산정치를 제공함.

- 본 연구에서는 전력에 대한 이산화탄소 배출계수는 전력통계정보시스템에서 제공받은 한국의 2008년 전력에 대한 이산화탄소 배출계수를 이용하였으며, 전력을 제외한 전과정에 투입된 모든 에너지에 대해서 IPCC에서 규정한 연료에 대한 이산화탄소 배출계수를 활용하였음.
- 현재까지는 한국의 고유 배출계수가 정립되지 않았기 때문에 Tier 1 방법을 사용해서 에너지에 대한 이산화탄소 발생량을 정량하였으며, 또한 투입물 및 산출물에 대한 이산화탄소 배출량 평가는 기존의 DB를 활용하고, 산출물에 대해서는 물질별 지구온난화 계수를 이용하여 이산화탄소 배출량을 평가하였음.

나. 주요 식품 제조공정에서의 에너지 및 이산화탄소 배출량 평가

- 최종소비품목 생산액 50개 품목 중 스낵류, 무균포장밥 및 라면류를 선정하여 이들에 대한 전과정 평가를 실시함.
- 스낵류, 무균포장밥 및 라면류로서 각각 N사의 감자칩, 즉석밥 및 S라면을 선정함.
- 감자칩, 즉석밥 및 라면의 제조회사로부터 데이터를 제공받고, 해외 및 국내 DB 및 문헌을 이용하여 감자칩, 즉석밥 및 라면의 제조공정상 이산화탄소 발생량 평가 및 분석을 실시함.

(1) 감자칩의 전과정평가

(가) 대상제품

- N사에서 1980년에 최초로 출시한 생감자칩으로서 신선한 생감자를 먹기 좋게 썰어 깔끔한 순식물성 기름에 살짝 튀긴 감자칩 스낵 제품임.

(나) 기능 및 기능단위(FU, Functional Unit)

- 감자칩의 기능 및 기능단위는 내용물(125 g)과 포장재(11 g)를 포함한 1봉지로 선택하였고, 1봉지의 단위중량은 136 g임.

(다) 시스템 경계 설정(Boundary system)

- 본 연구의 대상인 감자칩 제조에 대한 시스템 경계는 원료물질채취 및 제조 전단계와 제조 단계, 유통 단계, 사용 단계 및 폐기 단계로 구분되며, 각 단계의 수송 단계를 포함함(그림 312).
- 원료물질채취 단계는 국가 DB 및 해외 DB를 사용하였으며, 제품 제조 전단계는 미강

유 정제 공장의 제조공정과 1차 및 2차 포장재의 제조공정이 포함됨.

- 제품 제조 단계는 N사의 아산공장 전체를 데이터 수집 단위공정으로 설정하였으며, 유통 단계는 60% 이상이 서울에서 판매되기 때문에 충남 아산에서 서울로 유통된다고 가정하였으며, 폐기 단계는 2009년 제품포장재별 재활용의무율과 2006년 환경부 발표 폐기물 발생 및 처리현황 데이터와 국가 DB를 사용하였음.

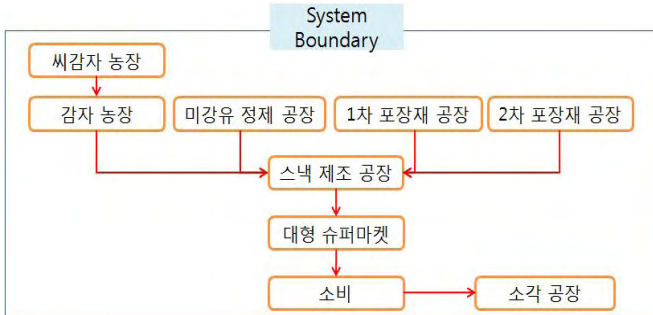


그림 312. 감자칩 제조 전과정평가 시스템 경계.

(라) 데이터 수집

- 제품 제조 및 1차 포장재 및 미강유 정제에 관련된 자료는 N사로부터 투입물과 산출물에 대한 자료를 받았으며, 씨감자 및 감자, 그리고 2차 포장재에 대한 자료는 database 및 문헌을 이용하였음.
- 데이터 수집 지역은 각각 제품제조의 경우 충남 아산, 감자는 강원도(농진청 자료) 지역, 미강유는 경기도 안양이었으며 1차 포장재(PVC)는 경기도 안산이었음.

(마) 할당

- 제품 제조공정과 포장재 제조공정, 미강유 정제공장의 제품 제조공정 모두 제품 생산량 기준으로 할당을 적용하였고, 미강유 정제공장의 제조공정에서 부산물로 나오는 지방산에 대하여 질량비 기준으로 할당을 적용하였음.

(바) 가정 및 제한사항

- 전과정평가의 단순화를 위해 감자칩의 60% 이상이 서울에서 소비되기 때문에, 충남 아산에서 제조된 감자칩은 서울로 유통된다고 가정하였으며, 사용단계에서는 음식물 쓰레기가 발생되지 않는다고 가정하였음.
- 또한, 감자 재배에 관한 데이터는 탄소성적표지 인증사레집을 참고하여 농촌진흥청의 소득자료를 이용하여 산출하였고, 씨감자 데이터 베이스는 potato seed IP, at

farm(Swiss), ecoinvent를 사용하였음. 미강유 원유는 관련 DB가 없는 관계로 유사 DB인 Palm oil, at oil mill(Malaysia), ecoinvent를 사용하였으며, 냉매인 R-22는 chlorodifluoromethane, at plant(Netherlands), ecoinvent를 사용하였음.

(사) 감자칩 제조 과정의 영향평가 및 해석

- 씨감자를 재배 과정에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 구하기 위해 ecoinvent의 potato seed database의 이산화탄소 배출계수 0.11 kg CO₂/1 kg 씨감자를 이용하였음.
- 감자 농장에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 평가하기 위하여 농촌진흥청에서 발간한 농축산물 소득자료를 활용하였고 감자 재배에 따른 이산화탄소 배출계수는 0.14 kg CO₂/1 kg 감자임.
- 또한 미강유 정제 공장에서 발생하는 이산화탄소를 정량하기 위하여, 미강유 제조시 발생하는 이산화탄소 발생량은 ecoinvent의 palm kernel oil의 배출계수 2.83 kg CO₂/1 kg palm kernel oil을 이용하였으며, 미강유 정제 공장에서 사용되는 냉매 R-22에 대한 이산화탄소 배출계수는 ecoinvent의 chlorodifluoromethane의 46.5 kg CO₂/kg 냉매를 이용하였음.
- 또한 미강유 정제 공장에 투입되는 에너지의 이산화탄소 배출량을 고려하고, 부산물로 생성되는 지방산을 할당하여 평가한 결과 미강유 정제 공장에서의 이산화탄소 배출량은 2.99 kg CO₂/kg 정제 미강유임.
- 1차 포장재 제조 공장의 투입물과 산출물로 계산한 이산화탄소 배출량은 2.81 kg CO₂/kg 1차 포장재이고, 2차 포장재(박스)의 중량은 0.8 kg이며, 한 박스에는 16봉지의 감자칩이 포장되기 때문에 1봉지의 감자칩에 대한 2차 포장재의 할당량은 0.05 kg 임.
- 골판지 박스에 대한 이산화탄소 배출계수는 0.33 kg CO₂/kg 골판지 박스로, 2차 포장재 제조 공장에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 0.017 kg CO₂이었음.
- 스낵 제조 공장의 투입물과 산출물을 고려하여 스낵 제조 공장에서 발생하는 이산화탄소 발생량은 1.36 kg CO₂/kg 감자칩이었음,
- 폐기단계에서는 2006년 환경부의 쓰레기 종량제 자료 및 전국 폐기물 발생 및 처리현황 자료를 활용하였으며, 계산된 탄소 배출계수 및 탄소 배출량을 표 203에 나타내었음.
- 원료채취 및 제품 제조 전 단계의 각 공장에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 감자칩 제조 공장에서 1봉지의 감자칩을 제조하기 위해 투입된 원료량을 곱하여 주면 각 과정에서 배출되는 이산화탄소 배출량을 기능단위에 맞게 계산할 수 있음.
- 감자칩 제조에 투입된 원료의 양을 고려한 제조과정별 이산화탄소 배출량은 표 204와 그림 313에 나타내었음.

표 203. 감자칩 포장재의 이산화탄소 배출량.

항목	폐기물 분류	재활용의무율 (%)	쓰레기종량제 봉투배출		재활용품 분리배출		처리량 (kg)	CO ₂ 배출계수	CO ₂ 배출량 (kg)
1차 포장재	플라스틱 필름	47.60	계	0.005764 kg	계	0.005236 kg			
			매립	48.20%	매립	0.80%	0.0028	0.08	2.27×10^{-4}
			소각	48.50%	소각	0.70%	0.0028	2.35	6.66×10^{-3}
			재활용	3.30%	재활용	98.50%	0.0053	0.02	9.95×10^{-3}
			1차 포장재 합계					0.011	
2차 포장재	종이류	30.50	계	0.03475 kg	계	0.01525 kg			
			매립	48.60%	매립	0.20%	0.01692	0.90	1.52×10^{-2}
			소각	49.60%	소각	0.20%	0.01727	0.02	4.16×10^{-4}
			재활용	1.80%	재활용	99.60%	0.01581	0.12	1.91×10^{-3}
			2차 포장재 합계					0.05	
합계							0.061		2.45×10^{-2}

표 204. 제조과정별 이산화탄소 배출량.

구분	이산화탄소 배출량(kg CO ₂ /FU)
씨감자 농장	0.059
감자 농장	0.079
미강유 정제 공장	0.113
1차 포장재 제조 공장	0.031
2차 포장재 제조 공장	0.017
스낵 제조 공장	0.185
유통 및 수송과정	0.033
사용 과정	-
소각, 매립 및 재활용 과정	0.025
합계	0.542

이산화탄소 배출량(kgCO₂/FU)



그림 313. 제조과정별 이산화탄소 발생량.

- 감자칩을 생산하기 위한 감자칩 제조 공장에서 배출되는 이산화탄소량은 0.185 kg CO₂/FU로 제조과정 중 가장 많은 이산화탄소를 발생하며, 그 발생량은 전체의 약 34.26%임. 그 다음으로는 미강유 정제 공장에서의 0.113 kg CO₂/FU의 이산화탄소량을 배출하며, 전체 배출량의 약 20.93%를 차지하고 있음.
- 감자 및 씨감자를 재배하는 과정 중 발생하는 이산화탄소량은 각각 0.079, 0.059 kg CO₂/FU로 전체 이산화탄소 배출량의 약 14.60%, 약 10.85%를 차지하고 있으며, 유통 및 수송과정에서의 이산화탄소 발생량은 0.033 kg CO₂/FU이고 전체 이산화탄소량의 약 6.04%임.
- 1차 포장재 제조 과정 중 발생하는 이산화탄소량은 0.031 kg CO₂/FU로 전체 이산화탄소 배출량의 약 5.72%를 차지하고 있으며, 소각 및 매립, 재활용에 따른 이산화탄소 배출량은 0.025 kg CO₂/FU로 전체 이산화탄소 발생량의 약 4.54%를 담당하고 있음.
- 마지막으로 2차 포장재 제조 과정 중 발생하는 이산화탄소량은 0.016 kg CO₂/FU로 전체 이산화탄소 배출량의 약 3.06%를 차지하고 있음.
- 각 과정에서 배출되는 이산화탄소 발생량을 단계별로 정리하여 살펴보면 표 205 및 그림 314와 같음.

표 205. 단계별 이산화탄소 발생량

구 분	이산화탄소 배출량 (kg CO ₂ /FU)
원료물질채취 단계	0.141
제품 제조전 단계	0.160
제품 제조 단계	0.211
유통 단계	1.28×10^{-3}
소비 단계	9.38×10^{-4}
폐기 단계	2.49×10^{-2}
합 계	0.540

이산화탄소 배출량(kgCO₂/FU)

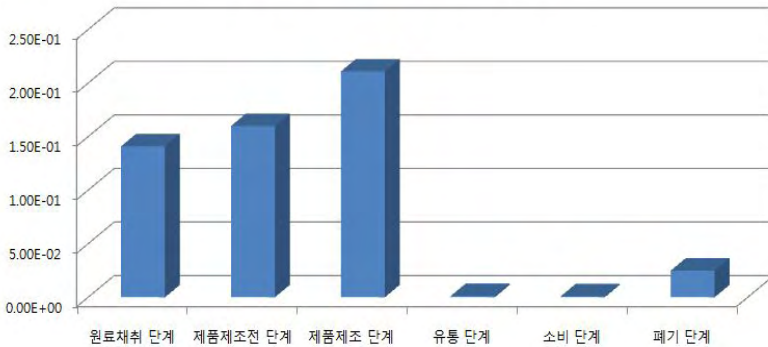


그림 314. 단계별 이산화탄소 배출량.

- 단계별 이산화탄소 발생량을 살펴보면 제품 제조 단계에서 가장 많은 양인 0.211 kg CO₂/FU의 이산화탄소가 발생하며 전체 이산화탄소 배출량의 39.07%를 담당하고 있으며, 제품 제조 전 단계로 0.160 kg CO₂/FU의 이산화탄소가 배출되며, 전체 이산화탄소 발생량의 약 29.63%를 담당하고 있음.
- 세 번째로 이산화탄소 배출량이 많은 단계는 원료물질채취 단계에서의 이산화탄소 발생량은 0.141 kg CO₂/FU로 전체 발생량의 26.11%에 해당함.
- 그 다음은 폐기단계로 이산화탄소는 약 0.025 kg CO₂/FU가 발생되며, 이는 전체 발생량의 약 4.61%에 해당함.

- 마지막으로 유통 및 소비 단계에서의 이산화탄소 발생량은 각각 약 1.28×10^{-3} kg CO₂/FU, 약 9.38×10^{-4} kg CO₂/FU으로 전체 이산화탄소 발생량의 약 0.24%, 약 0.17%에 해당함.

(2) 무균포장법의 전과정평가

(가) 대상제품

- 국내시장에서 유통되고 있는 플라스틱 용기에 포장된 무균포장법으로서 소비자가 원하는 때에 전자레인지나 끓는 물을 이용하여 간단한 가열한 후 섭취할 수 있도록 만든 제품임.

(나) 기능 및 기능단위(FU, Functional Unit)

- 무균포장법의 기능 및 기능단위는 내용물(210 g)과 포장재(15 g)를 포함한 1개로 선택하였고 무균포장법 1개의 단위 중량은 225 g임.

(다) 시스템 경계 설정(Boundary System)

- 본 연구의 대상 식품인 무균포장밥 제조에 대한 시스템 경계는 원료물질채취를 제외한 제조전 단계와 제조단계, 유통단계, 사용단계 및 폐기단계로 구분되며, 각 단계의 수송 단계를 포함하였음(그림 315).

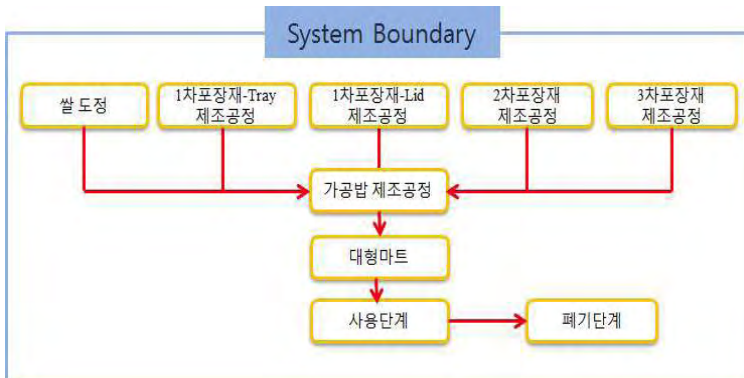


그림 315. 무균포장밥(가공밥)의 LCA system boundary.

(라) 데이터 수집

- 제품제조단계는 제조사의 제품제조공정의 데이터 수집 단위공정으로 설정하였음.
- 유통단계는 56% 이상이 서울에서 소비되기 때문에 생산되는 모든 제품이 생산지인

경기도로부터 서울로 유통된다고 가정하였음.

- 폐기단계는 2009년 제품 포장재별 재활용 의무율과 2006년 환경부 발표 폐기물 발생 및 처리현황 데이터와 국가 DB를 사용하였음.
- 제품 제조 및 포장재에 관련된 자료 분석은 제조사로부터 투입물과 산출물에 대한 자료를 받아 수행하였음.

(마) 가정 및 제한사항

- 무균포장밥 제조공정의 inventory 목록은 표 206과 같음.
- LCA 평가의 단순화를 위해 앞서 언급한 바와 같이 무균포장밥의 56% 이상이 서울에서 소비되기 때문에 유통지역은 서울로 국한하였음.
- 사용단계에서는 대부분의 소비자들이 소비과정에서 무균포장밥의 가열방법으로 전자레인지를 이용하기 때문에 본 연구에서는 전자레인지를 이용하여 무균포장밥(225 g)을 가열한다고 가정하였을 경우에 사용되는 전력량을 추정하여 평가하였음.

표 206. 무균포장밥 제조공정의 inventory 목록

구분	항목	단위	기준
투입물	쌀	kg	Rice at farm(US)/Eco-Invent/2010
	제품수	kg	제품제조시 투입되는 물
	플라스틱 용기 및 lid	kg	1차 포장재
	겉 포장재 및 box	kg	2차 포장재
	전기(정수장, 기관실, 제품제조)	kW	전기 사용량
	용수(공정수 및 보일러)	kg	물 사용량
	LNG	Nm ³	LNG 사용량 (0.81 kg/Nm ³ 적용)
	냉매(R-22)	kg	Chlorodifluoromethane at plant(Netherlands)/Eco-Invent/2010
산출물	무균포장밥	kg	생산 제품
	식물성 잔재물	kg	일반폐기물 소각
	폐포장지	kg	혼합 폐플라스틱 소각 및 재활용
	폐수(증발수 외 낭비수)	kg	폐수의 양
	폐수(세척시 공정폐수)	kg	폐수의 양

(바) 무균포장밥 제조 및 유통의 세부과정에 대한 영향평가 및 해석

- 무균포장밥 제조에 투입된 원료의 양을 고려하여 제조 및 유통과정별로 hybrid LCA 법과 환경부 LCA으로 평가한 이산화탄소 배출량을 표 207에 비교하였음.

표 207. 무균포장밥 제조 및 유통의 세부과정별 이산화탄소 배출량

구분	Hybrid LCA CO ₂ 배출량(kg CO ₂ /FU)	환경부 LCA CO ₂ 배출량(kg CO ₂ /FU)
쌀 도정	1.3 x 10 ⁰	5.0 x 10 ⁻²
1차 포장재(Tray 및 lid)	6.0 x 10 ⁻¹	9.6 x 10 ⁻²
2차 포장재(겉 포장재 및 box)	5.2 x 10 ⁻²	1.1 x 10 ⁻²
가공밥 제조과정	3.1 x 10 ⁻¹	2.4 x 10 ⁻¹
대형마트	-	-
수송과정	5.6 x 10 ⁻⁴	1.0 x 10 ⁻²
사용과정	6.6 x 10 ⁻²	6.6 x 10 ⁻²
폐기과정	1.9 x 10 ⁻²	1.8 x 10 ⁻²
합계	2.3 x 10 ⁰	4.9 x 10 ⁻¹

- 표 207에서 보는 바와 같이 환경부 LCA에서는 무균포장밥 제조공정에서 2.4 x 10⁻¹ kg CO₂/FU으로 전체 공정 중 가장 많은 이산화탄소를 발생한 반면에, hybrid LCA에서는 쌀 도정 공정에서 1.30 kg CO₂/FU으로 가장 많은 이산화탄소를 발생함.
- 1차 포장재(tray 및 lid의 제조 공정)의 투입물과 산출물로 계산한 이산화탄소 배출량은 hybrid LCA법에 의해서는 6.0 x 10⁻¹ kg CO₂/FU이었으나 환경부 LCA법에 의해서는 9.6 x 10⁻² kg CO₂/FU로 다소 낮게 평가되었음.
- 2차 포장재는 무균포장밥을 대형마트에서 판매 시 사용되는 것으로 3개 혹은 4개씩 수축필름으로 묶은 뒤 유통단계에서 사용되는 골판지 박스 제조에 대한 이산화탄소 발생량으로서 hybrid LCA법에 의한 총 2차 포장재의 제조공정에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 5.2 x 10⁻² kg CO₂/FU로 환경부 LCA법에 의한 1.1 x 10⁻² kg CO₂/FU보다 높게 평가되었음.
- 무균포장밥 제조 공장의 투입물과 산출물을 고려하여 가공밥 제조 공정에서 발생하는 hybrid LCA법에 의한 이산화탄소 발생량은 3.1 x 10⁻¹ kg CO₂/FU으로 환경부 LCA법에 의한 2.4 x 10⁻¹ kg CO₂/FU보다 다소 높게 평가되었음.
- 사용단계에서는 무균포장밥(225 g)을 전자레인지에 가열하였을 때 사용되는 전기 소

모량을 37.26 Wh로 측정하여 발생하는 이산화탄소량은 두 가지 방법 모두 6.6×10^{-2} kg CO₂/FU이었음.

- 폐기단계에서의 이산화탄소 배출량 평가는 2009년 환경부의 쓰레기 종량제 자료 및 전국 폐기물 발생 및 처리현황 자료를 활용하였음.

(사) 무균포장밥 제조 과정에서의 에너지 소모량 및 CO₂ 발생량 정량 평가

- 식품 제조 과정 중에 발생하는 이산화탄소 배출량을 평가하는 LCA법에는 제조 공정 모든 단계의 inventory 중 총 기여도가 50% 미만인 항목을 제외하고 평가하는 환경부 LCA법, 단위공정을 기본으로 하는 process LCA법, system boundary를 기준으로 투입되는 input 에너지에 따른 배출 CO₂ output을 기준으로 하는 input-output (IO) LCA법, process LCA법과 IO LCA법의 장점을 취합한 hybrid LCA법 등이 있음.
- 먼저 hybrid LCA를 위하여 IO LCA법으로 전력량, 용수, LNG 연료의 금액을 기본으로 하여 이산화탄소 발생량을 분석하였고, 나머지 투입물에 대해서는 process LCA법을 이용하여 계산하였음.
- IO LCA방법에서 이용된 원단위계수(kg CO₂/원)는 2009년 기준으로 단위 전력, 용수, LNG 당 금액과 이산화탄소 배출 계수로 환산된 값을 적용하였으며 표 208에 나타내었음.

표 208. 투입되는 에너지에 따른 CO₂ 배출계수와 원단위계수

투입에너지	CO ₂ 배출계수	원단위계수(kg CO ₂ /원)
전력	4.9×10^{-1} CO ₂ /kWh	6.8×10^{-3}
용수	1.0×10^{-4} CO ₂ /kg	1.1×10^{-4}
LNG	4.8×10^{-1} CO ₂ /Nm ³	6.6×10^{-4}

(아) 가공밥 제조 및 유통단계별 영향평가 및 해석

- Hybrid LCA법과 환경부 LCA으로 평가한 가공밥의 제품제조 및 유통단계별 이산화탄소 발생량은 표 209과 같음.

표 209. 무균포장밥의 제조 및 유통단계별 이산화탄소 발생량

구분	Hybrid LCA CO ₂ 배출량 (kg CO ₂ /FU)	환경부 LCA CO ₂ 배출량 (kg CO ₂ /FU)
제품 제조전 단계	1.9×10^0	1.6×10^{-1}
제품 제조 단계	3.1×10^{-1}	2.4×10^{-1}
수송, 사용 및 폐기 단계	8.5×10^{-2}	8.4×10^{-2}
합계	2.3×10^0	4.9×10^{-1}

- 표 206에서 보는 바와 같이 hybrid LCA법에 의하면 무균포장밥을 생산하기 위한 제조 전단계에서의 이산화탄소 발생량이 1.9 kg CO₂/FU로 전체의 83%를 차지하지만 환경부 LCA법에서는 전체의 33%를 차지하였음.
- 반면 환경부 LCA법에 의하면 제품 제조 단계에서의 이산화탄소 배출량이 2.4 x 10⁻¹ kg CO₂/FU으로 전체의 49%를 차지하지만 hybrid LCA법에서는 3.1 x 10⁻¹ kg CO₂/FU으로 전체의 13%를 차지하였음.
- 수송, 사용 및 폐기단계에서 배출되는 이산화탄소량은 hybrid LCA법에서는 전체 배출량의 4.3%이고 환경부 LCA법에서는 전체의 17%를 차지하였음.
- 전체적으로는 환경부 LCA법에 의한 이산화탄소 발생량이 0.49 kg CO₂/FU으로 hybrid LCA법에 의한 2.3 kg CO₂/FU보다 훨씬 적었음.

(자) Process LCA법, IO LCA법 및 hybrid LCA에 의한 이산화탄소 발생량 비교 분석

- 제품 제조전과 제품 제조 단계에서의 Process LCA법, IO LCA법 및 hybrid LCA에 의한 이산화탄소 발생량은 표 210과 같음.
- 2차 포장재 제조공정, 수송단계, 사용단계, 폐기단계에서는 전기, 용수, LNG가 쓰이지 않으므로 hybrid LCA CO₂ 배출량은 process LCA로 계산한 결과와 동일하였음.

표 210. 무균포장밥의 단계별 이산화탄소 발생량

구분	Process LCA CO ₂ 배출량(kg CO ₂ /FU)	IO LCA CO ₂ 배출량(kg CO ₂ /FU)	Hybrid LCA CO ₂ 배출량(kg CO ₂ /FU)
쌀 도정	1.6 x 10 ⁻¹	1.1 x 10 ⁰	1.3 x 10 ⁰
1차 포장재	3.4 x 10 ⁻¹	2.6 x 10 ⁻¹	6.0 x 10 ⁻¹
제조 공정	2.1 x 10 ⁻¹	1.0 x 10 ⁻¹	3.1 x 10 ⁻¹
계	2.2 x 10 ⁰		

(3) 라면의 사용단계에서의 이산화탄소 배출량평가

(가) 대상제품

- N사에서 1986년에 출시한 유당라면으로, 매운맛을 특징으로 한 S라면을 선택하였음.

(나) 기능 및 기능단위(FU, Functional Unit)

- 라면의 기능 및 기능단위는 내용물(면, 양념스프, 야채스프)과 포장재를 포함한 1봉지이고, 1봉지의 중량은 120 g임.

(다) 시스템 경계 설정(Boundary system)

- 본 연구의 대상인 라면 제조에 대한 시스템 경계는 원료물질채취 및 제조 전 단계와 제조단계, 유통단계, 사용단계 및 폐기단계로 구분되며, 각 단계의 수송단계를 포함함 (그림 316).

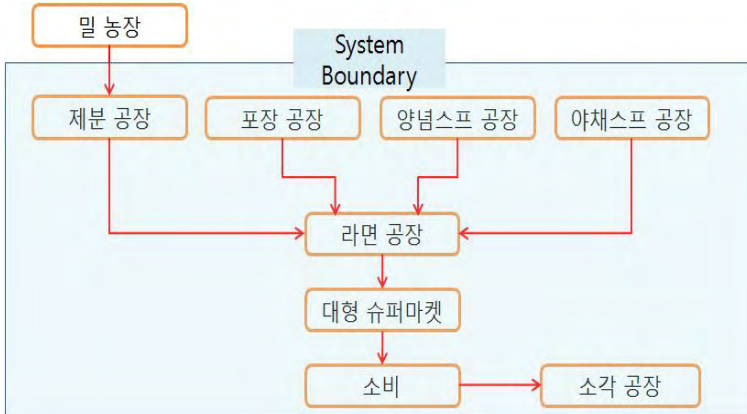


그림 316. 라면 제조 과정의 전과정평가 시스템 경계.

- 또한 라면 제조에 사용되는 밀은 대부분 수입하기 때문에 해외에서 발생한 이산화탄소 배출량은 제외하고, 국내에서 발생하는 이산화탄소 발생량만을 포함하였음.

(라) 라면 소비단계에서의 이산화탄소 배출량 평가

- 라면 소비단계에서의 CO₂ 배출량을 평가하기 위해서 총 4가지 경우를 실험하였음(그림 317).
- 사용된 냄비는 가정에서 주로 사용하는 stainless 냄비와 양은 냄비를 사용하였으며, 가열 매체로는 부탄가스를 이용한 휴대용 가스버너와 핫 플레이트를 사용하였음.

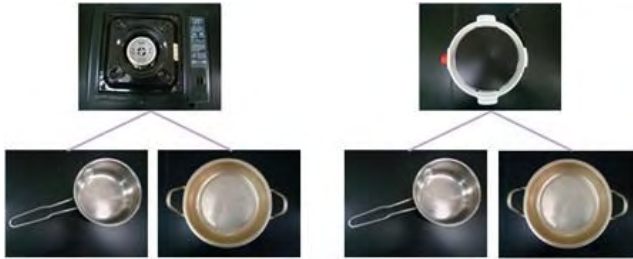


그림 317. 가열매체와 냄비종류에 따른 실험 방법.

- 조리 방법은 라면 봉지 뒷면에 작성되어 있는 레시피를 이용하여 조리하였으며, 조리 시간은 물이 끓기 시작한 후, 레시피의 내용대로 면과 스프를 넣고 4분 30초를 조리 하였음.
- 또한, 조리하는 동안 사용된 부탄가스의 양을 측정하여, 일반 가정집에서 도시가스(LNG)의 양으로 환산하여 도시가스(LNG)를 사용하였을 경우의 CO₂ 배출량을 계산치로 평가하였음.
- 부탄가스를 이용하여 라면을 조리하였을 때의 사용된 부탄가스의 양을 3번 측정하였고, 그 평균값은 아래의 표 211와 같음.

표 211. 라면 조리시 사용된 부탄가스의 양

구 분	물의 초기온도 (°C)	사용된 부탄가스의 양(g)	총 조리시간
Stainless 냄비	22.33	23.216	9분 16초
양은 냄비	21.33	19.850	8분 21초

- 에너지 원료마다 이산화탄소 배출계수가 다르기 때문에 같은 냄비가 사용되었다라도 CO₂ 배출량이 다른 것을 알 수 있었으며, stainless 냄비의 열전도도가 양은 냄비보다 낮기 때문에 물이 끓기 시작하기 전까지의 시간이 오래 걸려서 더 많은 이산화탄소가 배출됨을 알 수 있었음. 후에 이산화탄소 배출을 낮추기 위한 방법으로 열전도도가 높은 냄비를 사용하는 것도 하나의 방법으로 볼 수 있음.
- 이상기체 방정식($PV = nRT$)을 이용하여 부탄가스의 부피 및 밀도를 계산하였으며, 부탄가스의 mol 질량은 58.08 g/mol이고, 기압은 1 atm, 온도는 상온을 기준으로 하였음. 이때 사용된 부탄가스의 부피는 stainless 냄비를 이용하였을 경우 9.773 L이었고, 양은 냄비를 이용하였을 때는 8.356 L이었음.
- 부탄가스의 밀도는 2.59 g/L이므로, 사용된 부탄의 질량은 stainless를 이용하였을 경

우 25.31 g, 양은 냄비를 이용하였을 경우 21.64 g이며, 순발열량 표를 이용하여 사용된 부탄의 질량에 따른 CO₂ 배출량을 구하였음.

- 또한, 핫플레이트를 이용하여 라면을 조리하였을 때 사용된 전력량을 전력 측정 범위가 0.1-2400 W를 측정할 수 있는(± 10%) 전력측정기(Power manager portable, Dawon DNS, Kwangju, Korea)를 이용하여 사용된 전력량을 3번 측정하였음(표 212).

표 212. 라면 조리시 핫플레이트가 사용한 전력량

구 분	물의 초기온도(℃)	사용된 전력량(Wh)	총 조리시간
Stainless 냄비	21.0	148.00	10분 24초
양은 냄비	21.0	133.33	8분 41초

- 각각의 에너지원별 발생한 이산화탄소 배출량을 계산하기 위하여 순발열량표와 전력의 CO₂ 배출계수를 이용하였으며, 대부분의 가정에서는 도시가스(LNG)를 사용하기 때문에, 도시가스 사용량을 평가할 필요가 있음.
- 하지만 도시가스(LNG)의 사용량을 정확히 평가하기가 어렵기 때문에 시스템이 가장 비슷한 휴대용 버너(부탄가스)에 사용된 에너지로 도시가스(LNG)의 양을 계산하였고, 도시가스(LNG)의 양을 계산하기 위해 부록의 순발열량표와 사용된 부탄가스의 양을 이용하여 도시가스(LNG)의 사용량을 평가하였음(표 213).

표 213. 사용된 부탄가스로 평가한 도시가스(LNG)의 양

구 분	사용된 열량(kcal)	필요 도시가스(LNG)의 양(Nm ³)
Stainless 냄비	275.88	0.0289
양은 냄비	235.88	0.0247

- 사용된 부탄가스와 도시가스(LNG)에 따른 CO₂ 배출량이 순발열량표와 식 (1)을 이용하여 평가되었고, 사용된 전력에 따른 CO₂ 배출량은 전력의 CO₂ 배출계수를 이용하여 계산하였음. 각각의 에너지원에 따른 이산화탄소 배출량을 표 214에 나타내었음.
- 에너지 원료마다 이산화탄소 배출계수가 다르기 때문에 같은 냄비가 사용됐더라도 CO₂ 배출량이 다른 것을 알 수 있었으며, 또한 stainless 냄비의 열전도도가 양은 냄비보다 낮기 때문에 물이 끓기 시작하기 전까지의 시간이 오래 걸려서 더 많은 CO₂가 배출됨을 알 수 있었음.
- 향후에 이산화탄소 배출을 낮추기 위한 방법으로 CO₂ 배출계수가 낮은 에너지를 에너지원으로 사용하는 방법과, 열전도도가 높은 냄비를 사용하는 방법이 있음을 알 수 있었음.

표 214. 에너지 원료 및 사용된 냄비에 따른 이산화탄소 배출량

구 분		이산화탄소 배출량 (g CO ₂ /FU)	비 고
부탄가스	Stainless 냄비	72.12	-
	양은 냄비	61.67	-
핫플레이트	Stainless 냄비	69.43	-
	양은 냄비	62.55	-
도시가스(LNG)	Stainless 냄비	64.43	사용된 부탄가스로 도시가스(LNG)양 계산
	양은 냄비	55.10	

(4) 결론

- 앞서 언급한 바와 같이 이산화탄소 배출량 평가를 위해 기존에 주로 사용하는 방법인 환경부 LCA법은 제조 공정 모든 단계의 inventory 중 총 기여도가 50% 미만인 항목을 제외하고 평가하는 방법으로서 식품제조 및 유통 중의 이산화탄소 배출량을 정확하게 평가하기에는 문제가 있는 것으로 판단되었음.
- 본 연구에서도 예를 들어 무균포장밥의 경우 환경부 LCA법에 의해 평가된 가공밥 제조 및 유통과정 중 발생하는 총 이산화탄소 배출량이 hybrid LCA법에 의해 평가된 것의 21.3%에 불과한 것으로 나타나, 환경부 LCA법을 사용하게 되면 식품의 종류에 따라서는 식품제조과정 중 배출되는 실제 이산화탄소의 양보다 낮게 평가될 가능성이 있을 것으로 나타남.
- 하지만 Hybrid LCA법은 Process LCA법과 IO LCA법에 의해 평가된 이산화탄소 발생량을 합한 값으로서 두 가지 방법에 의한 평가를 보완할 수 있었음.
- 본 연구에서는 대표적으로 3 종류의 제품을 대상으로 하여 각종 LCA법을 사용하여 식품제조 및 유통 중 발생하는 이산화탄소 배출량을 평가하여 보았지만, 향후 다른 식품의 제조공정에 대해서도 본 연구에서 사용한 평가 과정을 활용하여 이산화탄소 배출량을 예측할 수 있을 것으로 판단되었음.

다. 식품제조 주요 공정장치별 CO₂ 발생량에 대한 정량평가 및 수학적 해석

(1) 열 발생원에 따른 열량 및 등가 CO₂ 발생량

- “국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인”을 참조하여 식품제조 공정 중 사용되는 각종 열발생원에 대한 열량 및 등가 CO₂ 발생량을 표 215에 나타내었음.

- 다음의 표 215을 이용하여 식품을 제조하기 위해 사용되는 살균, 건조, 냉동 등 각종 단위공정에서의 에너지원에 대한 사용량 대비 이산화탄소 발생량을 예측할 수 있음.

표 215. 열 발생원에 따른 열량 및 등가 CO₂ 발생량

열 발생원	단위	열량(kcal)	CO ₂ 배출계수 (kg CO ₂)
LNG	kg	11,750	5.95×10^{-1}
LPG	m ³	13,800	3.94×10^{-1}
휘발유	L	7,400	8.32×10^{-2}
경유	L	8,450	6.82×10^{-2}
전기	kWh	2,150	4.95×10^{-1}

(2) 살균공정에서의 에너지 소모량과 이산화탄소 발생량 평가

- 주요 식품 가공 단위공정에 대하여 공정인자가 이산화탄소 발생량에 미치는 영향을 평가하고자 대표적인 단위공정인 살균공정(sterilization)에 대하여 온도와 시간에 따른 이산화탄소 발생량을 예측하여 그림 318에 그래프로 나타내었음.

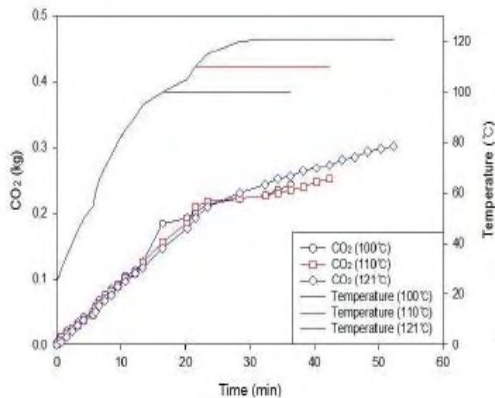


그림 318. 살균공정에서 온도 프로파일에 따른 이산화탄소 발생량.

