

발 간 등 록 번 호

11-1543000-000377-01

펄스전기장과 콜드플라즈마를 이용한 고품질  
고춧가루 제조 기술 개발  
(Development of the manufacturing technology for  
high-quality hot red pepper powder using  
pulsed electric fields and cold plasma)

중 앙 대 학 교

농 립 수 산 식 품 부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “펄스전기장과 콜드플라즈마를 이용한 고품질 고춧가루 제조 기술 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2014 년 01 월 24

주관연구기관명 : 중앙대학교

주관연구책임자 : 이 동 언

협동연구기관명 : 서울여자대학교

협동연구책임자 : 민 세 철

협동연구기관명 : 괴산고추조합공동사업법인

협동연구책임자 : 박 영 운

# 요 약 문

## I. 제 목: 펄스전기장과 콜드플라즈마를 이용한 고품질 고춧가루 제조 기술 개발에 관한 연구

## II. 연구개발의 필요성

### ○ 고품질 고춧가루 제조기술 연구의 필요성

- 2010년 기준 우리나라 농림업 생산액 43조 5,233억원으로 2009년 대비 1.2% 증가한 수준을 보이고 있다 (2011년 농림수산물부 통계 기준). 이중 고추의 생산량은 8,322억 (농림업 생산품목 중 비중 12위) 로 국내 농가의 중요한 소득 작물이다.
- 우리나라 국민은 1인당 연간 약 4 kg의 고추를 소비하며, 또한 우리나라는 연간 15만 톤 정도의 고춧가루를 생산하는 주요 고춧가루 생산국이기도 하다.
- 하지만 고추는 생산과정에서 노동력 등 생산비용이 많이 소요되며, 최근 중국산 고추의 수입으로 생산 농가에 큰 어려움이 직면해 있으며 고추 종자의 차이에 의한 차별성을 강조하기에는 한계가 있다. 따라서 최첨단기술을 도입하여 Only-one의 품질을 갖는 고품질 고춧가루 제조기술 연구가 절실히 요구된다.

### ○ 고품질 고춧가루 제조를 위한 핵심공정: (홍)고추의 건조와 고춧가루의 살균

- 현대적 설비를 갖춘 고춧가루 공장의 제조공정은 ① 홍고추의 수매 및 저장 → ② 세척 → ③ 선별 → ④ 절단 → ⑤ 건조 → ⑥ 분쇄 → ⑦ 살균 → ⑧ 포장 의 순서에 따른다.
- 이러한 제조 공정 중 에너지 소비량이 높고 고춧가루의 최종 품질에 가장 큰 영향을 미치는 공정은 ⑤ 건조 공정과 ⑦ 살균 공정 이다. 고품질 고춧가루 제조기술을 확보하기 위해서는 이들 두 공정에 대한 연구가 반드시 필요하다.
- 고품질 고춧가루 제조를 위한 핵심 공정을 개선하기 위해 본 연구에서는 (1)펄스전기장 전처리를 이용한 (홍)고추의 신속건조공정과 (2)콜드플라즈마를 이용한 고춧가루의 비가열 살균공정을 병행하여 개발하고자 하였다.

### Ⅲ. 연구개발 목적

국내의 현대적 고춧가루 제조 공정 중에서 에너지 소비량이 높고 고춧가루의 최종 품질에 가장 큰 영향을 미치는 공정은 건조 공정과 살균 공정이다. 이에 최신평가기술인 펄스전기장과 콜드플라즈마를 이용하여 (홍)고추의 신속건조공정(건조속도 20% 상승과 열처리저감화에 따른 품질향상)과 고춧가루의 비열살균공정(3D reduction과 무처리 고춧가루 대비 90% 품질특성 유지)을 개발하고 이를 이용해 Only-one 품질을 갖는 고품질 고춧가루 생산기술을 확립한다.

### Ⅳ. 연구개발 내용 및 범위

#### ○ 펄스전기장(PEF) 처리를 이용한 고추의 신속건조 기술 개발

- 펄스전기장 처리에 의한 (홍)고추 세포막의 선택적 투과공정 개발
- 회분식 처리에 의한 (홍)고추 세포막 투과 최적화
- 세포막 투과 정도와 건조속도 상승간의 상관관계 구명
- 연속식 처리 최적화에 따른 (홍)고추 건조시간 감축과 그에따른 품질특성 구명

#### ○ 콜드플라즈마(Cold Plasma) 처리를 이용한 고춧가루의 비열살균 기술 개발

- Lab 규모의 콜드플라즈마를 이용한 미생물 살균에 대한 효과 검증
- 콜드플라즈마를 이용한 식중독균 저해 예측 모델 수립
- 고춧가루 처리를 위한 Pilot 규모의 콜드플라즈마 구축 및 최적화
- 콜드플라즈마 파일럿 처리 고춧가루의 이화학적-관능 특성 평가 수행

#### ○ 고품질 고춧가루의 시생산 및 가공식품 원료적성 검증

- (홍)고추, 일반생산 고춧가루의 품질평가 기술 확립
- 연구에 필요한 시료 공급 및 지원

## V. 연구개발 결과

### ○ 펄스전기장(PEF) 처리를 이용한 고추의 신속건조 기술 개발

- 홍고추의 펄스전기장 전처리를 위해 펄스전기장 공정변수를 확립하였다. 홍고추의 펄스 전기장 전처리를 위해 확정된 공정변수의 영역은 Electric field strength=0.2-3.0 kV/cm, Pulse width=10-30  $\mu$ s, Pulse frequency=25-200 Hz, Duration of pulse=1-4 s 이었으며 지역별 사용 용수의 전기전도도가 다름을 고려하여 0.001-0.1 S/m의 전도도를 갖는 모델용액을 조제하여 각각의 용수 변화에도 동등한 전기장 특성을 얻을 수 있도록 공정 변수를 확립하였다.
- 홍고추의 펄스전기장 전처리를 위에서 확립한 공정변수에 따라 1-3 kV/cm 영역에서 처리한 결과 처리 후 외부로 용출되는 이온농도가 급격히 증가하여 홍고추의 세포막이 개방되어 물질이동이 빨라졌음을 확인하였다. 하지만 현미경을 통한 내외의 관찰은 무처리 대조군과 차이를 발견할 수 없어 펄스전기장 처리에 의한 세포막 개방이 외관과 형태에는 변화를 주지 않음을 확인하였다.
- 홍고추의 연속형 펄스처리를 위한 처리조건 최적화를 수행하였다. Electric field strength=1.0-2.5 kV/cm, Pulse width=30  $\mu$ s, Pulse frequency=25-200 Hz, Duration of pulse=1-4 s 영역에서 가속건조를 위한 최적화 실험을 수행한 결과, Electric field strength=2.5 kV/cm, Pulse width=30  $\mu$ s, pulse frequency=100 Hz, Duration of pulse=2 s 조건이 가장 효율적인 공정으로 선정되었다.
- 최적조건에서 펄스전기장 전처리는 홍고추의 건조속도를 30% 까지 상승시킬 수 있었으며 이때 건조된 홍고추의 대표적 품질특성인 적색도(ASTA value) 또한 14% 이상 상승 하여 펄스전기장 전처리를 통한 건조 에너지절감과 건조 홍고추의 품질향상을 일거에 이룰 수 있을 것으로 판단되었다.

### ○ 콜드플라즈마를 이용한 분말식품 살균기술

- 분말고추 살균을 위한 장비(SWU-2)를 최적화하였다. 분말고추의 살균을 위해 최적화된 장비의 공정변수는 사용기체=(질소, 헬륨, 질소-산소 혼합가스 I (질소:산소=4:1), 질소-산소 혼합가스 II (질소:산소=99.3:0.7), 헬륨-산소 혼합가스(헬륨:산소=99.8:0.2)), 처리 전력=300-900 W, 처리 시간=1-20 분, 그리고 처리 압력=5-10 torr을 확립하였다.
- 확립된 공정변수들을 이용하여 분말고추에 존재하는 호기성균과 접종시킨 *A. flavus* 또는 *B. cereus*에 대한 저해효과를 알아보아, 중심합성법을 이용한 실험 계획으로 *A. flavus* 저해 model 구축(Weibull model) 및 model parameter들 결정하였고, 반응표면분석법을 이용하여 *A. flavus*에 대한 살균 최적조건(900 W, 20 분) 확립하였다.

- 분말고추에 접종된 *B. cereus* 포자 저해에 대한 열-CP 병합처리의 효과로 열 처리 방법으로는 향온수조, 고압증기살균기, 열풍건조기를 사용하였고, 열 처리 조건 변수= 70-90 °C, 10-120 분, CPT 조건 변수=헬륨 또는 헬륨-산소 혼합가스, 900 W, 20 분에서 실험 한 결과 열과 CP 병합처리 최적 조건=열처리(향온수조, 90 °C, 30 분), CPT (헬륨-산소 혼합가스, 900 W, 20 분), 열과 CP 병합처리 저해효과=3.4±0.7 log spores/g을 확립하였다.
- 새로운 분말고추 제조공정을 제안하기 위해 진공 건조 처리(85 °C, 6 시간) 후에 CPT (헬륨 가스, 900 W, 20 분) 또는 MW-CPT할 경우, 2 log spores/cm<sup>2</sup>이상의 저해가 나타나는 것을 확인하였다. 고추의 수분활성도를 변수로 하여 CPT 또는 MW-CPT의 경우 2 log spores/cm<sup>2</sup> 이상의 저해 저해효과를 관찰하였다.
- CPT 또는 MW-CPT 된 분말고추의 저장 중 미생물 농도 및 이화학적 특성 변화의 경우 PT 또는 MW-CPT된 시료의 *B. cereus*와 *A. flavus*의 농도가 아무 처리 되지 않은 시료에 접종된 *B. cereus*와 *A. flavus*의 농도에 비해 저장 기간 동안 낮은 수준으로 유지되었음을 확인하였다. 색상(아스타), 색체계(a/b 값), 그리고 항산화능은 저장 중에 유지되었음을 확인하였고, 캡사이신 농도, 그리고 비타민 C 농도는 처리 여부에 관계 없이 저장 중에 감소되었으나, 아무 처리하지 않은 시료에 비해 손실율이 낮았음을 확인하였으며, 관능적 특성에는 처리여부에 따른 유의적 차이가 나타나지 않았음을 알아보다 분말고추의 새로운 살균공정의 가능성을 알아보았다