- 그림 318에서 보는 바와 같이 살균온도 100, 110, 120 °C에서 30분간 살균했을 때 누적 전력소모량은 각각 0.40, 0.44, 0.51 kWh로 등가 CO₂ 발생량은 각각 0.20, 0.22, 0.25 kg으로 나타남.
- 살균온도 상승에 따른 CO₂ 발생량은 선형적으로 증가하였음.

- 위 그림에 보는 바와 같이 살균시간이 20분 정도 되었을 때까지는 CO₂ 발생량이 가파르게 증가하다가 20분 이후부터는 증가속도가 다소 느려지는 이유는 물(1 kcal/kg·°C)과 수증기(0.44 kcal/kg·°C)의 비열차이 때문이며, 동일 온도를 증가시키는데 물의 경우가 수증기보다 이산화탄소 발생량이 더 큰 것으로 확인되었음.
- 대상 식품의 특성과 살균 시스템의 전열 특성에 따라 CO₂ 발생량은 크게 다를 것으로 예상되므로 특정 식품 제조공정에 대한 이산화탄소 발생량을 정확하게 평가하기 위해서는 식품의 물리적, 화학적 특성과 사용된 열원의 종류 및 사용량에 대한 파악이 우선시되어야 할 것으로 판단되었음.
- 미생물의 z = 10 °C일 때 아래 식 (2)에 의하여 각 살균기준온도에서 F₀ 값을 구하여 그 값에 대한 이산화탄소 발생량을 계산한 결과, 온도가 다를 때 동일 F₀에 대하여 CO₂ 발생량은 감소하였음(그림 319).

$$F_0 = F_t \times 10^{(T - 121.1)/z} \quad (2)$$

- 즉, 살균기준온도가 높을수록 에너지 소모량은 증가하나 살균효과를 고려할 때, 오히려 높은 온도에서 단시간 처리할수록 에너지 소모량은 더 효율적임.

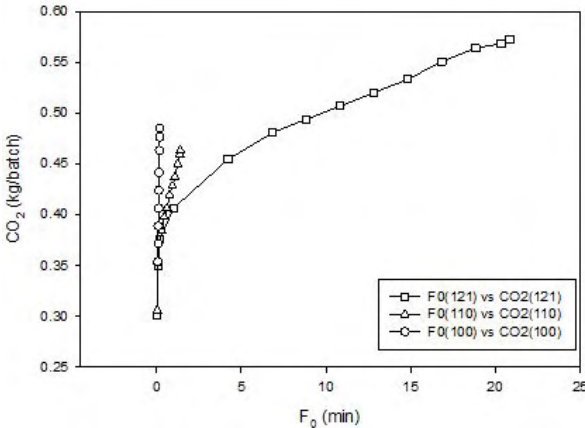


그림 319. 레토르트 살균공정의 F value에 따른 이산화탄소 발생량.

(3) 건조공정에서의 조건에 따른 airflow 및 온도 분석

- 스낵제조 공정 중 에너지 소모량인 큰 dough의 건조공정에 대하여 에너지 사용과 관련된 airflow와 열분석을 실시함. 건조공정을 통해서 dough는 초기 수분함량이 약 55%에서 10-14%로 건조됨.

- 상기 공정에서 사용하는 건조기는 conveyor형 연속 열풍건조기로 가로 12.5 m, 세로 2.35 m, 높이 2.2 m이며, 상단에 5개의 inlet을 통해 공기가 건조기로 유입되며 유입된 공기는 상단에 위치한 heater를 통해 125 ℃로 가열된다. 한쪽 측면 하부에서 dough가 유입되어 3단의 conveyor belt를 통해 반대편 측면 상부의 outlet으로 나감(그림 320).

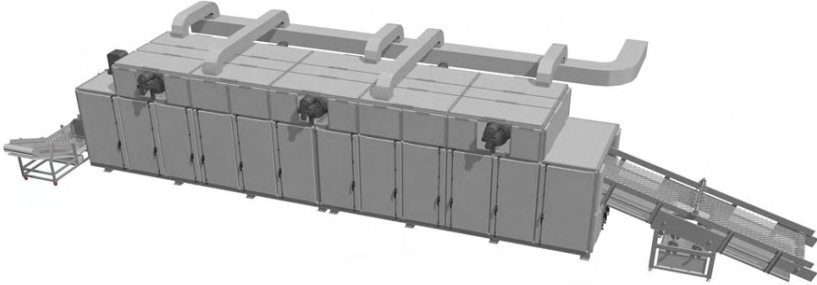


그림 320. 스낵 dough 건조기의 전체 모식도.

- 건조기 내부에서 공기가 움직이는 영역을 fluid domain으로 정의하고 공기는 이상기체로 가정하였으며, 공기의 비열, 기준온도, 열전도도는 각각 $1.00 \times 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $2.61 \times 10^{-2} \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 임.
- 건조가 일어나는 영역을 dough domain으로 정의하고, dough의 밀도, 비열, 열전도도는 각각 420 kg/m^3 , $2760 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, $0.460 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 임.
- 5개의 inlet에서 공기의 초기 조건은 온도가 $125 \text{ }^\circ\text{C}$, 유속은 4.63 m/s 로 유입된다고 가정하였고, 전체 건조 시간은 6분이며 매 10초 간격으로 airflow와 온도 변화를 분석함.
- 건조 공정의 airflow의 속도분포는 최대 5.055 m/s 로 inlet에서 가장 크게 나타났으며 건조기의 밑면과 중심부분으로 갈수록 유체의 속도가 감소되었고 중심부분에서는 hot air가 정체되는 부분도 발생함.
- 열풍흐름의 streamline을 분석한 결과, 초기에 열풍이 inlet으로부터 빠른 속도로 분사된 후 다른 영역으로 분산되면서 속도가 감소되어 세 개의 컨베이어 벨트를 따라 이동하면서 대부분의 공기가 양측면의 outlet으로 빠져나감. 약 30%의 공기가 건조기의 중심부분으로 낮은 속도로 이동하다가 약 10%의 공기는 배출되지 못한 상태로 정체구간이 발생되며 새로운 공기의 유입이 이루어짐.
- 건조공정 중 시간과 위치에 따른 dough의 표면 온도 분포 변화를 살펴본 결과, 하부에서의 열풍 흐름이 원활하지 않기 때문에 하단의 conveyor에서는 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 인 상태로 유입됐을 때의 온도와 큰 차이가 없었으며, 중단의 conveyor를 통과할 때까지 크게 변

하지 않음. 상단의 conveyor를 통과할 때 inlet으로부터 유입되는 열풍의 속도가 상대적으로 빠르기 때문에 대류에 의한 열전달이 크게 일어남.

- 결과적으로 상단의 conveyor에서 dough의 표면온도가 상승하여 하단과 상단의 conveyor에서의 dough의 평균 표면온도는 약 61.8 °C의 차이를 나타냄.
- 건조과정 중 시간과 위치에 따라서 dough의 평균 표면 온도 변화를 각 단의 conveyor 양 말단과 중간부분 3곳을 선정하여 총 9개 부분에서 측정해 본 결과, 그림 321에서 보는 바와 같이 건조기의 하단의 conveyor를 dough가 이동하는 0-2분 동안의 온도변화는 약 5 °C정도였고 중단의 conveyor를 이동하는 2-4분 동안의 온도변화는 약 16 °C정도로 온도변화가 적은 반면에 상단 conveyor를 이동하는 4-6분 동안의 온도변화는 약 39 °C정도로 크게 온도가 증가함. 이는 상단 conveyor의 위치가 열풍이 유입되는 inlet의 위치와 가까워 열풍으로 인한 dough의 열전달이 빠르게 일어나 상단 conveyor의 위치에서 가장 큰 온도변화를 일어난 것으로 해석되었음.
- Dough 1개당 처리 시간동안 흡수한 열량은 7163.8 kJ/dough이며 이를 CO₂ 배출량으로 환산하면 0.98 CO₂/dough임. 하지만 이는 건조기 내 열풍으로부터 dough로 열전달 손실이 전혀 없는 이상적인 상태인 경우로 실제로는 건조기의 효율에 따른 열손실이 있기 때문에 이산화탄소 발생량이 더 클 것으로 예측되었음.

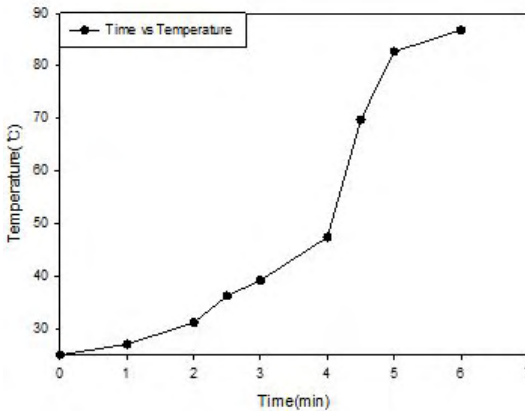


그림 322. 건조공정의 시간에 따른 dough의 온도 profile.

라. 식품의 제조공정 중 가열살균 대체기술의 적용성 평가

(1) 미가열 팽펄스 가공기술을 이용한 분말식품 살균의 유효성 검증

- 탄소 발생 저감화를 위해 현재 식품산업에서 실용화가 가능한 다양한 비열처리 가공 기술 중 광펄스(intense light pulse) 기술을 이용하여 각종 분말식품의 미생물 저감화를 위한 가공공정 중 탄소발생 저감화의 적용 가능성 및 유효성을 검증하였음.
- 시장에 유통되고 있는 각종 분말식품 및 원료를 광펄스 비열 살균기술의 평가 대상 시료로 선정하였음.

(가) 카레분말(curry powder)

- 88.87 mJ/cm²·s의 에너지밀도를 가진 비가열 광펄스 살균시스템을 이용하여 카레분말에 존재하는 *Bacillus* sp. 포함 총 균에 대한 살균 효과 검증이 수행되었음(그림 322).
- 그림 322에서 보는 바와 같이 광펄스 살균시스템의 처리 시간이 600초까지 길어질수록 사멸률의 증가가 관찰되었으며, 480초의 처리시간 후 대략 2.1 log reduction의 사멸 효과가 확인되었음.

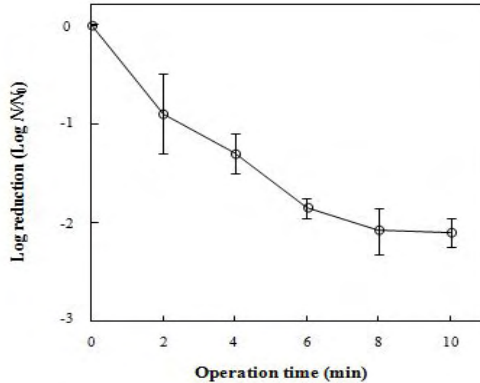


그림 322. 광펄스 살균시스템을 이용한 카레분말에서의 미생물 살균.

(나) 라면스프(ramen soup powder)

- 광펄스 살균시스템을 이용하여 국내 시판 라면에 포함된 라면스프에 존재하는 *Bacillus* sp. 포함 총 균에 대한 살균 효과 검증이 수행되었으며, 처리 시간에 따라 사멸률이 증가하는 것으로 관찰되었음(그림 323).

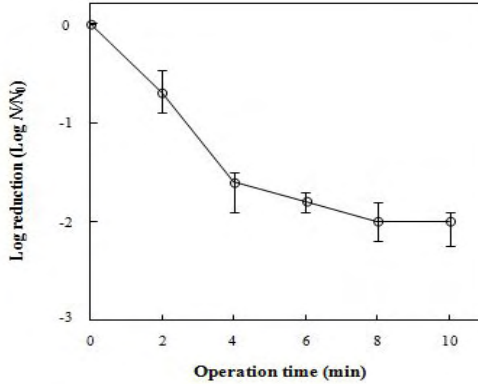


그림 323. 광펄스 살균시스템을 이용한 라면스프에서의 미생물 살균.

- 88.87 mJ/cm²·s의 에너지밀도를 가진 광펄스를 600초 동안 처리하였으며, 처리시간 480초에서 대략 2.0 log reduction의 사멸 효과가 확인되었음.

(다) 조미료(seasoning)

- 국내 시판 조미료를 대상으로 88.87 mJ/cm²·s의 에너지밀도를 가진 광펄스를 600초 동안 처리하여 총균수에 대한 살균 효과 검증이 수행되었음.
- 그림 324에서 보는 바와 같이, 360초의 광펄스 처리 후 대략 2.0 log reduction의 사멸 효과가 관찰되었음.

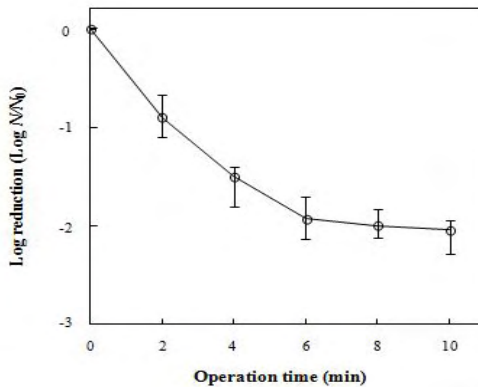


그림 324. 광펄스 살균시스템을 이용한 조미료에서의 미생물 살균.

(라) 생식(sengsik powder)

- 88.87 $\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 의 에너지밀도를 가진 광펄스를 600초 동안 처리하여 생식에 존재하는 *Bacillus* sp. 포함 총 균에 대한 살균효과를 검증하였음.
- 그림 325에서와 보는 바와 같이 480초의 광펄스 처리 후 대략 2.4 log reduction의 사멸 효과가 확인되었음.

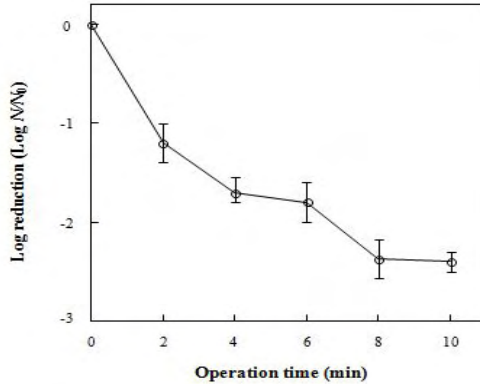


그림 325. 광펄스 살균시스템을 이용한 생식에서의 미생물 살균.

(마) 고춧가루(red pepper powder)

- 고춧가루에 존재하는 총 균수에 대한 살균효과 검증 결과, 광펄스 처리 시간이 600초 까지 길어질수록 사멸률의 증가가 관찰되었으며, 88.87 $\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 의 에너지밀도에서 360초의 처리 동안 대략 1.4 log reduction의 사멸 효과가 관찰되었음(그림 326).

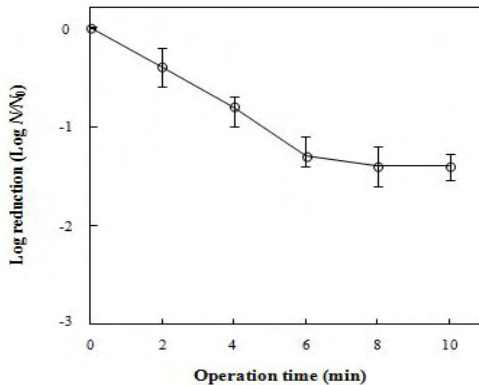


그림 326. 광펄스 살균시스템을 이용한 고춧가루에서의 미생물 살균.

- 이전의 분말 시료들에 비해 낮은 사멸률이 관찰된 것은 고춧가루 입자의 크기가 균일하지 않고 구(球)의 형태를 갖고 있지 않아, 균일한 광펄스 처리가 제한된 것으로 사료됨.

(마) 분유(milk powder)

- 국내 시판 분유에 *Bacillus* sp.와 *E. sakazakii* 및 *E. coli* 등의 혼합균을 1.0×10^3 CFU/g 접종한 후, $88.87 \text{ mJ/cm}^2 \cdot \text{s}$ 의 에너지밀도를 가진 광펄스를 600초 동안 처리하여 분유에 존재하는 총 균수에 대한 살균효과를 검증하였음(그림 327).

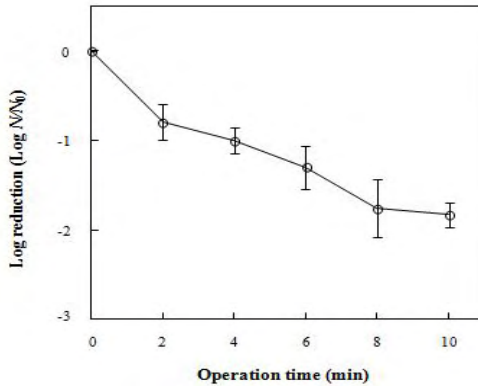


그림 327. 광펄스 살균시스템을 이용한 분유에서의 미생물 살균.

- 그림 327에서 보는 바와 같이 480초의 광펄스 처리 후 대략 1.9 log reduction의 사멸 효과가 확인되었음.

(사) 기타 분말식품

- 국내 시판 마늘분말, 참깨, 뽕쌀가루, 그리고 인스턴트 스프에 $88.87 \text{ mJ/cm}^2 \cdot \text{s}$ 의 에너지밀도를 가진 광펄스를 600초 동안 처리하여 이들 분말식품에 존재하는 *Bacillus* sp. 포함 총 균에 대한 광펄스 살균의 유효성 검증이 수행되었음.
- 마늘분말, 참깨, 뽕쌀가루, 인스턴트 스프에 대한 광펄스 처리 후, 각각의 분말식품에 대해 대략 0.6, 0.4, 0.7, 0.5 log reduction의 90% 이하 사멸률이 관찰되었음.
- 이들 분말식품의 경우는 광펄스에 대한 저항성이 다소 큰 것으로 확인되었으며, 향후 이러한 광펄스 저항성의 원인 규명 및 살균효과 증가를 위한 다양한 연구가 수행되어

야 할 것으로 사료됨.

(2) 저항열처리 가공기술을 이용한 장류식품 살균의 유효성 검증

- 탄소 발생 저감화를 위해 현재 식품산업에서 실용화가 가능한 다양한 가열살균 대체 기술 중 저항열처리(ohmic heating) 기술을 이용하여 시판고추장 제품의 미생물 저감화에 대한 유효성을 검증하였음.
- 선별된 OH3, OH5, OH7 및 OH9의 조건별로 장류를 처리하고, 처리하지 않은 장류와 총 균수를 비교하여 그림 328과 같이 살균효과를 검증함.

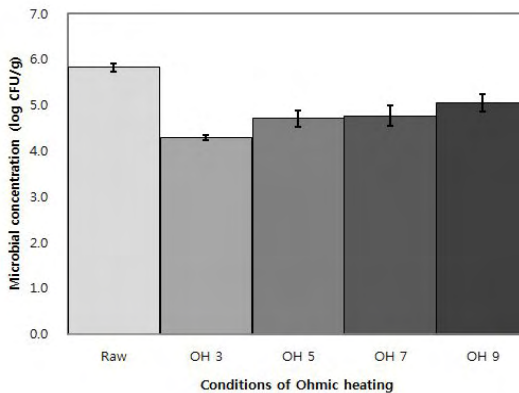


그림 328. 처리하지 않은 장류와 조건 별 처리 후 장류의 총 균수 비교.

- 그림 328과 같이, 연속식 저항열처리 기술을 통한 조건별 고추장의 총 균수는 0.7 - 1.5 log CFU/g의 저해가 나타났으며, 조건별로 각각 1.5 log CFU/g, 1.2 log CFU/g, 1.0 log CFU/g, 0.7 log CFU/g의 저해를 나타냄. 처리 후 최종 온도는 103-106 °C로 나타났으며, 에너지는 각각 39403, 54275, 33219 및 86903 J로 변수들의 특정 영향은 나타나지 않았음.















(3) 초고압 가공기술을 이용한 각종 식품 살균의 유효성 검증

(가) 육, 가금류 및 육가공류에 대한 초고압 가공 기술의 적용 가능성 분석

- 슬라이스 햄, 소고기, 닭고기, 소시지, 스테이크, 돼지고기 등의 시료를 대상으로 압력 300-600 MPa, 시간 1-3 min, 온도 25-35 °C의 조건에서 초고압 처리가 수행되었음.

- 압력 400 MPa, 10 min 이상 초고압 처리 조건에서 대부분의 시료는 색과 질감의 변화를 나타내었으며, 이러한 시료의 색 변화는 처리 시간 및 압력 강도가 높아짐에 따라 증가하는 것으로 관찰되었으나, 동일 압력의 5 min 이하 조건에서는 큰 변화가 관찰되지 않았음. 특히, 소시지 및 슬라이스 햄 등의 육가공류는 관능적 손상이 거의 관찰되지 않고 초기 시료의 상태가 유지되었는데, 이러한 현상은 이들 시료가 이미 열처리 및 다른 이화학적 가공 공정을 거쳤기 때문으로 사료됨.
- 관능적 손상이 크지 않은 400 MPa, 5 min의 처리 조건에서 육, 가금류 및 육가공류의 미생물 살균효과가 검토되었으며, 모든 시료에서 대략 1.9-2.9 log 감소가 표 216에서와 같이 관찰되었음.





표 216. 육, 가금류 및 육가공류에 대한 초고압 살균효과

Sample	처리전	최적조건 처리후	살균효과 Log(N ₀ /N)	Sample	처리전	최적조건 처리후	살균효과 Log(N ₀ /N)
슬라이스 햄			2.0	소고기			2.9
소시지			1.9	닭고기			2.8
스테이크			2.7	돼지고기			2.1
치킨가스			2.0				

(나) 어패류에 대한 초고압 가공 기술의 적용 가능성 분석

- 바지락과 연어를 대상으로 어패류에 대한 초고압 가공 기술을 처리 압력 300-600 MPa, 시간 1-3 min, 온도 25-35 °C의 조건에서 적용하였으며, 400 MPa, 10 min 이상의 조건에서 시료의 관능적 손상이 관찰되었음.
- 관능적 손상이 크지 않은 400 MPa, 5 min의 처리 조건에서 대략 1.7-1.8 log 감소가 표 217에서와 같이 관찰되었음.

표 217. 어패류에 대한 초고압 살균효과

Sample	처리전	최적조건 처리후	살균효과 Log(N ₀ /N)	Sample	처리전	최적조건 처리후	살균효과 Log(N ₀ /N)
바지락			1.7	연어			1.8

(다) 장류에 대한 초고압 가공 기술의 적용 가능성 분석

- 된장과 고추장을 대상으로 장류에 대한 초고압 처리가 압력 400-500 MPa, 시간 4-15 min, 온도 25-35 °C의 조건에서 수행되었으며, 1분 간격으로 시료를 처리하는 비연속식 cycle 처리가 병행되었음. 대부분의 조건에서 시료의 관능적 손상은 크게 관찰되지 않았음.
- 장류에 대한 살균효과 검증 결과, 된장과 고추장의 호기성 균 수는 초고압 처리의 온도, 압력, 시간, 그리고 cycle 처리 유무에 영향 받지 않는 것으로 관찰됨(p<0.05). 하지만 된장과 고추장의 효모와 곰팡이의 수는 초고압 처리에 영향을 받아 된장과 고추장 각각 0.5-0.9 log CFU/g 그리고 0.7-2.1 log CFU/g의 저해가 확인되었음(그림 329).

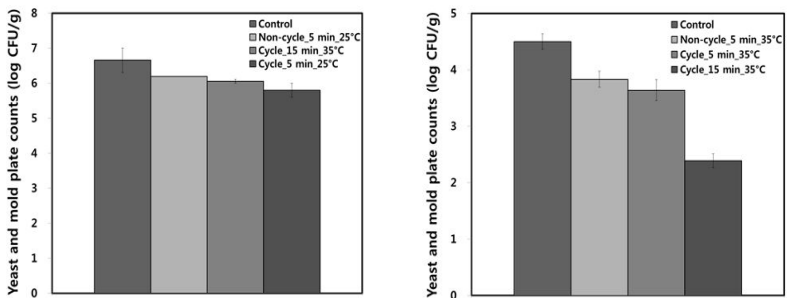


그림 329. Effects of high pressure processing time, temperature, and cycle treatment on the yeast and mold counts of soybean paste (left) and hot pepper soy paste (right).

마. 가열살균 대체기술 적용에 따른 식품제조공정에서의 이산화탄소 저감화 가이드라인

- 광펄스 가공기술을 이용하여 12종류의 분말식품에 대한 살균 효과를 확인하였으며, 이를 토대로 비가열 광펄스 살균기술의 실용화에 따른 이산화탄소 저감화 효과를 예측 평가하였음 (표 218).
- 표 218의 기존공정 대비 이산화탄소 저감화 효과는 같은 수준의 살균도를 달성하기 위하여 필요한 공정의 전력량을 다음 식에 대입하여 이산화탄소 배출량을 계산한 후 추정하였음.

$$\text{이산화탄소 배출량 (kg CO}_2\text{)} = (\text{L} \times \text{tonC/TOE} \times \text{연소율}) \times 44/12 \times 1000 \text{ kg/1 ton}$$

[L : 연료소비량(TOE로 환산), tonC/TOE : 탄소배출계수]

- 표 218에서 기존공정 대비 이산화탄소 저감화 효과를 표시하지 않은 품목은 기존의 공정에서는 미생물 저감화를 위한 살균 전처리를 행하지 않거나 확인이 어려운 식품임.
- 표 218에서 마늘분말 및 참깨 등과 같이 광펄스 처리 후 미생물 사멸률이 초기균수의 90% 이하(1 log reduction 이하)인 분말식품의 경우(이 식품들에 대해서는 처리시간에 따른 살균도 변화 그래프를 본 보고서에 제시하지 않았음)는 광펄스에 대한 저항성이 다소 큰 식품으로 보이며, 현재 본 연구팀에서 제작 중인 광원의 세기, 파장의 스펙트럼, 펄스의 두께, 램프의 종류 등의 가변이 가능한 광펄스 기기를 사용하여 향후 새로운 조건 설정을 위한 실험을 수행되어야 할 것으로 사료됨.

표 218. 광펄스 가공기술을 이용한 분말식품 살균의 이산화탄소 저감 효과

분말식품	사용에너지 (J/cm ²)	미생물 사멸률 (Log reduction, total count)	CO ₂ 배출량 (g/kg product)	Comparison to conventional processing(%)*
카레분말	42.7	2.1	369	36.5
라면스프	42.7	2.0	369	43.8
조미료	32.0	2.0	277	50.2
생식	42.7	2.4	369	-
고춧가루	32.0	1.4	277	45.1
분유	42.7	1.9	369	-
마늘분말	45.6	0.6	394	-
참깨	50.5	0.4	436	-
뽕쌀가루	42.7	0.7	369	-
인스턴트 스프	45.6	0.5	395	-

* CO₂ reduction effect = (1 - CO₂ discharge in IPL processing / CO₂ discharge in conventional processing) x 100%

- 앞서 살펴본 품목 이외에 본 사업의 1차년도 연구기간 동안 광펄스 살균기술을 적용하여 총 26종류의 식품(분말식품 13종류, 액상식품 4종류, 고체식품 9종류)에 대한 광

펄스 살균의 효과를 확인하였으며, 이를 토대로 비가열 광펄스 살균기술의 실용화에 따른 이산화탄소 저감화 효과를 예측 평가하였음(표 219).

- 표 219의 기존공정 대비 이산화탄소 저감화 효과는 같은 수준의 살균도를 달성하기 위하여 필요한 기존공정의 전력량을 앞서 제시한 식에 대입하여 이산화탄소 배출량을 계산한 후 추정하였음.
- 표 219에서 기존공정 대비 이산화탄소 저감화 효과를 표시하지 않은 품목은 기존의 공정에서는 미생물 저감화를 위한 살균 전처리를 행하지 않거나 확인이 어려운 식품임.

표 219. 비가열 광펄스 기술을 이용한 식품 살균의 유효성 검증 및 이산화탄소의 저감화 효과

Microorganisms	Food product	Moisture content (%)	Energy needed (J/cm ²)	Log reduction	CO ₂ discharge (g/kg product)	Comparison to conventional processing(%) ^b
Powders						
Total count (plate ^a)	Red pepper - A	7.9	9.6	5.0	83	-
Total count	Red pepper - A	7.9	41.5	1.5	358	43.8
Total count (plate ^a)	Red pepper - B	6.5	6.6	4.8	57	-
Total count	Red pepper - B	6.5	41.5	2.0	358	62.5
Total count (plate ^a)	Red pepper - C	5.9	7.8	3.0	67	-
Total count	Red pepper - C	5.9	41.4	1.0	357	25.0
Total count (plate ^a)	Cereal powder	4.1	6.7	3.0	58	-
Total count	Cereal powder	4.1	41.5	1.0	358	-
Total count (plate ^a)	Sengsik powder	2.8	6.0	5.0	52	-
Total count	Sengsik powder	2.8	59.4	1.5	513	-
Total count	Soy powder	8.1	29.5	3.0	255	-
Total count	Curry powder	3.7	43.0	1.5	371	37.5
Total count	Garlic powder	7.6	41.4	1.0	357	-
Total count	C i n n a m o n powder	8.3	41.5	1.8	358	-
Total count	Ramen soup - A	2.0	4.0	4.0	35	28.6
Total count	Ramen soup - B	1.8	4.4	4.0	38	22.4
<i>E. sakazakii</i>	milk powder	2.5	9.9	1.0	86	-
<i>L. monocytogenes</i>	milk powder	2.5	9.9	2.8	86	-
Liquid foods						
<i>E. sakazakii</i>	Infant meal	90.0	7.3	2.0	63	70.0
<i>L. monocytogenes</i>	Infant meal	90.0	5.2	3.0	45	80.0
<i>E. sakazakii</i>	Infant beverage	92.0	9.8	3.0	85	57.5
<i>L. monocytogenes</i>	Infant beverage	92.0	2.9	3.8	25	87.5
Other foods						
<i>E. coli</i> O157:H7	Salmon fillet	64.0	31.6	2.3	273	-
<i>P. aeruginosa</i>	Salmon fillet	64.0	20.0	1.0	173	-
<i>L. monocytogenes</i>	Salmon fillet	64.0	25.0	2.7	216	-
<i>E. coli</i> O157:H7	Shrimp fillet	74.1	22.0	1.2	190	-
<i>P. aeruginosa</i>	Shrimp fillet	74.1	29.4	1.4	254	-

<i>L. monocytogenes</i>	Shrimp fillet	74.1	35.0	3.0	302	-
<i>E. coli O157:H7</i>	Flatfish fillet	64.5	29.0	2.3	250	-
<i>P. aeruginosa</i>	Flatfish fillet	64.5	22.0	1.7	190	-
<i>L. monocytogenes</i>	Flatfish fillet	64.5	20.0	3.0	173	-
<i>E. sakazakii</i>	Agar plate	95.0	1.7	5.0	15	-
<i>L. monocytogenes</i>	Agar plate	95.0	0.2	5.0	2	-

^a Light was illuminated on the PCA agar plate in which samples were diluted.

^b CO₂ reduction effect

= (1 - CO₂ discharge in IPL processing / CO₂ discharge in conventional processing) x 100%.

- 앞서 기술한 바와 같이 광펄스 가공기술 이외에 가열살균 대체기술의 산업적 적용 가능성을 저항열처리(장류 1종), 초고압 가공기술(육가공류 7종, 어패류 2종, 장류 2종)을 적용한 모델식품의 살균 효과 검증 등을 통해 검토하였으며, 이들 가운데 기존 공정에서 미생물 저감화를 위한 살균 전처리 공정 및 이와 유사한 가공 공정이 수행되지 않거나 확인이 어려운 육류 및 어패류 등의 모델식품은 본 이산화탄소 배출량 비교·평가에서 제외되었음.

- 따라서, 대체살균기술의 실용화에 따른 신·구 기술의 이산화탄소 배출량 비교·평가 및 저감화 효과의 예측은 저항열처리에 의한 고추장의 살균, 초고압 가공기술에 의한 모델식품(육가공류 4종, 장류 2종)의 살균을 대상으로 최종 검토되었음(표 220).

표 220. 신·구 가공기술의 이산화탄소 배출량 비교·평가

Processing	Food product	Energy needed (kWh)	CO ₂ discharge (kg)	Comparison to conventional processing(%) ^b
Ohmic heating	Red pepper paste	0.07	0.03	93.7
High pressure processing	Sliced ham	1.54	0.67	-27.2
	Sausage	1.66	0.73	-37.1
	Chicken cutlet	1.45	0.63	-19.8
	Minced meat	1.37	0.60	-13.2
	Soybean paste	2.18	0.95	-96.4
	Red pepper paste	2.03	0.89	-82.9

^a CO₂ reduction effect = (1 - CO₂ discharge in IPL processing / CO₂ discharge in conventional processing) x 100%

- 표 220의 기존 살균 및 유사 가공공정의 투입 에너지량 (kWh)은 고온스팀살균법 및 저온살균법 등을 통해 확보된 실측 data를 이용하였음.

- 표 220에서와 같이, pilot scale 저항열처리 시스템을 이용한 고추장 살균의 경우, 기존의 열교환기 등을 이용한 저온장시간 살균법과 같은 수준의 살균도를 달성하기 위해 대략 0.07 kWh의 에너지량이 요구되며, 이를 통해 0.03 kg의 이산화탄소가 배출됨으로써 기존 공정 대비 93.7%의 이산화탄소 저감화 효과를 나타낼 것으로 예측됨.
- 초고압 가공기술을 이용한 4종의 육가공류 살균에 요구되는 에너지량은 대략 1.37-1.66 kWh로 확인되었으며, 이를 통해 배출되는 이산화탄소의 양은 0.60-0.67 kg으로 기존 공정 대비 13.2-37.1%의 탄소 배출량 증가가 예측되었고, 특히, 초고압을 이용한 된장 및 고추장의 살균은 기존 공정 대비 각각 96.4%와 82.9%의 높은 탄소 배출량 증가를 나타냄.
- 따라서 초고압 가공기술이 비록 다양한 장점과 가공특성을 가진 신기술임에는 틀림없지만 살균 공정의 측면에서 이산화탄소 발생 저감화를 위한 기존 공정의 대체 가공기술로서는 적합하지 않음을 확인하였음.
- 본 연구결과를 종합하여 식품제조공정에서 기존의 살균기술을 대체 적용함에 따른 이산화탄소 저감화 가이드라인을 표 221에 제시하였음.

표 221. 대상식품에 따른 대체가공기술의 이산화탄소 저감화 가이드라인

대상식품	기존살균기술	대체가능기술	CO ₂ 저감 기대효과	비고
액상이유식	열교환기(HTST)	광펄스	20 - 30%	맛의 향상
음료	열교환기(HTST)	광펄스	70 - 90%	맛의 향상
막걸리	가열살균	광펄스	30 - 50%	맛의 향상
라면스프	스팀살균	광펄스	20 - 30%	색상의 향상
고춧가루	방사선살균	광펄스	40 - 50%	소비자 인식 제고
향신료	방사선살균	광펄스	20 - 40%	소비자 인식 제고
장류	가열살균	저항열처리	80 - 90%	맛과 색상의 향상
이유식	Retort 살균	저항열처리	80 - 90%	맛과 색상의 향상
과일주스	열교환기 (HTST)	고전압펄스	-	맛의 향상과 영양소 파괴 최소화
스프	Retort 살균	고전압펄스	-	맛의 향상과 영양소 파괴 최소화
야채류	회화적 살균	초고압처리	-	조직감 향상 및 유통기한 연장
육류	가열살균	초고압처리	-	조직감 향상 및 유통기한 연장

마. 현장 적용 사례 연구: 초고압기술을 적용한 천연 Cloudy 사과주스의 탄소저감효과

(1) 비가열처리 현장적용 업체 분석

(가) 초고압을 이용한 비가열 신가공기술의 비교분석

① 신 식품가공기술

- 식품의 안전과 품질이 확보되도록 식품을 보존하는 것이 식품가공의 목표이다. 살균, 증발, 건조 등과 같이 열을 사용하는 가열공정은 현재 식품산업이 식품의 미생물적 안전성을 보장하기 위하여 일반적으로 사용되는 기술이다. 전통적인 가열방법은 연료의 연소, 전기저항 가열기 등에 의하여 외부에서 발생한 열을 전도와 대류에 의하여 식품층으로 이동시키는 것임. 그러나 가열가공은 장치와 설비 표면에서의 열손실, 열전달 효율의 감소, 식품 중심으로 충분한 열이 전달되기 위하여 걸리는 시간 때문에 과열에 의한 열손실 등에 의하여 한계에 직면하고 있음. 식품가공공장의 제어와 모니터링, 장치와 설비의 지능 설계, 열회수 등의 개발을 통하여 이와 같은 한계를 극복하려고 노력하고 있으나 이 역시 추가적으로 고비용이 소요됨. 따라서 학계와 산업계에서는 소비자들의 고품질의 식품에 대한 수요와 특히 최근 환경에 대한 관심에 대응하기 위하여 식품가공공정에서 신기술의 개발이 촉발되고 있음.
- 신식품가공기술은 1) 열기술(thermal technology)과 2) 비열기술(nonthermal technology)로 나눌 수 있음.
- 옴가열(Ohmic heating)과 유전가열(dielectric heating)[고주파가열(radio frequency heating)] 및 마이크로파가열(microwave heating)은 재래 가열법을 대체할 수 있는 신가열기술로 주목받고 있으며 신가열기술은 내부에서 전체적으로 균일하게 열이 발생하기 때문에 급속히 가열할 수 있어 과열에 의한 품질손상과 같은 문제점을 극복할 수 있으며, 열효율이 현저히 향상 됨.
- 한편 비열기술은 초음파(ultrasounds), 고압가공(high pressure processing, HHP), 펄스 전기장(pulsed electric fields, PEF), 펄스광처리(pulsed light treatment) 등임. 이들 비열기술은 상온 부근에서 미생물을 불활성화 시킬 수 있으므로 식품성분의 열손실을 피할 수 있고 결과적으로 영양적으로 관능적으로 신선한 제품을 생산할 수 있음.
- 비열가공(nonthermal processing)이란 실온 또는 준치사온도(sublethal temperature) 부근에서 효과적으로 대부분의 미생물과 효소를 불활성화 시키는 기술을 지칭함. 비열가공에서는 고온을 사용하지 않으면서 식품의 향미, 영양성분 등에 악영향을 미치지 않고 미생물을 사멸시키기 때문에 열가공과 구별함. 여러 가지 비열가공 기술에 대한 연구가 활발히 추진되고 있으나 대부분 실험실 수준이고 PEF와 HHP가 가장 유망한 기술로 기대되고 있으며 특히 HHP는 과일야채주스, 조리 육제품, 어패류 등의 가공에 활발히 실용화되고 있음.

- 최근 활발히 연구되고 있는 신 가공기술의 연구현황을 표 222에 나타내었음.

표 222. 신 식품가공 기술의 연구개발 현황 비교 분석

Sterilization method	Food safety affecting factors	Product range	Nutritional influence	Sensory quality	Packaging
Autoclave	Inactivated microbes and the bacterial spores.	Covers almost all food product groups.	Causes nutritional defects.	Causes structural taste and color defects.	Glass jars, cans, retort pouches.
Omic heating	Lack of temperature monitoring techniques in continuous systems.	Covers almost all food product groups.	Better nutrient and vitamin retention than in conventional heating systems. Comparable to microwave heating.	Minimal mechanical damage to the product.	Flexible high barrier packages like pouches and plastic bottles.
High frequency Radio frequency	Heating can be controlled very precisely.	Pre-packed foods, both solid and liquid.	No data.	No data.	Flexible high barrier packages.
Microwave	Difficulties for controlling heating uniformity.	Pre-packed foods, both solid and liquid.	No data.	No data.	Flexible high barrier packages.
High pressure	Bacterial spores difficult to inactivate by high pressure alone. Food should have 40% of free water for antimicrobial effect. No evidence of toxicity.	High acid products like juices, jams, jellies and salad dressings, yogurt, certain meat products.	Better nutrient and vitamin retention than in conventional heating systems.	Better texture and taste than in conventional heating systems. Effect on color product dependent.	Flexible high barrier packages like pouches and plastic bottles.
Pulse electric fields	No evidence of toxicity. Kills vegetative cells but no effect on enzymes and spores.	Liquid products like fruit juices, soups and milk.	Nutrients are preserved better than in conventional heating.	Better color and flavour than in conventional heating.	Flexible high barrier packages like pouches and plastic bottles.
Ultrasonic waves	Insufficient to inactivate many bacterial species alone. Causes DNA damage to bacteria cells.	Any food that is heated.	No data.	Flavour defects with high fat foods.	Flexible high barrier packages.
Irradiation	Restricted use in EU for food and not compatible in organic foods.	Pre-packed foods.	No data.	Flavour defects, especially high fat foods.	All kind of packages.
Ultraviolet light	Possible adverse chemical affects. Not proven effective against spores.	Fresh fruit and vegetables, dry foods.	No data.	No data.	Flexible high barrier packages.
Infrared	No data.	Low moisture foods.	No data.	No data.	Flexible high barrier packages.
Shaka-system	No data.	Low to medium viscous products like soups and sauces.	No data but 80-95% shorter cooking times may improve the quality compared to conventional heating.	No data but 80-95% shorter cooking times may improve the quality compared to conventional heating.	Cans and other packages for autoclave or retort.

② 초고압 비열식품가공 기술

- 식품의 초고압처리에서 식품재료가 받는 압력은 일반적으로 100-1000MPa(약 1000 - 10000기압) 범위임. 압력은 온도와 함께 우리들의 일상생활을 지배하는 인자이다. 인류의 역사에 있어서 식품의 조리, 가공에는 압도적으로 열이 이용되었음. 이것은 자연계에 존재하지 않은 압력을 만드는 것보다 열을 이용하는 것이 쉽기 때문임. 그런데도 최근에 압력이 식품가공에 새로운 기술로서 각광을 받게 된 이유를 다음과 같이 열거할 수 있음.
 - ✓ 200MPa 이상의 압력에 의해 세균, 곰팡이, 효모, 바이러스 등은 사멸되거나 손상을 받음.
 - ✓ 400MPa 이상의 압력에 의해 많은 효소의 활성이 저하됨.
 - ✓ 1,000MPa 정도의 압력에서는 공유결합이 절단되거나 생성 되지 않는 것으로 알려져 있음.
- 100℃ 정도의 가열에 의해서도 동일한 효과를 얻을 수 있으나, 압력에 의한 식품가공은 영양소의 파괴, 이취발생 및 이상물질이 생성되지 않으며 원료의 fresh한 풍미를 유지할 수 있음.
- 더욱이 압력을 유지하는데 이론적으로 에너지를 필요로 하지 않으며 열과 달리 식품의 내부까지 순간적으로 압력이 전해진다. 즉, 에너지 절약이 가능하며, 처리시간이 식품의 형상에 좌우되지 않아 식품가공, 살균, 보존기간의 장기화 등이 가능함.
- 식품분야에서 고압처리의 효과는 전술한 것 이외 다음과 같은 것을 들 수 있음.
 - ✓ 효소를 불활성화시켜 식품 중의 유용성분의 효소에 의한 분해를 방지 할 수 있음.
 - ✓ 식품의 조직을 적당히 파괴함으로써 효소가 작용하기 쉽게 하여 유용성분이 증가하는 것을 기대할 수 있음.
 - ✓ 식품을 오염시키는 미생물의 살균, 기생충의 살충에 의하여 식품의 부패를 방지할 수 있음.
- 고압을 생성시키는 승압 메카니즘에 따라 고압장치의 기본 구조는 다음의 2가지로 나눌 수 있음.
 - ✓ 피스톤 직압식(a): 고압용기에서 피스톤을 밀어 올려 압력매체(pressurized fluid)를 직접 압축 가압하는 방식
 - ✓ 외부 승압식(b): 고압용기에 외부에서 고압펌프로 압력매체를 공급하여 승압시키는 방식
- 식품가공에는 외부 승압식 장치가 많이 사용되는데 액체 또는 고체 식품을 유연포장용기에 넣고 밀봉한 후 고압용기의 압력매체에 담그고 고압용기를 밀폐한 후 고압펌프로 원하는 압력까지 가압하여 일정한 시간 압력을 유지하고 압력처리를 한 후 압력을 풀고 제품을 꺼냄. 일반적으로 이 사이클 시간은 3-8min이며, 고압용기의 부피는 100-500L임. 식품을 고압 처리할 경우 압력매체로는 주로 물을 사용하고 포장재의 재질과 밀봉방법에 특별히 주의를 요함.

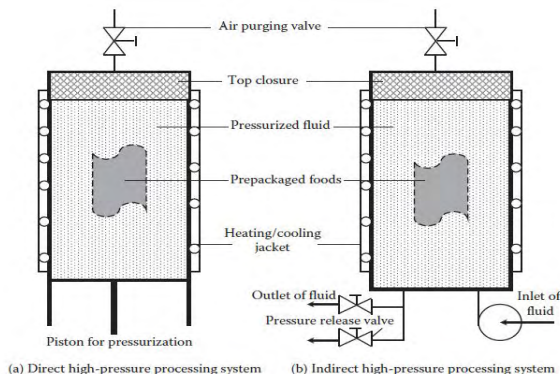


그림 330. Schematics of direct and indirect high pressure food processing systems.

- 초고압 비열살균의 메커니즘을 간단히 기술하면 유체의 압력은 모든 방향으로 균일하게 작용함으로 포장을 했던 하지 않았던 또한 질량, 모양, 조성에 관계없이 식품 재료는 압력을 균일하게 순간적으로 받게 됨. 압력 하에서 생물고분자는 LeChatelier-Braun 법칙을 따르며 부피가 감소하는 반응이 촉진됨. 가압 또는 감압과정에서 급속한 부피변화는 단백질과 같은 거대분자의 구조에 영향을 미쳐 변성이 촉발됨. 단백질은 구조가 기능에 중요한 영향을 미치기 때문에 그 결과 미생물과 효소가 불활성화 되고, 식품의 물성변화를 촉진하게 됨.
- 한편 식품의 관능과 영양학적 품질을 결정짓는 아미노산, 비타민, 향미성분 등은 2차, 3차, 4차 구조를 거의 가지고 있지 않는 저분자이기 때문에 압력의 영향을 받지 않는다. 고압처리 과정에서 온도는 실온 부근이며 처리시간은 millisecond 펄스에서 20분 이하의 범위임. 열처리와는 달리 생산량에 대한 경제성 때문에 처리시간은 20분 이하가 한계임.
- 결론적으로 고압기술의 식품보존에 이점을 다음과 같이 정리할 수 있음.
 - ✓ 처리의 균일성: 압력은 식품과 그 주위에 걸쳐 균일하게 작용
 - ✓ 열에 의한 충격 최소화
 - ✓ 천연적인 품질인자(영양성분, 관능적 품질)는 그대로 유지되면서 가열살균과 유사한 품질수명을 가짐
 - ✓ 100℃로 가열하는데 비하여 500MPa로 가압하는데 소요되는 에너지가 작음.

③ 환경에 미치는 영향

- 식품산업에서 에너지소비는 살균, 건조, 조리(cooking) 등과 같은 다양한 가열공정과 펌프, 제분, 컨베이어 등의 기계력 발생, 전동 또한 냉각시스템을 위한 전기 등 여러

가지 형태의 에너지로 구성되어 있음. 가열공정에 사용되는 에너지는 주로 스팀이다. 스팀은 cooking, 액체식품의 농축, 건조, 살균 등의 주요 가공공정에 사용됨. 전기의 사용량은 산업과 제품의 종류에 크게 의존됨, 식품산업은 위치, 생산규모, 제품의 종류 등에서 매우 다양함. 열의 재순환, 회수, 신가공기술의 도입 등으로 식품가공에서 에너지 소비는 약 40% 절약할 수 있을 것으로 기대됨.

- 식품가공의 환경개선에 대한 소비자들의 요구와 국제적 규제 압력, 경제적 필요성에서 재래 기술에 비하여 에너지 소비량 또는 자원 소요량이 적거나 폐기물을 감소시킬 수 있는 신 가공기술이 요구되고 있음. 더욱이 신선하고 자연적인 식품 또는 유기식품에 대한 개념의 확대로 인해 환경 친화적이고 자원 효율적인 식품제조 시스템의 개발이 요구되고 있음.
- 저온살균(pasteurization)과 고온살균(sterilization)과 같은 가열에 의한 식품 보존 기술에서는 영양, 기능성분의 열에 의한 손상은 불가피 하고 특히 과일과 채소의 경우 신선도를 감소시킴. 과일채소 음료의 가열살균은 일반적으로 열교환기(판형, 튜브형, 나선관형 열교환기 등)가 사용됨. 열교환기에서 금속 벽을 사이에 두고 한 쪽으로는 가열매체로 스팀이 흐르고 다른 쪽으로는 식품이 연속적으로 흐르면서 원하는 온도까지 가열됨. 이 과정에서 금속 벽을 통해서 더운 유체(스팀)에서 찬 유체(식품)로 전도와 대류에 의해 열이 전달됨. 이와 같은 가열살균 공정에서 열효율은 20-50%에 지나지 않음.
- 전술한 열적 및 비열 식품가공 신기술은 일반적으로 재래 가열가공기술에 비하여 식품의 품질이 우수할 뿐 아니라 에너지 소비량을 현저히 감소시키고 공업용수와 폐기물 배출량의 감소 등 친환경적인 기술로 보고되고 있음.
- 특히 이중에서 초고압 가공기술은 상온에서 식품을 가공 및 보존처리 할 수 있는 가장 유망한 그린기술임. 고압공정에서 전술한 것과 같이 압력을 생성시키기 위하여 동력을 필요로 하며, 이때 소비된 동력의 일부는 열로 전환되어 물체의 온도를 상승시키게 될 것임. 즉, 가압하는 과정에서 순간적인 단열압축에 의하여 식품의 온도가 균일하게 급속히 상승하고 반대로 감압시키면 급속히 냉각됨. 이와 같은 급속한 가열, 냉각은 고압의 살균효율을 한층 더 향상시키고 단시간 가공을 가능하게 함. 이 결과 식품의 품질을 현저히 향상시키면서 살균할 수 있는 새로운 접근이 가능하게 된 것임. 더욱이 고압과 열을 복합하면 재래 고온살균 공정에서의와 같이 세균의 포자까지 사멸시킬 수 있으므로 최근 초고압가공기술이 더욱 관심의 대상이 되고 있음.
- 에너지 소비 측면에서 가열법과 가압법을 비교하면 물을 수천 기압까지 가압하는데 소요되는 에너지는 동량의 물의 온도를 수십도(℃) 올리는데 필요한 에너지의 1/10 정도임. 더욱이 가열법에서 제품 자체의 가열에 사용되는 에너지는 투입된 전체 에너지의 30 - 40% 정도이고 나머지는 주위로 잃어버리며 이와 같이 에너지 소비 측면에서 가압법은 가열법에 월등히 경제적임.
- 식품가공공정에서 공기 증으로 배출하는 가스는 주로 열과 동력의 생산에 관계되는

것임. 일반적으로 식품가공에 사용되는 총에너지의 33%는 스팀발생에 소비되는 것으로 보고되었음(Lung et al). 스팀은 식품가공 공정에서 살균, 액상 식품의 농축, 건조, 조리 등에 사용됨. 스팀은 보일러에서는 주로 화석연료를 연소시켜 이때 발생하는 열로서 물을 가열하여 발생시킴. 보일러 관리가 불량하면 보일러 효율은 20-30%까지 감소할 뿐 아니라 CO₂ 배출양도 현저히 증가하게 됨. 더욱이 스팀 배관을 통한 열손실도 상당하여 에너지 손실을 초래함.

- Wang(2009)에 따르면 스팀발생시스템의 에너지 손실은 다음과 같은 것들이 포함됨.
 - ✓ 연돌가스의 현열: 연료 중의 수소연소에 의해 생성된 수증기, 연료와 습한 공기 중의 수분 및 건조 연소가스의 현열
 - ✓ 보일러 blowdown water
 - ✓ 불완전 연소
 - ✓ 열전달 표면의 오염
 - ✓ 보일러 표면에서의 대류 및 복사 손실
- 결과적으로 우리들이 이미 잘 알고 있는 것과 같이 CO₂발생 저감을 위해서는 재래 공정에 비하여 열효율 현저히 향상된 대체 가열기술 또는 열을 거의 사용하지 않는 비열 기술을 채택하여야 함. 초고압가공 공정에서는 스팀을 거의 사용하지 않거나 사용량이 현저히 작기 때문에 폐수와 가스배출량이 거의 없는 환경 친화적 그린기술임. 더욱이 고압공정에서는 냉각 시스템이 불필요 하며, 압력을 유지하는데 에너지가 필요하지 않으므로 차압회수에 의하여 에너지를 절약할 수 있음.
- 또한 초고압 비열살균공정에서는 기존의 고온단시간살균(HTST) 공정에서와 같이 포장용기를 과산화수소 등과 같은 화학살균제로 사전 살균할 필요가 없으므로 폐수 중에 화학물의 함량이 감소하게 됨.
- 고압장치는 재래 살균/포장 공정보다 일반적으로 고가이고 유지보수에 어려운 점이 있음. 그러나 고압공정은 재래 살균에 비하여 현저히 에너지를 절약할 수 있으므로 시간이 갈수록 에너지비의 절약효과는 축적될 것임. 더욱이 고압 살균공정에서는 열을 사용하지 않기 때문에 일반적으로 가열살균공정에서 수반되는 열에 의한 풍미, 색, 텍스춰, 향미, 영양성분의 손상을 받지 않음.
- 이상에서 기술한 것과 같이 새로운 비열기술은 식품가공에서 에너지 소요량을 감소시킴으로서 식품산업의 에너지 효율을 개선하는데 기여할 것으로 사료됨.

(나) 열처리공정을 대체하는 비가열공정을 적용하는 업체의 조사, 분석

- 산업적으로 고압가공되고 있는 식품의 예로는 조리 육제품, 어패류, 과일야채주스 등이 있음. 고압가공기술은 소비자들에게 주는 이점과 에너지 절약 이외에 가장 중요한

장점은 포장식품을 살균하는데 응용할 수 있다는 것임. 이는 재오염을 방지하고자 하는 노력 또는 무균 충전공정을 사용하지 않아도 됨. 현재 고산성 식품은 고압처리할 수 있는 적합한 후보임. 반면에 저산성 식품은 포자를 사멸시키는데 한계가 있기 때문에 상업적으로 아직 적합하지 않음.

- 고압비열살균기술은 전 세계적으로 다양한 식품을 가공하는데 응용할 수 있어 관심이 집중되었음. 현재는 초기에 일본에서 시작하여 미국, 유럽으로 퍼져나가 2000년 이후에 기하급수적으로 상업적으로 응용되고 있음. 2005년 전 세계적으로 82개의 상업적인 고압식품가공시스템이 가동되고 있는 것으로 알려졌음.
- 온도 40-60 ℃, 압력 200-600MPa에서의 고압처리하는 주스, 유제품, 과일 및 채소, 육제품, 어육제품에 응용되고 있음.
- Houska 등(2006)은 500MPa, 10분간 고압처리 함으로서 broccoli주스에 원래 존재하던 생균을 5log 이상 불활성화 시킬 수 있었으며, 냉장고(5℃)에서 30일간 저장 하여도 coli form 세균, 효모, 곰팡이, 살모넬라가 검출되지 않았다고 보고 하였음. Broccoli 중에는 항암성분인 sulforaphane이 함유되어 있는데 broccoli주스 제조에서는 이 성분의 함량을 최대화 하는 것이 관건임. 가압살균한 broccoli주스 중의 sulforaphane 함량과 항 돌연변이 유발활성은 냉동주스와 거의 동일하였다고 보고 하였음. 또한 고압살균한 사과-브로콜리 주스의 관능적 품질은 79일 저장 할 때까지 냉동주스와 거의 동일하였다고 보고하였음.
- Polydera 등은 환원오렌지주스를 500MPa, 35 ℃에서 5min 동안 고압살균 하고 재래 방법으로 가열 살균한 주스(80 ℃, 30s)와 0-15 ℃에서 저장하면서 품질 변화를 비교 연구 하였음. 오렌지주의 가열살균에서 가장 문제되는 것은 비타민 C의 손실임. 폴리프로피렌 병에 포장했을 때 초고압 살균한 오렌지주스의 비타민 C 파괴속도가 가열 살균한 주스에 비하여 현저히 낮았으며 그 결과 품질수명이 11%(15 ℃)에서 65%(15 ℃)까지 증가하였다고 보고하였음.
- 최근 초고압기술을 활용하여 제품을 생산하고 있는 국내·외 기업 현황을 표 223에 나타내었음.

표 223. Summary of some food companies using HHP technology and applications.

Sector	Company name	Country	Products	가열살균 대체
Dairy	New Image Natural Health	New Zealand	Colostrum beverage	○
	Rodilla	Spain	Cheese fillings for sandwiches	
	Angulo	Spain	Cream cheese	
Fruits & Vegetables	Austchilli	Australia	Avocado products, pomegranate juice	○
	Beskyd	Czech Republic	Juices	○

	Calavo Growers	USA	Guacamole	○
	Echigo Seika	Japan	RTE rice and cereals	
	FruityLine	The Netherlands	Juices and smoothies	○
	Frubaça	Portugal	Apple juices & fruits puree	○
	Fresherized Foods	USA	Guacamole, salsas, avocado products	○
	Garden Fresh Salsa	USA	Salsas, Guacamole, hummus	○
	Good Foods	USA	Guacamole, salsaa, hummus	○
	Hefeng Rice	China	RTE rice and cereals	
	Grupo IAN	Spain	RTE vegetable meals	○
	Kadomasaya	Japan	RTE rice	
	Leahy Orchards Inc.	Canada	Applesauce	○
	Meidi - Ya	Japan	Fruit based products	○
	Preshafood	Australia	Fruit puree & juices	○
	Pressure Fresh Australia	Australia	Fruit puree & juices	○
	Ulti (Granini)	France	Juices and smoothies	○
	San Loenzo	Mexico	Avocado products	○
	Simplot Foods	USA	Avocado products	○
	SimplyFresco	USA	Pasta sauces & salsas	○
	Toby's	USA	Tofu paté	○
	Verfruco	Mexico	Avocado products	○
	Dongwon F&B	Korea	RTE rice	
	Amore Pacific	Korea	Ginseng extract	
	Pulmuone	Korea	Juices and smoothie	○
	Hyungkuk F&B	Korea	Hongsi puree	○
Meat	Abraham	Germany	Smoked and cured hams	○
	Campofrio	Spain	Cured meats	○
	España	Spain	Sliced ham and tapas	○
	Foster Farms	USA	Sliced poultry products	○
	Hormel Foods Corp.	USA	Sliced deli meats, RTE meats	○
	Infantis	Greece	Sliced meats	○
	Itoham	Japan	Natural sliced meats	○
	Kraft Foods	USA	Oscar Mayer sliced deli meats	○
	Maple Leaf	Canada	RTE meals	○
	MapleLodgeFARMS ^L _{TD}	Canada	Sliced deli meats, RTE meats	○
	MRM	Spain	RTE meat meals & sliced meats	○
	Organic Prairie	USA	Sliced deli meats	○
	Perdue Farms Inc.	USA	Poultry	○
	Sadler's	USA	Smoked meats	○
	Santa Maria	Canada	Sliced cured and cooked meats	○
	Stella and Chewys	USA	Pet food	○

	Wellshire	USA	Sliced meats	○
	Wild Kitty	USA	Pet food	○
	Zwanenberg	The Netherlands	RTE culinary bases and steak tartare	○
Seafood	Clearwater Seafoods	Canada	Forzen raw lobster	
	Ghezzi	Italia	Ready-to-cook Salted Cod and Stockfish	○
	Joey Oysters	USA	Oysters	
	Mitsunori	Japan	Clams, whelks	
	Motivatit	USA	Oysters	
	Nisbet Oyster	USA	Oysters	
	Ocean Choice	Canada	Fresh and forzen raw lobster	
	Phillips Foods	USA	Crab meat	
	Shucks Maine Lobster	USA	Fresh raw lobster	
Dressing	Haejin	Korea	Oysters	
	American Pasteurization Company	USA	"Pay as you go" facility	
	Ameriqua	USA	"Pay as you go" facility	

(2) 현장적용 업체의 공정분석

(가) 신선 과채음료 제조 공정에 초고압기술 적용 타당성 검토

① 초고압기술의 기술 수명주기상 위치 확인

- 국내에서는 도입기이나 선진국에서는 성장기 단계임.

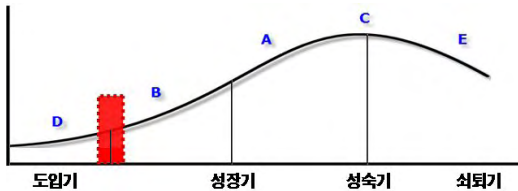


그림 331. 초고압기술의 수명주기.

② 초고압기술의 특징 및 동향 분석

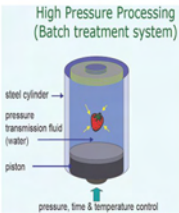
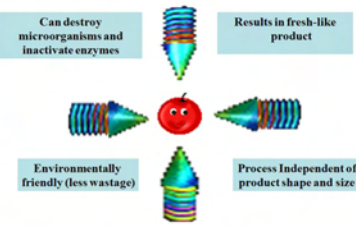
㉠ 특징

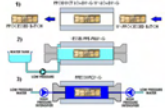
- 초고압 이용 기술은 1899년에 Hite에 의해서 시도되었고 최근에 친환경기술로 살균과

멸균이 가능한 기술로 미국 FDA와 유럽 등에서 검증된 기술이며 다음과 같은 장점을 가지고 있음.

- 식품의 품질 및 향미와 영양적 특성의 보존
- 보존 기간 연장 및 제품의 고품질화
- 無첨가제 또는 無방부제
- 포장 후 공정으로 2차 오염의 위험을 제거
- 공정 및 생산성의 향상
- 친환경적이며 Food Safety를 보장하는 비가열 처리 기술

- 초고압기술은 meat products, vegetable products, ready-to-eat meals, seafood & fish, juices & beverages 및 dairy products 등에 활용되어 상업용 제품이 선진국에서는 생산되고 있으며, 이 중에 약 50% 정도를 차지하는 음료 및 과채류 가공은 ① 위생 및 유통기한 연장, ② 병원성 미생물의 파괴, ③ 신선한 과채류의 맛, 색, 향 및 기능성분(비타민 등) 보존과 같은 장점을 가지고 있어 새로운 제품이 개발되어 출시되고 있음.

<p>High Pressure Processing</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ An emerging and Novel technology ○ Originally derived from material science areas ○ Introduced by Hite (1899) ○ Gaining tremendous popularity only in recent years <p>High Pressure Processing (Batch treatment system)</p> 	<p>HPP Characteristics and Advantages</p> 
--	--

<p>HPP Principles</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Iso-static principle : Application of pressure is instantaneous and uniform through out the sample ○ Le Chateliers' Principle Reactions resulting in a volume change are influenced by high pressure applications Reactions resulting in a volume decrease are accelerated with the application of HP Reactions resulting in a volume increase are suppressed by HP ○ Kinetic Energy and Molecular Ordering <ul style="list-style-type: none"> ▪ At constant T, an increase in pressure, increases the degree of ordering of the molecules ▪ Like temperature, the pressure increases the kinetic energy associated with the molecules ▪ Combination of pressure and temperature will synergistically accelerate the kinetics 	<p>Typical Processing Conditions</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Pressure : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Microbial inactivation : 75,000 to 87,000 psi (500-600MPa) Lower conditions for <i>Vibrio</i> spp. (300 to 350 MPa) ▪ Shucking, tenderization : 30,000 to 45,000 psi (200-300 MPa) ○ Hold Time : Generally 2 to 3 minutes ; shorter for acidic products ○ Process Temperature : 6 to 40°C 
---	--

- 본 기술은 현재 국내 시장에서 급격하게 성장하고 있는 냉장유통형 프리미엄급 주스 시장과 이유식 시장에 차별화된 기술로 새로운 착즙기술, 배합기술과 포장기술 및 초고압기술을 이용한 비가열처리기술을 적용한 제품 생산기술임.

㉔ 개발과 관련된 국내 기술개발 동향 및 수준
< 국내 >

○ 시스템 및 장치 개발 분야 기술현황

- 초고압과 관련된 국내의 기업은 보람IFT, 한국유수업, 어드밴스테크 등이 있으며 안전성, 작동의 간편성, 내열성 및 내구성을 고려한 기기를 연구, 제작, 판매하고 있으며 식품가공분야에서 응용하고 있는 고압관련 시스템 제작업체는 일신, U-Max, 디마퓨어텍 등이 있음.
- 그러나 비열살균기술에 이용되는 정수압으로 압력범위인 300 MPa 이상의 압력을 발생하는 장치 및 시스템을 제작하는 업체는 전무하지만 100 MPa 발생할 수 있는 시스템을 디마퓨어텍에서 일본 동양공업의 OEM으로 생산하고 있으며 고압액화반응기라고 함.

○ 식품에 대한 초고압처리 가공분야 기술현황

- 국내에서는 90년대 말부터 lab 규모의 장치를 이용하여 비열살균에 의한 저장기간 연장, 단백질, 전분 등 생체 고분자성분의 변성, 가압에 의한 반조리, 기능성 식품개발 분야 등에 응용연구를 시작하여 식품에의 응용관련 특허 현황에서와 같이 다양한 연구가 시도 되었으나 상업적 규모의 생산이 가능한 장치 및 시스템의 부재로 상용화가 이루어지지 못하고 있는 실정임.
 - 2006년에 상업적 규모의 시스템이 본 기술이전을 실시하고자 하는 (주)다손과 전략적 제휴를 맺은 해진물산에 도입(미국의 Avure사, 215 L)되어 꿀가공에 적용, 일본 수출 및 국내시장에 제품 출시를 준비하고 있으며, 2007년에는 동원F&B에 일본 미쓰비시사(현 고베철강) 초고압기가 도입되어 즉석밥(쨌죽)을 생산 및 판매하고 있고, 전남식품산업지원센터에 pilot 규모의 장비로서 미국(스웨덴)의 Avure사의 35 L급 장비가 도입되어 인삼가공 제품에 활용되다가 규모의 문제로 2008년 1월에 해진물산에서 OEM을 하였음.
 - 국내에서 초고압살균 기술을 무방부제·무첨가제 생과일 주스 제품에 적용한 경우는 풀무원의 ‘아임리얼(I’m Real)’ 제품이 처음이며 2010년 5월부터 백화점 및 일부 대형 마트에서 판매를 하고 있다. ‘아임리얼’의 경우 2007년 말에 출시되었지만 유통기한이 5일 밖에 되지 않아서 매우 한정된 지역의 전문 매장에만 공급되고 있었으나 초고압살균 기술을 활용하여 유통기한이 14일로 연장됨에 따라 그 판매처가 급증하고 있다.
 - 또한 최근에 CJ에서도 초고압기를 도입하여 2012년부터 오렌지 등 착즙과채주스(쁘띠 쉐)를 생산하고 있으며, 흥국F&B에서도 초고압기를 도입하여 다양한 음료소재를 제조하고 있음.
- 식품에 대한 초고압처리 가공분야에서의 문제점 및 향후 전망
- 상업적 규모의 장치를 활용한 실질적인 연구개발이 필요하며, 상업적 규모의 반연속식 장치가 개발되어 대기업에서도 초고압을 이용한 새로운 제품개발에 관심이 집중되고 있음.

- 초고압 기술은 경제성 문제에 대한 대책이 어느 정도 진행됨에 따라 식품의 살균, 단백질, 전분 등 생체 고분자성분의 변성, 유용성분의 추출, 식품의 보존, 가압에 의한 부동영역의 이용, 가압에 의한 반조리, 기능성 식품 개발 등 다양하게 응용이 되어 상용화가 가능함.
- 국내 식품 중 가열살균이 적합하지 못한 식품들(예를 들면 녹즙, 탁주, 그리고 김치 등)이 있는데, 이러한 식품들은 비열처리 살균법을 사용하는 것이 바람직하다고 생각되기에, 국내에서도 좀 더 이 기술들에 관심을 가지고 더 많은 연구가 이루어져야 될 것으로 사료됨.
- 장치 및 시스템은 여전히 외국에서 고가를 주고 수입하여야 하므로 장치개발 분야의 연구지원이 절실히 필요하다고 판단됨.
- 장치 및 시스템 관련 특허
 - 초고수압 살균장치 및 그의 이용방법(등록특허, 해진물산, 10-2006-0078458)
 - 고압식품처리장치(등록특허, 가부시키가이샤 고베 세이코쇼, 10-1992-0004941)
 - 초고압식품가공장치(한국 공개 실용신안, 윤화엽; 윤수원; 미가미이샤오 20-1993-0007984)
- 과채류 가공에서의 초고압 처리 응용관련 특허
 - 초고수압 살균장치 및 그의 이용방법(등록특허, 해진물산, 10-2006-0078458)
 - 초고압을 이용한 신규한 인삼가공 방법(등록특허, 그린바이오텍, 10-2002-0025239)
 - 당근주스의 제조방법(공개특허, CJ주식회사, 10-1996-0060317)
 - 고압처리에 의한 녹즙의 제조방법(공개특허, CJ주식회사 10-1994-0036925)
 - 초고압을 이용한 김치류의 저장성 향상방법(등록특허, CJ주식회사, 10-1995-0050654)
 - 초고압을 이용한 페이스트상 식품의 새로운 살균방법(공개특허, CJ주식회사, 10-1995-0000323)
 - 초고압 기술을 이용한 발효녹차의 가공방법(등록특허, (주)아모레퍼시픽, 10-2008-0010404)
 - 초고압 기술을 이용한 녹차의 제조방법(등록특허, (주)아모레퍼시픽, 10-2008-0010405)
 - 인삼 가공방법(공개특허, (주)아모레퍼시픽, 10-2008-0118036)
 - 식품의 살균 방법(공개특허, 한국식품연구원, 10-2008-0106037)
 - 초고압 처리를 이용한 백삼 및 홍삼의 제조방법(등록특허, 주식회사 동원에프엔비,

10-2007-0005157)

- 초고압 처리를 이용한 레토르트 야채죽의 제조방법(공개특허, 주식회사 오투기, 10-2007-0105945)
- 파 음료 및 이의 제조방법(등록특허, 한국식품연구원, 10-2003-0008891)

㉔ 개발과 관련된 국외 기술개발 동향 및 수준

○ 미래유망기술 분야 기술현황

- 고압을 이용한 기술 : 압력의 범위에 따라 아임계(~10 MPa), 초임계(10~40 MPa), 고압(40~100 MPa), High Pressure Homogenization(150~250 MPa) 및 초고압(100~900 MPa)으로 나누어 응용기술들이 개발되고 있으며, 아임계는 주로 분석시 전처리 기술로 활용되고 있으나 현재는 천연물로부터 천연 색소나 향을 추출하는 장치나 공정개발에 집중되고 초임계는 추출 또는 분리에 상용화가 이루어 졌으며, 이를 이용한 nano입자 제조 및 NDS(nutrient delivery system) 연구에 초점이 맞추어 있음.
 - 일본 및 벨기에 등에서는 고압(~100 MPa), 고온(~50 ℃) 조건 하에서 효소를 활용하여 가수분해를 촉진하는 기술이 개발되어 상용화 시점에 있고 나노에멀전 및 분산 분야에 high pressure homogenization 기술이 실용화 되었고 초고압 기술은 식품가공의 전처리, 비열살균, 보존 및 신규한 가공기술로 활용되고 있음.
 - 비열 가공 기술을 이용한 shelf-life 연장 및 응용 연구(Pulsed electric field(PEF) as a pasteurization technology, High hydrostatic pressure(HHP) for pasteurization and sterilization of food, and extraction, Pulsed light as a surface-disinfecting method 등)
 - 에너지 효율이 향상되고 친환경적인 가열대체기술의 개발(Ohmic heating, Microwave, Radio-frequency, Induction heating, Infrared techniques 등)
- 식품가공 분야에 활용되는 산업용 스케일 초고압 장치 개발 분야 기술현황
- 초고압 장비를 식품가공에 활용하는 국가들은 유럽, 미국 및 일본이 주도하고 있으며 NC Hyperbaric(스페인), Avure(미국/스웨덴), Multival-UHDE(독일), 미쯔비시중공업(일본) 등에서 상업적 규모의 장치를 생산 및 판매하고 있음.
 - 2013년 현재 세계적으로 약 80개(한국 6개) 기업이 상업적 규모의 장치를 갖추고 있으며, 종업원 50명 이하의 기술 집약형 중소기업이 37% 정도를 차지하고 있음.(그림 332)
 - 식품 분야별 장비를 갖추고 있는 곳과 규모를 확인해보면 육가공에 대형장비가 가동되고 있음.

■ 56 different HPP users companies known all over the world

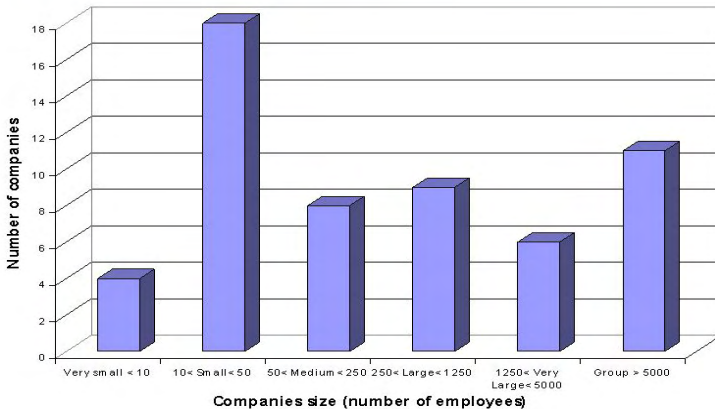


그림 332. 초고압의 보유한 기업수 및 업체규모.

- 최근에는 중국에서도 국가에서 장기 연구과제로 진행된 프로젝트의 결과로 장비를 생산하여 적극적인 마케팅을 시도하고 있음.

○ 특허현황

- (WO/2006/096074) HIGH PRESSURE PROCESSING OF BIOACTIVE COMPOSITIONS
- United States Patent 6177115, Ultra high pressure, high temperature food preservation process, US Patent Issued on January 23, 2001
- United States Patent 6207215, High temperature/ultra high pressure sterilization of foods, US Patent Issued on March 27, 2001
- (WO/1997/021361) HIGH TEMPERATURE/ULTRA-HIGH PRESSURE STERILIZATION OF LOW ACID FOODS
- (WO/2000/015053) ULTRA HIGH PRESSURE, HIGH TEMPERATURE FOOD RESERVATION PROCESS
- (WO/1999/029187) ULTRA HIGH PRESSURE, LOW TEMPERATURE FOOD RESERVATION PROCESS
- United States Patent 7101585, Ultra high pressure homogenization process for

making a stable protein based acid beverage

- (WO/1999/029187) ULTRA HIGH PRESSURE, LOW TEMPERATURE FOOD PRESERVATION PROCESS

○ 초고압제품

- 초고압을 활용한 제품은 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 다양하게 생산 및 판매되고 있으며 식품 가공 분야별로 육류, 과채류, 해산물, 음료류 및 유제품에 사용되고 있음.
- 현재 국외에서 초고압살균을 처리한 음료제품은 그림 333 같음.



그림 333. 초고압살균 음료제품.