#### ○ 연구개발의 종합결론

- 홍고추의 가속건조를 위한 펄스전기장 처리조건 (2.5 kV/cm, 100 Hz, 2 s) 을 확립하였으며, 이 처리조건에서 전처리 시 건조시간을 30% 단축할 수 있었다. 이는 최초 연구 계획에서 제시한 20% 단축 목표를 상회 하는 수준이며, 건조된 고춧가루의 품질을 결정하는 색도(ASTA value)역시 14% 증가하는 기대이상의 효과를 확인하였다.
- 연구된 공정 도입시 건조시간 30% 단축은 건조 생산량의 30%의 증가 혹은 공장 건조 설비의 30% 다운사이징을 의미하며 산업적, 경제적으로 중요한 의미를 갖는다.
- 고춧가루의 콜드플라즈마-열 병합 처리결과 *B. cereus* 포자의 수를 최대 3.4 log cycle 저감화 시키는 등 미생물 수 저감화에 효과적인 방법임을 입증하였으며 처리에 의해 물리화학적 특성 및 기능성 면에서 무처리 대조군과 차이를 보이지 않아 제안된 공정이 분체의 고품질을 유지할 수 있는 새로운 살균공정임을 입증하였다.
- 제안된 분체 살균기술은 현존 열처리 기술의 품질 열화, UV 처리 등의 낮은 효과를 극복할 수 있는 새로운 Platform 기술로 자리잡을 것으로 판단된다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

### ○ 연구성과

- 연구 과제를 통해 도출된 실험 결과는 국·내외 식품관련학회(포스터 발표 8건)를 통해 활발히 발표되었으며, 관련기술과 연구결과가 국내 학술지(2012년 비SCI, 1건)와 해외 학술지(2014년 SCI, 1건)를 통해 발표완료 되었다. 추후 1편의 연구결과가 논문으로 작성되어 SCI(E)급 학술지에 발표 할 예정이다.
- 연구 과제를 통해 도출된 실험 결과 중 고춧가루의 살균에 적용할 수 있는 1건의 특허가 2013년 12월24일자로 출원되었으며 (출원번호 10-2013-0162690) 신속건조 관련 1건의 특허가 추가로 준비 중에 있다.

### ○ 연구활용계획

- 본 과제에서 개발된 신속건조와 비가열살균 기술의 경우, 산업화를 위해 비교적 고가의 추가 장치가 생산공장에 설치되어야 한다는 어려움이 있다. 따라서 특허에 대한 등록이 진행되는 시점에 따라 참여기업인 괴산고추조합공동사업법인에 특허에 대한 통상실시권을 이전하여 기술이전을 실시하고자 한다.

# 국 문 초 록

## 펄스전기장과 콜드플라즈마를 이용한 고품질 고춧가루 제조기술 개발

고전압 펄스 전기장(PEF)은 제품의 조직에 큰 변화를 가져오지 않으면서 매우 짧은 시간( $\mu\text{s}$  ~ ms) 내에 세포막의 투과성의 증가를 유도하는 기술이다. PEF 기술을 이용한 세포막의 투과도 유도는 식물성 조직의 질량/열 전달률을 향상 시켜주어 건조의 가속을 가져온다. 본 연구는 홍고추 세포막의 파괴 수준과 건조 시간의 감소를 파악하기 위해 실행되었다. 홍고추 세포막의 파괴 정도는 PEF 처리 후에 홍고추 조직의 임피던스를 측정함으로써 추정되었다. PEF 처리 조건은 전기장 강도(Field strength)가 1, 1.5, 2, 2.5 kV/cm의 세기와 일정한 주파수(Frequency)이 50, 100, 200 Hz, 펄스 폭(Pulse duration)이 30  $\mu\text{s}$ , 처리시간(Duration time)이 1, 2, 4 초의 조건으로 실행했다. PEF 처리 조건이 증가하면서 홍고추의 Conductivity 값이 증가하는 것을 관찰 할 수 있다. conductivity는 PEF 처리 조건과 세포막의 투과성 사이에 직접적인 상관관계가 있음을 나타낸다. 건조 실험은 45°C의 온도에서 진행되었다. PEF 처리는 건조속도의 증가와 수분함량의 감소를 가져온다. 비선형 회귀 분석은 수분율을 이용하여 건조 모델(Newton, Page, Logarithmic, Two term, Modified Henderson and Pabis)의 적합성을 확인하기 위해 사용되었다. 이 모델식은  $R^2$ (coefficient of determination), EMD (mean relative percent error), MBE (mean bias error) and RMSE (root mean square error)을 사용하여 실제 값과 예측 값을 비교 하였다. logarithmic 모델식은 다른 모델식에 비교 했을 때 가장 홍고추의 건조 결과에 일치하는 값을 나타냈다. 색상변화는 분광광도계를 이용하여 Hunter's color values, 비색계를 이용하여 ASTA value를 측정했다. Hunter's  $\Delta E$  values은 처리하지 않은 시료와 PEF 처리한 시료의 차이가 2.30에서 3.42의 값을 나타냈다. 또한 ASTA values의 경우 처리하지 않은 시료와 PEF 처리한 시료가 각각 136.94와 152.52 값을 나타냈다. 결과적으로 처리되지 않은 홍고추에 비해 PEF 처리한 홍고추가 최대 30%의 건조시간을 단축 할 수 있는 것을 확인했다.

기체의 일부가 전리된 가스 형태의 물질로서, 상온에서 온도의 상승 없이 만들어져 '비열(cold)'이라는 단어가 사용된다. 콜드플라즈마 처리는 전기장으로 형성된 reactive species들이 직접적으로 세포벽과 intercellular macromolecule들에 작용을 하여 미생물을 사멸시킨다. 실험을 위해 분말고추 살균을 위한 장비(SWU-2)를 질소, 헬륨, 질소-산소 혼합가스 I (질소:산소=4:1), 질소-산소 혼합가스 II (질소:산소=99.3:0.7), 헬륨-산소 혼합가스(헬륨:산소=99.8:0.2) 기체를 사용하여 최적화 하였다, 분말고추를 처리하기 위해 공정변수(사용기체, 처리 전력, 처리 시간, 그리고 처리 압력)를 확립하였다. 또한, 확립된 공정변수들을 이용하여 분말고추에 존재하는 호기성균과 접종시킨 *A. flavus* 또는 *B. cereus*에 대한 저해효과를 알아보았다, *A. flavus*에 대한 살균 최적조건(900 W, 20 분) 확립하였고 중심합성법으로 실험을 계획하여 *A. flavus* 저해를 예측하는데 적합한 모델식(Weibull model) 및 model parameter를 결정하였다. 분말고추에 접종된 *B. cereus* 포자 저해에 대한 열-CP 병합처리의 효과를 알아보았다. 또한, 새로운 분



말고추 제조공정을 제안하기 위해 건조방법과 고추의 수분활성도를 변수로 하여 CPT 또는 MW-CPT의 저해효과를 관찰하였다. 진공 건조 처리(85 °C, 6 시간) 후에 CPT (헬륨 가스, 900 W, 20 분) 또는 MW-CPT할 경우, 2 log spores/cm<sup>2</sup> 이상의 저해가 나타났다. 수분 활성도가 0.8일 때는 MW-CPT할 경우 2 log spores/cm<sup>2</sup> 이상의 저해가 나타났다. CPT 또는 MW-CPT된 분말고추의 저장 중 미생물 농도 및 이화학적 특성 변화의 경우 CPT 또는 MW-CPT된 시료의 *B. cereus*와 *A. flavus*의 농도가 아무 처리 되지 않은 시료에 접종된 *B. cereus*와 *A. flavus*의 농도에 비해 저장 기간 동안 낮은 수준으로 유지되었고, 색상(ASTA), 색체계(a/b값), 그리고 항산화능은 저장 중에 유지되었음을 확인했다. 캡사이신 농도, 그리고 비타민 C 농도는 처리 여부에 관계없이 저장 중에 감소되었으나, 아무 처리하지 않은 시료에 비해 손실율이 낮았다. 관능적 특성에는 처리여부에 따른 유의적 차이가 나타나지 않았음을 확인하여 분말고추의 새로운 살균공정의 가능성을 알아보았다.

## ABSTRACT

### Development of the manufacturing technology for high-quality hot red pepper powder using pulsed electric fields and cold plasma

Pulsed electric field (PEF) has the features of inducing cell membrane permeabilization within a very short time ( $\mu\text{s}$  -  $\text{ms}$  range) leaving the product matrix largely unchanged. The PEF induced permeabilization of cell membrane enhances the mass/heat transfer rates through the vegetable tissues which result in the accelerated drying. This study was conducted to identify the destruction level of cell membrane of red peppers and the reduction of drying time. The destruction levels of red pepper's cell membrane were estimated by measuring impedance of red pepper tissue after PEF treatment. The PEF processing parameters were field strength of 1, 1.5, 2.5 kV/cm with a constant frequency of 50, 100, 200 Hz at a pulse duration of 30  $\mu\text{s}$  and duration time of 1, 2, 4 seconds. The conductivity of red pepper cell was increased especially at low frequency region as applied PEF treatment condition increased. The conductivity profile indicates that there was a direct correlation between PEF treatment and the degree of cell membrane permeabilization. Drying experiments were conducted at inlet temperatures of drying of 45 °C. The drying rate increased continuously with decreasing moisture content or PEF treatment. It is also noted that the drying rate increased with the increase in field strength and frequency. A non linear regression procedure was used to fit five thin layer drying models (Newton, Page, Logarithmic, Two term and Modified Henderson and Pabis) available in the literature to the moisture ratio data. The performance of these models compared based on their  $R^2$ (coefficient of determination), EMD (mean relative percent error), MBE (mean bias error) and RMSE (root mean square error) between the observed and predicted moisture ratios. The logarithmic model has shown a better fit to the experimental drying data of thin layer red pepper samples as compared to other models. Colour changes were assessed by measuring Hunter's color values using a colorimeter and the American Spice Trade Association (ASTA) using a spectrophotometer. Samples were observed in Hunter's  $\Delta E$  values 2.30 to 3.42 and ASTA color values 136.94 to 152.52 of PEF treatment samples were significantly higher than untreated samples. The application of PEF resulted in enhanced rate of transfers as indicated by an increase of 20-30% in water loss as compared to the untreated red pepper. Cold plasma treatments (CPTs) with and without the combination with microwave treatments and/or heat treatments have been developed to inhibit microorganisms in red pepper powder, including *Aspergillus flavus* and *Bacillus cereus* spores. The number of *A. flavus* was reduced by  $2.5 \pm 0.3$  log spores/g by the CPT with nitrogen at 900 W and 667 Pa for 20 min. CPT at 900 W and 667 Pa for 20 min