- 또한 식품 가공 분야별로 약 50% 정도를 차지하는 음료 및 과채류 가공은 ① 위생 및 유통기한 연장, ② 병원성 미생물의 파괴, ③ 신선한 과채류의 맛, 색, 향 및 기능 성분(비타민 등) 보존과 같은 장점을 가지고 있으며 개발 및 제품이 출시되고 있음. (표 224)

표 224. 국가별 초고압살균 음료제품 현황

국가	연도	제품
일본	1991	포도주스
일본	1992	귤주스
프랑스	1994	감귤주스
멕시코	2000	감귤주스 및 스무디
레바논	2001	과일주스
미국	2001	사과주스
포르투갈	2001	사과주스 및 사과/감귤 혼합주스

이탈리아	2001	과채주스
미국	2002	오렌지주스, 레몬에이드 및 스무디
체코	2004	브로콜리/사과 혼합주스 및 당근주스
북아일랜드	2006	과일스무디
스페인	2007	과일스무디 및 주스
호주	2008	과일스무디 및 주스
한국	2010	과일주스(아임리얼)
한국	2012	과일주스(빔씨켈)

㉔ 초고압 기술의 경제성 비교

- 고압 살균기술은 1895년 Meyer에 의해 처음으로 발표되었으며, E. Coli, Staphylococcus aureus 등에 대한 압력특성을 밝혔고 Timson과 Short는 원유(raw milk)가 압력에 의해 영향을 받는 것을 관찰하였음. 그리고 Zobell(1970)은 Meyer 연구 이후 고압살균 데이터를 분석하고 연구하였으며 1992년에 일본에서 처음으로 고압 살균기술을 도입하여 잼과 오렌지주스 살균에 사용하였음. 그 후 유럽 및 미국을 중심으로 선진국에서는 고압을 식품에 응용하는 기술 및 장비개발에 대한 연구와 투자가 활발히 진행되어왔음.
- 하지만 국내의 경우에는 초기 선진국과 거의 동시에 연구를 실시하였지만 실험에 필요한 초고압기 제조에 기술적, 경제적 문제점이 많았기 때문에 상업적인 연구가 거의 진행이 되지 못하였고 장비개발 역시 이루어지지 않았음.
- 현재의 경우 산업화 초창기라 할 수 있는 1996년과 비교하여 초고압 장비 가격이 약 절반정도이며, 상대적인 초고압 가공비도 4분의 1정도 수준까지 낮아졌기 때문에 소비자들의 요구에 부합되는 새로운 제품에 적용할 경우에 경제적으로 충분히 경쟁력이 있다고 판단됨.

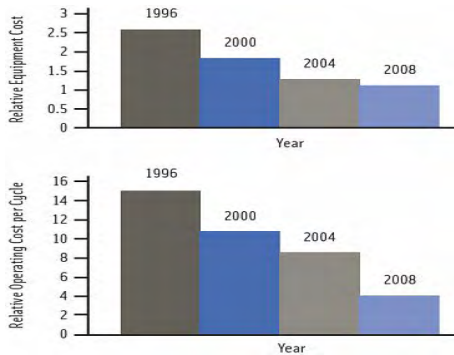
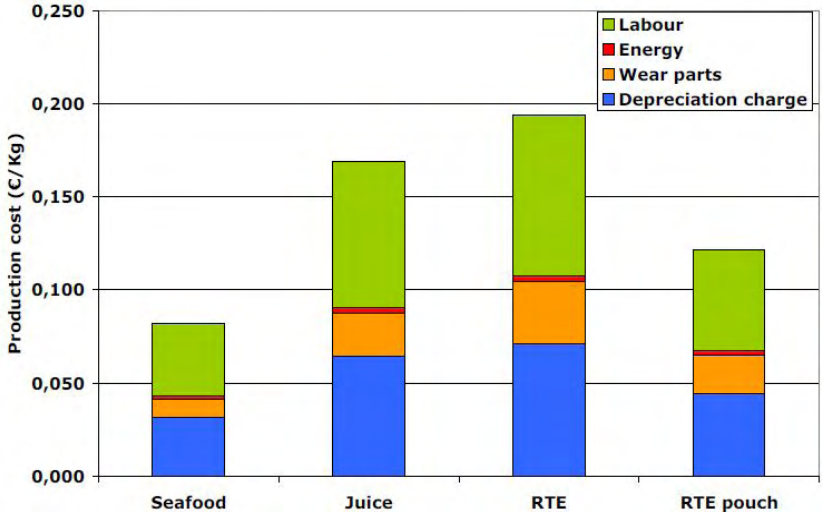


그림 334. 초고압장비의 연도별 가격 및 공정비.

- 초고압살균은 포장이 완전하게 된 최종제품의 형태로 이루어지기 때문에 최종제품의 형상에 따라 1회 가공할 수 있는 양이 달라지며, 제품별로 목적하는 살균효과를 위해서는 가해주는 압력과 도달한 압력을 유지시켜주는 시간에 따라 차이가 있기 때문에 이러한 공정조건을 최적화하여 살균효과와 경제성이 동시에 만족되어지도록 공정조건 설계가 요구됨.
- 초고압살균을 처리하는 제품별 공정비를 산출한 결과를 그림 335에 나타내었음.



(※ 본 도표는 초고압기의 일일 사용시간이 약 15시간 정도, 장비의 감가상각 기한을 5년을 기준으로 하였으며 품목별로 일반적인 공정조건을 감안하여 산출한 결과임.)

그림 335. 초고압살균에 대한 제품별 예상 공정비.

- 본 기술에 의해 생산되는 주스의 경우 초고압살균에 필요한 비용이 최종제품의 kg당 270원 정도(200 mL 한병당 약 55원) 예상된다. 그러므로 기존의 가열살균된 제품과 비교하여 맛, 향, 색 및 기능성 성분이 거의 파괴되지 않고 유통기한이 유지되는 프리미엄급 웰빙(well-being) 신선사과주스를 제조하는데 초고압살균기술의 적용이 경제적으로도 큰 부담이 없는 것으로 판단됨.

③ 신선 과채음료 제조공정에 초고압기술을 적용하여 개발한 기술의 차별성

- 본 기술은 초고압을 이용하여 저온살균에만 이용된 것이 아니라 drinkability 또는 침전방지 등과 같은 물성부여 등의 가공적성을 최적화하며 과일과 녹즙 등의 야채류에도 적용할 수 있도록 다양성을 부여한 공정기술임.

- 또한 초고압 공정의 특성인 다품종 소량생산이 가능토록 다양한 성능을 보유한 장비를 선택하여 구성함으로써 음료 이외에도 과채류에 다른 원료의 혼합을 통한 이유식 및 노인식 등 다양한 제품의 제조가 가능하도록 구성되어 있음.
- 그리고 전처리 공정에서 세척수의 재활용을 최대화 시켜 일반적인 세척라인보다 약 20% 정도의 세척수 감소에 의한 효율 및 탄소저감 효과를 부여토록 설계하였음.

④ 개발공정의 제시

㉞ 스무디 주스 제조공정

- 과일이나 채소류 원물을 선별 및 세척한 후 디스크 밀에 의하여 조분쇄하는 전처리공정과, 전처리공정을 통해 얻은 원료의 종류에 따라 콜로이드밀 및 스톤밀을 이용하여 미분쇄하는 미세분쇄공정과, 미세분쇄물을 디켄터(decanter) 처리하여 균일하게 분쇄되지 않은 불용성 물질을 분리하는 디켄팅 공정과, 디켄팅 공정을 수행한 후 미세분쇄 과정에서 생성되어 주스용액 중에 함유되어 있는 미세기포를 제거하기 위한 진공감압탈기공정 및 고흡분 입자를 균일하게 분산시키는 균질화 공정을 동시에 수행하는 복합다기능 균질혼합공정을 거친 후 곧바로 일정용량의 주스용기에 주입하는 충전공정으로 이루어짐.
- 위와 같은 스무디 제조공정을 통하여 제조된 사과 스무디의 경우 평균 입자 크기가 약 100 μ m 정도이며 고흡분(불용성) 함량이 약 13-15% 정도로 조절하여 유지됨.

㉟ 클라우디 주스 제조공정

- 스무디 제조공정에서와 같이 선별, 세척, 조분쇄, 미분쇄 및 디켄팅 공정을 통해 과육과 같은 불용성분인 고흡분을 일정부분 제거 및 조절한 제조물을 고속의 원심분리기를 이용하여 여과와 침전시켜 입자크기와 고흡분을 조절하는 원심분리공정과, 용액 중에 함유되어 있는 미세기포를 제거하기 위한 진공탈기공정을 거친 후 곧바로 일정용량의 주스용기에 주입하는 충전공정으로 이루어짐.
- 위와 같은 클라우디 제조공정을 통하여 제조된 사과 클라우디의 경우 평균 입자 크기가 약 1-5 μ m 정도이며 고흡분(불용성) 함량이 약 0.5% 정도로 조절하여 유지됨.

㊱ 맛있는 과채주스 제조공정

- 스무디 및 클라우디 제조공정에서 사용하는 과일용 세척공정은 동일한 방식으로 활용하고, 기능성분에 의해 선별된 채소(구근류 및 엽채류)를 세척하는 별도의 세척공정을 추가 구성하여 본 공정에 그대로 적용하므로 스무디 및 클라우디 형태의 혼합과채주스 제조가 이루어짐.
- 특히 복합다기능 균질혼합공정을 통하여 미세분쇄된 과일과 다양한 종류의 채소를 배합비에 맞추어 균일하게 혼합하고 입자를 균일하게 분산시키는 균질화 및 혼합시 받

생하는 미세기포를 제거하기 위한 진공감압 탈기공정이 동시에 이루어지게 하여 공정의 단순화 및 효율성을 추구하였음.

- 위와 같은 맛있는 녹즙 제조공정을 통하여 제조된 혼합과채주스는 소비자의 수요에 따라 스무디 형태 또는 클라우디 형태 특성에 맞게 입자크기 및 고형분 함량을 조절하여 유지함.

㉔ 초고압 비가열 살균공정

- 초고압 처리 조건 확립 : 400 MPa - 600 MPa에서 1-3분 처리 최적화 (유해미생물을 5 log reduction 확인)

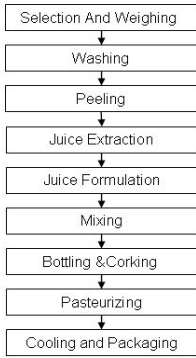
표 225. 사과주스의 *E.coli* O157 : H7, *Listria monocytogenes* , *Salmonella*에 대한 초고압처리 효과

압력	초고압처리 시간 (sec)	초고압 후 6시간	초고압 후 24시간
		MPN/mL	
<i>E.coli</i> O157 : H7 at 2.8×10⁶ CFU/mL			
550MPa	무처리군	7.8×10 ⁵ CFU/ml	7.0×10 ⁵ CFU/ml
	30	460	ND
	60	ND	ND
<i>Listria monocytogenes</i> at 2.3×10⁶ CFU/mL			
550MPa	무처리군	4.2×10 ⁵ CFU/mL	1.7×10 ⁵ CFU/mL
	30	240	ND
	60	ND	ND
<i>Salmonella</i> at 9.45×10⁶ CFU/mL			
550MPa	무처리군	6.1×10 ⁵ CFU/mL	1.7×10 ⁵ CFU/mL
	30	ND	ND
	60	ND	ND

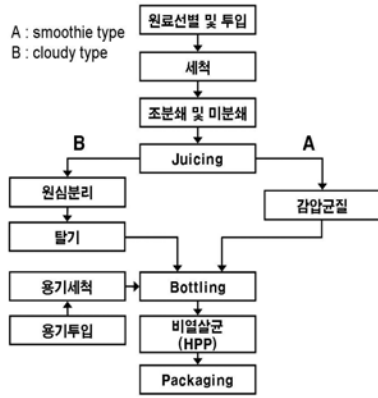
- 비가열살균공정은 수평형 초고압기(135L, NC Hyperbaric, 스페인)를 이용하였으며, 초고압살균 가공의 경우 다음과 같은 조건에 따라 처리량의 차이가 발생됨.
 - ✓ 완제품 포장상태에 따른 충전비율(filling ratio)
 - ✓ 처리압력(pressure)
 - ✓ 압력유지시간(holding time)

㉕ 개략적인 제조공정도

FRUIT and VEGETABLE JUICE PRODUCTION FLOW CHART



(a)



(b)

그림 336. 신선과채주스 제조공정도 ;
(a)기존 가열공정, (b)현장적용 초고압 비가열공정.

(3) 시제품 품질 평가

(가) 초고압 비가열 살균에 의한 주스류의 미생물학적 안정성

- 기존에 판매되고 있는 신선 주스의 판매 유통 기간 등을 고려하여 초고압 처리된 사과 클라уди 주스 및 사과 스무디 주스의 저장유통성을 2-3주 정도로 예측하고, 저장 기간에 미생물학적 안전성을 10 ℃미만 조건에서 냉장 저장하면서 확인하였음.

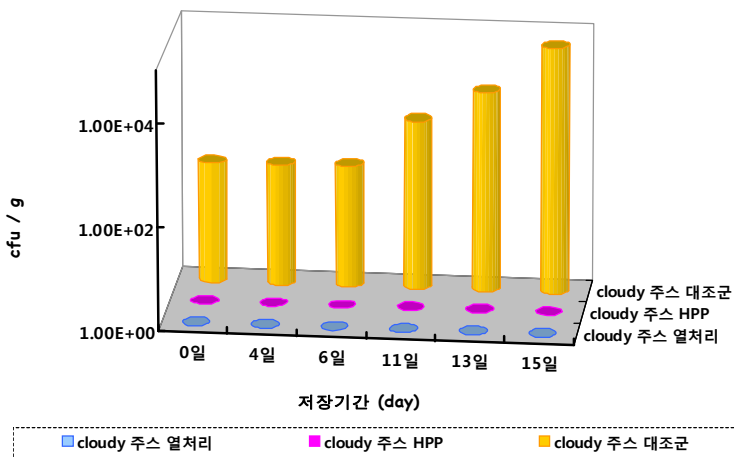


그림 337. 저장기간에 따른 사과 클라уди 주스의 총균수 변화.

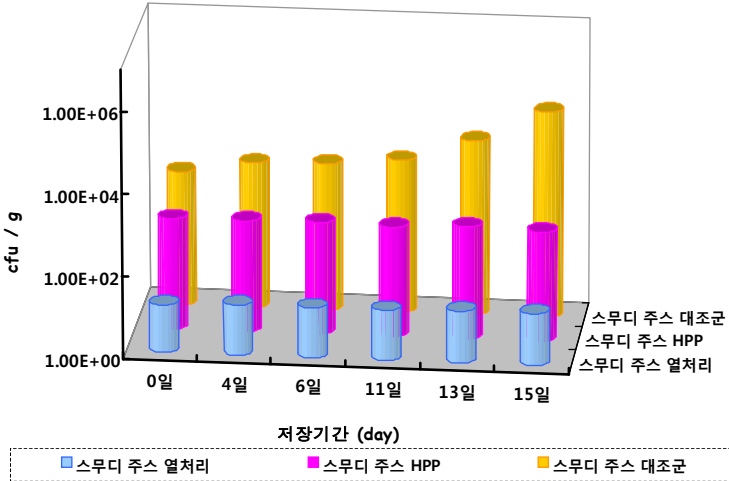


그림 338. 저장기간에 따른 사과 스무디 주스의 총균수 변화.

표 226. 저장기간에 따른 대장균수 변화

(단위 : cfu/g)

저장일수 (day)	클라우드 주스 대조군	클라우드 주스 HHP	클라우드 주스 열처리	스무디 대조군	스무디 HHP	스무디 열처리
0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
11	5.30×10	N.D.	N.D.	1.10×10^2	N.D.	N.D.
13	8.80×10	N.D.	N.D.	3.80×10^2	N.D.	N.D.
15	1.40×10^3	N.D.	N.D.	6.90×10^3	N.D.	N.D.

- 저장기간 동안 균성장은 무처리군의 경우 10-11일을 기점으로 일반세균수가 증가하는 추세를 보였으나, 초고압처리군은 처리 후 초기의 세균수가 15일 이상 유지함을 확인 함으로서 미생물학적 안전성은 초고압 처리 시 제품에 따라 초기 일반세균 감소에 차 이가 발생하나 보관 온도 및 기간에 따른 미생물 억제 효과가 15일 이상 유지됨을 확 인할 수 있었음.

- 또한 사과와 야채가 혼합된 맛있는 과채 주스의 초고압 처리에 따른 미생물수 변화를 확인한 결과 초고압 처리 전 초기 균수는 원료의 충분한 세척을 실시했음에도 불구하고 브로콜리, 당근 등 토양 등의 오염에 쉽게 노출되어 있는 원료 특성 상 4log 정도로 비교적 높게 측정되었다. 토양 등의 오염지료로 사용되는 대장균군 수 역시 초고 압 처리 전 3log 정도 검출되었다. 하지만 두가지 시료 모두 초고압 처리 후 총균수가

1log수준으로 3log 감소되었고, 대장균군은 두시료 모두 사멸된 것을 확인할 수 있었음.

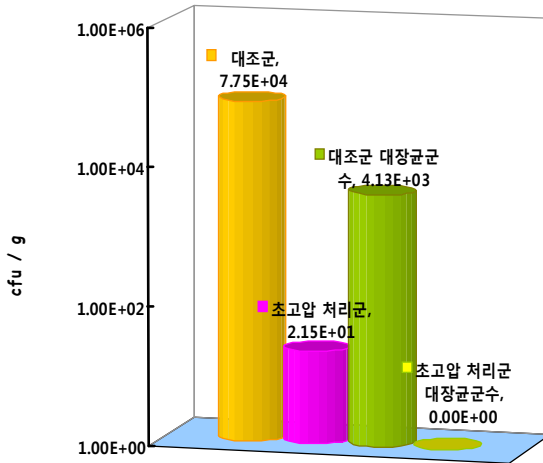


그림 339. 맛있는 과채주스의 초고압 처리에 따른 미생물 수 변화.

(나) 초고압 비가열 처리에 따른 맛있는 과채주스의 일반 및 영양성분 함량 변화

- 초고압처리에 의하여 일반성분이나 베타카로틴, 비타민 C 등의 큰 차이가 없었음.

표 227. 초고압 처리에 따른 맛있는 과채주스의 성분변화

	초고압처리전	초고압 처리후
탄수화물(g)	127.3 ± 10.2	129.3 ± 11.5
단백질(g)	7.3 ± 0.4	7.1 ± 0.5
지방(g)	1.1 ± 0.1	1.2 ± 0.1
베타카로틴(mg)	34.9 ± 0.9	34.6 ± 1.1
비타민 C(mg)	59.2 ± 2.4	58.8 ± 2.1

(Mean ± SEM)

(다) 초고압 비가열 처리에 따른 맛있는 과채주스의 폴리페놀성분 함량 변화

- 7가지 폴리페놀 성분 (hydroxy benzoic acid, caffeic acid, syringic acid, coumaric acid, sinamic acid, quercetin, flavone)의 변화를 측정하였음.

표 228. 초고압 처리에 따른 맛있는 과채주스의 폴리페놀 성분 함량 변화

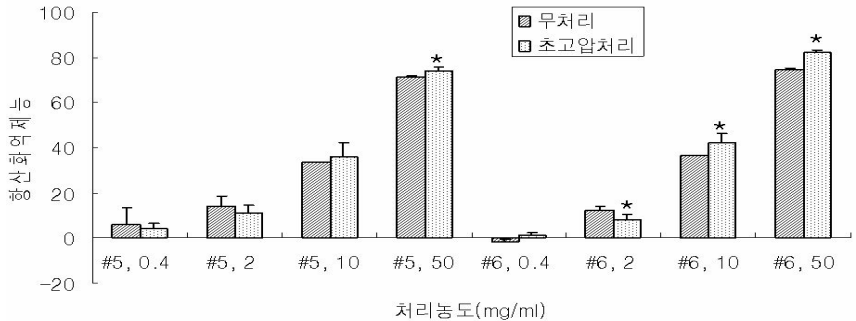
폴리페놀(ppm)	초고압처리전	초고압처리후
Hydroxy benzoic acid	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01
Caffeic acid	1.67 ± 0.10	1.76 ± 0.12
Syringic acid	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.01
Coumaric acid	0.91 ± 0.01	0.90 ± 0.01
Sinamic acid	0.15 ± 0.01	0.09 ± 0.01*
Quercetin	0.09 ± 0.01	0.08 ± 0.01
Flavone	7.70 ± 0.54	7.56 ± 0.49
합계	10.71 ± 1.21	10.59 ± 1.18

(Mean ± SEM, *P<0.05 vs 초고압)

- 초고압 처리에 의하여 각각의 폴리페놀 함량변화는 약간씩 있지만 총 함량은 큰 변화가 없었음.

(라) 초고압 비가열 처리에 따른 맛있는 과채주스의 항산화능 변화

- 맛있는 과채주스를 초고압 처리한 것과 처리하지 않은 대조군 샘플로 나누어 항산화능을 알아보는 DPPH 소거능 실험을 진행한 후 EC50값을 구하여 효능을 비교하였음.



(Mean ± SEM, *P<0.05 vs 초고압)

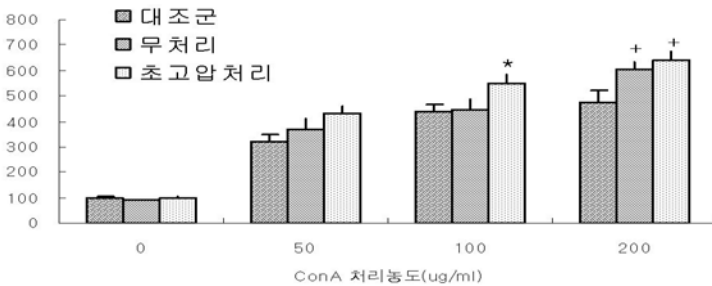
EC50	무처리	초고압처리
#5	20.731	17.955
#6	16.499	13.344

그림 340. 초고압처리에 의한 맛있는 과채주스의 항산화능 변화.

- 초고압처리의 효과에서 초고압 처리군이 무처리군에 비해 DPPH 자유 라디칼 소거효과가 우수한 것으로 나타났다. 이는 초고압 처리가 시료의 항산화능을 저하시키지 않을 뿐만 아니라, 영양소 파괴를 적게 하여 오히려 대조군에 비해 항산화능을 높게 유지할 수 있도록 도와주기 때문으로 판단되었음.

(마) 동물섭취 실험에 의한 맛있는 과채주스의 면역증진 활성

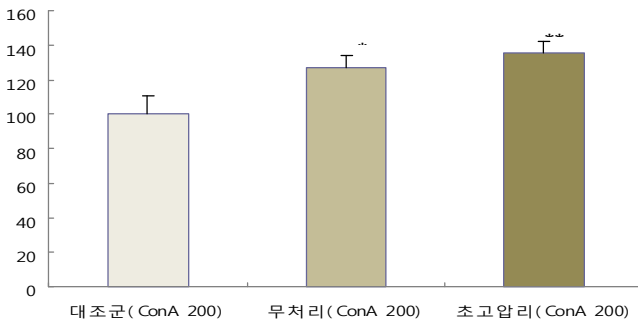
- 대조군보다는 초고압처리하지 않은 섭취군이 면역활성이 높았으며, 무처리군 보다는 초고압처리를 한 군이 더 좋은 효능을 나타내었음. 특히 초고압 처리군에서는 통계적으로 유의하게 면역력을 증진하였음을 관찰할 수 있었음.



- 대조군 : 일반사료를 공급한 군.
- 무처리 : 초고압처리하지 않은 #6시료를 4% 함유한 사료를 4주간 공급한 군.
- 초고압처리 : 초고압처리를 한 #6시료를 4% 함유한 사료를 4주간 공급한 군.

그림 341. 비장세포를 이용한 면역증진능 확인.

- 결론적으로 초고압 처리군과 무처리군의 면역증진 효능은 통계적으로 유의한 차이는 관찰할 수 없었음.



- 대조군 : 일반사료를 공급한 군.
 - 무처리 : 초고압처리하지 않은 #6시료를 4% 함유한 사료를 4주간 공급한 군.
 - 초고압처리 : 초고압처리를 한 #6시료를 4% 함유한 사료를 4주간 공급한 군.
- * < 0.05, ** < 0.01.

그림 342. 번역증진 효능 비교결과.

(바) 초고압 포장용기 재질 선정 및 용기 디자인 개발

○ 초고압 포장용기 재질

- 초고압 가공 중에 용기 내부에 존재하는 소량의 공기가 압력에 의하여 수축이 발생하는데, 이로 인해 초고압 가공에 사용되는 용기는 금속이나 유리와 같은 딱딱하고 경도가 강한 재료의 경우에는 초고압 가공 중 변형이 일어나거나 깨지게 됨. 그러므로 초고압 가공 시 발생하는 수축에 유연성(flexibility)이 부여되는 플라스틱 재질의 용기를 사용하여야함.

- 자료조사 및 재료특성 등을 감안하여 초고압 가공기술을 이용한 비가열 웰빙음료에 적용이 적합한 용기는 다음과 같은 점을 고려하여야 함.

- | | |
|--------------------------------|-------------------|
| ① 유연성(flexibility) : 초고압 가공적합성 | ⑤ 인체 안전성 (safety) |
| ② 투명성 : 소비자 선호도 | ⑥ 가공 및 구매편의성 |
| ③ 기체차단성(gas barrier property) | ⑦ 가격경쟁력 |
| ④ 화학안정성 (chemical stability) | ⑧ 기타 |

- 그러므로, 현재 상업적으로 생산되는 재료 중 위의 특성을 고려하고 초고압 예비실험을 통하여 선별한 결과 PET(폴리에틸렌테레프탈레이트)용기를 최종적으로 선정하였음.

○ 주스용기 디자인

- Good Promotion : 매장에서의 진열시 promotion 효과를 극대화

- Easy Operation : 작업의 편리성을 극대화

- Good Efficiency : 일반적으로 초고압 처리 시 음료에 적합한 플라스틱 용기의 filling ratio는 둥근형태의 용기가 일반적이므로 약 50% 정도이지만 본 디자인 용기는 filling ration은 일반적인 경우에 비하여 20% 정도 향상되도록 고안하여 작업 효율 최대화

(4) 에너지 강도 및 탄소저감 효과 분석

(가) 에너지 저감 효과 분석

① 음료제조공정의 선정 및 평가범위의 설정

- 초고압기술을 활용한 신선 과채 음료의 에너지 저감효과를 검증하기 위하여 대표적인 과채소류 가공공정으로 다음의 2가지를 선정하였음.
 - ✓ 국내산 사과로부터 클라우디 주스의 생산
 - ✓ 수입 동결 NSF오렌지 주스로부터 냉장프리미엄 주스 생산
- 클라우디 사과주스를 생산하는 기존공정과 초고압 비열공정을 비교하면 사용 장치, 조건 등에 약간의 차이는 있으나 착즙까지의 과정은 거의 비슷하며, 그 이후 착즙 주스의 살균과 포장 공정에 근본적인 차이가 있음. 본 연구의 목적은 초고압 비열공정의 에너지 저감 효과와 품질의 우수성을 기존공정과 비교하고자 하는 것이므로 전과정을 분석하지 않고 아래의 그림 343과 그림 344에 나타난 것과 같이 점선으로 표시한 포장과 살균공정만을 평가의 경계로 정하였음.
- 또한 NFC 오렌지주스의 경우 국내 주스생산업계에서는 단지 냉동 또는 냉장 NFC 주스를 수입하여 살균, 포장 공정만을 거쳐 생산되므로 역시 점선으로 표시한 부분을 평가의 경계로 정하였음.
- 사과주스와 오렌지주스의 평가의 경계는 동일함. 그러나 사과주스의 경우는 현재 국내 지자체에서 건립되어 시생산 중인 초고압을 이용한 신선 과채류주스 공장의 공정과 장치를 기준으로 에너지 소비량을 추산한 반면에 오렌지 주스는 수입한 주스를 재살균, 포장만 하기 때문에 발표된 외국의 기존 오렌지주스 공장의 자료를 이용 및 평가하여 비교하였음.
- 본 과제에서 선정된 평가의 경계에서는 입출입하는 물체의 질량에 변화가 거의 없고 통조림의 살균에 사용되는 살균제 이외에는 특별한 배출물도 없으므로 평가항목은 전기, 스팀 등의 에너지 소비량을 중심으로 분석하였음.

에너지 소비량 추산 근거

- 클라우디 사과주스는 생산능력 5,000 kg juice/day(8시간 조업) 공장의 설계자료
- NSF 오렌지주스는 10,000 kg orange(주스 7736.8kg)/day(6시간 조업) 공장 (Nigeria)의 실측자료
- functional unit는 최종 주스제품 1kg

- 초고압 비열기술을 이용한 클라우디 사과주스 생산에서 에너지 소비량의 계산 내용에서 클라우디 사과주스 생산 규모는 5000 kg/day(하루 8시간 조업 기준), functional unit는 사과주스 1 kg으로 하였음.



그림 343. 사과 클라우디주스 제조공정 비교.

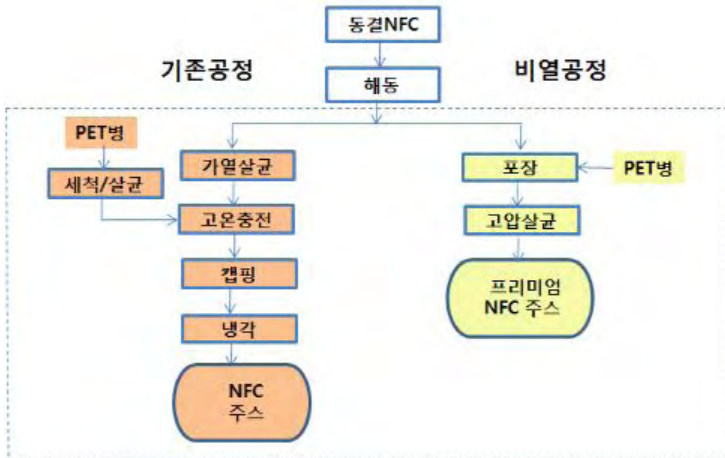


그림 344. NFC 오렌지주스 제조공정 비교.

㉔ 고압살균에 소요되는 이론적 에너지 계산

○ 초고압 생성에 필요한 압축일

- 고압처리 과정에서는 1) 압축일과 2) 압축으로 인한 단열가열에 에너지가 소비됨. 고압 처리에서는 일반적으로 매체로 액체를 사용함. 액체의 부피와 압력 사이의 관계는 압력 변화에 따른 액체의 상대적 부피변화를 나타내는 압축율(compressibility) β 로 나타낼 수 있음.

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p} \quad (1)$$

여기서 V: 부피(m³)
p: 압력(Pa)

- 식 (1)을 적분하여 액체의 부피는 압력의 함수로 다음과 같이 나타낼 수 있음.

$$V = e^{(-\beta p)} \quad (2)$$

- 순수한 물의 압축계수 $\beta = 4.6 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}(25^\circ\text{C})$ 이다. 따라서 물을 600MPa까지 가압했을 때 부피는 약 24% 감소하며, 이는 등온조건에서 압력이 100MPa 증가할 때 부피가 4% 감소하는 것에 상당함.

- 비압축일은 다음과 같이 표현됨.

$$W = -\int V dp \quad (3)$$

- 등온조건에서 순수한 물에 대하여 식 (3)을 적분하면 600MPa로 가압할 때 비압축일은 약 52kJ/kg임. 식 (3)을 적분하기 위해서 등온조건에서 $V = f(p)$ 의 함수관계는 National Institute of Standard and Technology(NIST)의 공식으로부터 구하였음 (Waheed et al).

○ 단열 압축열(adiabatic heat of compression)

- 고압살균 공정에서 단열압축에 의해 압축열이 발생되는데 이는 추가적으로 살균상승 효과를 주며 압축과정에서 상승한 온도는 압력을 풀어 주면 곧 초기 온도로 원상회복을 함.
- 가압에 의해 식품의 밀도, 비열 등이 변하므로 가압가공공정에서 온도의 변화를 계산할 때 이 점을 고려하여야 함. 식품의 밀도는 압력이 100MPa 증가할 때 마다 초기 값의 약 3.5%씩 증가함. 또한 물의 비열은 1 °C, 대기압일 때 4216 J/kg·K이며 600MPa일 때 3488 J/kg·K으로 직선적으로 감소함. 식품의 열전도도는 가압에 의해

크게 변하지 않음.

- 모든 압축성 물체는 압축과정에서 온도가 변함. 이때 온도가 상승하는 이유는 내부마찰에 의하여 열이 생성되기 때문이며, 단열조건에서 유체를 고압으로 압축했을 때 발생하는 열을 압축열이라 함. 등온, 등엔트로피 압축과정에서 온도의 증가는 다음 식으로 계산할 수 있음.

$$\frac{dT}{dp} = \frac{\alpha}{\rho} \frac{T}{c_p} \quad (4)$$

여기서 α : 압축 유체의 열팽창율(thermal expansivity)

ρ : 압축 유체의 밀도

c_p : 압축 유체의 비열

- 열역학적 성질 α, ρ 및 c_p 는 압력-온도에 의존되는데 이 관계를 알면 압축과정에서 온도의 변화를 계산할 수 있음. 압력 전달매체에 따라서 다른 단열 가열곡선을 나타냄. 고압조건에서 실제 식품의 열역학적 data가 부족하기 때문에 압축과정에서 온도 증가를 계산하는데 한계가 있으므로 현재 실제 식품시스템의 단열가열은 주로 실험적으로 측정함. 아래 표 229에 여러 가지 식품의 단열 압축열을 나타내었음.
- 대부분의 식품의 주성분은 물이므로 물의 열역학 성질을 이용하여 고 수분식품의 압축에 의한 온도상승을 추정할 수 있음. 그러나 아래 표에 나타낸 것과 같이 지방함량이 높은 식품의 압축열은 물의 압축열보다 약 3배 높으므로 주의하여야 함. 유기용매 또는 오일을 압력전달매체로 사용할 경우 수용액인 식품시스템의 온도상승이 작을 것으로 예상됨. 따라서 압력매체로부터 식품으로의 열전달을 고려하여야 하며, 압력매체와 식품시스템의 온도 상승 폭의 차이는 단열가열 동안과 단열가열 후 식품시스템의 온도를 증가시키는데 이용할 수 있을 것으로 판단됨.
- 가압과정에서 순수한 물의 평균 열팽창율, 밀도 및 비열이 각각 $\alpha = 2.5 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$, $\rho = 900 \text{kg/m}^3$, $c_p = 3.85 \text{kJ/kg} \cdot \text{°C}$ 라 가정하면 순수한 물의 압력이 매 100MPa 증가할 때 온도는 약 3 °C 증가함. 순수한 물을 600MPa까지 가압하면 가압에 의한 온도상승은 18 °C이며, 600MPa까지 가압하는 동안 물의 온도를 18 °C로 상승시키는데 필요한 열은 $69.3 \text{kJ/kg} (= 18 \text{ °C} \times 3.85 \text{kJ/kg} \cdot \text{°C})$ 임.

표 229. Adiabatic Heat of Compression in Different Food Systems

Substance at 25°C	Pressure (MPa)				Temperature Increase per 100 MPa Compression (°C/100 MPa)			
					9.2	8.0	7.0	6.6
Vegetable oil	156.1	293.8	446.7	586.0	9.2	8.0	7.0	6.6
Mayonnaise dressing	149.3	318.6	468.0	574.6	7.2	5.7	5.0	5.3
Cream cheese	146.4	316.1	447.6	533.3	4.9	4.8	4.6	4.7
Egg yolk	161.4	338.9	472.0	544.8	4.5	4.4	4.3	4.3
Hass avocado	148.9	316.5	480.4	580.0	4.1	4.0	3.6	3.7
Beef ground raw	150.4	324.8	457.1	540.7	3.0	3.3	3.4	3.2
Egg whole	142.1	328.4	470.7	552.3	3.2	3.4	3.5	3.3
Whole milk	145.4	326.6	472.5	556.8	3.1	3.2	3.2	3.2
Gravy beef	153.6	307.7	448.9	534.5	3.1	3.0	2.9	3.0
Chicken breast	146.2	322.6	462.6	542.3	3.0	3.0	3.1	3.0
Egg white	163.0	332.5	465.0	541.2	2.8	2.8	2.8	2.9
Skim milk	148.3	314.6	458.8	544.8	2.9	3.0	2.9	3.0
Honey	157.5	299.1	449.3	581.6	3.5	3.2	3.1	2.9

Source: Reprinted from Patazca, E., Koutchma, T., and Balasubramaniam, V.M., *J. Food Eng.*, 80, 199, 2007. With permission.

㉔ 초고압 비열살균기에서 소비되는 전기에너지 추산

- 생산능력 0.5 ton/h 규모 초고압가공기의 소요 동력은 장치제조회사들의 자료에 의하면 약 100 kW이며, 총 사이클 시간은 6.5-8.1 min임. 고압 살균기의 총 사이클시간은 로딩(loading), 언로딩(unloading), 승압시간, 압력 유지시간, 감압시간, 기계작동에 소요되는 시간 등을 합한 것임. 이 중 대부분의 동력이 소요되는 시간은 승압시간일 것임. 그러나 사이클 동안의 전기에너지 소비프로파일에 대한 정확한 정보가 없으며 또한 대부분의 정보는 기업 비밀로 공개되지 않고 있음.
- 초고압공정에서 고압을 유지하는 데는 에너지가 거의 소요되지 않는 것으로 보고되고 있음. 따라서 총 사이클 시간 7.3 min에서 고압유지시간, 로딩, 언로딩, 감압시간을 고려하여 실제 가압시간을 3 min이라 가정하였음. 또한 초고압장치에는 intensifier가 2대가 설치되어 있으므로 압축에너지를 50% 회수한다고 가정하였음.

고압살균기의 사양 : 소요 동력: 100 kW
 생산 능력: 614 kg/h
 총 사이클시간: 7.3 min(8.3 cycle/h)

- 전력에너지의 계산(E_p)

$$E_p = \eta pt$$

여기서 E_p : 소비된 전기에너지(kWh)

η : 역률(power factor)(0.8이라 가정)

p : 모터의 동력(kW)

t : 운전 시간(h)

$$E_p = \eta pt = (0.8)(100 \text{ kW})(3 \text{ min/cycle})(8.3 \text{ cycle}/60\text{min}) = 33.2 \text{ kWh}$$

$$= (33.2 \text{ kWh})(3.6 \text{ MJ/kWh}) = 119.52 \text{ MJ}$$

생산능력 614 kg/h를 기준으로 추정했을 때 energy intensity는 $119.52\text{MJ}/614\text{kg} = 0.1947 \text{ MJ/kg} = 194.7 \text{ kJ/kg}$

- 이론적인 비압축일은 52 kJ/kg이므로 50% 회수된다고 하면 실제 고압장치에서 소비되는 전기에너지는, $194.7 - 26 = 168.7 \text{ kJ/kg}$ 임.

㉔ 초고압 비열 포장공정에서 전기에너지 소비량

- 주스 생산에 있어서 에너지 소비량을 추산하기 위하여 다음의 자료를 이용하였음.

Parameters for evaluating energy consumption in juice production		
Pasteurizer	Steam inlet temperature(°C)	180
	Juice inlet temperature(°C)	18
	Juice outlet temperature(°C)	80
	Mass flow rate of juice(kg/h)	614
Packaging	Electric power(kW)	13.3
	Steam(kg/h)	20
	Time taken for packaging(h)	8
Physical property		
Cloudy apple juice	Weight fraction of water	0.88
	Density(kg/l)	1.046
	Heat capacity(kJ/kg · °C)	3.824
Orange juice	Weight fraction	0.96
	Density(kg/l)	1.018
	Heat capacity(kJ/kg · °C)	4.0858
Water	Heat capacity(kJ/kg · °C)	4.1868

- 포장 공정의 총소요 전력 : 13.3 kW

$$E_p = \eta_{pt} = (0.8)(13.3 \text{ kW})(1 \text{ h}) = 10.64 \text{ kWh}$$

$$= (10.64 \text{ kWh})(3.6 \text{ MJ/kWh}) = 38.30 \text{ MJ}$$

- 생산능력 614 kg/h를 기준으로 추정했을 때 energy intensity는

$$38.30 \text{ MJ}/614 \text{ kg} = 0.0624 \text{ MJ/kg} = \mathbf{62.4 \text{ kJ/kg}}$$

㉕ 초고압 비열 포장공정에서 스팀에너지 소비량

- 초고압 포장공정에서 스팀 소비량: 20kg/h(스팀 온도 180°C로 가정)

$$(20 \text{ kg/h})(2.015 \text{ KJ/kg}) = 40.3 \text{ MJ}$$

- 생산능력 614 kg/h를 기준으로 추정했을 때 energy intensity는

$$40.3 \text{ MJ}/614 \text{ kg} = 0.0656 \text{ MJ/kg} = \mathbf{65.6 \text{ kJ/kg}}$$

㉓ 재래 가열공정에 의한 클라우디 주스의 효소처리에너지

- 메시히터를 통하여 주스를 가온하여 메시탱크에 공급

- ✓ 열교환기 입구온도: 18 °C

- ✓ 열교환기 출구온도: 25 °C

- 소요열량

$$Q = (1)(25-18)(3.824) = 30.6 \text{ kJ/kg}$$

- 열효율 50%라 가정하면,

$$30.6/0.5 = \mathbf{61.2 \text{ kJ/kg}}$$

㉔ 클라우디 사과주스의 HTST살균에서 소비에너지

- 클라우디 사과주스의 품질에 미치는 열처리의 영향에 대한 연구결과에 의하면 70 °C에서 100s와 80 °C에서 20s 처리하는 HTST공정이 가장 cloud와 색의 안전성에서 우수한 것으로 보고되었음(Krapfenbauer et al). 이 연구결과를 기준으로 클라우디 주스의 HTST 살균공정의 기준 조건을 80 °C, 20s로 하였음.

- 일반적으로 PET병에 주스를 고온충전(hot-filling)하는 온도는 80-88 °C이며 과일에서 발견되는 변패미생물의 z값은 5-7 인 것으로 보고되었음. Mazzotta 등은 Hot-Fill-Hold (HFH) 공정(고온충전)에서 적정 살균값에 대한 연구에서 변질된 주스에서 분리한 *Saccharomyces cerevisiae*를 살균 지표미생물로 했을 때 사과주스에서 z값은 6.0 °C, $D_{65.6^\circ\text{C}} = 0.72\text{min}$ 이며 $5D_{65.6^\circ\text{C}} = 3.6\text{min}$ 이라 보고하였음. 또한 고온충전한 PET와 유리병의 경우 냉점(cold point)는 뚜껑부근이며, 여러 가지 실험 결과 충전 후 2분간 충전온도(T_{fill})을 유지하는 데는 터널을 통과하는 동안에 충전온도와 동일한 온도의 물을 분무하는 것이 가장 확실하다는 것을 증명하였음.

- ✓ 살균기에서의 조건

- 주스 입구온도 : 18 °C

- 주스 출구온도 : 80 °C

- 열효율: 50%

- ✓ 주스 가열에 필요한 열에너지

$$Q = Mc_p \Delta T = (1\text{kg})(3.824\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(80 - 18) ^\circ\text{C}/0.5 = \mathbf{474.2 \text{ kJ}}$$

(HTST에서 80 °C 를 20s 유지하는데 필요한 열에너지는 무시)

㉕ 재래 가열공정에 의한 클라우디 주스 포장공정에서 소비에너지

- 스팀에너지 소비량: 65.6kJ/kg (비열공정과 동일하다고 가정, PET 세척)

- 전기에너지: 62.4kJ/kg (비열공정과 동일하다고 가정)
 - ✓ 고온 충전 후 냉각에 필요한 에너지를 전기에너지로 산출 : 129.3 kJ/kg
 - 고온충전 온도 : 80 °C
 - 냉각 후 온도 : 18 °C
 - 냉각에 필요한 열량
 - $(80 - 18)(3.814)(614) = 145,191.4 \text{ kJ/h}$
 - $(145,191.4 \text{ kJ/h})(12,660.7 \text{ kJ/RT}) = 11.5 \text{ RT}$
 - $11.5 \text{ RT} \times 1.2 = 13.8 \text{ kW}$
 - $E_p = \eta_{pt} = (0.8)(13.8 \text{ kW})(1h) = 11.04 \text{ kWh}$
 - $= (11.04 \text{ kWh})(3.6 \text{ MJ/kWh}) = 39.70 \text{ MJ}$
 - 냉각효율 50%라 가정하면 $39.70 \text{ MJ} \times 2 = 79.4 \text{ MJ}$
 - 시간당 생산능력이 614kg 이므로 energy intensity는
 - $79.4 \text{ MJ}/614 \text{ kg} = \mathbf{129.3 \text{ kJ/kg}}$

㉞ NCF 오렌지주스의 살균 및 포장에 소비되는 에너지

- Waheed 등(2008)은 나이지리아 서부에 위치한 NFC생산공장(오렌지 처리 10ton, 6시간 작업, 생산종사 인력 41인)의 현지 조사를 통하여 상세한 에너지 소비량을 보고하였음. 동 연구에 의하면 총에너지 소비량은 1.12 MJ/kg orange이며, 전기, 열 및 인력의 비율은 각각 18.51%, 80.91%, 0.58%임. 또한 가장 에너지 소비가 큰 단위조작은 살균공정으로 총에너지 투입량의 83.22%, 다음이 포장공정으로 10.60%로 두 공정을 합하면 93.82%임. 스팀에너지로서 소비되는 에너지는 0.906 MJ/kg 이며 거의 전부 살균공정에서 소비됨.
- Waheed 등이 보고한 자료를 바탕으로 오렌지 주스 살균 및 포장 공정에서의 에너지 소비량을 추산하면 표 230과 같음.

표 230. 오렌지 주스 살균 및 포장 공정에서의 에너지 소비량을 추산

	Electric energy	Thermal energy	Total energy
Pasteurizer(MJ/kg)	33.5	1170.9	1204.4
Packing(MJ/kg)	7.3	146.1	153.4

㉟ 에너지 소비량 추산 값에 대한 해석

- 생산 규모를 5,000 kg/day(하루 8시간 조업기준)으로 가정하여 전체 에너지 소비량을 아래 표 231에 나타내었음. 이 자료를 살펴보면 초고압 비열공정에서 총에너지 소비량은 1,483.5 MJ이며, energy intensity는 297 kJ/kg of juice임. 포장공정과 고압처리공정에서 에너지 소비량에 현저한 차이는 없었으나 고압처리공정에서의 에너지 소비

가 많았음. 한편 전기에너지와 열에너지 소비량을 비교해 보면 비열공정의 특징으로 열에너지는 전체 소비에너지의 약 22%에 지나지 않았음.

표 231. 클라우드 사과주스 생산공정에서의 에너지 사용량(/day)

	전기에너지(MJ)	열에너지(MJ)	총에너지(MJ)
초고압 비열기술			
포장	312	328	640
초고압 처리	843.5		843.5
소계	1,155.5	328	1,483.5
재래 가열기술			
효소처리		306	306
가열살균		2,371	2,371
포장	959	328	1,287
소계	959	3,005	3,964

- 한편 재래 가열기술에 의하여 클라우드 주스를 생산하는 경우 총에너지 소비량은 3,964 MJ, energy intensity는 792.8 kJ/kg of juice로서 비열공정에 비하여 약 2.7배에 달하는 월등히 많은 에너지를 소비하였음. 에너지 구성비를 보면 열에너지가 총 소비 에너지의 약 75.8%로 압도적으로 높았음. 포장과 살균 공정의 전단계 공정에서 에너지 측면에서 차이가 나는 것은 재래 공정에서는 일반적으로 착즙율을 향상시키기 위하여 효소처리를 함으로 이때 소비되는 에너지를 고려하였음.
- 단순히 살균공정만 비교해 보면 초고압 처리에서는 843.5 MJ(168.7 kJ/kg), 기존 가열 살균공정(HTST)에서는 2,371 MJ(474.2 kJ/kg)로 두 공정의 차이는 더욱 현저함을 확인할 수 있음.
- Waheed 등이 보고한 자료를 바탕으로 나이지리아의 오렌지 주스 살균 및 포장 공정에서의 에너지 소비량을 추산하였던 (8)의 결과와 국제 지자체에 건립된 공정을 이용하여 재래 가열살균 공정으로 사과주스를 생산하는 경우의 792.8 kJ/kg과 비교하여 볼 때 나이지리아의 주스공장의 총에너지 소비는 1,357.8 kJ/kg으로 거의 2배에 가까웠음. 그 이유는 비가열주스제조공장의 경우 열효율을 기대할 수 있는 가장 높은 50%로 가정하였음. 그러나 오렌지주스 공장의 경우 실제 열효율은 20%에 지나지 않아 공정에서 에너지 손실 방지가 얼마나 중요한가를 단적으로 나타낸다고 할 수 있음.

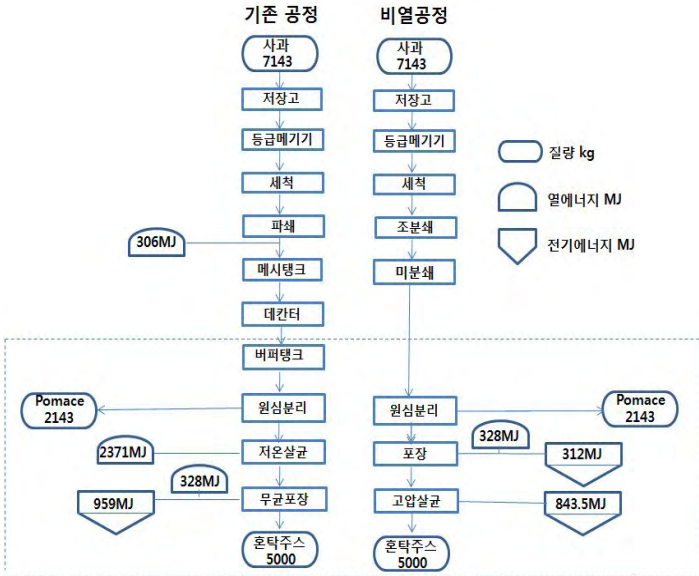


그림 345. 사과클라우드 주스 제조 공정에서 물질 및 에너지 흐름도.

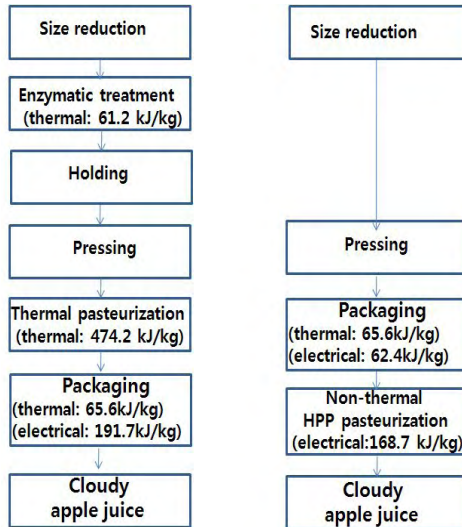


그림 346. Flow chart for cloudy apple juice processing with conventional or HHP nonthermal treatment(functional unit: 1kg juice).

- 미국의 통조림 주스공정의 대표적인 에너지 강도와 비교하여 보면, 일반적으로 주스 생산공정에서는 두 번 살균하는데 착즙 후 저온살균하고 포장 직전에 다시 살균함. 공정도는 80°C 정도로 저온살균 후 캔에 고온충전한 후 레토르트하는 공정임. 저온살균과 레토르트 공정에서 소비된 스팀에너지의 합은 542 kJ/kg임. 비가열주스제조공장에서 재래 가열법으로 클라우디 주스를 생산한다고 가정하고 추정한 살균공정의 energy intensity(474.2 kJ/kg)가 약간 낮음. 이는 클라우디주스는 레토르트하는 것이 아니라 HTST살균 후 PET병에 무균충전한다고 가정하였기 때문인 것으로 판단됨. 특히 통조림주스 생산공정에서는 원료 과일과 캔의 세척에 사용되는 온수로 소비되는 에너지가 1,009.4 kJ/kg으로 살균에 소비되는 에너지의 약 2배에 달하였음. 이로 미루어 보아 주스통조림 제조공정에서 온수의 효율적 이용과 열회수가 에너지절약을 위한 핵심전략인 것으로 판단되었음.

표 232. 주스통조림 공정에서 에너지 강도

	공정 에너지 강도(kJ/kg)			
	스팀	온수	전기	합계
검사, 등급메기기			16.3	16.3
세척		504.7	16.3	521
펄핑/추출			27.9	27.9
진공탈기			30.2	30.2
저온살균	309.4			309.4
캔세척		504.7		504.7
고온충전			16.3	16.3
캔밀봉	76.8		18.6	95.4
고온살균(레토르트)	232.6			232.6
냉각			16.3	16.3
포장			30.2	30.2

Brown, H.L, Hamel, B.B, Heldman, B.A, Koluch, M, Gajanana, B.C, Troy, P.(1966). Energy analysis of 108 industrial processes, Fairmont Press, Lilburn, Georgia.

③ 에너지 소비량 추산 값에 대한 경제성 비교

- 표 231에 나타난 조업기준으로 주스생산 공정에서 단순히 살균공정만 비교해 보면 초고압 처리에서는 843.5 MJ(168.7 kJ/kg), 기존 가열 살균공정(HTST)에서는 2,371 MJ(474.2 kJ/kg)로 에너지 소비 저감율이 약 305.5 kJ/kg임을 알 수 있음. 에너지 소비량(305.5 kJ/kg)을 전력량으로 환산하면 약 0.085 kW인데 시간당 614 kg이 생산되므로 이를 적용하면 52.2 kWh 임. 현재 한국전력에서 공장에서 사용되는 산업전기요금을 평균 150원/kW 책정하므로 전기요금으로 계산하면 다음과 같음.

$$52.2 \text{ kWh} \times 150 \text{ 원/kWh} \times 8 \text{ 시간/일} = 62,640 \text{ 원/일}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ 달} : 62,640 \text{ 원/일} \times 30 \text{ 일/월} = 1,879,200 \text{ 원}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ 년} : 1,879,200 \text{ 원/월} \times 12 \text{ 월/년} = 22,550,400 \text{ 원}$$

그러므로 초고압을 이용한 비가열처리 공정을 적용할 경우 살균조건만 단순 비교하여도 연간 약 2,300만원의 전기사용료가 절감되므로 경제적임을 확인할 수 있었음.

(나) 탄소 저감 효과 분석

① Carbon footprint 추산 및 해석

- 아래 표 233에 명시된 에너지 열량 환산기준(순발열량)과 표 234에 명시된 IPCC 탄소 배출계수표를 이용하여 탄소저감 효과를 추산하였음.

표 233. 에너지열량 환산기준(순발열량)

제품	단위	순발열량		석유환산계수	제품	단위	순발열량		석유환산계수
		kcal	MJ 환산				kcal	MJ 환산	
원유	kg	10,100	42.3	1.010	윤활유	L	8,650	36.2	0.865
휘발유	L	7,400	31.0	0.740	석유코크	kg	7,850	32.9	0.785
실내등유	L	8,200	34.3	0.820	부생연료1호	L	8,350	35.0	0.835
보일러등유	L	8,350	35.0	0.835	부생연료2호	L	9,200	38.5	0.920
경유	L	8,450	35.4	0.845	천연가스(LNG)	kg	11,750	49.2	1.175
B-A유	L	8,750	36.6	0.875	도시가스(LNG)	Nm³	9,550	40.0	0.955
B-B유	L	9,100	38.1	0.910	도시가스(LPG)	Nm³	13,800	57.8	1.380
B-C유	L	9,350	39.1	0.935	국내무연탄	Nm³	4,600	19.3	0.460
프로판	kg	11,050	46.3	1.105	수입무연탄	kg	6,400	26.8	0.640
부탄	kg	10,900	45.7	1.090	유연탄(연료용)	kg	5,950	24.9	0.595
나프타	L	7,450	31.2	0.745	유연탄(원료용)	kg	6,750	28.3	0.675
응제	L	7,350	30.8	0.735	아역청탄	kg	5,000	20.9	0.500
항공유	L	8,200	34.3	0.820	코크스	kg	7,000	29.3	0.700
아스팔트	kg	8,350	39.1	0.835	전력	kWh	2,150	9.0	0.215
윤활유	L	8,650	36.2	0.865	신탄	kg	-	-	-

표 234. IPCC의 탄소배출계수

연료구분		탄소배출계수		연료구분		탄소배출계수			
		(kg C/GJ)	Ton C/TOE			(kg C/GJ)	Ton C/TOE		
정제석유제품	1차 연료	원유	20.00	0.829	고체화석연료	1차 연료	무연탄	26.80	1.100
		천연연화가스(NGL)	17.20	0.630			유연탄	원료탄	25.80
	2차 연료	휘발유	18.90	0.783		연료탄	25.80	1.059	
		항공가솔린	18.90	0.783		갈탄	27.60	1.132	
		등유	19.60	0.812		Peat	28.90	1.186	
		항공유	19.50	0.808		BKB & Patent Fuel	25.80	1.059	
		경유	20.20	0.837		Coke	29.50	1.210	
		중유	21.10	0.875		기체화석연료	LNG	15.30	0.637
		LPG	17.20	0.713			고체바이오매스	29.90	1.252
		납사	20.00	0.829			액체바이오매스	20.00	0.837
		아스팔트(Bitumen)	22.00	0.912		바이오매스	기체바이오매스	30.60	1.281
		윤활유	20.00	0.829			전력	0.1213 (TC/MWh)	0.4448 (TCO ₂ /MWh)
	Petroleum Coke	27.50	1.140						
	Refinery Feedstock	20.00	0.829						

② 초고압 비가열공정에 의해 생산된 사과클라우드 주스의 carbon footprint

- 전기에너지: 고압공정 33.2 kWh + 포장공정 10.6 kWh = 43.8 kWh
 $(43.8 \times 10^{-3} \text{ MWh}) \times 0.4448 \text{ TCO}_2/\text{MWh} = 19.48 \times 10^{-3} \text{ TCO}_2$
 $19.48 \times 10^{-3} \text{ TCO}_2/614 \text{ kg} = 3.17 \times 10^{-5} \text{ TCO}_2/\text{kg}$
 $= 0.0317 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$

- 열에너지: 65.6 kJ/kg (경유 사용 가정)
1 TOE : 42.3 MJ = x TOE : $65.6 \times 10^{-3} \text{ MJ}$
x = $65.6 \times 10^{-3} \text{ MJ} / 42.3 \text{ MJ} = 1.55 \times 10^{-3} \text{ TOE}$
 $1.55 \times 10^{-3} \times 0.829 (\text{탄소배출계수}) \times 44/12 = 4.71 \times 10^{-3} \text{ TCO}_2/\text{kg}$
 $= 4.71 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$

- 총 carbon footprint:
 $4.71 + 0.03 = 4.74 \text{ kg CO}_2/\text{kg of juice}$

③ 재래 가열공정에 의해 생산된 사과클라우드 주스의 carbon footprint

- 전기에너지: 포장공정 10.64 kWh + 냉각공정 22.08 kWh = 32.7 kWh
 $(32.7 \times 10^{-3} \text{ MWh}) \times 0.4448 \text{ TCO}_2/\text{MWh} = 14.54 \times 10^{-3} \text{ TCO}_2$
 $14.54 \times 10^{-3} \text{ TCO}_2/614 \text{ kg} = 2.37 \times 10^{-5} \text{ TCO}_2/\text{kg}$
 $= 0.0237 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$

- 열에너지: 효소처리 61.2 kJ/kg + HTST 474.2 kJ/kg + 포장공정 65.6 kJ/kg = 601 kJ/kg
1 TOE : 42.3 MJ = x TOE : $601 \times 10^{-3} \text{ MJ}$
x = $601 \times 10^{-3} \text{ MJ} / 42.3 \text{ MJ} = 14.2 \times 10^{-3} \text{ TOE}$
 $14.2 \times 10^{-3} \times 0.829 (\text{탄소배출계수}) \times 44/12 = 43.2 \times 10^{-3} \text{ TCO}_2/\text{kg}$
 $= 43.2 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$

- 총 carbon footprint:
 $43.2 + 0.02 = 43.22 \text{ kg CO}_2/\text{kg of juice}$

④ 평가 경계 내에서 재래 가열공정에서의 탄소배출량

- 주스 1kg당 43.22 kg CO₂로 초고압 공정에서는 4.74 kg CO₂로 추정되어 약 90% 정도의 탄소저감 효과가 추산되었음.

(다) 본 기술의 환경 보호 효과

- 본 기술을 활용한 신선과채음료 공장의 경우에는,
 - ✓ 전처리 공정의 단순화에 의한 용수 사용의 최소화
 - ✓ 살균 공정에서의 비가열 처리에 의한 에너지 절감 효과

- ✓ 무균조작이 필요 없는 공정이므로 용기 세척수의 절감
 - ✓ 전체 과채류를 이용하므로 부산물의 최소화
- 새로운 고압을 이용한 비열살균기술은 식품가공에서 에너지 소요량 및 탄소발생을 획기적으로 감소시키고 오염물질의 배출을 거의 ZERO화하고 물의 사용을 최소화 할 뿐만 아니라 부산물의 생성을 억제할 수 있으므로 환경친화적인 공정임이 검증되어 식품산업의 에너지 효율을 개선하는 green process technology로서 커다란 기여를 할 것으로 사료됨.

(라) 제 언

- 검증을 위하여 실제 공정에서의 data를 제시하지는 못하였으며 그 이유로는,
 - ✓ 본 기술은 신가공기술로서 대기업에서는 아직 공개하기를 꺼려함.
 - ✓ 중소기업에서는 아직 탄소 저감화에 대한 개념이 도입되지 않아 data를 수집하지 못함.
 (※ 업체에서 이론적인 data와 현장 적용된 data의 차이가 많이 나지 않음을 확인해 줌.)
- 하지만, 식품산업은 환경 문제에 직면하여 더 이상 탄소배출 저감화를 외면할 수 없는 상황이 도래하였음. 본 연구를 통하여 제품별로 LCA와 같은 분석을 하지 않고서는 탄소배출 저감화는 이를 수 없다고 본 연구팀은 판단하였음.
- 사실 대기업은 자신의 생존을 위해서 스스로 문제를 해결해 나갈 수 있지만, 우리나라 식품 산업의 경우에 90% 이상이 중소 또는 영세 규모의 업체로서 정부에서 도움을 주어야만 가능하다고 사료됨. 이를 위하여 연구 중에 획득한 글로벌 기업인 Fonterra 가 자사 제품에 대하여 탄소 배출량을 분석 하였던 3가지 모듈(아래 box 참고)별로 식품공업협회와 정부 차원의 협조에 의하여 LCI (Life Cycle Inventory)를 제시하여 줄 것을 요청함.

The project measures Fonterra's carbon emissions across its complete supply chain which consists of the following distinct modules:

- **Module 1 - On-farm** : covers inputs and outputs related to the production of milk from the farming operation up until it leaves the on-farm milk vat,
- **Module 2 - Processing**: includes the transportation of milk from the on-farm milk vat; the complete manufacturing process including packaging and storage at the factory site; through to the product loaded onto transport for delivery, and
- **Module 3 - Distribution**: includes measuring the carbon emissions caused by the transportation of the product from the manufacturing site, to the warehouse and its shipping to key destinations internationally.

3. 결론

- 이산화탄소 배출량 평가를 위해 기존에 주로 사용하는 방법인 환경부 LCA법은 제조 공정 모든 단계의 inventory 중 총 기여도가 50% 미만인 항목을 제외하고 평가하는 방법으로서 식품제조 및 유통 중의 이산화탄소 배출량을 정확하게 평가하기에는 문제가 있는 것으로 판단됨.
- 본 연구에서도 예를 들어 무균포장법의 경우 환경부 LCA법에 의해 평가된 가공식품 제조 및 유통과정 중 발생하는 총 이산화탄소 배출량이 hybrid LCA법에 의해 평가된 것의 21.3%에 불과한 것으로 나타나, 환경부 LCA법을 사용하게 되면 식품의 종류에 따라서는 식품제조공정 중 배출되는 실제 이산화탄소의 양보다 낮게 평가될 가능성이 있을 것으로 나타남.
- 하지만 Hybrid LCA법은 Process LCA법과 IO LCA법에 의해 평가된 이산화탄소 발생량을 합한 값으로서 두 가지 방법에 의한 평가를 보완할 수 있음.
- 주요 식품 가공 단위공정에 대하여 공정인자가 이산화탄소 발생량에 미치는 영향을 평가하고자 대표적인 단위공정인 살균공정(sterilization)에 대하여 온도와 시간에 따른 이산화탄소 발생량을 예측해 본 결과 살균온도 상승에 따른 CO₂ 발생량은 선형적으로 증가하였고, 살균기준온도가 높을수록 에너지 소모량은 증가하나 살균효과를 고려할 때, 오히려 높은 온도에서 단시간 처리할수록 에너지 소모량은 더 효율적이었음.
- 스낵제조 공정 중 에너지 소모량인 큰 dough의 건조공정에 대하여 에너지 사용과 관련된 airflow와 열분석을 실시한 결과 건조공정에서의 CO₂ 배출량은 건조조건에 큰 영향을 받는 것으로 나타남.
- 광펄스 가공기술, 저항열처리 가공기술, 초고압 가공기술을 적용한 모델식품의 살균 효과 검증을 통해 검토하였으며, 기존 공정과 비교하여 이산화탄소 배출량을 비교·평가하였고 식품제조공정에서 기존의 살균기술을 대체 적용함에 따른 이산화탄소 저감화 가이드라인을 제시하였음.
- 열처리 공정을 대체하는 비가열 기술에 대하여 비교·분석하여 실제 국내에서 적용하고 있는 초고압 기술을 열처리 대체기술로 선정하였음.
- 국내외에서 초고압 기술을 저온 살균의 대체 기술로 활용하고 있는 업체는 약 45개 업체로 국내에서는 대기업 2곳과 중소기업 2곳으로 모두 천연주스를 생산하는 업체로 조사되었음.
- 현장 적용을 위하여 천연 cloudy 사과주스 제조 공정의 분석 및 시제품의 품질(미생물학적 안정성, 영양 성분, 기능 성분 및 포장 용기 등)을 검토하였고, LCA를 실시하기 위한 평가 범위를 선정하였음.
- 본 공정에 대한 에너지 저감 효과와 탄소저감 효과를 추산하여 단순히 저온살균공정

만 비교해 보면 초고압 처리에서는 843.5 MJ(168.7 kJ/kg), 기존 가열 살균공정 (HTST)에서는 2,371 MJ(474.2 kJ/kg)로 두 공정의 차이가 매우 극명하게 나타났으며, 탄소 저감 효과는 평가 범위에서 약 90%로 추산되었다. 하지만 실제 측정값에 대한 자료는 업체의 정보 비공개로 인하여 제시하지 못하였음.

- 초고압 기술을 적용한 천연 cloudy 사과주스 제조 공정의 환경 보호 부대효과로서 용수 사용 최소화와 부산물 생성을 억제할 수 있음이 확인되었음.
- 현장 적용 분석결과, 탄소 저감화는 식품산업에서의 당면 문제이고 이를 위해서는 LCA와 같은 분석과 동시에 이루어져야 함을 제시함.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차년도 (2010)	UV-광촉매 산화 및 초음파 살균 소독제 병용 처 리를 이용한 식 품 살균 연구 (1세부)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시중에 유통 중인 식품에 존재하는 위해미생물들의 broth test 및 위해미생물 제거를 위한 UV-광촉매 살균방법 효과 비교 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 유통되고 있는 식품 중 대상 식품군 (신선식품 등)을 선정하여 미생물 오염도를 조사 ○ 신선편이 식품 세척 시 잔류 미생물 오염도 조사 ○ 어떤 위해 미생물이 존재하는지 미생물 균총 확인 ○ UV와 UV with TiO₂ 두가지 방식의 차이에 따른 살균 효과 확인 ○ UV lamp 의 파장의 차이(254nm, 280nm, 320nm)에 따른 살균효과 확인
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 확인된 미생물들의 broth test 및 위해미생물 제거를 위한 화학적, 물리적 방법 효과 비교(in vitro) 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 화학적 살균법 (차아염소산나트륨)을 이용한 살균 실시하여 광촉매 살균법과의 효과 비교 ○ 물리적 살균법 (가열살균)을 이용한 살균 실시하여 광촉매 살균법과의 효과 비교 ○ 각 살균 처리 후 식품의 품질변화정도 비교
	초음파-살균소 독제 병용기술 에 의한 최소가 공식품의 영양 성분 보존 및 저장성 향상기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유통 중인 신선편이식품에 존재하는 미생물 균총 확인 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신선편이 식품으로 판매되는 양상추 등 대상 식품을 선정 후, 위해미생물 확인을 위한 미생물 오염도 조사 ○ 신선편이 식품 세척 시 잔류 미생물 오염도 조사

	(1세부위탁)	<ul style="list-style-type: none"> ○위해미생물 제거를 위한 화학적, 물리적 방법 효과 비교(<i>in vitro</i>) 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○초음파 단일 처리 시 주요 미생물(<i>E. coli</i>, <i>Listeria monocytogenes</i>, <i>Salmonella</i>, <i>Cronobacter sakazaki</i>, <i>Bacillus cereus</i>, <i>Staphylococcus aureus</i> 등) 사멸 효과 확인 ○살균소독제(염소계 등) 단일 처리 시 미생물 사멸 효과 확인(<i>in vitro</i>)
	저온 플라즈마를 이용한 식품표면 살균기술 개발 (1협동)	<ul style="list-style-type: none"> ○플라즈마 생성장치 개발 	90	<ul style="list-style-type: none"> ○Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP) 처리장치 개발 ○Low Pressure Discharge Plasma (LPDP) 처리장치 개발 ○전압, 주파수, 기체조성별 플라즈마의 온도상승 측정 ○소요 전력량 및 효율 조사 ○최적 플라즈마 생성조건 확립
	자외선 광펄스를 이용한 식품표면 살균기술 개발 (1협동 위탁)	<ul style="list-style-type: none"> ○자외선 광펄스에 의한 미생물의 사멸 효과 확인 	75	<ul style="list-style-type: none"> ○광펄스 기술의 선행 연구 자료 분석 ○자외선 광펄스 살균 시스템의 set-up ○신석식품에 존재하는 위해 미생물의 저감 효과 확인
	산성화 아염소산 발생장치와 이를 이용한 나노 aerosol의 제조 (2협동)	<ul style="list-style-type: none"> ○산성화 아염소산의 제조에서 유기산의 종류와 아염소산의 농도에 따른 최대생성 효율 실험 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○발생장치를 통한 NaClO_2 와 HCl 및 유기산별로 농도, 순도, 수율 측정비교 ○유기산은 Phosphoric acid, Citric acid, Lactic acid 를 비교 ○생성 농도와 순도는 Idometric method와 Amperometric method 를 이용 확인 ○반응 시 생성 부산물 확인 ○NaClO_2 와 Phosphoric acid의 반응시 최대생성 농도

		<ul style="list-style-type: none"> ○ Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 사용에 따른 살균제의 성분 변화와 효력에 미치는 영향 	100	<p>확인</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 제조한 아염소신수를 이용하여 Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer로 생성된 aerosol의 시간별 농도 측정 ○ Ultrasonic nebulizer의 frequency에 따른 입자조절 크기 확인 및 입자크기 분포도 확인 ○ 아염소신수의 aerosol 전후의 pH측정 성분 변화 확인
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 산성화 아염소산의 입자크기와 농도에 따른 최적 작용 조건 설정 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer로 생성된 입자 크기확인 ○ Jet nebulizer와 ultrasonic nebulizer의 살균력 차이 확인
<p>신선 편이식품의 보존성, 안전성 증진을 위한 천연/화학항균제의 고효율 나노 살균 공정 개발 (2협동 위탁)</p>			100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국 질병통제예방센터 CDC의 식중독 감시 체계 FoodNet에서 지정한 식중독 균주 중 지표 균주 6가지를 지정. ○ 식품의 저장기간을 연장하기 위해 위와 같은 균들을 살균하기 위해 많은 종류의 화학적 항균제들을 사용하고 있으나 이러한 화학적 항균제의 지속적인 사용이 인체에 부작용을 일으키며, 균들의 내성이 생기게 되는 문제점들이 있음. 이러한 문제점들이 제기되고 있는 균들 중 대표적인 gram positive 균과 gram negative 균을 선정. <ul style="list-style-type: none"> - gram positive 균 <ul style="list-style-type: none"> • <i>Listeria monocytogenes</i> • <i>Bacillus subtilis</i>

			<ul style="list-style-type: none"> - gram negative 균 • <i>Salmonella</i> <i>Typhimurium</i> <i>sensitive(STS)</i> • <i>Staphylococcus aureus</i> <i>sensitive(SAS)</i> • <i>Shigella boydii</i> • <i>Serratia liquefaciens</i>
		<p>○ 이들 균들을 대상으로 하는 천연 항균제 선정</p>	<p>100</p> <p>○ 효과적 살균 가능성을 가진 항균 효능이 보고된 천연 항균제 선정.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자몽 종자 : 항균, 항진균, 항산화 효과가 있다고 알려져 있으며, <i>E. coli</i>와 <i>L. monocytogenes</i>에 항균 활성 결과가 보고됨. - 고추냉이 : <i>Staphylococcus</i>, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 등에 대해 항균 효과가 있다고 알려져 있으며, <i>F. nucleatum</i>에 대해 가장 강한 항균 활성을 나타내었으며, 항균제에 저항성이 큰 <i>C. perfringens</i>에도 항균 활성을 나타내었다고 보고됨. - 도인 : 약리 실험에 의하면 심장의 혈액순환을 촉진하고, 항암, 항균 작용이 있는 것으로 알려져 있으며, 사전에 연구가 되지 않은 천연물 중 항균제의 효능을 가진 것으로 기대되는 도인을 천연

				<p>항균제의 후보물질로 선정.</p> <p>- 발효더덕 : 항균작용, 진균작용을 한다고 알려져 있으며, <i>S. Typhimurium</i>에 대해 항균 활성 결과가 보고됨.</p>
		<p>○ 식용 나노입자 재료 및 제형 선정 및 나노입자 제조</p>	100	<p>○ 식용 가능한 제형별 나노 입자 제조.</p> <p>○ DLS (Dynamic Light Scattering) 측정기를 사용하여 나노 입자의 크기를 측정.</p> <p>○ Transmission Electron Microscopy을 이용해 처리 시간별로 나노 입자의 위치와 크기 및 미생물의 형태를 촬영.</p> <p>○ 제형별 나노 입자의 봉입 효율 측정.</p> <p>○ 제타 전위 (ζ-potential) 측정을 통한 나노 입자의 안정성 확인.</p>
		<p>○ 병원성 미생물을 이용한 항균활성 비교 분석</p>	100	<p>○ 최소 생육 저해 농도 (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) 측정을 통한 항균 활성실험.</p> <p>○ Challenge Test를 통한 배양 시간별 항균 활성 실험.</p> <p>○ 나노 입자의 미생물 사멸 작용 기작 증명을 위한 고추냉이 나노 입자의 배양 시간에 따른 <i>Salmonella Typhimurium sensitive</i> 의 TEM 관찰.</p>
신선편이식품 위해미생물 저		<p>○ 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 분석</p>	100	<p>○ 국내외 자료 분석을 통한 미산성 저농도 전해수</p>

감화를 위한 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 (3협동)	(in vitro 및 식품)		처리가 요구되는 식품 선정
		100	○신규 살균 첨가물로서 식품공전 등재를 위한 시험법 규명
		100	○위해미생물의 저감화를 위한 물리적 전처리 조건검토
		100	○미산성 저농도 전해수 처리에 의한 식품별(채소류, 육류)의 최적 저감화 효능 분석
Aqueous chlorine dioxide를 이용한 신선편이 식품의 고품질화 기술 개발 (3위탁)	○Aqueous ClO ₂ treatment를 위한 식품 선정, 시료 제조 및 처리조건 확립	100	○Aqueous ClO ₂ 처리 가능한 식품 선정 ○Aqueous ClO ₂ 처리 농도 및 처리 시간에 따른 다양한 pathogenic bacteria 사멸 효과 측정
	○선정된 식품에 aqueous ClO ₂ 처리 따른 고품질화 기초연구	100	○Aqueous ClO ₂ 처리에 따라 측정된 pathogenic bacteria 수 변화에 의거하여 고품질화 위한 최적 처리 조건 확립
비가열처리 기술의 탄소 발생 저감화 효과 규명 (4협동)	○전 과정평가(LCA)	100	○전 과정 영향 평가 및 해석
		100	○주요 식품 단위 공정의 선택 및 평가 범위 설정
		100	○선택된 공정의 목록 분석
		90	○새로운 가공기술로 비가열 공정을 적용하는 업체의 조사/분석
	○비가열처리 현장적용 업체 분석	100	○비열 신가공기술의 비교 분석
		100	○열처리공정을 대체하는 비가열 공정을 적용하는 업체의 조사/분석

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2011 년)	UV-광촉매 산화 및 초음파 살균소독제 병용 처리를 이용한 식품 살균 연구 (1세부)	○광촉매 처리 조건 확립	120	○ 자외선/광촉매 노출량 및 유속에 따른 액체시료의 살균력 연구 ○ 자외선/광촉매 처리 시 발열로 인한 품질 변화 및 살균력 저하 문제 개선 ○ 균주별 연속식 광촉매 살균기의 살균력 비교 ○ Batch식 광촉매 살균기 개선 ○ 이산화티탄에 대한 분석학적 접근
		○ 신선편이 식품에 존재하는 위해미생물 제거를 위한 물리적-화학적 제어법 효과 비교(Food)	100	○ 식품에 대한 초음파 살균법의 단일 처리 시, 주요 식중독균의 살균효과 비교, 평가 (자연균총, 대장균, 주요 식중독균 등) ○ 광촉매와 초음파처리 병합반응로를 제작하여 병합처리의 살균효과 측정 및 평가 ○ Batch식 반응기와 연속식 반응기의 연속적인 처리를 통한 불투명 액체에 대한 UV 살균력 개선 연구
	초음파-살균소 독제 병용기술에 의한 최소가공식품의 영양성분 보존 및 저장성 향상기술개발 (1세부위탁)	○ 신선편이 식품에 존재하는 위해미생물 제거를 위한 물리적-화학적 제어법 효과 비교(Food)	100	○ 식품에 대한 초음파, 살균소독제의 단일 처리 시, 주요 식중독균의 살균효과 비교 및 평가 (자연균총, 대장균, 주요 식중독균 등)
		○ Hurdle technology를 이용한 위해 미생물 최적화 제어법 개발	100	○ Hurdle technology 이용 위해 미생물 제어를 위한 초음파-살균소독제 병용처리 조건 확립
		○ 초음파-살균소독제 병용 처리식품의 품질평가	100	○ 신선 업체류 초음파-살균소독제 병용처리 후, 물리적 품질 특성 평가
	저온 플라즈마 와 자외선 광 펄스를 이용한	○ 플라즈마 살균특성 조사 및 살균패턴 해석	95	○ 모델 세균 및 식중독균 선발 ○ 플라즈마 처리 조건 별 살균력 측정

식품표면 살균 기술 개발 (1협동)			<ul style="list-style-type: none"> ○플라스마 살균공정 분석 ○조건별 살균속도상수 및 살균패턴 해석 ○Corona Discharge Plasma Jet (CDPJ) 처리장치 개발
	○자외선 광펄스를 이용한 신선식품의 살균 및 품질 특성 연구	90	<ul style="list-style-type: none"> ○신선 식품의 살균을 위한 자외선 광펄스 시스템 set-up ○In-line process를 위한 자외선 광펄스 살균 시스템 set-up ○신선식품 위해세균의 저감 효과 확인 ○자외선 광펄스 처리된 신선식품의 품질 특성 확인
자외선 광펄스를 이용한 식품표면 살균 기술 개발 (1협동 위탁)	○신선식품의 살균을 위한 자외선 광펄스 시스템 set-up/In-Line process를 위한 자외선 광펄스 살균 시스템 set-up	70	○신선식품의 처리하는데 있어서 실제 공정 라인에 방해가 되지 않고 연속라인 선상에 설치될 수 있는 시스템의 setup
	○신선식품 위해세균의 저감효과 확인	100	○선택된 신선식품에 존재하는 위해 세균의 직접적 사멸효과 확인
	○자외선 광펄스 처리된 신선식품의 품질특성 확인	95	○처리된 신선식품의 품질 특성(색도, 관능특성) 변화 확인
Chlorine dioxide의 농산물에 대한 살균 실험과 최적 작용조건 설정 (2협동)	○Model system으로 곡류 및 구근류를 대상으로 실험용 closed chamber 내에서의 곰팡이와 유해세균에 대한 효력 평가 (처리 농도, 반응시간)	100	<ul style="list-style-type: none"> ○Ultrasonic nebulizer를 이용하여 아염소산수의 살균효과 측정 ○곡류 및 구근류에 대한 각 CD 농도 및 시간별 살균력 측정
	○농산물의 품질에 미치는 영향과 살균제의 잔류농도 측정	100	<ul style="list-style-type: none"> ○처리 후 품질 변화 분석 ○저장 기간에 따른 품질변화 분석
식용 나노입자 특성 분석 및 최적화를 통한 분무 살균 공정 개발 (2협동)	○천연/화학 항균제 나노입자 최적 조건 결정	100	○전년도 위탁과제를 통해 조기완료.
	○나노입자 특성 분석을 통한 효율성 증진, 독성 및 안정성 실험	100	○전년도 위탁과제를 통해 조기완료.