inhibited naturally occurring total aerobic bacteria in the red pepper powder by approximately 1 log CFU/g. *B. cereus* spores were inhibited ( $3.4 \pm 0.7$  log spores/g reduction) only when heat treatment at 90 °C for 30 min was integrated with the CPT using a helium-oxygen gas mixture at 900 W. Fermi's model and Weibull model adequately described the inhibition of *A. flavus* on the red pepper powder by the CPT. The changes in treatment temperature and water activity ( $a_w$ ) were less than 5.0 °C (initial temperature: 23.8 °C) and 0.22, respectively, and were affected by both treatment power and time ( $P < 0.05$ ). The CPT at 667 Pa for 20 min with helium and the CPT integrated with a microwave treatment at 21.7 W/cm<sup>3</sup> (MW-CPT) initially inhibited spores of *B. cereus* and *A. flavus* by  $0.6 \pm 0.1$  and  $1.5 \pm 0.3$  log spores/cm<sup>2</sup> and  $1.1 \pm 0.3$  and  $1.5 \pm 0.3$  log spores/cm<sup>2</sup>, respectively. The reduced numbers were consistent throughout storage at 25 °C for 28 d ( $P > 0.05$ ). Both CPT and MW-CPT inhibited *B. cereus* spores more effectively from the larger dimension sample than from the smaller dimension one. The  $a_w$  significantly affected the effectiveness of microbial inhibition ( $P < 0.05$ ) and the highest reduction was obtained at  $a_w$  0.8. After CPT, a higher reduction was observed with red pepper samples dried by vacuum drying than those dried by far-infrared. Food dimension, water activity, and drying method have been identified as treatment parameters affecting the effectiveness of microbial inhibition in foods by CPT and MW-CPT. The ASTA values (color values) among the samples were not significantly different after treatments ( $P > 0.05$ ). The concentration of ascorbic acid was highest with untreated sample ( $141.7 \pm 6.0$  mg/100 g), followed by CPT samples ( $125.1 \pm 1.4$  mg/100 g), while those of capsaicin of untreated and CPT samples were not significantly different ( $P > 0.05$ ) on day 0. The MW-CPT sample had the lowest concentrations of both compounds as well as ASTA values during storage. Antioxidant activities of different samples were not significantly different ( $P > 0.05$ ) during storage. The sensory properties were not influenced by the treatments ( $P > 0.05$ ). Potential modifications on the conventional red pepper powder have been suggested. Both CPT and MW-CPT with and without the combination with heat treatments have potential application to reduce the microbial counts of red pepper powder and preserve red pepper powder .

## CONTENTS

I. Introduction of research and development .....	13
II. Situation of technical development in domestic and foreign.....	16
III. Perform and Result of research and development .....	20
A. Accelerated dehydration of red pepper using pulsed electric field treatment..	20
B. Pasteurization of red pepper powder using cold plasma .....	69
IV. The attainment of goal and level of contribution of related part .....	125
V. Outcome of research and development and plan to application of result .....	128
VI. Reference .....	130

# 목 차

제 1 장	연구개발과제 개요 .....	13
제 2 장	국내외 기술개발 현황 .....	16
제 3 장	연구개발 수행 내용 및 결과 .....	20
제 1 절	펄스전기장(PEF) 처리를 이용한 고추의 신속건조 기술 개발 .....	20
제 2 절	콜드플라즈마를 이용한 분말식품 살균기술 .....	69
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	125
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획 .....	128
제 6 장	참고문헌 .....	130

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 1. 연구개발의 필요성 및 목적

2010년 기준으로 우리나라의 농림업 생산액은 43조 5,233억원으로 2009년 대비 1.2% 증가한 수준(2011년 농림수산물식품부 통계 기준)을 보이고 있다. 농업부분에서의 쌀, 보리 등 기초 식량 자원 생산액은 지속적으로 줄어들고 있는 추세를 보이고 있으나 채소 생산액은 전년 대비 10% 상승하며 성장하는 모습을 보이고 있다.

건고추의 경우에는 2007년 기준 생산액인 9,990억(농림업 생산품목 중 비중 6위), 2008년 기준 9,117억(농림업 생산품목 중 비중 9위), 2009년 9,913억(농림업 생산품목 중 비중 8위), 2010년 기준 8,322억(농림업 생산품목 중 비중 12위)로 농가에서는 쌀 다음으로 중요한 소득 작물이라고 할 수 있다.

우리나라 국민은 1인당 연간 약 4kg의 고추를 소비하고 있다. 또한 우리나라는 연간 15만 톤 정도의 고춧가루를 생산하는 주요 고춧가루 생산국이다(Jung *et al.*, 2011). 하지만 고추는 생산과정에서 노동력, 에너지 등의 생산비용이 많이 소요되며, 최근 중국산 고추의 수입으로 인해 생산 농가에 큰 어려움에 직면해 있으며 국내산을 앞세운 고추 종자의 차이에 의한 차별성을 강조하기에는 한계가 드러나고 있다. 따라서 최신 가공 기술을 도입하여 Only-one의 품질을 갖는 고품질 고춧가루 제조 기술의 연구가 절실히 요구된다.

현대적 설비를 갖춘 고춧가루 공장의 제조 공정은 ① 홍고추의 수매 및 저장 → ② 세척 → ③ 선별 → ④ 절단 → ⑤ 건조 → ⑥ 분쇄 → ⑦ 살균 → ⑧ 포장 의 순서에 따른다. 이러한 제조 공정 중 에너지의 소비량이 높고 고춧가루의 최종 품질에 가장 큰 영향을 미치는 공정은 건조공정과 살균공정을 들 수 있다. 고품질 고춧가루 제조를 위한 핵심 공정을 개선하기 위해 본 연구에서는 (1)펄스전기장 전처리를 이용한 (홍)고추의 신속건조공정과 (2)콜드플라즈마를 이용한 고춧가루의 비가열 살균공정을 병행하여 개발하고자 하였다. 연구과제의 최종목표는 다음과 같다.

연구목표: 최신가공기술인 펄스전기장과 콜드플라즈마를 이용하여 (홍)고추의 신속건조공정(건조속도 20% 상승과 열처리저감화에 따른 품질향상)과 고춧가루의 비열살균공정(3D reduction과 무처리 고춧가루 대비 90% 품질특성 유지)을 개발하고 이를 이용해 Only-one 품질을 갖는 고품질 고춧가루 생산기술을 확립한다.

## 2. 펄스전기장(PEF) 전처리를 이용한 (홍)고추의 신속건조 기술의 개요

건조 공정의 경우 60 ℃ 이상의 고온에서 수 시간 이상을 처리하므로 제조 공정 중 투입되는 에너지의 양이 가장 높으며, 건조 도중에 향기성분의 손실과 색상의 병화와 같은

관능적 특성의 열화와 Vitamin C 등 유용성분의 파괴가 문제시 된다(Di Scala & Crapiste, 2008). 건조 공정의 건조 공정의 효율을 향상시키기 위해 다양한 건조기술이 사용지만 건조하고자 하는 원물에 적절한 전처리를 하여 건조효율을 높이에 대한 기술은 미미한 실정이다.

펄스전기장 처리기술은 전극 사이에 1-100 kV/cm 사이의 고전압을 매우 짧은 시간동안 처리하여 생체의 세포막만을 선택적으로 투과시킬 수 있는 기술이다. 특히 펄스전기장 기술은 세포막에 선택적으로 작용하므로 원물이 가지고 있는 고유의 성분에는 영향을 주지 않으면서 붕괴된 세포막을 통해 물질이동속도를 크게 상승시킬 수 있다. 따라서 세척공정 이후 (홍)고추에 PEF 처리 공정을 적용한다면 세포 내외로의 물 분자 이동이 가속되어 이후 건조 공정에 소요되는 시간을 크게 단축할 수 있다(Fig 1).

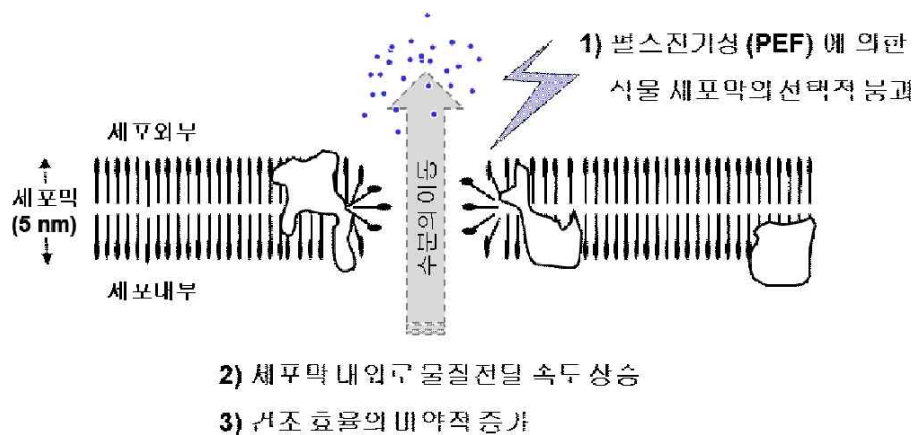


Fig. 1. 펄스전기장 처리에 의한 건조·추출 효율 증가 메커니즘

### 3. 콜드플라즈마(Cold plasma)를 이용한 고춧가루 비열살균기술의 개요

고춧가루는 원료 고추를 현지에서 수확하여 건조 후 분쇄하는 과정 중 미생물의 오염 가능성이 매우 높아 식품 위생상 문제시 되고 있다(Byun *et al.*, 1996; Kwon *et al.*, 1994). 고춧가루에는 특히 *Aspergillus spp.* 와 *Bacillus spp.* 가 많이 존재하며(Choi *et al.*, 1977), 고춧가루가 적용되는 식품(예, 젓갈, 김치)의 많은 미생물들이 고춧가루부터 기인되는 것이 큰 문제점으로 지적되고 있다(Lee *et al.*, 2000).

대부분의 고춧가루가 미생물에 의해 오염되고 오염된 고춧가루가 제품의 부패 원인이 되므로 살균 처리를 필수적으로 요한다(Byun, 1985; Kwon *et al.*, 1984). 현재 식품공전에서는 곰팡이 수로 고춧가루 살균 정도를 규제하고 있으며 하워드 곰팡이 계수장치에 의한 곰팡이 양성 비율(%)을 20 이하로 규정하고 있다(KFDA, 2009). Ethylen oxide, ethylene dibromide, propylene oxide 등의 훈증제가 고춧가루의 살균 방법으로 가장 많이 사용되었는데, 고춧가루 고유의 풍미 및 색에 좋지 않은 영향을 미칠 뿐만 아니라 잠재독성으로 인한 안전성 문제로 현재는 사용이 금지되었다(Byun *et al.*, 1996; Wesley *et al.*,

1965; UNEP, 2000). 증기가열 또한 고춧가루의 색과 향미의 소실을 가져오며, 저장 보관 시 산화반응이 일어나 품질이 저하되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 진공 증기 살균, 적외선 살균(Jung *et al.*, 2011), ohmic 살균(Lee *et al.*, 2000), 오존처리 살균(Lee *et al.*, 1997), 광펄스 살균 등이 연구되었으나, 그 효과와 장비 측면에서 상업적 적용이 어려운 상황이다. 따라서 열 유입을 최소화하여 풍미 및 색을 유지하는 새로운 살균 방법, 특히 비열처리 고춧가루 살균 방법 개발이 절실히 요구되고 있다.

콜드플라즈마는 기체의 일부가 전리된 가스 형태의 물질로서(Fig 2), 상온에서 온도의 상승 없이 만들어져 ‘비열(cold)’이라는 단어가 사용된다. 콜드플라즈마 처리는 전기장으로 형성된 reactive species(예, 라디칼, 전자)들이 직접적으로 세포벽과 intercellular macromolecule들에 작용을 하여 미생물을 사멸시킨다.

기술적 측면에서의 콜드플라즈마의 고춧가루 살균 연구를 통한 기초 원리 및 응용 기술의 축적은 분말식품의 이화학적 품질 향상 및 저장성을 증진할 수 있는 분말류의 비가열 살균 기술 개발과 건조를 할 때 가장 문제가 되는 에너지의 소비를 본 연구를 통해 건조에 소요된 에너지를 절감할 수 있는 녹색 기반 기술 개발과 고춧가루 가공 및 제조 공정에서 미생물을 효과적으로 제어할 수 있는 비열 플라즈마 살균 처리 기술 개발, 증기살균 방식보다 관능특성 및 영양특성 의 보존능이 높은 새로운 고춧가루 살균 기술 개발로 인해 식품 가공학 분야의 새로운 연구 분야로서 산업기술의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

경제적·산업적 측면에서의 본 연구는 효과적인 새로운 고춧가루 살균 기술 개발로 미생물 관련 사고를 예방함으로써 이로 인한 경제적 손실의 절감을 가져올 수 있다. 제품의 살균으로 미생물 안정성이 향상된 향신료의 생산과 관련된 식품산업의 활성화를 가져오고 또한 국민의 건강 증진의 효과를 가져 온다. 국내에서 생산되는 제품의 미생물 안정성 향상 및 신뢰성의 증가로 식품 수출 증대에 기여할 것으로 예상 된다. 또한 식품 산업체와 단체급식 및 외식 업체의 안전한 먹거리 제공에 기여 할 것으로 판단된다.

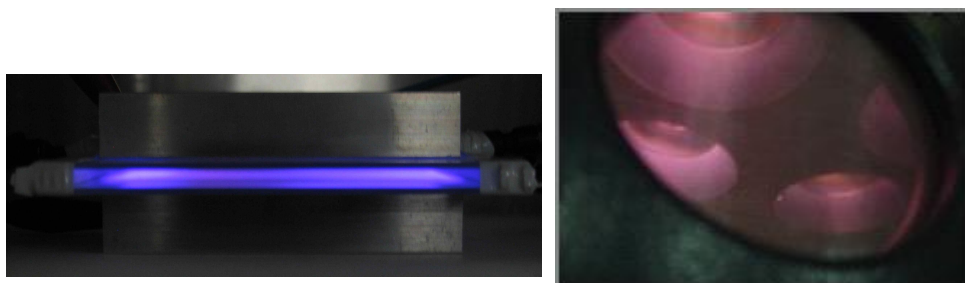


Fig. 2. 본 연구팀의 플라즈마 시스템(SWU-1(좌), SWU-2(우))에서 형성된 플라즈마



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

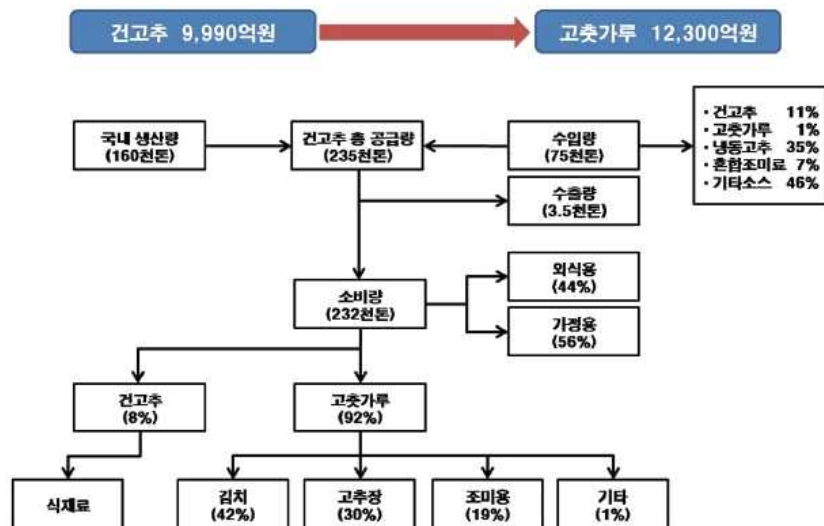
### 1. 국내의 관련분야 현황

#### 가. 국내의 고추 생산 및 시장 현황

건고추 관련 품목의 수입량은 2000년 이후 급증하여 2009년 건고추 환산 기준 82,818톤을 기록하였다. 2000년 이후 연평균 6.8%의 증가율을 보였으며 현재 국내 건고추 공급량의 약 40%를 수입이 차지하고 있다. 이중 건고추 수입의 약 90%정도가 중국을 통해서 이루어지고 있다. 2009년 수입 물량 82,818톤 중 중국으로부터의 수입은 73,027톤으로 88.2%를 차지하고 있다.

건고추 관련 품목 수출량은 건고추 환산 기준 2009년 13,356톤을 기록하였다. 2000년 이후 연평균 5.5%의 증가율로 증가하였으나 수입량의 1/5 수준에 미치지 못했다. 수입의 경우 건고추 그대로의 수입과 냉동 고추의 수입 비중이 큰 반면 수출의 경우 신선냉장, 고추장, 고춧가루, 소스류의 비중이 대부분이다. 주요 수출 대상국은 일본, 미국 등이며 교포 시장을 중심으로 수요가 형성된다. 2007년 기준 전체 수출물량 1,734톤의 8%인 142톤이 국산 건고추로 가공되어지고 원재료의 92%는 중국산 수입 건고추를 가공하여 수출한다.

고추의 시장규모는 2007년말 기준 건고추 및 고춧가루가 각각 9,990억원 및 1조 2,300억원으로 추정된다. 건고추의 52%는 가정용으로, 44%는 외식용으로 소비되고 있으며, 건고추의 92%가 고춧가루로 가공·유통되고 있는 것으로 파악된다.



자료 : 농림수산물식품부, 주요25품목 농수산물 생산·유통구조 개선대책(안) -채소·특작(7품목)-, 2009

Fig. 3 건고추 및 고춧가루 시장 규모 및 현황

건고추는 무게 대비 매출액이 매우 높은 것을 알 수 있으며 고춧가루 등으로 가공되어 사용되거나 또는 고추장이나 김치속 등의 원료로 사용되는 고부가 가치 소재이다.



Fig. 4. 과제 참여기업인 괴산고추조합공동사업법인의 청정고춧가루브랜드 고추잡자리(좌); 글로벌향신료 기업인 McCormick 사의 고춧가루 제품 (우)

#### 나. 국내 고추 관련 논문·특허 현황

##### (1) 특허 분석

펄스전기장을 이용한 신속건조기술의 경우, 펄스전기장 자체가 국내 도입기 기술이기 때문에 식품의 신속도입에 관련된 특허는 존재하지 않았다. ‘고추’를 keyword로 하여 국내 특허를 검색하였을 때 1,068 건의 등록특허가 검색되었으며 고춧가루 가공의 핵심공정이라고 할 수 있는 분쇄, 건조, 살균공정에 대해 각각 58, 91, 22 건의 등록 특허가 검색되었다. 그러나 ‘고추’와 ‘펄스전기장’ 또는 ‘콜드플라즈마’를 keyword로 포함하는 특허는 존재하지 않았으며 이는 이들 기술이 국내에는 아직 소개되지 않은 신기술로써 지적재산권 출원과 획득이 상대적으로 용이할 것으로 판단된다.