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 효율적 분무 system 개발 및 변수 최적화 	100	○ 전년도 위탁과제를 통해 조기완료.
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 나노입자 분무에 따른 항균 활성 평가 	100	○ Grapefruit seed extract, citral, carvacrol의 곡류 및 구근류에 대한 살균 효과 측정
신선편이 생식제품 위해미생물 저감화를 위한 미산성 저농도 전해수의 살균효능 (3협동)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 신선편이 생식제품의 품질변화 및 선도 유지 분석 	100	○ 생식제품 가공 공정 중 미생물 오염 현황 분석
		100	○ 생식제품 가공 공정 중 미산성 전해수 처리에 의한 위해미생물 제거기술 확보
		100	○ 미산성 저농도 전해수 처리에 의한 생식제품의 저장 중 이화학적 품질 변화 분석
Aqueous chlorine dioxide를 이용한 신선편이 식품의 고품질화 기술 개발 (3협동 위탁)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품시료의 유통 저장 중 고품질화 조건 확립 	100	○ 다양한 가공 식품의 특성에 맞는 nonthermal treatment technology 적용을 위한 aqueous ClO ₂ 조건 수립
		100	○ 식품의 aqueous ClO ₂ 처리를 적용한 시료의 저장 중 품질 변화 분석
비가열처리 기술의 탄소 발생 저감화 효과 규명 (4협동)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 탄소저감 정량산출 모델 개발 	100	○ 공정 변수의 영향 분석
		100	○ 주요 공정 변수와의 상관관계 규명
		100	○ 에너지 효율 및 탄소저감 효과 분석을 위한 새로운 비가열 공정의 모듈화
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장적용 업체의 공정분석 	100	○ 비가열 신선 과채음료 제조를 위한 공정선정 및 시제품 품질 검토
90		○ 초고압기술로 신선 과채음료 제조 공정 중 가열살균 공정의 대체에 따른 에너지 효율 및 탄소저감 효과 분석	

구분 (연도)	세부과제명	세부연구내용	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2012)	UV-광촉매 산화 및 초음파 살균소독제 병용 처리를 이용한 식품 살균 연구 (1세부)	○광촉매 처리 시 미생물의 상태 변화에 따른 사멸 기작 관찰 및 분자생물학적인 접근	100	○식품에 존재하는 주요 위해 미생물들을 broth test를 통해 서 광촉매 처리 후 특정 DNA 가 손상되었는지를 Western blot 을 이용해서 확인
			100	○광촉매 처리 후 미생물의 세 포 구조상의 변화를 SEM을 이용해서 관찰
		○광촉매 산화 반응과 초음파 조사법의 병합 살균 연구	100	○UV-광촉매 저항력이 있는 살모넬라와 yeast에 대한 Hurdle technology을 통한 살 균효과 측정 ○제작된 광촉매-초음파 병합 살균기의 개선 ○광촉매-초음파 동시처리와 serial처리의 살균효과 비교
			100	○광촉매-초음파 병합 살균법 의 최적화
	초음파-살균소 독제병용기술에 의한 최소 가공식품의 영양성분 보존 및 저장성 향상기술개발 (1세부위탁)	○Hurdle technology의 현장적용 및 실제 test	100	○최적의 병용처리 조건을 갖춘 장비를 제작하여 pilot scale의 현장에 simulation 적용하여 평 가 ○실제 대상 식품의 생산 공정을 simulation 적용
	저온 플라즈마 와 자외선 광펄 스를 이용한 식 품표면 살균기 기술 개발 (1협동)	○살균대상 식품 선정 및 오염도 조사	100	○식품의 오염도와 불성을 감안 하여 종류별 플라즈마 살균에 적합한 대상 식품을 선정 (곡 류, 과채류, 해조류)하고 오염도 를 조사함.
		○플라즈마 처리 조건 별 살균효과 검증	100	○플라즈마 처리조건 별 살균효 과를 조사하고 최적 처리조건 도출함.
○플라즈마 처리 식품의 품질평가		100	○플라즈마 처리가 대상식품의 품질에 미치는 영향을 조사함.	

		○최적 처리조건 결정 및 살균기술의 적용	100	○살균효과와 품질변화를 고려하여 최적 플라즈마 처리방식 및 처리조건을 결정함.
자외선 광펄스와 저온 플라즈마의 병합처리 (1협동 위탁)		○자외선 광펄스와 저온 플라즈마의 병합 처리를 위한 처리 시스템 구성	100	○자외선 광펄스 시스템과 저온 플라즈마의 병합처리를 위한 시스템의 구성
		○자외선 광펄스와 저온 플라즈마의 병합 처리에 의한 세균 저감 효과	100	○자외선 광펄스와 저온 플라즈마의 순차적 처리 또는 동시 처리, 순서에 의한 살균율 등의 차이를 실험
항균 나노입자 분무공정의 현장 적용을 통해 농산물의 저장에 따른 품질 평가 (2협동)		○분무 공정 적용을 통한 항균 활성 검증	100	○항균 나노입자 처리의 최적 조건 결정 ○분무 조건에 따른 식품(지역 수출 농산물 - 파프리카, 배, 포도 등) 잔류 검출 ○기존 항균 처리 공정과의 비교를 통한 공정 개선
		○현장적용을 통한 실험 농산물(지역수출 농산물 - 파프리카, 배, 포도 등)의 저장에 따른 품질 평가	100	○기계 장치 적용의 적합성과 공정에 따른 개선점 평가 ○air flow rate등이 현장 적용에 미치는 영향 ○상대습도, 건조도에 따른 살균제의 작용 조건 평가
		○공정 최적화를 통한 분무 장치 고안	100	○효율적인 나노입자 분무용 노즐 및 제어 조건 확립 ○최적 농도 및 분무량 계산
		○제안공정의 대상 식품별 (지역수출 농산물 - 파프리카, 배, 포도 등) 현장적용	100	○제안 공정의 현장 적용 실험 ○제안 공정의 현장 적용을 통한 공정 변수 최적화 확립
초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발 (3협동)		○초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 저장 온도별 미생물 생육변화 분석 및 생육 예측모델 개발	100	○초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리에 의한 신선편이 생식원료의 저장 온도별 미생물 생육 변화 분석 (챔버 내 온도, 습도 등에 따른 해당 미생물의 변화 측정)
			100	○초음파와 미산성 저농도 전해수 병용처리한 신선편이 생식원료의 위해미생물 생육 예측

				모델 개발 (MSE, Bf, A이용 및 Internal validation 검증방법 사용)
Aqueous chlorine dioxide를 이용한 신선편이 식품의 고품질화 기술 개발 (3협동 위탁)	○식품의 표준화된 가공공정 중 고품질화 기술 확립	100		○식품 제조 시, 품질저하 가능한 공정 (washing, pre-drying, precooling, cutting, cooling 등) 모니터링 및 분석
	○즉석가공식품의 고품질 유지 기술 개발	100		○즉석 가공 식품의 pre-cooling, cutting, shredding 과정 중 aqueous ClO ₂ 세척에 의한 미생물학적 위해 인자 제어 및 공정 최적화 ○aqueous ClO ₂ 세척에 전자빔 조사 등 combined nonthermal treatment 조건의 확립
비가열처리 기술의 탄소 발생 저감화 효과 규명 (4협동)	○저감화 방안 제시	100		○전과정 목록에 대한 분석과 전과정 영향 평가 및 해석을 통한 주요 식품제조 공정(2-3개)에서 공정조건별 이산화탄소 발생량에 대한 정량평가
		100		○공정조건에 따른 이산화탄소 발생량 예측을 위한 수학적 모델식 수립
		100		○식품제조사의 주요 공정장치별 이산화탄소 발생량에 대한 정량평가
		100		○2-3가지 모델식품의 제조공정에 대한 대체기술(비가열기술)의 적용에 따른 이산화탄소 저감 효과의 분석
		100		○비가열처리 기술의 적용을 통해 달성가능한 식품 제조 공정에서의 이산화탄소 저감화 가이드라인 제시
	○현장적용 실증 연구를 통한 탄소발생 저감효과 규명	100		○주요 인자에 따른 에너지 사용 및 CO ₂ 발생량 측정
		100		○검증: 개발된 산출 모델에 의해서 추산된 값과 측정값의 비교 및 분석

본 연구 과제를 수행하며 1, 2, 3 차 년도 연구 결과들을 다음과 같이 학술발표회에 발표하고 자 학회지에 투고하여 관련 연구 분야의 연구 수행에 참고 될 수 있도록 하였다.

연번	성과물명	학술대회명	개최지	발표 년월	학술대회 구분
1	Effect of UV-C Irradiation on the Inactivation of <i>Listeria monocytogens</i> of Hamburger Patty during Storage	한국식품과학회	인천	2010년 6월	학술발표 (국내)
2	연속 자외선 조사와 광펄스 기술을 이용한 수산식품 유래 유해 미생물의 사멸효과 비교	한국식품과학회	인천	2010년 6월	학술발표 (국내)
3	Effects of beta-glycosidase on deglycosylation of ginsenosides under high-hydrostatic pressure	한국식품과학회	인천	2010년 6월	학술발표 (국내)
4	Disinfection effects of continuous TiO ₂ /UVC reactor on <i>Eshcherichia coli</i> O157:H7 and <i>Saccharomyces cerevisiae</i> inoculated into clarified apple juice	한국식품과학회	인천	2010년 6월	학술발표 (국내)
5	감압 플라즈마를 이용한 <i>Staphylococcus aureus</i> 살균	한국식품과학회	인천	2010년 6월	학술발표 (국내)
6	산의 종류와 농도가 이산화염소수 순도에 미치는 영향	한국식품영양과학회	대구	2010년 10월	학술발표 (국내)
7	Predictive Models for Growth of <i>E.coli</i> O157:H7 in Treated Cabage with Strong Acid Electrolyzed Water	동아시아식생활학회	서울	2010년 11월	학술발표 (국내)
8	Investigation of Low Concentration Electrolyzed Water on Inactivation of <i>Staphylococcus aureus</i> in Broth	동아시아식생활학회	서울	2010년 11월	학술발표 (국내)
9	감압플라즈마를 처리한 후추가루의 살균효과와 품질변화	한국산업식품공학회	서울	2010년 11월	학술발표 (국내)

10	기체별 감압 플라즈마에 의한 Escherichia coli와 Staphylococcus aureus의 살균 특성 비교	한국산업식품공학회	일산	2011년 4월	학술발표 (국내)
11	유전체장벽플라즈마 처리 시 시료 이동이 살균효과에 미치는 영향	한국산업식품공학회	일산	2011년 4월	학술발표 (국내)
12	Effect of combined nonthermal treatment on the quality of pak choi during storage	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
13	Emerging non-thermal food processing technologies to secure food safety	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
14	Extension of the Shelf Life of Fresh Chicken Meat by Slightly Acidic Low Concentration Electrolyzed ater ombined with Modified Atmosphere Packaging	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
15	Effect of electron beam irradiation of microbial growth and quality during storage of purple sweet potato slice dehydrated with maltodextrin	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
16	Effect of combined non-thermal treatment on the quality of Pak Choi during storage	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
17	Effect of postharvest treatment on the quality of 'seolhyang' strawberries during storage	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
18	Reduction of listeria monocytogenes by combined treatment of the ultrasound and chlorine on food-contact surfaces and iceberg lettuce	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)

19	Reduction of Cronobacter on iceberg lettuce by combined treatment with ultrasound and disinfectant	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
20	Serial treatment of TiO ₂ -UV photocatalytic reaction and high hydrostatic pressure as a hurdle strategy for the preservation of fresh carrot juice	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
21	Disinfection of E.coli in liquid food with teflon-coil UVC system	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
22	Inactivation of E.coli by dielectric barrier discharge plasma	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
23	Efficacy of aerosolized chlorine dioxide in reducing Salmonella Typhimurium on tangerine surface	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
24	Disinfection of E.coli O157:H7 in liquid foods with Teflon-coil UVC system	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
25	Serial treatment of titanium dioxide-UV photocatalytic reaction and high hydrostatic pressure as a hurdle strategy for the preservation of fresh carrot	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)
26	Emerging non-thermal food processing technologies to secure food safety	한국식품과학회	대구	2011년 6월	학술발표 (국내)

27	Microbiological sensory and chemical characteristics of vacuum of packaged fresh beef, treated with calcium lactate and low concentration electrolyzed water	식품위생안전성학회	서울	2011년 10월	학술발표 (국내)
28	Efficacy of aerosolized acidified sodium chlorite as a food sanitizer in reducing <i>Salmonella Typhimurium</i> on green pepper	한국식품영양과학회	부산	2011년 11월	학술발표 (국내)
29	Two kinetic models on the inactivation of food pathogenic bacteria by aqueous chlorine dioxide treatment	한국식품영양과학회	부산	2011년 11월	학술발표 (국내)
30	Combined Effect of Low Concentration Electrolyzed Water Dip Washing and Vacuum Packaging on Quality Parameters of Raw Chicken Fillets	International Meeting of the Federation of Korean Microbiological Societies	서울	2011년 11월	학술발표 (국내)
31	Bacteria effect of low concentration electrolyzed water on <i>E. coli</i> O157:H7 on lettuce	한국식품영양과학회	부산	2011년 11월	학술발표 (국내)
32	Decontamination efficacy of low concentration water combined with ultrasonication on lettuce leaves	한국식품영양과학회	부산	2011년 11월	학술발표 (국내)
33	Modeling for <i>Listeria monocytogenes</i> Growth on lettuce treated with low concentration electrolyzed water using a new user-friendly software	한국식품영양과학회	부산	2011년 11월	학술발표 (국내)
34	Effect of current on physical properties and inactivation efficacy of low concentration electrolyzed water	식품저장유통학회	서울	2011년 11월	학술발표 (국내)

35	곡물에 대한 저온 플라즈마 종류별 살균효과 비교	한국산업식품공학회	일산	2012년 5월	학술발표 (국내)
36	actericidal Effect and Quality change of fresh-cut paprika	한국산업식품공학회	일산	2012년 5월	학술발표 (국내)
37	Investigation of electrolyzed functional water and saline solution efficacy for the sanitization of chinese cabbage in a continuous two-step procedure	한국식품과학회	창원	2012년 5월	학술발표 (국내)
38	Antibacterial effect of slightly acidic electrolyzed water on cereals, leafy vegetable bulbs and tubers as raw materials of Saengik	한국식품과학회	창원	2012년 5월	학술발표 (국내)
39	Application of slightly acidic electrolyzed water for sanitization of Kimchi fresh material to produce high quality and low salt Kimchi with increased shelf-life	한국식품과학회	창원	2012년 5월	학술발표 (국내)
40	Microbial Decontamination of Red Pepper Powder Using Low Pressure Discharge Plasma	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
41	TiO ₂ Photocatalytic Inactivation of foodborne pathogenic microorganisms in liquid foods	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
42	Reducing Natural Flora on Onion Surface by Aerosolized Aqueous Chlorine Dioxide	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
43	Effect on Surface inactivation of Dried Laver by Intense Pulsed Light treatment	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)

44	Effects of Non-thermal Treatment on the Microbial Growth during Chilled Storage in Celery and Cherry	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
45	Microbial Decontamination of Red Pepper Powder Using Low Pressure Discharge Plasma	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
46	Inactivation of Foodborne Disease Bacteria by Dielectric Barrier Discharge Plasma Treatment	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
47	Inactivation of Escherichia coli O157:H7 and Listeria monocytogenes in Broth by Slightly Acidic Electrolyzed Water Generated using Different Total Dissolved Solid Material	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
48	The Physical Properties and Inhibitory Effect of Slightly Acidic Electrolyzed Water Generated Using Different Electrolytes against Foodborne Pathogens	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
49	Application of Non-thermal Technology for Preservation of Acer mono Sap by TiO ₂ -UVC Photocatalytic Reaction	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
50	Effect on Surface Inactivation of Dried Laver by Intense Pulsed Light (IPL)	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
51	Batch Pasteurization of Korean Traditional Turbid Rice Wind (Takju) Using Intense Pulsed Light	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
52	Combination of Slightly Acidic Electrolyzed Water, Ultrasound and Water Wash to Maximize the Sanitization Effect against Microbial Contamination on Spi	한국식품위생안전성학회	서울	2012년 10월	학술발표 (국내)

53	Effect of Dipping Time and Production Method on Inactivation of Food borne Pathogens in Broth by Slightly Acidic Electrolyzed Water (SAEW)	한국식품위생안전성학회	서울	2012년 10월	학술발표 (국내)
54	Efficacy of Aerosolized Chlorine Dioxide as a Food Sanitizer in Reducing Pathogenic Bacteria on Fresh-Cut Carrots	한국식품영양과학회	제주	2012년 10월	학술발표 (국내)
55	Sensory and microbiological qualities of fresh-cut vegetables affected by a combined treatment of aqueous chlorine dioxide and ultraviolet-C	한국식품영양과학회	제주	2012년 11월	학술발표 (국내)
56	Effects of combined nonthermal treatment on the microbial growth and quality in chicon during storage	한국식품영양과학회	제주	2012년 11월	학술발표 (국내)
57	Combination of Slightly Acidic Electrolyzed Water, Ultrasound and Water Wash for the Sanitization of Chinese Cabbage	한국식품저장유통학회	대구	2012년 11월	학술발표 (국내)
58	Combination of Slightly Acidic Electrolyzed Water,Ultrasound and Water Wash to Maximize the Sanitization Effect against Microbial Contamination on Ses	한국식품저장유통학회	대구	2012년 11월	학술발표 (국내)

59	코로나방진플라즈마제트를 이용한 곡류 살균	한국산업식품공학회	서울	2012년 11월	학술발표 (국내)
60	코로나방진플라즈마제트 생성장치 특성과 살균효과	한국산업식품공학회	서울	2012년 11월	학술발표 (국내)
61	육류 표면의 Escherichia coli O157:H7과 Listeria monocytogenes에 대한 코로나방진플라즈마제트 살균	한국산업식품공학회	서울	2012년 11월	학술발표 (국내)
62	코로나방진플라즈마제트를 이용한 새싹 채소류 살균	한국산업식품공학회	일산	2013년 5월	학술발표 (국내)
63	코로나방진플라즈마제트를 이용한 김의 살균	한국산업식품공학회	일산	2013년 5월	학술발표 (국내)
64	코로나방진플라즈마제트를 이용한 생식용 곡류의 미생물 살균과 품질변화	한국산업식품공학회	일산	2013년 5월	학술발표 (국내)
65	Effects of UV-assisted ti02 photocatalytic reaction on preservation of sikhye	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
66	Effects of combined treatment of Teflon-coil and high hydrostatic pressure on microbial and quality characteristic in dongchimi.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
67	Microbial contamination level of raw seafood products including halibut, oyster, rockfish, squid, and tuna in korea.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)

68	changes in microbial contamination levels of gangjang gejang on the processing steps and the scale of plant.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
69	Non-thermal sterilization of foods using high power electrical energy.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
70	Development of postharvest technology of robus coreanus using a combined non-thermal treatment.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
71	Effects of the combined treatment of aqueous chlorine dioxide and organic acid on the microbial growth and quality of mulberry.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
72	Microbial inactivation of dried laver using low pressure discharge plasma and dielectric barrier discharge plasma.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
73	Synergistic effect of thermo-sonication and slightly acidic electrolyzed water to reduce natural microflora on kale.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
74	Inactivation of microorganisms in makgeoli by high voltage pulsed electric fields combined with intense pulsed light.	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
75	Sanitization of food packing materials using dielectric barrier discharge plasma	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)

76	A study on effect of intense-pulsed light treatment for inactivating on the surface of seafoods	IFT	USA	2010년 7월	학술대회 (국외)
77	Effects of titanium dioxide-UV photocatalytic reaction on DNA damage and disinfection of foodborne pathogenic bacteria	IAFP	USA	2010년 8월	학술대회 (국외)
78	Effect of sanitizer and disinfectant treatments for reduction of <i>Arcobacter butzleri</i>	IAFP	USA	2010년 8월	학술대회 (국외)
79	Comparison of gamma and electron beam irradiation on the survival of natural microflora in seafood	IAFP	USA	2010년 8월	학술대회 (국외)
80	Effect of titanium dioxide-UV photocatalytic reaction on DNA damage and disinfection of foodborne pathogenic bacteria	IAFP	USA	2010년 8월	학술대회 (국외)
81	Effect of temperature and pH on the emetic toxin production of <i>Bacillus cereus</i>	IAFP	USA	2010년 8월	학술대회 (국외)
82	Effective use of Slightly Acidic Low Concentration Electrolyzed Water to Ensure Microbial Safety of Food	5 th International conference on Microbiology of Food,	Bangladesh	2010년 12월	학술대회 (국외)
83	Intense pulsed light treatment for preservation and shelf-life extension of seafoods	IFT	USA	2011년 6월	학술대회 (국외)
84	Inactivation of surface microorganisms of dried lavers (<i>Porphyra tenera</i>) by Intense Pulsed Light (IPL) treatment	IFT	USA	2011년 6월	학술대회 (국외)

85	Effect of an Ultrasound-sanitizer Combined Treatment in the Detachment of Bacteria on Food Contact Surfaces	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)
86	Synergistic Effects of Combined Treatments Using Sanitizers and UV to Reduce Levels of Bacillus cereus in Oyster Mushrooms	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)
87	Synergistic Effects of Ethanol and UV Radiation to Reduce Levels of Selected Foodborne Pathogenic Bacteria	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)
88	Inactivation through Chlorine Treatment and Development of Predictive Models against Feline Calicivirus and Murine Norovirus on Food Contact Surfaces	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)
89	Disinfection effects of the continuous TiO ₂ -UV reactor on microorganisms in liquid foods	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)
90	Effect of combined process TiO ₂ -UV photo-catalytic reaction and high hydrostatic pressure on quality of angelica juice	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)
91	Effect of Combined Process TiO ₂ -UV Photo-catalytic Reaction and High Hydrostatic Pressure on Quality of Angelica Juice	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)
92	Ethanol treatment to Inactivate Feline Calicivirus and Murine Norovirus as Norovirus Surrogates on Stainless Steel Surfaces	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)
93	Combination of Slightly Acidic Low Concentration Electrolyzed Water with Calcium Lactate to Ensure Microbial Safety, Shelf Life and Sensory Quality of Fresh Pork	IAFP	USA	2011년 8월	학술대회 (국외)

94	Irradiation, UV process and Ultrasonication Process	2011 Beijing International conference on non-thermal processing technologies & high hydrostatic pressure forum	China	2011년 9월	학술대회 (국외)
95	Inactivation of microorganism in distilled water and clarified apple juice using UVC irradiation and TiO ₂ -UVC photocatalytic reaction	2011 Beijing International conference on non-thermal processing technologies & high hydrostatic pressure forum	China	2011년 9월	학술대회 (국외)
96	Optimization of Sterilization Conditions and Prediction of Heat Penetration for the Production of Retorted Tteokgalbi	IFT	USA	2012년 6월	학술대회 (국외)
97	Effects of combined nonthermal treatment on the microbial growth and quality of lettuce and kale	IFT	USA	2012년 6월	학술대회 (국외)
98	Novel process for pasteurization of fresh kale juice using TiO ₂ -UV photocatalytic reaction	IFT	USA	2012년 6월	학술대회 (국외)
99	The synergistic effects of combined NaOCl, gamma irradiation, and vitamin B1 on the populations of Aeromonas hydrophila in liquid	IFT	USA	2012년 6월	학술대회 (국외)
100	Efficacy of Intense Pulsed Light as a Sterilization Method for Liquid Food Products and Dried Food Powders	IFT	USA	2012년 6월	학술대회 (국외)
101	Inactivation of Rice Win- and Raw Milk-Related Microorganisms by Intense Pulsed Light and Nisin Treatment	IFT	USA	2012년 6월	학술대회 (국외)

102	Efficacy of Aerosolized Chlorine Dioxide in Reducing Salmonella Typhimurium on Food Surfaces	IAFP	USA	2012년 7월	학술대회 (국외)
103	Change of Microbial and Physicochemical Characteristics in the Raw Materials of Saengsik by Washing with Slightly Acidic Electrolyzed water (SAEW) during storage	Asian food security association(AFSA)	JAPEN	2012년 9월	학술대회 (국외)
104	Combination of Slightly Acidic Electrolyzed Water, Ultrasound and Water Wash to Maximize the Sanitization Effect against Microbial Contamination on Lettuce	Asian food security association(AFSA)	JAPEN	2012년 9월	학술대회 (국외)
105	Change of Microbial and Physicochemical Characteristics The Raw Materials of Saengsik by Washing with Slightly Acidic Electrolyzed Water During Storage	Asian food security association(AFSA)	JAPEN	2012년 9월	학술대회 (국외)
106	Sensory and microbiological quality of Romaine lettuce and kale affected by the combined treatment of aqueous ClO ₂ and UV-C as a hurdle technology	The European Federation of Food Science and Technology Annual Meeting	FRANCE	2012년 11월	학술대회 (국외)
107	Sterilization effect of pulsed electric field technology on cow's milk and structural change of milk proteins	IFT	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)
108	Effects of a combined treatment of TiO ₂ -UV photocatalytic reaction and high hydrostatic on inactivation of foodborne microorganisms in apple juice	IFT	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)
109	A combination of TiO ₂ -UV photocatalysis and high hydrostatic pressure to extend shelf life of freshly squeezed kale juice	IFT	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)

110	Enhancement of slightly acidic electrolyzed water sanitization efficacy on fresh vegetables by ultrasonication and water wash	IAFP	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)
111	Inactivation of foodborne bacteria on a ball-shaped surface model using bacto agar by UVC-assisted titanium dioxide photocatalysis	IAFP	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)
112	Reductions of Escherichia coli, Staphylococcus aureus, and Bacillus cereus on seasoned dried file fish using UV and COP as light sterilization	IAFP	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)
113	Optimization for synergistic effects of combined chlorine and sonication on Bacillus cereus in dried laver using a predictive reduction model	IAFP	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 논문 성과

계재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내 외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2010	고추냉이 수용성 추출물의 나노 입자화를 통한 식중독 미생물에 대한 항균 활성 증진	서용창	이현용	최운용, 김지선, 조윤윤, 이준근, 안주희, 신일식	한국약 용작물 학회지	18(6)	국내	
2011	Evaluation of two kinetic models on the inactivation of major foodborne pathogens by aqueous chlorine dioxide treatment	이지혜	송경빈	송현정	한국식품 저장유통 학회지	18(3)	국내	
2011	유전체장벽방진 플라즈마 장치의 조작특성과 살균력	목철균		이태훈	산업식품 공학회지	15(4)	국내	
2012	유전체장벽방진 플라즈마를 이용한 Escherichia coli 살균	목철균		이태훈	산업식품 공학회지	16(1)	국내	
2012	회분식 고강도 광원 처리에 의한 막걸리의 품질 및 저장성에 관한 연구	김병철	신정규	김보라, 김에진	산업식품 공학회지	16(1)	국내	
2012	감압방진플라즈마에 의한 고춧가루 미생물 저감	목철균		전형주	산업식품 공학회지	16(2)	국내	
2012	Effects of combined treatment of aqueous chlorine dioxide and UV-C or electron beam irradiation on the microbial growth and quality in chicon during storage	강지훈	송경빈	박지용, 오덕환	한국식품 영양과학 회지	41(11)	국내	
2012	후춧가루의 감압방진플라즈마 살균	목철균		전형주	산업식품 공학회지	17(1)	국내	
2013	방사선 저항성균 Micrococcus roseus의 광멸스 살균 효과	김보라	신정규	김에진	한국식품 과학회지	45(2)	국내	
2013	광멸스 처리에 의한 파프리카의 이화학적 변화	홍희정	신정규	김에진, 박희란	한국식품 과학회지	45(3)	국내	

2013	감압방전플라즈마를 이용한 Salmonella Typhimurium 살균과 계란의 위생성 향상	목철균		송동명	산업식품 공학회지	17(3)	국내	
2013	코로나방전플라즈마제트장치의 조업특성과 살균력	목철균		이태훈	산업식품 공학회지	17(3)	국내	
2012	Sensory and microbiological qualities of romaine lettuce and kale affected by a combined treatment of aqueous chlorine dioxide and ultraviolet-C	Ji Hye Lee	Kyung Bin Song	Deog Hwan Oh, Jiyong Park	한국원예 학회지	53(5)	국내	SCIE
2012	Comparison of intense pulsed light- and ultraviolet (UVC)-induced cell damage in Listeria monocytogenes and Escherichia coli O157:H7	Chan-Ick Cheigh	Young-S eo Park	Mi-Hyun Park, Myong-S oo Chung, Jung-Kue Shin	Food Control	25	국외	SCI
2012	Effects of slightly acidic low concentration electrolyzed water on microbiological, physicochemical, and sensory quality of fresh chicken breast meat.	S. M. E. Rahman	Deog-Hw an Oh	Jiyong Park, Kyung-B in Song, Naif A. Al-Harbi	Journal of Food Science	71(1)	국외	SCI
2013	Effects of electron beam and ultraviolet-C irradiation on quality and microbial populations of leafy vegetables during storage	강지훈	송경빈	전호현, 송낙범, 김민성 박지용, 오덕환	한국응 용생명 학회지	56	국내	SCIE
2013	Ultrasonication enhanced low concentration electrolyzed water efficacy on bacteria inactivation and shelf life extension on lettuce	Fereidoun Forghani	Deog-Hw an Oh	S. M. E. Rahman, Myoung-Su Park, Joong-Hy un Park, Jiyong Park, Kyung-B in Song	Food science and biotechn ology	22(1)	국내	SCIE
2013	Synergism of combined vitamin B1 and NaOCl treatment for reduction of microbiological contamination in head lettuce	하지형	하상도	이지영, 정명섭, 박지용	J. Food Proc. Preserv.	37	국외	SCIE

2013	Bacterial inactivation in water, DNA strand breaking, and membrane damage induced by ultraviolet-assisted titanium dioxide photocatalysis	김수현	박지용	Kashif Ghafoor, 이주영, 풍매, 홍정연, 이동연	Water research	47	국외	SCI
2013	Effects of ultraviolet-C treatment in Teflon®-coil on microbial populations and physico-chemical characteristics of watermelon juice	Mei Feng	박지용	Kashif Ghafoor, 서보현, 양근용	Innovative Food Science and Emerging Technologies	19	국외	SCI
2013	A combination of TiO ₂ -UV photocatalysis and high hydrostatic pressure to inactivate <i>Bacillus cereus</i> in freshly squeezed <i>Angelica keiskei</i> juice	채창훈	박지용	이주영, 이연정, 나상열	LWT - Food Science and Technology		국외	SCI
투고중	Effects of combined treatment of sodium hypochlorite/ionizing radiation and addition of vitamin B1 on microbial flora for oyster and short-necked clam	H.J. Kim	Sang-Do Ha	Ji-Hyoung Ha, Seok-won Kim, Cheorun Jo, Jiyong Park	Foodborne Pathogenic and Disease		국외	SCIE
투고중	Optimization of processing conditions for the sterilization of retorted short-rib patties using the response surface methodology	최수희 최찬익	정명수		Meat Science		국외	SCI
투고중	Inactivation of <i>Listeria monocytogenes</i> on solid medium and seafoods by intense pulsed light treatment	최찬익	정명수		Journal of Food Science		국외	SCI
투고중	Efficacy of aerosolized chlorine dioxide as a food sanitizer in reducing pathogenic bacteria on washed carrot	조종락	김정목	박지용 김충경	Food Microbiology		국외	SCI

투고중	Effect of chlorine dioxide gas treatment on the enzymatic browning and microbiological quality of sliced mushroom	고소미	김정목	박지용 조종락 R. Linton M. MARshall	Int. J. Food Sci. and Tech.		국외	SCI
투고중	고강도 광펄스에 의한 <i>Micrococcus roseus</i> 의 살균	김예진	신정규		한국산업 식품공학 회지		국내	
투고중	회분식 광펄스 처리에 의한 병원성 대장균 및 마른김의 비가열 살균	김예진	신정규	박희란 윤소정	산업식품 공학회지		국내	

2. 특허성과

출원된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2012	살균 세척장치 및 방법	중앙대학교 산학협력단	대한민국	1020120009386
2012	아염소산수를 이용한 살균방법	목포대학교 산학협력단	대한민국	1020120052836
2012	저온 플라즈마를 이용한 식품표면 살균방법	가천대학교 산학협력단	대한민국	1020120070837
2013	초음파와 세척수 처리를 병행한 미산성 전해수의 신선채소 살균방법	강원대학교 산학협력단	대한민국	1020130058251
등록된 특허의 경우				
등록연도	특허명	출원인	출원국	등록번호
2013	고추냉이 추출물의 복합 나노 입자화를 통한 식품 첨가용 천연 식품 향균제의 제조방법 및 그 식품 향균제	강원대학교 산학협력단	대한민국	1012594750000

3. 기술이전 (진행중)

책임자	소속	목포대학교
	과제명	신선 편이식품의 보존성, 안전성 증진을 위한 천연/화학 향균제의 고효율 나노 살균 공정 개발
	성명	김정목
신청자	업체명	(주) 푸르고팜
기술의 명칭	Nebulizer를 이용한 식품 표면 살균 공정	
기술의 내용	Jet/ultrasonic nebulizer를 이용한 chlorine dioxide의 aerosol화로 신선편이 식품 및 농산물의 비가열 살균을 통해 식품의 저장성 및 안전성 확보	
기술의 구성 및 효과	Nebulizer를 이용한 chlorine dioxide의 aerosol화 chlorine dioxide의 aerosol화로 분무 입자의 나노입자화를 통해 저비용으로 대용량화가 용이하며 넓은 범위의 적용가능	
기술의 특징	산성화 아염소산 활용하여 aerosolization을 통해 미세적 농산물의 가공 및 유통·저장하는 과정에서 살균제의 높은 침투력과 확산력을 지닌 기술	
기술 이전 범위	식품 표면 살균처리를 위한 jet/ultrasonic Nebulizer를 이용한 chlorine dioxide의 aerosol화 농도 변화결과.	