플라즈마와 관련된 기존 특허는 배기가스 미립자 제거를 위한 플라즈마 반응기의 이용, 플라즈마 처리를 이용한 과산화물 활성화 및 그 공정 등에 치중되어 있으며 또한 기존 특허는 플라즈마 처리의 에너지원으로 전기장을 이용한 시스템에 치중되어 있다. 연구과제에서는 비열 플라즈마 처리를 이용한 식품에서의 살균 처리 공정으로 연구 방향을 설정하여 분말 식품의 비열 플라즈마 처리를 위한 시스템과 방법을 국내 및 국외에 특허 출원할 계획이다. 또한 플라즈마 처리의 에너지원을 전기장이 아닌 microwave를 이용하여 새로운 형태의 플라즈마 처리 시스템을 국내 및 국외에 특허 출원할 계획이다.

(가) 특허 분석 범위

Table 1. 고추 특허 분석 검색 범위

대상국가	대한민국, 미국
특허 DB	WIPS 특허온라인검색
검색기간	최근 5년간
검색범위	제목 및 초록

(나) 특허 분석에 따른 본 연구과제와의 관련성

Table 2. 고추 기준 특허와의 관련성

개발기술명		펄스전기장을 이용한 식품의 신속건조 기술	콜드플라즈마를 이용한 분말식품 살균기술
Keyword		pulsed electric filed, drying	Cold plasma, non-thermal plasma, food
검색건수		19	28
유효특허건수		0	5
핵심특허 및 관련성	특허명	-	System and method for non-thermal plasma treatment of foodstuffs
	보유국	-	미국
	등록년도	-	2011
	관련성(%)	-	30
	유사점	-	Cold plasma pasteurization
차이점	-	처리 장치 및 조건, 그리고 대상 식품	

(2) 논문 분석

기존 논문은 비열 플라즈마를 이용한 고체 식품의 표면 살균 처리 분야에 치중되어 있어 분말 식품에서의 비열 플라즈마 처리에 대한 연구가 부족한 실정이다. 이에 새로운 고춧가루 살균법으로 적외선 살균(Jung et al., 2011), ohmic 살균(Lee et al., 2000), 오존처리 살균(Lee et al., 1997), 광펄스 살균 등이 연구되었으나, 그 효과와 장비 측면에서 상업적 적용이 어려워 아직도 많은 연구가 필요로 되고 있다. 특히 UV와 광펄스는 식품 표면에서의 저해에만 효과적인 것으로 알려져 있다.

(가) 논문 분석 범위

Table 3. 고추 논문 분석 검색 범위

대상국가	미국, 일본, 유럽
논문 DB	Web of Science
검색기간	최근 10년간
검색범위	제목, 초록 및 키워드

(나) 논문분석에 따른 본 연구과제와의 관련성

Table 4. 고추 기준 논문과의 관련성

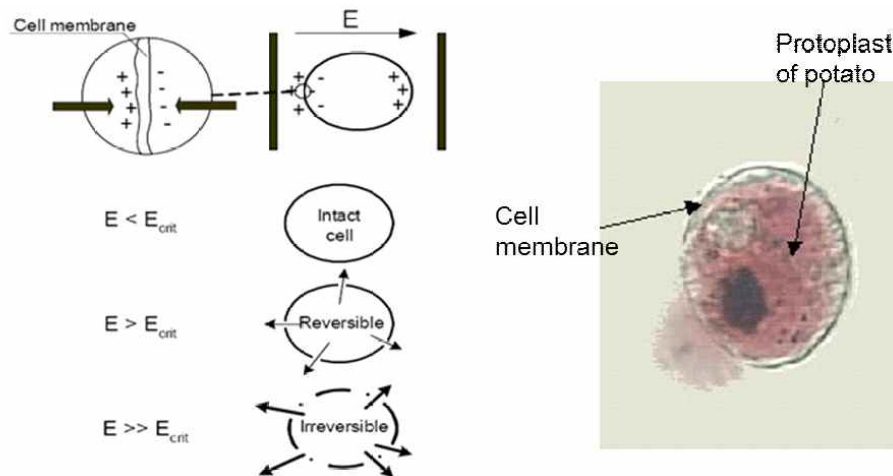
개발기술명		펄스전기장을 이용한 식품의 신속건조 기술	콜드플라즈마를 이용한 분말식품 살균기술
Keyword		Pulsed electric field, Drying, Pepper	Cold plasma, non-thermal plasma, food, treatment
검색건수		79	47
유효논문건수		3	11
핵심논문 및 관련성	논문명	Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper	Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions.
	학술지명	<i>JOURNAL OF FOOD ENGINEERING</i>	<i>Food Microbiology</i>
	저자	Ade-Omowaye BIO et al	Kim B, Yun H, Jung S, Jung Y, Jung H, Choe W, Jo C.
	게재년도	2003	2011
	관련성(%)	60%	50%
	유사점	PEF를 이용한 건조효율 상승	식품에서의 식중독균 저해
	차이점	Lab-scale의 Batch방식으로 효과확인	식품의 종류, 처리 조건 등

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 펄스전기장(PEF) 처리를 이용한 고추의 신속건조 기술 개발

#### 1. 펄스전기장 기술의 이론적 배경

펄스전기장(Pulsed electric field, PEF) 기술은 수~수십 kV/cm의 고전압을 microsecond [ $\mu$ s] 단위로 시료에 처리하여 그때 생성된 세포막 전위차 (Trans-membrane potential, TMP)에 의한 electro-compressive force가 세포막의 부분적 파열을 유도하는 비가열 처리 기술이다 (Fig 5).



**Fig. 5.** 펄스전기장 처리에 의한 세포막의 선택적 파괴 메커니즘 (좌); 펄스전기장 처리에 의해 세포막이 파괴된 감자세포의 현미경 사진 (우)

생체의 구성성분 중 세포막에 선택적으로 작용하는 펄스전기장 특유의 작용 메커니즘에 따라 식품 원료의 향기, 맛, 색깔을 결정하는 저분자 물질에 대해서는 최소한의 변화만이 일어나는 것으로 관찰되고 있다.

펄스전기장 기술은 시료에 적용되는 에너지의 양에 따라 사용목적을 구분 할 수 있다. 예를 들어, 과일주스 등의 액상식품의 비가열 살균을 위해서는 15-40 kV/cm 의 전압대가 주로 사용되지만 동·식물 조직의 세포막을 선택적으로 붕괴시키기 위해서는 0.5-3.0 kV/cm 영역의 비교적 낮은 전압대를 사용하며 펄스전기장 처리를 위해 사용되는 에너지의 총량도 매우 낮은 수준을 유지한다 (Fig 6).

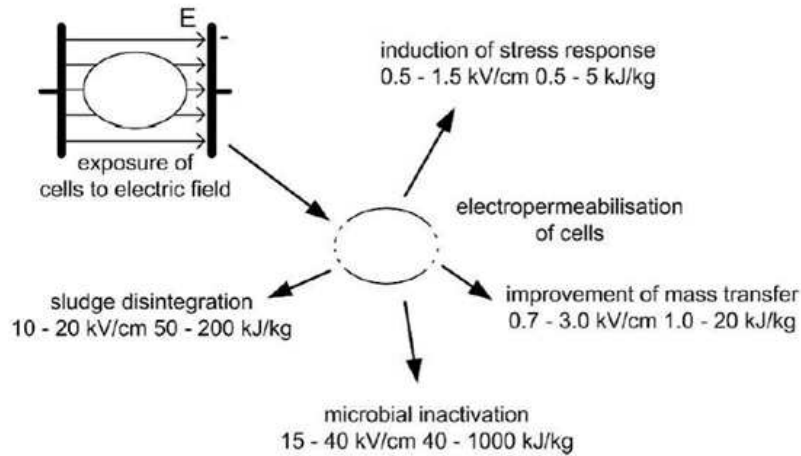


Fig. 6. 적용범위에 따른 펄스전기장의 처리 조건과 에너지 투입 수준

펄스전기장에 의한 세포막의 선택적 붕괴는 식품가공의 다양한 분야에 적용될 수 있다. 예를 들어, 동·식물 조직에 펄스 전기장을 처리하여 세포막을 붕괴시키면 세포막 내외로 열전달 및 물질전달 속도가 급격히 증가한다. 이러한 현상을 이용하면 동·식물 조직의 건조, 냉동, 혹은 유용물질의 추출에 효과적인 공정을 개발 할 수 있다 (Fig. 1).

펄스전기장에 의한 세포막의 선택적 붕괴와 이에 따른 물질전달속도의 증가는 특히 조직 중 물 분자의 이동을 촉진하여 건조속도를 가속시킬 수 있다. 이러한 가속건조효과는 건조에 사용되는 총 에너지의 양을 급감시킬 것으로 기대된다. 또한 건조시간의 단축은 열처리도중 손상되기 쉬운 Vitamin C 등 기능성 성분의 손실을 최소화시킬 것으로 기대된다.

홍고추의 펄스전기장 처리를 위해서는 고전압펄스를 형성할 수 있는 펄스 형성장치가 필요하다. 실험에 사용된 5 kW급 펄스 제네레이터(HVP5, DIL, Germany)는 축전부분, 고전압 스위칭 시스템, 펄스 트랜스포머, 계측장치 및 PLC형 조절장치 등으로 구성되며 3상 400 V 의 교류전압을 공급 받아 25 kV 의 출력전압(직류)을 형성 할 수 있다.

펄스 제네레이터를 통해 조절할 수 있는 PEF 공정변수는 Pulse power (1-100%), Pulse width (4-30  $\mu$ s), Pulse frequency (1-1000 Hz), Treatment time (s) 이며 Batch 형태로 적용할 경우, Pulse frequency와 Treatment time을 조절하여 적용 펄스 수 (Total pulse number)를 결정할 수 있다. Continuous 형태로 적용될 경우 Batch 형식에서 결정된 공정 변수와 Flow rate를 고려하면 시료에 처리되는 펄스수를 결정할 수 있다.

펄스전기장 기술은 시료에 적용되는 에너지의 양에 따라 사용목적에 구분 할 수 있다. 예를 들어, 과일주스 등 액상식품의 비가열 살균을 위해서는 15-40 kV/cm 의 고전압대가 주로 사용되지만 동·식물 조직의 세포막을 선택적으로 붕괴시키기 위해서는 0.5-3.0 kV/cm 영역의 비교적 낮은 전압대의 사용이 가능한 것으로 알려져 있다.