4. 교육, 지도, 홍보 등 기술 확산 계획

교육지도 : 태영에프엔에이(주) - 초음파 세척/살균 방법 지도(2011. 4. 11)

책임자	소속	중앙대학교		
	과제명	초음파-살균소독제 병용기술에 의한 최소가공식품의 영양성분 보존 및 저장성 향상기술개발		
	성명	하 상 도		
신청자	업체명	태영에프엔에이(주)		
	대표자	서현수	전화번호	-
	소재지	경기도 안성시 중앙대학교 창업보육센터		
신청내용	“초음파를 이용한 신선편이 식품의 화학적/물리적 병용처리 살균소독제 개발” 기술이전			
일 자	2011년 4월 11일			
결 과	<p>본 연구는 화학적 제어법(살균소독제)과 물리적 제어법(초음파)를 병용 처리한 최적의 formulation을 활용하여 신선편이식품에서 발생하는 총균수, 대장균군, <i>B. cereus</i>, 황색포도상구균, <i>L. monocytogenes</i>, <i>C. sakazakii</i> 등 미생물로 인한 제품의 품질저하 및 식중독 사고 위험성을 감소시키는 hurdle technology를 개발하는데 목적이 있다.</p> <p>“초음파-살균소독제 병용기술에 의한 최소가공식품의 영양성분 보존 및 저장성 향상기술개발”을 주제로 본 연구방법과 결과를 태영에프엔에이(주)에 기술지도하여, 신선편이식품에 대한 새로운 살균소독법을 산업현장에 적용토록 기술 지도하였다.</p>			

교육지도 : 태영에프엔에이(주) - 초음파 세척/살균 방법 지도(2013. 3. 16)

책임자	소속	중앙대학교		
	과제명	초음파-살균소독제 병용기술에 의한 최소가공식품의 영양성분 보존 및 저장성 향상기술개발		
	성명	하 상 도		
신청자	업체명	태영에프엔에이(주)		
	대표자	서현수	전화번호	-
	소재지	경기도 안성시 중앙대학교 창업보육센터		
신청내용	초음파를 이용한 신선편이 식품의 화학적/물리적 병용처리 살균소독 장비 활용기술 이전			
일 자	2013년 3월 16일			
결 과	<p>본 연구는 화학적 제어법(살균소독제)과 물리적 제어법(초음파)를 병용처리한 최적의 formulation을 활용하여 신선편이식품에서 발생하는 총균수, 대장균군, <i>B. cereus</i>, 황색포도상구균, <i>L. monocytogenes</i>, <i>C. sakazakii</i> 등 미생물로 인한 제품의 품질저하 및 식중독 사고 위험성을 감소시키는 hurdle technology를 개발하는데 목적이 있다.</p> <p>“초음파-살균소독제 병용기술을 활용한 장비를 개발, 시작품을 제작하여 태영에프엔에이(주)에 기술지도해, 향후 신선편이식품 등 살균소독을 위한 본 장비를 산업현장에 적용토록 기술 지도하였다.</p>			

5. 추가 연구, 타 연구 활용 계획

최근 경제 성장으로 인한 소득 수준 변화로 인하여 소비자들의 건강과 식생활에 대한 관심도는 높아지고 있다. 이로 인하여 기존에 적용되었던 열처리 식품의 소비가 감소하고 과일, 채소류의 소비가 급증하고 있다. 과일, 채소류의 소비가 증가함에 따라 기존의 열처리를 대신할 수 있는 비가열 세척 처리의 개발이 시급하다. 소비자자들의 요구를 만족시키기 위해 식품 산업 또한 식품의 위생 및 품질에 민감히 대처하고 식품의 본연의 상태를 유지할 수 있는 최소 가공 식품에 대한 개발을 활발히 해야 한다.

비가열 살균 방법 중의 대표적인 자외선 살균은 현재 수질과 공기 등의 환경적인 측면에서 많이 이용되고 있다. 이외에도 실생활에서 의료 및 생활 용품의 표면 살균용으로도 많이 사용되고 있다. 하지만, 아직 신선 식품의 표면 살균 처리로는 화학 물질에 침지하는 살균이 많이 이루어지고 있다. 이러한 화학 물질 침지 살균에 비하여 자외선 살균은 빛을 이용한 기술로써 반영구적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 식품에 적용하였을 때, 식품에 잔류하지 않으며 인체에 해로운 부산물도 생성하지 않는 장점이 있다.

1. UV-광촉매 산화 반응 및 초음파-살균 소독제 병용 기술 [제 1 세부과제]

자외선과 함께 광촉매인 이산화 티타늄을 병합하여 사용할 경우, 광촉매인 반도체의 표면에 자외선에 의한 빛 에너지의 조사로 생성된 수산화 라디칼과 초과산화물 라디칼이 생성된다. 이는 유기 물질을 사용하는 화학적 처리 방법 및 가열 및 냉동, 건조 등의 물리적 처리 방법을 사용하지 않아도 되기 때문에 식품의 품질 변화를 최소화 할 수 있으므로, 열에 의해서 손상이 큰 과일, 채소류에 대한 적용이 가능하며, 건강 기능성 식품에도 적용이 가능할 것으로 예상된다. 또한 UV-광촉매 병합 처리를 할 경우, 자외선 단독 처리를 하였을 경우보다 살균력이 강하였다. 이러한 UV-광촉매 병합 처리는 수질 오염 살균 뿐만 아니라 공기 살균에도 적용될 경우 더욱 효과적으로 사용될 수 있다고 판단된다.

본 과제를 연구하며 개발된 연속식 UV-광촉매 반응기의 경우, 액상 식품의 살균에 최적화되어 있다. 본 연구 과제에서는 신선편이 식품에 초점을 맞추어 케일 주스와 당근 주스를 이용하여 실험하였다. 이 때 살균력은 1.5 ~ 2.0 log 정도로 예상보다는 약한 편이었다. UV-광촉매 산화 반응은 빛을 투과 시켜 살균을 하는 것이므로 시료의 색과 탁도에 영향을 많이 받게 된다. 더욱더 투명한 액체 시료에 적용시킬 경우, 더욱 효과적인 살균력이 있을 것이라고 판단된다. 예로 동치미, 식혜, 무즙, 배즙과 같이 색이 투명하고 맑은 식품에 도입을 해볼 예정이다.

Batch식 UV-광촉매 반응기의 경우, surface model에 적용시켜 보았을 때, 자외선 단독 처리보다 확실한 살균력을 확인할 수 있었다. 양배추, 포도, 딸기 등 세척 과일이나 채소류에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 위해 미생물인 리스테리아, 대장균, 살모넬라 등에서 확실한 살균력을 확인할 수 있었으므로, 신선편이 채소류에 특이적인 식중독 균으로부터 소비자의 안전을 확보할 수 있을 것으로 생각된다.

초음파를 이용하여 화학적 살균소독제와 병용 처리하는 기술을 개발함으로써 유기농, 신선편이식품 등의 영양성분 변화를 최소화하고 저장성을 향상시키며 효과적인 관리와 미생물학적 위험요소에 대한 대책으로 활용 가능할 것이라고 생각된다.

본 과제를 연구하며 초음파와 화학적 살균소독제 병용처리가 가능한 장비를 제작함으로 위

생적으로 안전한 신선편이 식품 공급을 통해 소비자의 안전수준 요구에 대응할 수 있을 것이라고 생각된다.

또한 개발된 살균, 소독 기술은 신선편이 식품 및 외식, 급식시장의 식품안전을 확보하여 건전한 산업발전과 수출에 기여할 수 있으며 식품제조업체나 외식, 급식업체에 기술이전이 가능하다고 판단된다. 금번 고안된 초음파세척기는 향후 신선편이식품 뿐만 아니라 수산물 세척, 소독용으로도 활용될 것이다.

2. 저온 플라즈마와 자외선 광펄스 기술 [제 1 협동과제]

본 연구에서 개발한 감압방전플라즈마(LPDP, low pressure discharge plasma), 유전체장벽 방전플라즈마(DBDP, dielectric barrier discharge plasma), 코로나방전플라즈마제트(CDPJ, corona discharge plasma jet) 살균기술은 표준균주는 물론 실제 곡류, 과채류, 해조류 등 다양한 식품에 존재하는 미생물을 저온에서 심각한 품질변화 없이 살균할 수 있다. 각각의 저온 플라즈마의 최적 살균조건을 도출하여 각종 식품의 살균에 적용한 결과 백미, 현미, 압맥, 새싹채소, 김에 존재하는 유해 미생물에 대해 1.5 - 2.0 log정도의 살균효과를 확인하였다. 또한 현장적용성이 보장된 원격코로나방전플라즈마제트(R-CDPJ, remote corona discharge plasma jet)시스템을 고안하여 살균력을 검증한 결과 다양한 크기와 모양을 갖는 식품을 대상으로 12 ~ 24 시간 처리에 의해 1.5 ~ 2.0 log(CFU/g) 정도의 살균효과를 거둘 수 있었으며 품질의 변화는 미미하였다.

R-CDPJ는 현장적용성이 양호하므로 농산물가공센터(APC)와 같은 대형 처리시설에 설치하여 예냉과 병행하여 장시간 처리하여 생물학적 위해요소를 경감할 수 있을 것으로 예상되며, 생물학적 위해요소 저감과 더불어 향후 화학적 위해요소 저감방법으로의 활용성을 모색할 필요가 있다. 제안된 현장적용 모델을 scale-up하기 위한 후속 연구가 필요하며 이를 통하여 제작된 pilot-plant scale 살균시스템을 제작하여 실제 현장에서 실증시험을 수행하고 도출된 문제점을 해결한다면 빠른 시간 내에 APC와 같은 농산물/식품 처리 및 가공 현장에 적용할 수 있을 것이다. 개발기술이 완성되어 현장에 투입될 경우 고품질 식품 생산을 위한 다양한 식품의 위생을 향상할 수 있을 것이며, 안전한 식생활 확립뿐만 아니라 농어민의 소득 창출에도 기여할 것으로 기대된다.

UV 광펄스 처리에 의해 수산물인 마른김, 농산물 중 파프리카, 신선식품의 식품 중 새싹에 존재하는 위해세균 저감효과를 살펴본 결과, 기존의 다른 비가열 살균방법보다 동등하거나 그 이상의 감균효과를 확인할 수 있었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 딸기, 토마토기타 채소 등에 존재하는 위해세균을 효과적으로 감소시킬 수 있을 것으로 판단되며, 적용범위를 확대 할 경우 수산물, 육제품 그리고 분말 식품 등에 존재하는 위해 세균을 저감시킬 수 있는 기술개발이 가능한 것으로 판단된다.

3. 천연항균제의 고효율 나노 살균 공정 [제 2 협동과제]

나노입자 살균소독 기술은 수용성 천연/화학 살균제를 나노 입자화하여 분무 처리함으로써 소량의 살균제로 넓은 범위를 처리할 수 있으며, 저농도 처리로도 병원성 미생물에 대한 높은 살균효과를 기대할 수 있다. 또한, 천연 추출물 및 GRAS 물질을 사용한 산성화 아염소산수를 이용함으로써 효율성과 안전성을 높여 친환경적이며, 저탄소 배출 살균기술로 소비자의 불안감 해소, 고품질 식품 생산, 위해미생물의 효과적 제어로 유통·저장 중 안전성 확보가 용이하

다. 특히, 나노입자 살균소독 기술은 소형의 nebulizer로도 넓은 공간에 효과적인 처리가 가능하며, 기존의 수용성 살균제에 적용 가능하여 신선 편이식품은 물론 식품 및 공정 전반에 적용이 가능한 기술로 활용분야가 다양하기 때문에 많은 제품 및 공정의 바탕 기술로 적용이 가능하다.

나노입자 분무 살균 시스템은 개별 제품에 대한 살균 처리뿐만 아니라 저장 창고 등 넓은 공간의 제품을 대량으로 처리하여 높은 살균효과를 나타낼 수 있는 장점이 있어 본 연구팀은 살균 장치 개발 업체인 (주)푸르고팜과 연구결과에 대한 파프리카·애호박·감귤 저장 창고에 적용하기 위해 기술이전을 추진 중이며, 이후 긴밀한 연계를 통하여 비가열 살균 시스템의 현장 적용 및 산업화를 추진할 예정이다.

4. 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 [제 3 협동과제]

최근 신선편이식품의 소비가 증가함에 따라 신선편이식품의 생산, 수확 중 미생물 오염이나 식품 가공, 저장, 유통 중 세균 등에 의한 오염 가능성이 높아 미생물 감소를 위한 전처리 과정의 필요성이 강조되고 있다.

본 과제를 연구하며 개발된 hurdle technology 기술의 경우, 신선편이식품의 살균에 최적화되어 있어 신선편이식품에 초점을 맞추어 다양한 신선편이식품을 이용하여 실험하였다. 이러한 hurdle technology 기술을 이용하여 신선편이식품에 적용하여 식품위해미생물을 감소시키고, MAP (modified atmosphere packaging)을 통해 저장기간 중 미생물, 색도, 관능 등의 변화를 관찰하고 미생물 예측 모델 등의 연구를 통해 객관적인 유통기한 설정에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 신선편이식품 이외에 육류가공식품 등 축산식품이나 수산가공식품 등 수산식품에도 aqueous ClO_2 , electron beam, UVC 등을 병합한 hurdle technology를 적용하여 미생물 저감화 및 고품질화에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 비가열 처리의 탄소 발생 저감화 [제 4 협동과제]

비가열 공정의 효율성 평가로 인해 비가열 처리 공정의 산업화 가능성을 제시할 수 있었다. 그리하여 기대 성과로는 공정별 탄소발생량을 산출할 수 있는 정량적 모델을 제시할 수 있다는 점, 식품 산업 환경 평가 데이터베이스의 구축이 가능하며, 에너지 효율 극대화와 오염 물질 저감화를 통한 생산 비용의 절감이 가능할 것이다.

또한, 친환경적 공정 확립으로 인한 식품의 부가가치를 상승시키며, 식품별 제조·보관·유통에 따른 단계별 이산화탄소 발생 저감화 방안 도출할 수 있다. 그리고 식품 제조공정의 이산화탄소 저감화 친환경 가공기술 개발에 따른 생활환경 및 대국민 이미지 개선에 일조할 것으로 사료된다.

6. 식품군 별 핵심 기술 적용 방안

식품군	대상 식품	적용기술	적용 기술의 적합성	처리 조건 및 결과
채소류	당근 오이 사과 신선초 양상추	Batch식 UV-광촉매 반응기를 이용한 표면 살균	<ul style="list-style-type: none"> 자외선을 시료에 조사하는 방식으로 뛰어난 표면 살균력을 갖으며 피조사물의 구조, 품질에 영향을 미치지 않아 가열 살균이 불가능한 신선 식품에 적용이 가능함 인체에 유해한 살균 소독제를 사용하지 않으며, 영구적으로 반응기를 사용할 수 있어 매우 경제적임 	<ul style="list-style-type: none"> Batch식 UV-광촉매 반응기에 tap water 150 L를 주입한 후 20분 동안 광촉매 반응을 하여 시료의 표면의 미생물을 살균함 시료의 색도, 향, 구조에는 변화가 없었으며 1.5 - 2.4 Log CFU/mL의 감균 효과 (곰팡이균 및 바실러스균)를 보임
	양상추	초음파-살균 소독제 병용 기술	<ul style="list-style-type: none"> 초음파를 화학적 살균소독제와 병용 처리하는 기술을 개발함으로써 신선편의식품 등의 영양성분 변화를 최소화하고 저장성을 향상시키며 효과적인 관리와 미생물학적 위험요소에 대한 대책으로 활용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 양상추를 Pilot scale의 초음파-소독제 장비에 적용된 초음파-소독제 동시처리 결과 총균수, E. coli, B. cereus의 미생물 수가 최대 1log이상의 감소값을 보였으며, 품질변화는 대조군과 거의 차이가 없었음
	새싹 파프리카 고추 토마토	저온플라즈마 이용한 식품표면 살균기술 및 현장적용	<ul style="list-style-type: none"> 저온플라즈마를 채소류 표면에 처리 시 온도상승 없이 살균효과가 있어 채소류에 적용이 가능함 대용량 처리가 가능하고 온도상승량이 적은 	<ul style="list-style-type: none"> 저온플라즈마를 직접 처리할 경우 단시간 처리에 의해 살균효과가 있었으며 품질변화는 미미하였음 현장적용 모델음

		<p>현장적용 모델을 통하여 신선도가 중요한 채소류에 적용이 가능함을 확인하였음</p>	<p>이용하여 처리한 결과 24시간 처리 시 품질변화가 미미하고 1.07 - 1.89 Log (CFU/g)의 감균효과를 확인함</p>
<p>양파 감자 당근 피망 파프리카 감귤</p>	<p>Nebulizer를 이용한 천연/화학살균제의 나노입자 분무살균</p>	<ul style="list-style-type: none"> Aerosolization 기술을 통해 나노입자 분무살균으로 수용액 살균제와 가스 살균제의 장점을 이용하여 높은 살균효과를 나타내며 피조사물의 구조, 품질에 영향을 미치지 않아 가열 살균이 불가능한 신선 식품에 적용이 가능함 유기산을 이용하여 제조된 acidified sodium chlorite는 빛에 분해되어 식품에 잔류성을 나타내지 않으며, 안전성이 보장되므로 가스 살균제보다 높은 농도에서도 사용이 가능하며, 액체 살균제보다 소량으로 넓은 범위의 살균이 가능하여 매우 경제적임 	<ul style="list-style-type: none"> 밀폐형 grove box(260L)에 Nebulizer를 이용하여 acidified sodium chlorite를 분무하여 시료 표면의 미생물을 30분간 살균함 처리한 모든 시료의 색도 변화는 나타나지 않았으며, 2.3~4.5 log CFU/mL 이상의 감균 효과를 나타냄 (일반미생물, 곰팡이, <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> Typhimurium, <i>Listeria monocytogenes</i>)
<p>당근 청경채 레드 치커리 딸기</p>	<p>Aqueous ClO₂ 처리를 적용한 신선편이식품의 표면 살균 기술</p>	<ul style="list-style-type: none"> Aqueous ClO₂는 염소보다 2.5배 높은 산화력과 5배 높은 살균력을 가지면서 발암성분을 형성하지 않는 장점을 가지고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 색도나 관능평가에 큰 변화 없이 호기성 세균은 1.20-3.07 log CFU/g의 감균 효과를 보였으며, 효모 및 곰팡이는 0.63-3.09 log CFU/g의 감균효과를 나타내었음

	<p>치킨 적근대 다채</p>	<p>Aqueous ClO₂ 와 electron beam의 병합처리를 통한 신선편이 식품의 표면 살균 기술</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Electron beam 처리는 식품에 방사능을 유발하지 않고 처리 시간이 짧으며, 처리 후 식품의 온도 변화가 거의 없으면서도 처리 효과가 높은 친환경적인 수단임 	<ul style="list-style-type: none"> • Aqueous ClO₂ 단일 처리시, 호기성 세균은 1.40-2.54 log CFU/g. 호모 및 곰팡이는 0.50-3.36 log CFU/g의 감소를 보였으며, electron beam과 병합 처리 시, 모든 처리구에서 호기성 세균과 호모 및 곰팡이는 검출 되지 않았음
	<p>메밀쌈</p>	<p>Aqueous ClO₂와 UVC의 병합처리를 통한 신선편이 식품의 표면 살균 기술</p>	<ul style="list-style-type: none"> • UVC 조사는 미생물 내의 핵산 성분이 화학변화를 일으켜 대사 장애를 가져와 증식 능력을 잃게 되는 원리로 식품가공공정에 적용시 거의 변화를 주지 않고, 조사 후 잔존하지 않는 장점을 가지고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • Aqueous ClO₂와 UVC 병합처리 시, 색도와 품질의 변화 없이 호기성 세균은 3.58 log CFU/g, 호모 및 곰팡이는 1.91 log CFU/g이 감소하여 미생물 수 감소에 효과적인 결과를 나타냈음
<p>해조류</p>	<p>마른김 다시마</p>	<p>저온플라즈마 이용한 식품표면 살균기술 및 현장적용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 해조류 표면에 저온플라즈마 처리 시 품질변화 없이 양호한 살균효과를 보였음 	<ul style="list-style-type: none"> • 저온플라즈마를 해조류에 직접 처리한 결과 3분 처리 시 0.78 ~ 1.39 Log (CFU/g) 의 감균효과를 보임 • 장시간 현장적용 처리장치에서 24시간 처리한 결과 1.21 ~ 1.37 Log (CFU/g)의 감균 효과를 보였으며 외관, 색차, DPPH 라디칼 소거능, 폴리페놀 함량에 영향을 미치지 않았음

<p>곡류</p>	<p>백미 현미 압맥 (보리)</p>	<p>저온플라스마 이용한 식품표면 살균기술 및 현장적용</p>	<ul style="list-style-type: none"> 저온플라스마를 생식용 곡류 표면에 처리하는 방식으로 시료의 품질변화를 최소화하며 뛰어난 살균효과가 있어 생식에 사용되는 곡류에 적용이 가능함 대용량 처리가 가능한 저온플라스마 처리모형을 개발 현장에 적용이 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> 저온플라즈마인 LPDP, DBDP, CDPJ에서 시료를 처리하여 시료표면의 미생물을 살균함 시료의 외관, 색도, 산가, TBA는 저온플라즈마 처리에 의해 큰 영향을 받지 않았으며 3분간 처리 시 0.89 - 1.58 Log (CFU/g) 의 감균 효과를 보임
<p>생식 원료</p>	<p>현미 보리 감자 당근 신선초 케일</p>	<p>초음파와 미산성 저농도 전해수를 이용한 병용처리 및 예측모델 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> 생식원료는 재배에서 섭취까지 비가열 처리공정을 거치기 때문에 초음파와 미산성 전해수를 병용처리 적용이 가능함 전해수의 처리 방법은 신선편의 채소류의 갈변효소의 활성 억제와 조직의 연화를 방지하여 유통기간을 연장시키는 방법의 하나로 다른 살균수와 함께 쓰일 때 미생물 저감화에 상승효과 비가열 신선편의 생식식품 원료에 미산성 저농도 전해수 처리 및 초음파 병용처리에 의한 미생물학적 제어 기술 및 예측 모델 개발을 하여 신선편의 생식 제품의 가공, 저장 및 유통 중의 품질 변화 원인을 규명하고 안전한 저장 및 유통 기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 미산성전해수의 유효염소농도(ACC)별로 저감효과를 확인할 결과 10 ppm 일 때 가장 높은 저감화를 보였으며 5 ppm에서도 5 log이상의 감소를 나타내어 물리적 전처리 조건을 확립함 초음파(400 W/L) 및 미산성 저농도 전해수(10ppm) 병용처리 시 3 Log CFU/g 감소 병용처리 시 비처리구에 비해 이화학적 품질변화 최소 미산성 전해수와 초음파 병용 처리한 생식원료를 이용한 위해 미생물 예측모델 개발의 높은 적합성 평가결과를 통해 위해평가에 이용할 수 있음

액상 식품	사과주스	<p>연속식 UV-광촉매 반응기를 이용한 액상 식품 살균</p>	<ul style="list-style-type: none"> 8개의 자외선램프와 램프를 감싸는 cylinder로 구성된 연속식 UV-광촉매 반응기는 시료와의 접촉면적을 증가시킨 방식으로 액상 식품의 살균에 적합함 유압 펌프와 연결 튜브를 이용하여 시료의 속도를 변화시켜 자외선 조사량을 조절하여 시료의 특성별로 살균 조건을 최적화 시킬 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 시료의 유속을 2 mL/s로 살균한 결과, 증류수의 경우 모든 균이 사멸하였으나, 사과 주스의 경우 3.0 - 3.89 Log CFU/mL의 감균 효과 (곰팡이균 및 바실러스균)를 보임 자외선 투과도는 시료의 탁도, 색도에 영향을 받으므로 투명한 식품이 기술 적용에 적합함
	당근주스 케일주스	<p>Batch 식 반응기와 연속식 반응기의 병합 처리를 이용한 액상 식품 살균</p>	<ul style="list-style-type: none"> 케일 주스와 당근 주스는 짙은 색과 높은 탁도로 인해 연속식 광촉매 처리를 한 경우, 살균 효과가 감소함 Batch식 UV-광촉매 반응기를 이용하여 초기 균을 감소시킨 병합 처리가 필요함 	<ul style="list-style-type: none"> 연속처리법으로 병합하여, 살균력 및 품질 변화를 측정함 광촉매 처리 후, 주스의 색도, pH, 향에는 큰 변화가 없었으나 당도 및 phenolic compounds의 감소도 관찰됨

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. UV-광촉매 산화 반응 및 초음파-살균 소독제 병용 기술 [제 1 세부과제]

- Effect of UVA and UVB irradiation on broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica Group) floret yellowing during storage (Postharvest Biology and Technology, 2009)

파장이 다른 UVA와 UVB를 조사한 브로콜리의 품질 변화를 측정한 연구다. 수확 후, 쉽게 황변현상이 일어난 브로콜리는 UVB를 조사한 결과, 브로콜리에 함유된 엽록소 손실을 늦춰 브로콜리의 황변현상을 지연 시킬 수 있게 함으로, 브로콜리의 유통기한이 연장에 도움이 된다.

- Comparison between the photocatalytic inactivation of Gram-positive *E. faecalis* and Gram-negative *E. coli* faecal contamination indicator microorganisms (Applied Catalysis B: Environmental, 2010)

UV-광촉매 살균 효과가 각 그람 음성균과 그람 양성균이 접종 되어 있는 물에 대한 살균효과를 보고 광촉매 작용하지 않은 washing과 UVA의 살균효과를 비교하는 연구이다. 연구결과, 광촉매 작용을 하지 않은 살균법은 그람 양성균과 음성의 특성 영향을 많이 받으며, 그람 양성균보다 그람 음성균이 더 쉽게 감소한다. 이는 그람 음성균의 세포벽은 양성균보다 얇기 때문이다. 또한 TiO₂ 현탁액 (TiO₂ 가루를 시료에 섞은 것)이 균의 속성에 영향 받지 않다. 이는 살균 효과가 좋지만, 물속에 TiO₂가루가 남아 있는 것이 단점이다.

- Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines (Food Microbiology, 2011)

기존 와인 보존제로 쓰이는 SO₂ 사용량을 낮추고자 UVC를 이용하여 포도주와 포도주스의 살균력을 측정하는 연구다. 기존 보존제로 쓰인 SO₂는 와인에 안정성을 유지 시키면서도 최근에 건강에 위협 한다는 문제도 제기 되었다. 포도주와 포도주스의 UV 처리 결과, 보다 낮은 UV dose에서 White 와인 보다 Red 와인보다 더 나은 효과가 나타났다. 이는 UV 처리 살균력은 처리 시간이나 세기의 영향을 받을 뿐만 아니라 액체의 색도에도 의존한다.

- Impact of UVC light on safety and quality of fresh-cut melon (Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011)

UVC 살균에 대한 신선편이 과일 melon의 감귤력과 품질변화를 측정 연구이다. 처리한 melon과 처리 하지 않은 melon을 저장 관찰한 결과, UVC는 쉽고 빠른 처리 공정과 뛰어난 살균력뿐만 아니라 제품의 향과 맛을 향상 시키고 저장기간도 연장 시켜준다. 이는 UV 살균법은 다른 채소와 과일 표면의 살균에 좋은 기술로 이용 될 수 있을 것이다.

- Enhanced inactivation photochemistry and Photobiology A (Chemistry, 2011)

Ag으로 코팅한 TiO₂ 광촉매의 감귤 효과와 세포벽 손상에 대한 관찰하는 연구이다. 그 결과, UV 단독으로 처리 하였을 때 보다 균의 성장을 억제하는 효과가 더 높고, 직접적으로 세포벽에 타격을 입힌다. 또한 TiO₂ 광촉매 말론알데히드가 많아지고 그로인해 세포 내의 칼륨과 단백질을 빠르게 손실시키는 방식으로 강한 살균작용을 수행한다.

- Effects of UVC treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms (Postharvest Biology and Technology, 2012)
Escherichia coli O157:H7 접종된 버섯을 UVC처리 한 후 저장하여 버섯의 균수 측정하여, 그의 품질과 살균력을 측정한 연구이다. 처리 한 버섯과 하지 않은 버섯을 21일 관찰 한 결과, 버섯은 저장 동안에도 살균효과를 유지하였다. 처리하지 않은 버섯과 비교하였을 때, UV처리 직후 버섯은 다소 갈변현상과 조직손상이 일어났지만, 저장동안에 처리하지 않은 버섯보다 갈변현상과 영양성분 손실을 늦추는 결과를 보였다. UV는 버섯의 품질 악화를 늦추고 그의 저장기간을 연장 시킬 수 있다.
- Microbial, physicochemical and sensory properties of UVC processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage (LWT - Food Science and Technology, 2013)
 오렌지주스를 UVC 세기별로 처리하여, 저장실험을 통해 그의 살균력과 품질에 대한 관찰한 연구이다. 그 결과, UV는 오렌지주스의 살균력 좋은 반해 영양성분, 맛, 향과 같은 품질적인 면에서도 우수한 것으로 보이나, 과도한 UV 노출에는 오히려 부정적인 결과를 일으킬 수 있어, UV 처리 조건을 최적화 하는 것이 중요하다.
- Effect of ultrasonic treatment during cleaning on the microbiological condition of poultry transport crates. British Poultry Science Volume 49, Number 4 (July 2008), pp. 423~428
 가금류 유통 시 이용되는 상자에 초음파 처리 후 미생물적 상태를 확인하고자 하는 실험에서 35 ℃, 45 ℃, 58 ℃의 물속에서 초음파처리를 한 것과, 안 한 것을 비교했을 때, 58 ℃의 물속에서 초음파처리를 한 것이 가장 미생물 제거효과가 뛰어난 것으로 확인되었다.
- Effect of photosonication treatment on inactivation of total and coliform bacteria in milk (Food Control, 2011)
 우유를 초음파와 UVC 병합 살균하여 가열살균과 살균력 비교한 연구이다. 65 ℃에서 30분 가열살균을 한 결과 총균과 대장균은 각각 3.29, 5.31 log CFU/mL의 감균 효과를 보였지만, 초음파-UV 병합 살균에 더 나은 감소율이 보였다. (총균: 4.79 log CFU/mL, 대장균: 5.31 log CFU/mL) 이는 초음파 조사법과 초음파-UV 병합법이 효율적으로 다른 살균법을 대체 가능할 것이다.
- Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce (International Journal of Food Microbiology, 2011)
 식중독 대표 병원균 3가지를 상추에 접종하여 초음파와 유기산 병합처리로 하여금 단시간에 효율적인 살균법을 비교하는 연구이다. 두 가지 방법을 병합 처리 하였을 경우, 보다 높은 감균 효과가 있을 뿐만 아니라, 낮은 농도의 유기산과 짧은 초음파 조사 시간으로 식품 안전성과 품질도 높여줌으로 식품산업의 이용에 높은 가치가 있다.
- Combined effects of ultrasound and surfactants to reduce *Bacillus cereus* spores on lettuce and carrots. (International Journal of Food Microbiology, 2013)

Bacillus cereus spores가 접종된 상추와 당근을 초음파 단독처리와 식용 계면활성제 (0.1% Tween 20)와 병합 처리하여 살균력을 측정된 결과, 초음파 단독 처리나 다른 화학 살균제를 같은 처리 시간에서 시료의 품질 손상 없이 보다 효율적으로 *Bacillus cereus* spores를 감소 시켰다.

2. 저온 플라즈마와 자외선 광펄스 기술 [제 1 협동과제]

- Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms (International Journal of Pharmaceutics, 2001)

플라즈마를 이용한 미생물 살균곡선은 3단계로 구성된다. 각각의 구간은 UV 조사에 의한 유전물질의 파괴, UV에 의한 photodesorption을 통한 휘발성 화합물과 미생물 내 물질의 결합, 산소와 라디칼의 느린 연소의 결과로 발생한 휘발성 물질 등에 기인한 etching을 통한 미생물의 부식 등이 각각의 단계를 설명한다. 플라즈마는 기존의 통상적인 방법에 의한 살균기작과 전혀 다른 기작으로 미생물을 사멸함으로써 향후 프리온의 파괴에의 응용이 기대된다.

- Gas plasma sterilization of microorganisms and mechanisms of action (Experimental and Therapeutic Medicine, 2010)

가스 플라즈마를 이용한 미생물 불활성화 기작에 대한 연구로 여러 종류의 기체를 사용하여 미생물의 살균기구를 연구하였다. 산소계열의 기체를 이용하여 발생시킨 플라즈마는 미생물 세포막을 수축시켜 불활성화하였고, 특히 내생포자를 생성하는 미생물 구조를 부식시켜 불활성화함을 확인하였으나 질소와 아르곤은 다른 불활성화 기작을 갖는 것으로 추정되었다.

- Inactivation of bacteria and biomolecules by low-pressure plasma discharges (Plasma Processes and Polymers, 2010)

감압플라즈마를 이용한 미생물 불활성화 기작에 관한 연구로 미생물은 감압플라즈마에서 발생하는 UV, 화학적 sputtering, 세포막 지질분자의 변형 등에 의해 불활성화 된다. 그 결과 200 ~ 250 nm 파장의 UV와 함께 플라즈마에 의해 생성된 O, O₂, H 같은 활성종에 의한 반응과 이온충격 간의 상승작용에 기인한 화학적 sputtering이 주된 감압플라즈마 살균 기작임을 밝혔다.

- The sterilization of *Escherichia coli* by dielectric-barrier discharge plasma at atmospheric pressure (Applied Surface Science, 2011)

상압에서 발생시킨 DBD플라즈마를 이용하여 대장균의 살균효과를 조사하기 위하여 100 Hz로 전극간 거리를 다르게 하여 처리시간별 *E. coli*의 사멸율을 측정하였다. PET 필름 위에서 전극거리 3 cm로 하여 5 분간 처리 시 *E. coli*는 99.999% 살균되었다. 플라즈마에 의한 온도상승은 5 분 처리 시 43 °C에 도달하였다. 또한 *E. coli* 세포에서 단백질이 빠져나가는 현상을 TEM으로 관찰하여 DBD플라즈마에 의한 살균기작을 구명하였다.

- Low power gas discharge plasma mediated inactivation and removal of biofilms formed on biomaterials (Current Applied Physics, 2013)

산소, 질소, 아르곤 등을 이용한 가스방전플라스마의 바이오필름에 대한 살균효과를 조사한 연구이다. 바이오필름 내 미생물 사멸을 위한 최소 전압은 60 W이었고, 산소와 아르곤 플라스마가 질소 플라스마보다 효과적인 살균력을 보였으며, 특히 산소플라스마는 바이오필름을 형성한 미생물을 사멸시킬 뿐만 아니라 죽은 미생물도 제거하는 효과가 있다.

- Bactericidal effects of nonthermal low-pressure oxygen plasma on *S. Typhimurium* LT2 attached to fresh produce surfaces (J. Food Engineering, 2013)

비열감압산소플라스마를 이용하여 시금치, 상추, 토마토, 감자 표면의 *Salmonella enterica* 살균을 시도하였고, 플라스마 처리시간과 밀도가 박테리아의 사멸에 미치는 영향을 조사하였다. 처리시간과 플라스마 밀도는 크게 영향을 미친 반면 표면의 거친 정도는 사멸에 영향을 미치지 않았다. 과산화수소를 이용하는 것보다 산소를 생성가스로 이용하는 것이 보다 효율적이었다.
- Preservation of vegetables by light (Society for Applied Microbiology, 2002)

배추, 부추, 파프리카, 당근, 케일 등의 야채에 0.6 J/cm²의 IPL 처리를 한 결과 1.6 ~ 2.6 log CFU/cm²의 미생물수를 감소시켰으며, 각 야채의 관능적 품질에는 큰 영향을 주지 않고, 7 °C와 20 °C의 온도에서 7일 이상을 유지하였다.
- Nonthermal sterilization of *Listeria monocytogenes* in infant foods by intense pulsed-light treatment (Journal of Food Engineering, 2010)

유아용 식품인 infant powder milk, infant beverage, infant meal 등에 존재하는 리스테리아에 대한 사멸효과를 살펴본 결과, 25 kV의 direct triggering 방식을 활용한 광펄스 처리 시 4 ~ 5 log의 사멸효과를 얻을 수 있었다고 보고하였다.
- Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow Pulsed Light (PL) system (Food Research International, 2011)

사과주스와 오렌지 주스에 *Listeria innocua*와 *E. coli* DH5- α 를 접종하여 광펄스 처리하여 2.90 ~ 4.00 log cycle의 감균효과를 얻을 수 있었으며, 광펄스에 의해 세포막의 손상이 발생하였음을 확인할 수 있었다.
- Combinations of high intensity light pulses and thermosonication for the inactivation of *Escherichia coli* in orange juice (Food Microbiology, 2011)

광펄스 살균 기술과 thermosonication의 병합 처리에 의해 오렌지 주스에 존재하는 대장균을 처리하였을 경우 thermosonication에 의해서는 1.1 log, IPL에 의해서는 2.42 log 사멸되었으나, 병합 처리하였을 경우에는 2.5 ~ 3.93 log의 사멸 효과를 보여 병합처리에 의해 보다 높은 살균 효과를 얻을 수 있다고 보고하였다.
- Novel Decontamination Technologies for Fresh-cut Industry (Food Processing & Technology, 2012)

광펄스 기술이 fresh-cut 산업에 적용하였을 경우, 포장된 상태에서 광펄스 처리를 통해 위해세균을 감소시킬 수 있으며, 식품의 품질 특성에 영향을 미치지 않고 적은 에너지로 적용할 수 있는 비가열 살균 기술임을 보고하고 있다.