## 2. 연구방법

### 가. 회분식 처리조 (Batch treatment chamber) 에서의 펄스 특성 측정

#### (1) 고전압 펄스 처리를 위한 공정 변수 확립

홍고추의 처리에 가능하고 에너지 소비와 사용되는 용수의 Conductivity에 따른 전기장(Field strength, kV/cm)의 차이를 알아보기 위해 중앙대학교 안성 인근 용수를 채취하여

Conductivity meter (CM-21P, TOA-DKK, japan)를 사용하여 conductivity를 측정 하였다. 다양한 conductivity에서의 전기장 값을 알아보기 위해 증류수에 일정 농도의 Ringer's solution을 혼합하여 0.001 ~ 0.100 [S/m]의 용액과 일정 농도에서의 처리시간에 따른 차이를 측정하였다. 실험은 특정 전기 전도도를 갖는 용액을 회분형 처리조에 채운 후 펄스 제네레이터의 출력(% power)과 펄스폭(pulse width,  $\mu$ s)을 조절하며 그때 처리조 내부에서 생성되는 전압(kV)과 전류(A)를 측정한다(Table 5). 처리조 내부의 전기장 (Field strength, kV/cm)는 향후 시료에 전달될 전기적 에너지를 결정하는 중요 변수로 식(Eq 1)에 따라 계산된다.

$$\text{Filed Strength (kV/cm)} = \text{Peak voltage (kV)} / \text{Gap between the electrode (cm)} \quad (1)$$

펄스 전기장 처리는 상온에서 수행되었으며 회분형 처리조에 가해진 펄스 수(Number of pulse, n) 는 펄스빈도(Pulse frequency, Hz)와 펄스 처리시간(Treatment time, s)에서 계산한다 (Eq 2). 따라서 Table 9-20 사이의 측정 데이터는 출력과 펄스폭을 조절 한 펄스전기장을 식 2에 따른 펄스 수 만큼 방출한 후 측정된 값의 평균값을 의미한다.

$$\text{Number of pulse (n)} = \text{Pulse frequency (Hz)} \times \text{Treatment time (s)} \quad (2)$$

**Table 5. The range of conductivity, pulse frequency, treatment time, power and pulse width for checking Field strength of PEF**

Conductivity (S/m)	Pulse frequency (Hz)	Treatment time (s)	% power	pulse width
0.001	25	3	10 - 80%	10, 20, 30 μs
0.017				
0.020				
0.040				
0.060				
0.080				
0.100	50	1		
0.001		2		
0.001		3		
0.001		4		
0.001		5		

**나. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추 세포막 투과도 측정**

(1) 실험 재료

홍고추는 지역 시장에서 판매하는 국내산 고추를 사용하였다. 무게 12-15 g, 길이 10-13 cm 의 홍고추가 선별되어 사용되었다. 홍고추는 실험을 진행할 때까지 4 ℃ 에서 냉장보관 했다. 실험 전에 홍고추를 실내온도에 맞춘 뒤에 실험을 진행 하였다. 홍고추는 통째로 씻은 다음 표면의 수분을 제거해 준 뒤, 꼭지를 제거한 통고추를 사용하여 실험을 진행 했다.

(2) 펄스전기장 처리 후 투과도 측정

꼭지를 제거한 홍고추를 각각 1 kV/cm, 2 kV/cm, 2.5 kV/cm 의 조건에서 펄스 전기장 처리한 후 수용액상으로 용출되는 이온의 양을 conductivity meter (CM-21P, TOA-DKK, japan)를 이용하여 시간대에 따라서 측정했다. 펄스 전기장 처리는 25 Hz 에 서 , 3 초간 적용되었으므로 홍고추는 각각의 전기장 하에서 75번의 펄스처리를 받은 것이다 (Table 6).

**Table 6. Pulsed electric field processing conditions**

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pluse width(μs)	Frequency(Hz)	Time(second)
1	45	10	25	3
2	55	20	25	3
2.5	55	30	25	3



#### 다. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추 외형 변화 관찰

홍고추는 산지, 품종, 생육 상태에 따라 크기, 모양, 무게 등의 차이가 심하기 때문에 일정한 실험값을 얻기 위해 유사 중량, 유사크기의 홍고추를 선별하여 실험에 적용 했다 (Fig 7). 실험에는 주로 무게 12-15 g, 길이 10-13 cm 의 홍고추가 선별되어 사용되었다.

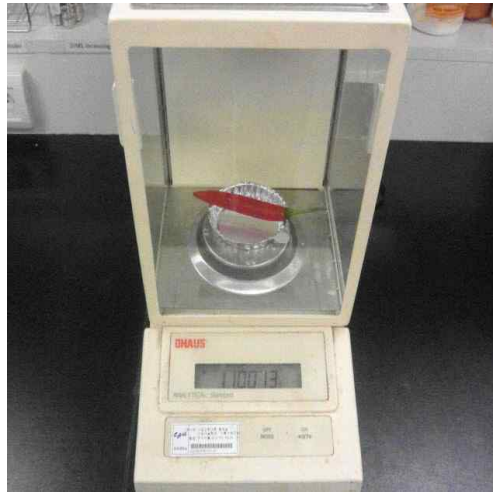


Fig. 7. 전자저울을 이용한 홍고추 선별

선별된 홍고추는 300 mL 의 용적을 갖는 PEF chamber 에 넣어진 후 홍고추를 2.5 kV/cm, 50 Hz 의 펄스 전기장 하에서 각각 1, 3, 5 초간 처리한다(Fig 8). 무처리 홍고추와 펄스전기장 처리한 홍고추 내·외조직의 특성을 Optical scope (Dino Lite, Taiwan)를 이용하여  $\times 100$ ,  $\times 210$  배율로 관찰하였다.



Fig. 8. PLC를 이용해 펄스 제네레이터에 조건을 설정 (그림 좌); 처리 할 홍고추를 회분형 처리조(그림 중간)에 넣은 후 펄스 제네레이터에 장착하는 모습 (그림 우)

## 라. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 수분함량 변화

### (가) 실험 재료

홍고추는 지역 시장에서 판매하는 국내산 고추를 사용하였다. 홍고추는 실험을 진행할 때까지 4 °C 에서 냉장보관 했다. 실험 전에 홍고추를 실내온도에 맞춘 뒤에 실험을 진행하였다. 홍고추는 통째로 씻은 다음 표면의 수분을 제거해 준 뒤, 꼭지를 제거한 통고추를 사용하거나 세로로 4 등분 하여 씨와 태좌 부분을 제거한 뒤에 사용했다.

### (나) 펄스전기장 처리

시료는 Batch chamber에 증류수 300 ml와 함께 넣어져서 Field strength 1, 1.5, 2, 2.5 kV/cm 의 전기장 범위와 Frequency 50, 100 200 Hz와 처리시간 1, 2, 3, 4, 5 초의 범위에서 처리했다.

### (다) 건조 방법

처리된 시료는 표면의 물기를 제거한 후 열풍 건조를 사용하여 45, 70 °C 의 drying oven (ATP, Berlin, Germany, ModelMS1016)에서 25 hr 동안 건조되며 일정 시간 간격으로 시료를 꺼내 데시케이터에 방냉 후 무게를 측정하여 수분함량을 확인 한다. 건조가 끝난 뒤 데시케이터에 방냉 후 함수율을 평형수율로써 사용하였다.

### (라) 수분함량

각 시료의 수분 함량(Wet weight basis)는 아래와 같은 식을 사용하였다.

$$C_b = \frac{W_t - W_f}{W_i} \times 100 \quad (3)$$

$MC_{wb}$ ,  $W_t$ ,  $W_i$ ,  $W_f$  는 Moisture content wet basis(%), 그 때의 시료의 무게, 초기 시료의 무게, 최종 시료의 무게를 나타낸다. 건조곡선은 Sigmaplot computer program을 사용하여 그렸다.

### (마) 수분함량(MR)과 건조속도

각 시료의 수분 함량(Moisture ratio)과 건조 속도(Drying rate)는 아래와 같은 식을 사용하였다.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4)$$

$$Drying\ rate = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (5)$$

$M$ ,  $M_o$ ,  $M_e$ ,  $M_t$  그리고  $M_{t+dt}$  는 그 때의 수분함량, 초기 수분함량, 평형 수분함량,  $t$  시간에서의 수분함량 그리고  $t+dt$  에서의 수분함량을 나타낸다. 건조곡선은 Sigmaplot computer program을 사용하여 그렸다.

$MR$  : Average moisture ratio (dimensionless)

$M$  : Moisture content at any time (kg water/kg dry matter)

$M_o$  : Initial moisture content (kg water/kg dry matter)

$M_e$  : Equilibrium moisture content (kg water/kg dry matter)

$M_t$  : Moisture content at  $t$  (min)

$M_{t+dt}$  : Moisture content at  $t+dt$  (kg water/kg dry matter)

$t$  : Drying time (min)

(바) 통계분석

모든 실험은 3 회 이상 반복하여 실시되었고 평균과 표준편차를 계산한 후 그 결과를 비교 하였다. 또한 결과에 유의적인 차이가 발견된 경우 Duncan's multiple range test에 의해 평균값에 대한 유의성을 검증 하였다. 유의 확률(P value)은 0.05 이다 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

#### 마. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추 건조의 수학적 모델링

고추의 건조 속도를 예측하기 위해서 기존의 건조 모델 중에서 곡물과 식품 재료의 건조과정을 예측하는데 많이 이용되는 5개의 모델을 선택하였다 (Table 7). Table 7과 같은 기존의 모델은 모두 선형화가 가능하며 모델의 적합성 검정은 개발된 매개 변수 모델을 이용하여 각각의 건조 모델에 대입했다. 건조곡선은 Sigmaplot computer program을 사용하여 그렸다. 각 시험에서의 매개변수는 SPSS 20.0.0.1 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 Levenberg Marquardt 방식에 따라 비선형회귀분석으로 처리하여 각 모델식의 계수를 산출 하였다. 5개의 모델식을 적용 시킨 후 결정계수( $R^2$ )가 높을수록 최적의 모델로 선정하였다.  $EMD$  (mean relative percent error),  $MBE$  (mean bias error),  $RMSE$  (root mean square error)과 같은 평균상대 오차율을 계산하여 각각의 모델의 예측을 비교하였다.  $EMD$ ,  $MEB$ ,  $RMSE$  값이 작은 모델을 기준으로 결정 했다.  $EMD$ ,  $MEB$ ,  $RMSE$ 는 다음의 식 (6, 7, 8)을 이용하여 계산 하였다.