- Studies on the pathogenesis and survival of different culture forms of *Listeria monocytogenes* to pulsed UV-light irradiation after exposure to mild-food processing stresses (Food Microbiology, 2012)

낮은 수준의 일반적인 식품 공정 처리 후 광펄스 처리를 통해 여러 식품에 존재하는 리스테리아에 대한 병합 처리 살균 효과를 살펴본 결과 낮은 수준의 식품공정 처리 후 광펄스 살균 처리의 효과가 더욱 증대되어 적은 에너지로도 높은 살균 효과를 얻을 수 있었음을 보고하였다.

- Inactivation kinetics of some microorganisms in apple, melon, orange and strawberry juice by high intensity light pulse (Journal of Food Engineering, 2013)

광펄스 처리에 의해 다양한 과일 주스에 존재하는 대장균, 리스테리아, 살모넬라, 효모 등의 살균 패턴과 살균 역학에 대해 조사하고, 기존의 가열살균과는 다른 non-linear 형태의 살균 패턴을 보임을 보고하였다.

5. Aerosol 살균 효과 [제 2 협동과제]

- Effect of Aerosolized Sanitizers of Different Droplet Size on Foodborne Pathogen Reduction (Food Science and Biotechnology, 2008)

양상추에 병원성 미생물 *E.coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*를 접종하여 1.6, 2.4 MHz의 진동자로 차아염소산나트륨을 분무 사이즈를 달리하여 살균처리한 결과 2.4 MHz를 사용하였을 때 1.6 MHz 보다 높은 살균 효과를 나타냈다.

- Efficacy of washing with hydrogen peroxide followed by aerosolized antimicrobials as a novel sanitizing process to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 on baby spinach (International Journal of Food Microbiology, 2012)

시금치에 병원성 미생물 *E.coli* O157:H7를 접종하여 allyl isothiocyanate, hydrogen peroxide, acetic acid, lactic acid를 분무하여 살균효과를 측정된 결과 5% allyl isothiocyanate로 처리하였을 때 가장 높은 살균 효과를 나타냈다.

- Inactivation of biofilm cells of foodborne pathogen by aerosolized sanitizers (International Journal of Food Microbiology, 2012)

E.coli O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*의 biofilm을 sodium hypochlorite, peracetic acid를 분무하여 살균처리한 결과 peracetic acid 200 ppm 이상의 농도로 30분 처리하였을 때 높은 살균효과를 나타냈다.

- Effect of aerosolized malic acid against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, and *Escherichia coli* O157:H7 on spinach and lettuce (Food Control, 2012)

E.coli O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*를 시금치와 상추에 접종하여 농도 (0.25, 0.5, 1, 2%) 및 시간(10, 30, 50, 100min)로 malic acid를 분무 처리한 결과 2% malic acid로 100분간 처리하였을 때 *L. monocytogenes*는 3.8 log, *E.coli* O157:H7은 3.3 log, *S.*

Typhimurium는 5 log 감소하였다.

3. 천연항균제의 고효율 나노 살균 공정 [제 2 협동과제]

- Effectiveness of low concentration electrolyzed water to inactivate foodborne pathogens under different environmental conditions (International Journal of Food Microbiology, 2010)

상추를 침지 시간, 온도, 산성에서 알칼리성까지 다양한 범위내의 pH측정 결과 2 log CFU/g 이상 감소 시켜 미산성 저농도 전해수가 식중독 미생물 저감화를 측정한 결과 효능이 있는 것으로 알려졌다.

- Combination treatment of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to ensure microbial safety, shelf-life and sensory quality of shredded carrots (International Journal of Food Microbiology, 2011)

알칼리성 전해수와 산성 전해수를 mild heat 처리와 병용처리 했을 때 당근 조각의 미생물학적 안전성과 생육변화, 품질 평가를 하였다. 결과로 침지 시간이 길수록 미생물의 저감화가 0.22에서 2.67 log CFU/g로 증가 되었고, 산성 전해수를 50 °C에서 처리했을 때 총균수 미생물 저감화가 3.7 log CFU/g로 나타나 효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 또한 식중독 미생물인 *L. monocytogenes*는 3.97 log CFU/g, *E. Coli* O157:H7는 4 log CFU/g 감소하여 알칼리성 전해수와 산성 전해수의 mild heat 병용처리가 미생물학적 품질변화 측면에서 효과가 있는 것으로 밝혀졌다.

4. 미산성 저농도 전해수의 살균 효능 [제 3 협동과제]

- Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* L.) (Postharvest Biology and Technology, 2010)

신선편이 줄기상추의 유통기한 연장과 효소적 갈변현상을 방지하기 위해 aqueous ClO₂를 사용한 연구다. 줄기상추의 aqueous ClO₂ 처리 결과, 유통기한의 연장 및 효소적 갈변현상에 영향을 주는 polyphenol oxidase (PPO)와 peroxidase (POD)의 활성을 감소시키는데 도움이 된다.

- Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and *Saccharomyces cerevisiae* by UVC light: Study of cell injury by flow cytometry (LWT-Food Science and Technology, 2011)

Escherichia coli, *Listeria innocua*, *Saccharomyces cerevisiae*에 UVC를 노출시켜 cell의 변화를 관찰한 연구다. UVC를 노출함에 따라 membrane에 손상이 발생하고 UVC 노출 시간에 따라 손상 정도가 달라지며, 미생물의 불활성화하는데 도움이 된다.

- Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on nutritional components and shelf-life of mulberry fruit (*Morus alba* L.) (Journal of Bioscience and Bioengineering, 2011)

Aqueous ClO₂ 처리한 OD의 품질 변화를 측정한 연구다. 70% 이상의 높은 수분 함량 때문에 수확 후 쉽게 상하며, 처리 과정 중 영양성분의 손실이 발생하는 OD는 aqueous ClO₂

치리를 한 결과, OD의 유통기한 연장과 영양성분의 손실 최소화에 도움이 된다.

- Inactivation of *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat food processing equipment by chlorine dioxide gas (Food Control, 2012)

Chlorine dioxide gas를 이용한 식품 내 *Listeria monocytogenes*의 변화를 관찰한 연구다. Chlorine dioxide gas 처리를 통해 5 log CFU/cm²의 감소를 보였으며 ready-to-eat 식품의 살균제로써 chlorine dioxide gas가 도움이 된다.

5. 비가열 처리의 탄소 발생 저감화 [제 4 협동과제]

국내

- 중소기업청에서 1994 ~ 1995년 포장재에 대한 전과정평가 연구와 각 산업계의 전과정평가 적용에 관한 연구를 주관하였음.
- 환경부 주관으로 1995 ~ 1997년에 걸쳐 국내 수자원 전기, 폐기물, 수송, 산림자원, 광물자원, 석유 화학자원에 대한 데이터베이스를 구축하고 한국의 실정에 맞는 전과정평가 기법 개발을 위한 연구를 수행하였음.
- 산업체에서도 대기업을 중심으로 전과정평가를 활발하게 사용하고 있음.
- GM대우, 삼성, LG, 현대, 포항제철 등의 대기업들은 국내외 전문가들과 협의하여 자사 제품에 대한 LCA를 활발하게 수행, 특히 포항제철은 세계철강협회(IIISI : International Iron and Steel Institute)와 함께 자사의 탄소강 제품에 대한 전과정 목록분석을 실시하였고, 이후 스테인레스강 제품의 전과정평가에 대한 D/B를 구축하였음.
- 식품 분야에서 LCA를 적용한 사례는 소맥분 생산 공정, 포장두부 등이 있고 대부분은 포장 시스템의 환경 평가에 관한 연구가 주를 이룸.

국외

- 유럽에서는 특히 ISO 14000 등에 대응하는 국가전략과 기술적인 지원 하에 원재료 및 제품에의 객관적 규제와 더불어 환경마크의 인증 등에 LCA를 활용하고 있음.
- 미국에서는 환경보호청(EPA)과 환경독성학회(SETAC), 많은 기업체들도 환경영향 평가 및 비용 절감을 위하여 LCA를 적극 활용하고 있음.
- 스웨덴의 자동차업체 볼보사, 스위스의 생활협동조합단체 미그로, 일본의 마쓰시타전기에서 기업 활동에 LCA를 활용.
- 그 외 식품 산업분야에 관련된 LCA 연구는 주로 해외에서 수행되고 있으며, 그 범위는 품목으로는 유제품, 토마토케첩, 제빵 및 육류 등 일부분야에 국한되어 있고 공정에서는 포장법으로 사용됨.

제 7 장 연구시설·장비 현황

유전체장벽방전플라스마(DBDP) 처리장치: 설계 및 제작 완료

코로나방전플라스마제트(CDPJ) 처리장치: 설계 및 제작 완료

제 8 장 참고문헌

- Ahn HJ, Yook HS, Kim DH, Kim S, Byun MW. Identification of radiation-resistant bacterium isolated from dried laver (*Porphyra tenera*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30(1): 193-195 (2001)
- Aiamla-or S, Yamauchi N, Takino S, Shigyo M, Effect of UV-A and UV-B irradiation on broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica Group) floret yellowing during storage, *Postharvest Biology and Technology* 54: 177-179 (2009)
- Ana A, Alicia M, Begona B, Francisco TB, Maria I.G. Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, super-atmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. *Postharvest Biol. Technol.* 46: 201-211 (2007)
- Ana YRV, Nicoleta AM, Olga MB, Robert SF. Influence of spectral distribution on bacterial inactivation and quality changes of fresh-cut watermelon treated with intense light pulses. *Postharvest Biol. Technol.* 69: 32-29 (2012)
- Andrew LW. Determination of Total phenolics. Current protocol in food analytical chemistry 11.1.1-11.1.8, John Wiley & Sons, Inc., Oxford, UK (2002)
- Back S, Kim D, Park Y. Application of disinfection models on plasma process. *J. Environm. Science* 21: 695-704 (2012)
- Bang JH, Kim HY, Kim HK, Beuchat LR, Ryu JH. Combined effects of chloride dioxide, drying, and dry heat treatments in inactivating microorganisms on radish seeds. *Food Microbiology* 28: 114-118 (2011)
- Barbosa-Canovas GV, Swanson BG, Pothakmury UR, Palou E. 1997. Nonthermal preservation of foods. Taylor Francis Inc. New York, USA (1997)
- Bombom M, Vogel BF, Gram L. *Listeria monocytogenes* survival of UV-C radiation is enhanced by presence of sodium chloride, organic food material and bacterial biofilm formation. *Food Microbiology* 147: 69-73 (2011)
- Bermúdez-Aguirre D, Barbosa-Cánovas GV, Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone. *Food Control* 29: 82-90 (2013)
- BlankeMM, Burdick B. An energy balance (as part of an LCA) for home-grown (apple) fruit versus those imported from South Africa or New Zealand, 1st Joint NA LCA Congress(Boston), October (2009)
- Bockel L, Touchemoulin O, Jonsson M. Carbon footprinting across the food value chain - a new profitable low carbon initiative?, FAO Report (2011)
- Bolton JR, Linden KG. Sterilization of methods for fluence (UV dose) determination in bench-scale UV experiments. *J. Environ. Eng.* 129: 209-215 (2003)
- Calvo L, Torres E. Microbial inactivation of paprika using high-pressure CO₂. *J. Supercrit. Fluids.* 52: 134-141 (2010)
- Caratto V, Aliakbarian B, Casazza AA, Setti L, Bernini C, Perego P, Ferretti M, Inactivation of *Escherichia coli* on anatase and rutile nanoparticles using UV and fluorescent light, *Materials Research Bulletin* 48: 2095-2101(2013)
- Ch Leigh CI, Park MH, Chung MS, Shin JK, Park YS. Comparison of intense pulsed light- and ultraviolet (UVC)- induced cell damage in *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7. *Food Control* 25: 654-659 (2012)
- Cho HY, Shin JK, Song YA, Yoon SJ, Kim JM, Pyun YR. Nonthermal pasteurization of lactic acid bacteria by high intensity light pulse. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34(4): 631-636 (2002)

- Choi IL, Jung HJ, Kim IS, Kang HM. Effect of hot water treatments on storability of fresh cut paprika processed by disorder fruits. *J. Agri. Life Sci.* 21: 1-7 (2009)
- Choi IL, Son JS, Kim IS, Lee YB, Kang HM. Effect of 1-MCP (1-methylcyclopropene) treatment on the quality and storability of paprika fruit during storage 24: 43-49 (2012)
- Choi MR, Lee SY. Inhibitory effects of chlorine dioxide and a commercial chlorine sanitizer against food-borne pathogens on lettuce. *Korean J. food cookery sci.* 24: 445-451 (2008)
- Choi MS, Cheigh CI, Jeong EA, Shin JK, Park JY, Song KB, Park JH, Kwon KS, Chung MS. Inactivation of *Enterobacter sakazakii* inoculated on formulated infant foods by intense pulsed light treatment, *Food Science and Biotechnology* 18: 1537-1540 (2009)
- Choi MS, Cheigh CI, Jeong EA, Shin JK, Chugn MS. Nonthermal sterilization of *Listeria monocytogenes* in infant foods by intense pulsed-light treatment, *Journal of Food Engineering* 97: 504-509 (2010)
- Christian T, Long C, Jun FL. Low power gas discharge plasma mediated inactivation and removal of biofilms formed on biomaterials. *Current Applied Physics* 13: 512-518 (2013)
- Christian T, Long C, Jun FL. Low power gas discharge plasma mediated inactivation and removal of biofilms formed on biomaterials. *Current Applied Physics* 13: 512-518 (2013)
- Chun HH, Kim JY, Song KB. Inactivation of foodborne pathogens in ready-to-eat salad using UV-C irradiation. *Food Science and Biotechnology* 19: 547-551 (2010)
- Deimling S, Shonfield P, Bos U., LCA and carbon footprints in agro food - From theory to implementation in the food industry, Proc. of the 6th Int. Conf. on LCA in the Agri-Food Sector, Zurich, November: 66-71 (2008)
- Deng S, Ruan R, Mok C, Huang G, Lin X, Chen P. Inactivation of Escherichia coli on almond susingnon thermal plasma. *J. Food Sci.*72(2): M62-M65 (2007)
- Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric, Food Chem.*50: 4959-4964 (2002)
- Dunn J, Bushnell A, Ott T, Clark W. Pulsed white light food processing. *Cereal Foods World* 42: 510-515 (1997)
- Dunn JE, Clark RW, Asmus JF, Pearlman JS, Boyerr K, Painchaud F. Methods for preservation of foodstuffs. US Patent 4,871,559 (1989)
- Escalona VH, Aguayo E, Martínez-Hernández GB, Artés F. UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach, *Postharvest Biology and Technology* 56: 223-231 (2010)
- Fang FC. Antimicrobial reactive oxygen and nitrogen species: concepts and controversies. *Nature Reviews: Microbiology* 2: 820-832 (2004)
- Fava J, Hodara K, Nieto A, Guerrero S, Alzamora SM, Castro MA. Structure (micro, ultra, nano), color and mechanical properties of *Vitis labrusca* L. (grape berry) fruits treated by hydrogen peroxide, UV-C irradiation and ultrasound. *Food Res. Intl.* 44: 2938-2948 (2011)
- Fine F, Gervais P. Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. *Journal of Food Protection*, 67: 787-792 (2004)
- Francisco AH, Pedro AR, Perla AG, Alejandro TC, Francisco A. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon, *Postharvest Biol. Technol.* 55: 114-120 (2010)

- Fredericks IN, Du Toit M, Krugel M. Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines, *Food microbiology* 28: 510-517 (2011)
- Fridman A, Chiroukov A, Gutsol A. Non-thermal atmospheric pressure discharges. *J. Physics D: Appl. Physics* 38: R1-R24 (2005)
- Gabriel AA. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and spoilage yeasts in germicidal UV-C-irradiated and heat-treated clear apple juice. *Food Control* 25: 425-432 (2012)
- Gemma OO, Ingrid AA, Olga MB, Robert SF. Effects of pulsed light treatment on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biol. Technol.* 56: 216-222 (2010)
- Ghasemi Z, Macgregor S, Anderson J, Lamont Y. Development of an integrated solid-state generator for light inactivation of food related pathogenic bacteria. *Measurement Science and Technology* 14: N26-N32 (2003)
- Gomez-Lopez VM, Ragaert P, Debevere J, Devlieghere F. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends Food Sci. Tech.* 18: 464-473 (2007)
- Gomez-Lopez VM, Devlieghere F, Bonduelle V, Debevere J. Factors affecting the inactivation of microorganisms by intense light pulses. *J. App. Microbiol.* 99: 460-470 (2005)
- Gomez-Lopez VM, Devlieghere F, Bonduelle V, Debevere J. Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. *Intl. J. Food Microbiol.* 103: 79-89 (2005)
- Han KH. Nonthermal sterilization against food-borne pathogens by high intensity pulsed light. MS thesis, Cheonan, Hoseo University (2009)
- Hillegas SL, Demirci A. Inactivation of *Clostridium sporogenes* in clover honey by pulsed UV-light treatment. *Agricultural Engineering International, V. Manuscript FP 03009* (2003)
- Hoonstra E, De Jong G, Notermans S. Preservation of vegetables by light. In *Society for Applied Microbiology(Ed) Frontiers in microbial fermentation and preservation*, Washington, the Netherlands.
- Hoyer O. Testing performance and monitoring of UV systems for drinking water disinfection. *Water Supply* 16: 419-422 (1998)
- Hu M, Guo Y. The sterilization of *Escherichia coli* by dielectric-barrier discharge plasma at atmospheric pressure. *Appl. Surface Sci.* 257: 7065-7070 (2011)
- Huffman DE, Slifko TR, Salisbury K, Rose JB. Inactivation of bacteria, virus and *Cryptosporidium* by a point of use device using pulsed broad spectrum white light. *Water Research*, 34: 2491-2498 (2000)
- Im SJ, Jun JY, Choi YH. Optimization for the extraction process of effective components from paprika. *Food Eng. Prog.* 11: 31-37 (2007)
- Izquier A, Gomez-Lopez VM. Modelling the pulsed light inactivation of microorganisms naturally occurring on vegetable substrates. *Food Microbiol.* 28: 1170-1174 (200)
- Jeong CH, Bae YI, Shim KH. Physicochemical properties of *Hovenia dulcis* Thunb. leaf tea. *Kor. J. Postharvest Sci. Technol.* 7: 117-123 (2000)
- Jeong CH, Ko WH, Cho JR, Ahn CG, Shim KH. Chemical components of korean paprika according to cultivars, *Korean J. Food Preserv.* 13:43-49(2006)
- Jeyamkondan S, Jayas DS, Holley RA. Kinetics of sterilization of *Lactobacillus brevis* cells by the application of high voltage pulses. *Biotech. Bioeng.* 40: 1412-1420 (1999)
- Jonathan MM, Rose MRM, Olag MB. Influence of treatment time and pulsed frequency

- on *Salmonella enteridis*, *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* populations inoculated in melon and watermelon juices treated by pulsed electric field, *Intl. J. Food Microbiol.* 117: 192-200 (2007)
- Joyce E, Phull SS, Lorimer JP, Mason TJ. The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions. A study of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species. *Ultrasonication sonochemistry* 10: 315-318 (2003)
- Jun S, Irudayaraj J, Demirci A, Geiser D. Pulsed UV-light treatment of corn meal for inactivation of *Aspergillus niger* spores. *International Journal of Food Science and Technology* 38: 883-888 (2003)
- Jung SH, Hur MJ, Ju JH, Kim KA, Oh SS, Go JM, Kim YH. Microbiological evaluation of raw vegetables. *J. Fd. Hyg. Safety* 21: 250-257 (2006)
- Kang SG, Park SH, Ki HJ, Ham KS. Chitosan Treatment during the preparation of dried laver affects microbial growth and quality. *J. Chitin Chitosan.* 6(4): 150-154 (2001)
- Keoleian GA, Spitzley D, McDaniel J. Life Cycle Design of Milk and Juice Packaging, US Environmental Protection Agency Technical Report (1996).
- Kerr RM. Carbon Footprinting for the Food Industry, Food Technology Fact Sheet, Food & Agricultural Products Center, Oklahoma State University 174-1-7 (2011)
- Kim BR, Kim AJ, Shin JK. Effect of sterilization by intense pulsed light on radiation-resistant bacterium, *Micrococcus roseus*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 248-251 (2013)
- Kim DH, Song HP, Kim JK, Kim JO, Lee HJ, Byun MW. Determination of microbial contamination in the process of rice rolled in dried laver and improvement of shelf-life by gamma irradiation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32(7): 991-996 (2003)
- Kim HJ, Song HJ, Song KB. Effect of combined treatment of aqueous chloride dioxide with ultraviolet-C on the quality of red chicoty and pak choi during storage. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 40: 245-252 (2011)
- Kim MH, Kim YJ, Kim KS, Song YB, Seo WJ, Song KB. Microbial changes in hot peppers, ginger, and carrots treated with aqueous chlorine dioxide or fumaric acid. *Korean J. Food Preserv.* 16: 1013-1017 (2009)
- Kim YD, Kim DS, Kim YM, Shin DH. Changes in the quality characteristics of dried laver (*Porphyra yezoensis* Ueda) during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 19: 206-211 (1987)
- Korolczuk J, Mckeag JR, Fernandez JC, Baron F, Grosset N, Jeantet R. Effect of pulsed electric field processing parameters on *Salmonella enteritidis* inactivation. *J. Food Eng.* 75: 11-20 (2006)
- Krishnamurthy K, Demirci A, Irudayaraj J. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV-light sterilization. *Journal of Food Protection*, 67: 1027-1030 (2004)
- Laroussi M, Lu X. Room-temperature atmospheric pressure plasma plume for biomedical applications. *Appl. Phys. Lett.* 87: 113902-113903 (2005)
- Laroussi M, Mendis DA, Rosenberg M. Plasma interaction with microbes. *New J. Physics* 5: 41.1-41.10 (2003)
- Lee HJ, Byun HS, Kim JH, Park HY, Jung KJ, Lee TS. Bacterial contamination of dried laver products. *Bull. Nat. Fish. Res. Devel. Ins.* 57: 221-226 (1999)
- Lee HJ, Choi JI, Choi SJ. Physiological activities and amino acid compositions of Korean dried laver *Porphyra* products. *Kor. J. Fisheries Aquatic Sci.* 45: 409-413 (2012)
- Lee NY, Jo CU, Chung HJ, Kang HJ, Kim JK, Kim HJ, Byun MW. The prediction of

- the origin of microbial contamination in kimbab and improvement of microbiological safety by gamma irradiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 279-286 (2005)
- Lee YB. Effect of LED irradiation on quality characteristics at low temperature storage. MS thesis, Ewha university, Seoul (2013)
- Lemoine ML, Civello PM, Chaves AR, Martínez GA. Effect of combined treatment with hot air and UV-C on senescence and quality parameters of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). *Postharvest Biology and Technology* 48: 15-21 (2008)
- Lerouge S, Wertheimer MR, Marchand R, Tabrizian M, Yahia L. Effect of gas composition on spore mortality and etching during low-pressure plasma sterilization. *J. Biomed. Mater. Res.* 51: 128-135 (2000)
- Lerouge S, Wertheimer MR, Yahia L. Plasma sterilization: a review of parameters, mechanisms, and limitations. *Plasmas Polym.* 6: 175-188 (2001)
- Lucas AD, Merritt K, Hitchins VM, Woods TO, McNamee SG, Lyle DB, Brown SA. Residual ethylene oxide in medical devices and device material. *J. Biomed. Mater. Res.* 66: 548-552 (2003)
- Luis A, Jose MN, Jose AFL. Microbial inactivation of Paprika by a high-temperature short-X time treatment. Influence on color properties. *J. Agric. Food Chem.* 50: 1435-1440 (2002)
- Luksiene Z, Gudelis V, Buchovec J, Raudeliuniene J. Advanced high-power pulsed light device to decontaminate food from pathogens: effects on *Salmonella typhimurium* viability in vitro. *J. Food Microbiol.* 103: 1545-1552 (2007)
- Mac Gregor SJ, Rowan NJ, McIlvaney L, Anderson JG, Fouracre RA, Farish O. Light inactivation of food related pathogenic bacteria using a pulsed power source. *Letters in Applied Microbiology* 27: 67-70 (1998)
- Mannick JB. Immunoregulatory and antimicrobial effects of nitrogen oxides. *Proc. Am. Thorac. Soc.* 3: 161-165 (2006)
- Manzocco L, Da Pieve S, Maifreni M. Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 12: 13-17 (2011)
- Manzocco L, Pieve SD, Bertolini A, Bartolomeoli I, Maifreni M, Vianello A, Nicoli MC. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties. *Postharvest Biol. Technol.* 61: 165-171 (2011)
- Marquenie D, Geeraerd AH, Lammertyn L, Sontjens C, Van-Impe JF, Michiels CW. Combinations of pulsed white light and UV-C or mild heat treatment to inactivate conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilia fructigena*. *International Journal of Food Microbiology* 85: 185-196 (2003)
- Marquenie D, Michaels CW, Van Imper JF, Schrevels E, Nicolai BN. Pulsed white light in combination with UV-C and heat to reduce storage rot of strawberry. *Postharvest Biology and Technology* 28: 455-461 (2003)
- May K, Ceyda G, Necdet A. Atmospheric plasma discharge sterilization effects on whole cell fatty acid profiles of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *J. Electrostat.* 68: 508-512 (2010)
- McDonald KF, Curry RD, Clevenger TE, Brazos BJ, Unklesbay K, Eisenstark, A. et al. A comparison of pulsed and continuous ultraviolet light sources for the decontamination of surface, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 28: 1581-1587 (2000)
- Mertens B, Knorr D. Development of nonthermal process for food preservation. *Food Technol.* 5: 124-133 (1992)
- Moisan M, Barbeau J, Crevier MC, Pelletier J, Philip N, Saoudi B. Plasma sterilization:

- methods and mechanisms. *Pure Appl. Chem.* 74: 349-358 (2002)
- Moisan M, Barbeau J, Moreau S, Pelletier J, Tabrizian M, Yahia LH. Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms. *Int. J. Pharm.* 226: 1-21 (2001)
- Mok C, Jeon H. Reduction of microorganisms in red pepper powder by low pressure discharge plasma. *Food Eng. Prog.* 16: 107-112 (2012)
- Mok C, Lee T. Dielectric barrier discharge plasma inactivation of *Escherichia coli*. *Food Eng. Prog.* 16 : 33-39 (2012)
- Mok C, Lee T. Operational properties and microbial inactivation performance of dielectric barrier discharge plasma treatment system. *Food Eng. Prog.* 15: 398-403 (2011)
- Mok C, Song DM. Low-pressure plasma inactivation of *Escherichia coli*. *Food Eng. Prog.* 14: 202-207 (2010)
- Montenegro J, Ruan R, Ma H, Chen P. Inactivation of *E. coli* O157:H7 using a pulsed nonthermal plasma system. *J. Food Sci.* 67: 646-648 (2002)
- Montie TC, Kelly-Wintenberg K, Roth JR. An overview of research using the one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP) for sterilization of surfaces and materials. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 28: 41-50 (2000)
- Ngadi M, Smith JP, Cayouette B. Kinetics of ultraviolet light inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in liquid foods. *J. Sci. Food Agric.* 83: 1551-1555 (2003)
- Noci, F, Riener J, Walkling-Ribeiro M, Cronin DA, Morgan DJ, Lyng JG. Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple juice. *J. Food Eng.* 85: 141-146 (2008)
- Oshima T, Sato M. Bacterial sterilization and intracellular protein release by a pulsed electric field. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 90: 113-133 (2004)
- Otaki M, Okuda A, Tajiman K, Iwasaki T, Kinoshita S, Ohgaki S. Inactivation differences of microorganisms by low pressure UV and pulsed xenon lamps. *Water Sci. Tech.* 47: 185-190 (2003)
- Ozer NP, Demirci A. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment. *International Journal of Food Science and Technology*, 41: 354-360 (2006)
- Pan YG, Zu H. Effect of UV-C Radiation on the Quality of Fresh-cut Pineapples. *Procedia Engineering* 37: 113-119 (2012)
- Park CK, Kang TJ, Shin SU. The relationship between health and laver(1). *Bull. Fish Sci. Inst., Yosu Nat'l Univ.* 10: 79-84 (2001)
- Park JY. Degradation of organic acid using photocatalyst and photo-fenton reaction. MS thesis, Chosun University, Korea (2001)
- Park SY, Chang MS, Choi JH, Kim BS. Effect of a refrigerator with LED on functional composition changes and freshness prolongation of cabbage. *Korean J. Food Preserv.* 14: 113-118 (2007)
- Patist A, Bates D. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Inovative Food science and Emerging Technologies* 9: 147-154 (2008)
- Rami B, Reece R, Thomas C, Kimberly K, Peter P, Tsai Y. Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP). *Surf. Coat. Tech.* 131: 528-542 (2000)
- Roberts P, Hope A. Virus inactivation by high intensity broad spectrum pulsed light. *Journal of Virological Methods.* 110: 61-65 (2003)

- Rowan NJ, MacGregor SJ, Anderson JG, Fouracre RA, McIlvaney L, Farish O. Pulsed-light inactivation of food-related microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 1312-1315 (1999)
- Rupasinghe HPV, Yu LJ. Emerging preservation methods for fruit juices and beverages. *Food Additive, InTech*, February 65-82 (2012)
- Sagong HG, Cheon HL, Kim SO, Lee SY, Park KH, Chung MS, Choi YJ, Kang DH. Combined effects of ultrasound and surfactants to reduce *Bacillus cereus* spores on lettuce and carrots. *International journal of food microbiology* 160: 367-372 (2013)
- Sagong HG, Lee SY, Chang PS, Heu S, Ryu S, Choi YJ, Kang DH. Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *International journal of food microbiology* 145: 287-292 (2011)
- Salleh-Mack SZ, Roberts JS. Ultrasound pasteurization: The effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922. *Ultrasonics sonochemistry* 14: 323-329 (2007)
- Schenk M, Raffellini S, Guerrero S, Blanco GA, Alzamora SM. Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and *Saccharomyces cerevisiae* by UV-C light: study of cell injury by flow cytometry. *LWT-Food Science and Technology* 44: 191-198 (2011)
- Şengül M, Erkaya T, Başlar M, Ertugay MF. Effect of photosonication treatment on inactivation of total and coliform bacteria in milk. *Food Control* 22: 1803-1806 (2011)
- Sharma RR, Demirci, A. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. *Journal of Food Science* 68: 1448-1453 (2003)
- Shin JK, Chung MS, Park YS. High intensity pulsed light treatment for preservation and shelf-life extension of seafoods. Unreported Report, (2010)
- Shin JK, Kim BR, Kim AJ. Nonthermal food processing technology using electric power. *Food Sci. Ind.* 43(1): 21-34 (2010)
- Shin JK. High intensity pulsed light treatment for preservation and shelf-life extension of seafoods. ARPC Report No. 11-1541000-000776-01, Korea (2010)
- Shin YJ, Song HY, Song KB. Effect of a combined treatment of rice bran protein film packaging with aqueous chlorine dioxide washing and ultraviolet-C irradiation on the postharvest quality of Goha strawberries. *Journal of Food Engineering* 113: 374-379 (2012)
- Shintani H, Sekudo A, Burke P, McDonnell G. Gas plasma sterilization of microorganisms and mechanisms of action. *Exp. Ther. Med.* 1: 731-738 (2010)
- Singh N, Singh RK, Bhunia AK, Strohshne RL. Effect of inoculation and washing methods on the efficacy of different sanitizers against *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. *Food Microbiology* 19: 183-193 (2002)
- Singh RP, Heldman DR. *Introduction to Food Engineering*, 4th Edition. Academic Press, Burlington, MA, USA, p. 417 (2009)
- Slieman TA, Nicholson WL. Artificial and solar UV radiation induces strand breaks and cyclobutane dimer in *Bacillus subtilis* spore DNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 1977-1983 (2000)
- Soloshenko IA, Tsiolko VV, Khomich VA, Shchedrin AI, Ryabtsev AV, Bazhenov VY, Mikhno IL. Sterilization of medical products in low-pressure glow discharges. *Plasma Phys. Rep.* 26: 792-800 (2000)
- Son H, Lee W. Treatment of Ar/O₂ atmospheric pressure plasma for sterilization. *Appl. Chem. Eng.*, 22: 261-265 (2012)

- Soria AC, Villamiel M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Food Science and Technology* 21: 323-331 (2010)
- Stack N, Ahrne L, Borch E, Knorr D. Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in paprika powder. *J. Food Eng.* 86: 17-24 (2008)
- Takehita K, Shibato J, Sameshima T, Fukunaga S, Isobe S, Arihara K. Damage of yeasts induced by pulsed light irradiation. *International Journal of Food Microbiology*, 85:151-158 (2003)
- Tang H, Chun C, Wang J, Blankschtein D, Langer R. An investigation of the Role of cavitation in Low-frequency ultrasound-mediated transdermal drug transport. *Pharmaceutical research* 19: 1160-1169 (2002)
- Tanino M, Xilu W, Takashima K, Katsura S, Mizuno A. Sterilization using dielectric barrier discharge at atmospheric pressure. *Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol.* 1: 102-107 (2007)
- Tetsuya A, Hiroshi O, Masao T, Hideo K, Masuhiro K. Plasma sterilization using glow discharge at atmospheric pressure. *Surf. Coat. Tech.* 193: 29-34 (2005)
- The Carbon Trust, Code of Good Practice for Product Greenhouse Gas Emissions and Reduction Claims, www.carbontrust.co.uk (2008).
- Topuz A, Dincer C, Ozdemir KS, Feng H, Kushad M. Influence of different drying methods on carotenoids and capsainoids of paprika (Cv., Jalapeno), *Food Chem.* 129: 860-865 (2011)
- Tucker G, Foster C, Wiltshire J. Life Cycle Analysis and Carbon Footprinting with respect to Sustain ability in the Agri-food sector, IUFoST Scientific Information Bulletin, April (2010)
- Uhm J, Lee Y, Lee S, Kim J, Lee O, Yoon W. Comparison of changes of lipid oxidation of soybean powders from Korea and east Russia at different packages. *Food Eng. Prog.* 16(3): 207-213 (2012)
- Uhm J, Yoon W. Development of direct evaluation of the rancidity of soy bean in powder form during storage using fluorescence spectrum test. *Food Eng. Prog.* 16: 47-51 (2012)
- Ukuku DO, Geveke DJ. A combined treatment of UV-light and radio frequency electric field for the inactivation of *Escherichia coli* K-12 in apple juice. *International Journal of Food Microbiology* 138: 50-55 (2010)
- Valero M, Recrosio N, Saura D, Mun N, Marti N, Lizama V. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *Journal of food engineering* 80: 509-516 (2007)
- Van Grieken R, Marugán J, Pablos C, Furones L, López A. Comparison between the photocatalytic inactivation of Gram-positive *E.faecalis* and Gram-negative *E.coli* faecal contamination indicator micro organisms. *Applied Catalysis B: Environmental* 100: 212-220 (2010)
- Victor F, Jordi P, Albert I. Effect of UV irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *LWT Food Sci. Technol.* 44: 115-119 (2011)
- Wang J, Cao Y, Sun B, Wang C, Mo Y. Effect of ultrasound on the activity of alliinase from fresh garlic. *Ultrasonics Sonochemistry* 18: 534-540 (2011)
- Wang T, MacGregor SJ, Anderson JG, Woolsey GA. Pulsed ultra-violet inactivation spectrum of *Escherichia coli*. *Water Research* 39: 2921-2925 (2000)
- Wekhof A, Trompeter FJ, Franken O. Pulse UV disintegration (PUVD): A new sterilization mechanism for packaging and broad medical-hospital applications. The first international conference on ultraviolet technologies Washington D.C., USA. (2001)

- Wekhof A. Disinfection with flash lamps. PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology, 54: 264-276 (2000)
- Wu D, You H, Jin D, Li X. Enhanced inactivation of *Escherichia coli* with Ag-coated TiO₂ thin film under UV-C irradiation. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 217: 177-183 (2011)
- Wuytack EY, Thi Phuong LD, Aertsen A, Reyns KMF, Marquenie D, De Kereelaere B. Comparison of sublethal injury induced in *Salmonella enterica*, serovar, Typhimurium by heat and by different nonthermal treatments. Journal of Food Protection, 66: 31-37 (2003)
- Yaun BR, Summer SS, Eifert JD, Marcy JE. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. Intl. J. Food Microbiol 90: 1-8 (2004)
- Yaun BR, Summer SS, Eifert JD, Marcy JE. Response of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 to UV energy. J. Food Prot. 66: 1071-1073 (2003)
- Yousef AE, Marth EH. Inactivation of *Listeria monocytogenes* by ultraviolet energy. J. Food Sci. 53: 571-573 (1988)
- Yu YM, Youn YN, Choi IU, Lee YH. Microbiological monitoring of paprika, and Bacterial contamination levels with respect to storage temperature. Korean J. Food Preserv. 18: 7-12 (2011)
- Yu YM, Youn YN, Hua QJ, Cha GH, Lee YH. Biological hazard analysis of paprikas, strawberries and tomatoes in the markets. J. Fd. Hyg. Safety, 24: 174-181 (2009)
- Zhang C, Trierweiler B, Li W, Butz P, Xu Y, Rüfer CE, Ma Y, Zhao X. Comparison of thermal, ultraviolet-c, and high pressure treatments on quality parameters of watermelon juice. Food Chemistry 126: 254-260 (2011)

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치 식품기술 개발의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치 식품기술개발의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.