$$MD = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|MR_{exp,i} - MR_{pre,i}|}{MR_{exp,i}} \quad (6)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i}) \quad (7)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$R^2$  : Coefficient of determination,  $EMD$  : Mean relative percent error

$RMSE$  : Root mean square error,  $MBE$  : Mean bias error

$MR_{exp,i}$  : ith experimentally observed moisture ratio

$MR_{pre,i}$  : ith predicted moisture ratio

$N$  : Number of observations

Table 7. Thin layer curve drying models used for mathematical calculation of the drying of red pepper

Model no.	Model name	Model	References
1	Newton	$R = \exp(-kt)$	Mujumdar (1987)
2	Page	$MR = \exp(-kt)$	Page (1949)
3	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu, Degirmencioglu, and Cagatay (1999)
4	Two term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Henderson (1974)
5	Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos (1999)

## 바. 펄스전기장 처리에 따른 색도 변화 측정

색도는 건조가 끝난 홍고추를 CIELab와 ASTA 값을 알아보았다. 색도 측정은 색차계 (UltraScan PRO, Hunterlab., U.S.A)를 사용하여 L\*(lightness), a\*(redness), and b\*(yellowness) 값을 측정하였다, 식 (Eq. 9)을 이용하여 건조한 무처리 시료와 펄스전기장 처리한 시료와의 색도차 ( $\Delta E$ )를 나타내었다. ASTA 값은 건조한 홍고추를 분말로 만들어 고추 시료 (0.1 g)에 100 mL의 acetone을 첨가하여 암실에서 16 시간 동안 보관한 후, Toyo No. 2 여과지고 여과한 후 spectrophotometer (genesys20, Fisher Scientific, U.S.A)로 460 nm의 파장에서 ASTA 값을 측정하였다. ASTA 값은 측정된 흡광도 값을 아래의 식(Eq. 10)에 대입하여 얻어내었다 (ASTA, 1968).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (9)$$

$$\text{ASTA unit} = \frac{\text{absorbance of extract} \times 16.4 \times I_f}{\text{weight (g) of red pepper powder}} \quad (10)$$

### 3. 연구결과

#### 가. (홍)고추의 펄스처리를 위한 펄스처리장치의 공정변수 확립

##### (1) 연구 내용

(홍)고추의 펄스전기장 처리는 수용액 상에서 이루어지며 이때 수용액의 전기 전도도 (Electrical conductivity, S/m)가 변화의 요인이 될 수 있다.

신속건조를 위한 홍고추의 펄스전기장 처리는 세척 공정에 병합될 예정이다. 따라서 세척수에 사용 될 용수의 전기전도도를 측정할 필요가 있다. 경기도 안성 중앙대학교와 인근 지역에서 사용될 수 있는 용수의 전기 전도도를 측정한 결과 0.014-0.023 [S/m] 의 전기 전도도를 갖는 것으로 측정 되었다 (Table 8).

Table 8. 경기도 안성시 중앙대학교 및 인근지역 용수의 전기 전도도

용수	Conductivity [S/m]
저수지 (경기도 안성시 고삼저수지)	0.014
지하수 1 (경기도 안성시 고삼면)	0.023
지하수 2 (경기도 안성시 당왕동)	0.017
수돗물 (경기도 안성시 대덕면)	0.017
증류수	0.001

향후 펄스전기장 처리가 적용될 지역의 세척용수는 지하수가 사용될 경우가 높으며 지하수의 전기 전도도는 지역에 따라 값의 차이가 있을 것으로 예상된다. 따라서 아래의 실험에서는 증류수에 일정 농도의 Ringer's solution을 혼합하여 다양한 정도의 전기 전도도를 갖는 모델 용액을 조제한 후 회분식 처리조에서 생성되는 펄스의 특성을 측정하였다 (Table 9-20).

실험 결과 출력(%Power)과 Pulse width를 증가 시킬수록 Electric field strength 값이 증가하는 것을 확인하였다. 또한 사용되는 용액의 Electric conductivity 값이 0.001-0.100 S/m로 증가함에 따라 Electric field strength 값이 감소하는 것을 확인했다. 처리시간에 따른 Electric field strength의 변화는 발견할 수 없었다.

Table 9. 전기 전도도 0.001 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=25 Hz, t=3 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.2	1.4	2.1
		20 $\mu$ s	0.3	2.6	2.1
		30 $\mu$ s	0.4	3.1	2.1
15%		10 $\mu$ s	0.3	2.3	2.1
		20 $\mu$ s	0.5	4.1	2.1
		30 $\mu$ s	0.6	4.8	2.1
20%		10 $\mu$ s	0.4	3.3	2.1
		20 $\mu$ s	0.7	5.6	2.1
		30 $\mu$ s	0.8	6.6	2.1
25%		10 $\mu$ s	0.5	4.1	2.1
		20 $\mu$ s	0.9	7.1	2.1
		30 $\mu$ s	1.0	8.3	2.1
30%		10 $\mu$ s	0.6	5.0	2.2
		20 $\mu$ s	1.1	8.7	2.2
		30 $\mu$ s	1.3	10.1	2.3
35%		10 $\mu$ s	0.7	5.9	2.5
		20 $\mu$ s	1.3	10.2	2.5
		30 $\mu$ s	1.5	11.9	2.5
40%		10 $\mu$ s	0.9	6.9	2.9
		20 $\mu$ s	1.5	11.8	3.0
		30 $\mu$ s	1.7	13.7	2.8
45%		10 $\mu$ s	1.0	7.9	2.2
		20 $\mu$ s	1.7	13.3	3.4
		30 $\mu$ s	1.9	15.4	3.5
50%		10 $\mu$ s	1.1	8.7	4.1
		20 $\mu$ s	1.9	14.8	4.2
		30 $\mu$ s	2.2	17.2	4.2
55%		10 $\mu$ s	1.2	9.6	4.9
		20 $\mu$ s	2.0	16.3	4.9
		30 $\mu$ s	2.4	19.0	5
60%		10 $\mu$ s	1.3	10.6	5.7
		20 $\mu$ s	2.2	17.9	5.7
		30 $\mu$ s	2.6	20.7	5.9
65%		10 $\mu$ s	1.4	11.4	6.6
		20 $\mu$ s	2.4	19.4	6.6
		27 $\mu$ s	2.8	22.5	6.8
70%		10 $\mu$ s	1.5	12.3	7.4
		20 $\mu$ s	2.6	20.9	7.5
		25 $\mu$ s	2.9	23.3	7.5



Table 10. 전기 전도도 0.017 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=25 Hz, t=3 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.2	1.3	2.1
		20 $\mu$ s	0.3	2.5	2.1
		30 $\mu$ s	0.4	3.0	2.1
15%		10 $\mu$ s	0.3	2.1	2.1
		20 $\mu$ s	0.5	3.9	2.1
		30 $\mu$ s	0.6	4.6	2.2
20%		10 $\mu$ s	0.4	3.0	2.2
		20 $\mu$ s	0.7	5.4	2.3
		30 $\mu$ s	0.8	6.4	2.4
25%		10 $\mu$ s	0.5	3.8	2.5
		20 $\mu$ s	0.9	6.9	2.8
		30 $\mu$ s	1.0	8.1	2.9
30%		10 $\mu$ s	0.6	4.7	3.1
		20 $\mu$ s	1.0	8.4	3.6
		30 $\mu$ s	1.2	9.8	3.8
35%		10 $\mu$ s	0.7	5.6	4.2
		20 $\mu$ s	1.2	10.0	4.7
		30 $\mu$ s	1.4	11.6	4.9
40%		10 $\mu$ s	0.8	6.4	5.1
		20 $\mu$ s	1.4	11.4	5.7
		30 $\mu$ s	1.7	13.3	5.9
45%		10 $\mu$ s	0.9	7.2	6.3
		20 $\mu$ s	1.6	12.9	6.9
		30 $\mu$ s	1.9	15.0	7.1
50%		10 $\mu$ s	1.0	8.1	7.4
		20 $\mu$ s	1.8	14.4	8.0
		30 $\mu$ s	2.1	16.7	8.2
55%		10 $\mu$ s	1.1	8.9	8.6
		20 $\mu$ s	2.0	15.8	9.3
		30 $\mu$ s	2.3	18.4	9.5
60%		10 $\mu$ s	1.2	9.8	9.7
		20 $\mu$ s	2.2	17.3	10.3
		30 $\mu$ s	2.5	20.1	10.6
65%		10 $\mu$ s	1.3	10.6	10.9
		20 $\mu$ s	2.3	18.8	11.6
		27 $\mu$ s	2.7	21.4	11.8
70%		10 $\mu$ s	1.4	11.4	12.0
		20 $\mu$ s	2.5	20.3	12.8
		25 $\mu$ s	2.9	22.6	12.9

Table 11. 전기 전도도 0.020 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=25 Hz, t=3 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.2	1.3	2.1
		20 $\mu$ s	0.3	2.5	2.1
		30 $\mu$ s	0.4	3.0	2.1
15%		10 $\mu$ s	0.3	2.1	2.1
		20 $\mu$ s	0.5	4.0	2.2
		30 $\mu$ s	0.6	4.6	2.2
20%		10 $\mu$ s	0.4	2.9	2.3
		20 $\mu$ s	0.7	5.4	2.4
		30 $\mu$ s	0.8	6.3	2.6
25%		10 $\mu$ s	0.5	6.3	2.8
		20 $\mu$ s	0.9	6.9	3.2
		30 $\mu$ s	1.0	8.0	3.4
30%		10 $\mu$ s	0.6	4.6	3.6
		20 $\mu$ s	1.0	8.4	4.2
		30 $\mu$ s	1.2	9.8	4.5
35%		10 $\mu$ s	0.7	5.4	5.0
		20 $\mu$ s	1.2	9.8	5.5
		30 $\mu$ s	1.4	11.5	5.7
40%		10 $\mu$ s	0.8	6.3	6.1
		20 $\mu$ s	1.4	11.3	6.8
		30 $\mu$ s	1.6	13.2	6.9
45%		10 $\mu$ s	0.9	7.2	7.3
		20 $\mu$ s	1.6	12.8	8.0
		30 $\mu$ s	1.9	14.9	8.4
50%		10 $\mu$ s	1.0	8.0	8.6
		20 $\mu$ s	1.8	14.3	9.2
		30 $\mu$ s	2.1	16.6	9.5
55%		10 $\mu$ s	1.1	8.8	9.9
		20 $\mu$ s	2.0	15.8	10.6
		30 $\mu$ s	2.3	18.3	10.8
60%		10 $\mu$ s	1.2	9.7	11.1
		20 $\mu$ s	2.2	17.2	11.9
		30 $\mu$ s	2.5	20.0	12.1
65%		10 $\mu$ s	1.3	10.5	12.4
		20 $\mu$ s	2.3	18.7	13.2
		27 $\mu$ s	2.7	21.3	13.4
70%		10 $\mu$ s	1.4	11.2	13.7
		20 $\mu$ s	2.5	20.2	14.7
		25 $\mu$ s	2.8	22.5	14.6

Table 12. 전기 전도도 0.040 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=25 Hz, t=3 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.1	1.2	2.1
		20 $\mu$ s	0.3	2.4	2.2
		30 $\mu$ s	0.4	2.8	2.2
15%		10 $\mu$ s	0.2	1.9	2.5
		20 $\mu$ s	0.5	3.7	2.8
		30 $\mu$ s	0.5	4.4	3.0
20%		10 $\mu$ s	0.3	2.7	3.8
		20 $\mu$ s	0.6	5.1	4.4
		30 $\mu$ s	0.8	6.0	4.6
25%		10 $\mu$ s	0.4	3.4	5.5
		20 $\mu$ s	0.8	6.5	6.2
		30 $\mu$ s	1.0	7.6	6.7
30%		10 $\mu$ s	0.5	4.2	7.1
		20 $\mu$ s	1.0	7.9	8.0
		30 $\mu$ s	1.2	9.3	8.3
35%		10 $\mu$ s	0.6	5.0	9.0
		20 $\mu$ s	1.2	9.4	9.8
		30 $\mu$ s	1.4	10.9	10.2
40%		10 $\mu$ s	0.7	5.8	10.8
		20 $\mu$ s	1.3	10.8	11.8
		30 $\mu$ s	1.6	12.6	12.0
45%		10 $\mu$ s	0.8	6.6	12.9
		20 $\mu$ s	1.5	12.2	13.8
		30 $\mu$ s	1.8	14.2	14.2
50%		10 $\mu$ s	0.9	7.3	14.8
		20 $\mu$ s	1.7	13.6	15.7
		30 $\mu$ s	2.0	15.9	16.0
55%		10 $\mu$ s	1.0	8.1	16.7
		20 $\mu$ s	1.9	15.0	17.7
		30 $\mu$ s	2.2	17.6	18.2
60%		10 $\mu$ s	1.1	9.0	18.9
		20 $\mu$ s	2.1	16.4	20.2
		30 $\mu$ s	2.4	19.2	20.0
65%		10 $\mu$ s	1.2	9.6	20.6
		20 $\mu$ s	2.2	17.9	21.9
		27 $\mu$ s	2.5	20.4	22.7
70%		10 $\mu$ s	1.3	10.5	22.6
		20 $\mu$ s	2.4	19.3	23.8
		25 $\mu$ s	2.7	21.5	24.2
80%		22 $\mu$ s	2.9	23.0	26.2

Table 13. 전기 전도도 0.060 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=25 Hz, t=3 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.1	1.1	2.2
		20 $\mu$ s	0.3	2.3	2.4
		30 $\mu$ s	0.3	2.7	2.5
15%		10 $\mu$ s	0.2	1.8	3.3
		20 $\mu$ s	0.5	3.6	4.0
		30 $\mu$ s	0.5	4.3	4.3
20%		10 $\mu$ s	0.3	2.5	5.6
		20 $\mu$ s	0.6	5.0	6.3
		30 $\mu$ s	0.7	5.8	6.5
25%		10 $\mu$ s	0.4	3.3	7.7
		20 $\mu$ s	0.8	6.4	8.7
		30 $\mu$ s	0.9	7.4	9.0
30%		10 $\mu$ s	0.5	4.0	10.6
		20 $\mu$ s	1.0	7.7	11.1
		30 $\mu$ s	1.1	9.0	11.1
35%		10 $\mu$ s	0.6	4.8	11.8
		20 $\mu$ s	1.1	9.1	13.7
		30 $\mu$ s	1.3	10.6	13.8
40%		10 $\mu$ s	0.7	5.5	14.8
		20 $\mu$ s	1.3	10.4	16.0
		30 $\mu$ s	1.5	12.2	16.7
45%		10 $\mu$ s	0.8	6.3	17.3
		20 $\mu$ s	1.5	11.8	18.6
		30 $\mu$ s	1.7	13.8	18.8
50%		10 $\mu$ s	0.9	7.0	19.9
		20 $\mu$ s	1.7	13.2	21.2
		30 $\mu$ s	1.9	15.4	21.4
55%		10 $\mu$ s	1.0	7.7	22.3
		20 $\mu$ s	1.8	14.6	23.9
		30 $\mu$ s	2.1	17.0	24.3
60%		10 $\mu$ s	1.1	8.5	24.7
		20 $\mu$ s	2.0	15.9	26.1
		30 $\mu$ s	2.3	18.6	26.6
65%		10 $\mu$ s	1.1	9.1	27.3
		20 $\mu$ s	2.2	17.3	29.3
		27 $\mu$ s	2.5	19.8	29.2
70%		10 $\mu$ s	1.2	9.9	29.4
		20 $\mu$ s	2.3	18.7	31.3
		25 $\mu$ s	2.6	20.9	32.1
80%		22 $\mu$ s	2.8	22.4	37.0

Table 14. 전기 전도도 0.080 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=25 Hz, t=3 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.1	1.0	2.4
		20 $\mu$ s	0.3	2.2	2.9
		30 $\mu$ s	0.3	2.6	3.1
15%		10 $\mu$ s	0.2	1.7	4.6
		20 $\mu$ s	0.4	3.5	5.6
		30 $\mu$ s	0.5	4.1	5.8
20%		10 $\mu$ s	0.3	2.3	7.3
		20 $\mu$ s	0.6	4.8	8.3
		30 $\mu$ s	0.7	5.6	8.6
25%		10 $\mu$ s	0.4	3.1	10.1
		20 $\mu$ s	0.8	6.1	11.4
		30 $\mu$ s	0.9	7.2	11.7
30%		10 $\mu$ s	0.5	3.7	13.1
		20 $\mu$ s	0.9	7.4	14.5
		30 $\mu$ s	1.1	8.7	14.7
35%		10 $\mu$ s	0.6	4.4	16.0
		20 $\mu$ s	1.1	8.7	17.4
		30 $\mu$ s	1.3	10.2	17.9
40%		10 $\mu$ s	0.6	5.1	19.1
		20 $\mu$ s	1.3	10.0	20.7
		30 $\mu$ s	1.5	11.8	20.9
45%		10 $\mu$ s	0.7	5.8	22.2
		20 $\mu$ s	1.4	11.4	23.9
		30 $\mu$ s	1.7	13.3	24.0
50%		10 $\mu$ s	0.8	6.5	25.2
		20 $\mu$ s	1.6	12.6	27.4
		30 $\mu$ s	1.9	14.9	28.1
55%		10 $\mu$ s	0.9	7.2	29.0
		20 $\mu$ s	1.7	13.9	31.1
		30 $\mu$ s	2.0	16.3	31.4
60%		10 $\mu$ s	1.0	7.9	31.6
		20 $\mu$ s	1.9	15.3	34.2
		30 $\mu$ s	2.2	17.8	34.5
65%		10 $\mu$ s	1.1	8.4	34.9
		20 $\mu$ s	2.2	16.5	37.4
		27 $\mu$ s	2.4	18.9	38.0
70%		10 $\mu$ s	1.2	9.2	37.4
		20 $\mu$ s	2.2	17.8	41.0
		25 $\mu$ s	2.5	20.0	41.0
80%		22 $\mu$ s	2.7	21.4	47.0

Table 15. 전기 전도도 0.100 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=25 Hz, t=3 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.1	0.9	2.9
		20 $\mu$ s	0.3	2.1	3.9
		30 $\mu$ s	0.3	2.5	4.1
15%		10 $\mu$ s	0.2	1.5	5.9
		20 $\mu$ s	0.4	3.3	7.2
		30 $\mu$ s	0.5	3.9	7.4
20%		10 $\mu$ s	0.3	2.2	9.3
		20 $\mu$ s	0.6	4.5	10.9
		30 $\mu$ s	0.7	5.4	11.2
25%		10 $\mu$ s	0.4	2.8	12.7
		20 $\mu$ s	0.7	5.8	14.5
		30 $\mu$ s	0.9	6.8	14.6
30%		10 $\mu$ s	0.4	3.4	16.3
		20 $\mu$ s	0.9	7.1	17.7
		30 $\mu$ s	1.0	8.3	18.3
35%		10 $\mu$ s	0.5	4.1	20.0
		20 $\mu$ s	1.0	8.3	21.4
		30 $\mu$ s	1.2	9.8	21.8
40%		10 $\mu$ s	0.6	4.7	23.2
		20 $\mu$ s	1.2	9.6	25.7
		30 $\mu$ s	1.4	11.2	25.6
45%		10 $\mu$ s	0.7	5.4	26.7
		20 $\mu$ s	1.4	10.9	29.2
		30 $\mu$ s	1.6	12.7	29.4
50%		10 $\mu$ s	0.8	6.1	30.0
		20 $\mu$ s	1.5	12.1	32.9
		30 $\mu$ s	1.8	14.3	33.1
55%		10 $\mu$ s	0.9	6.8	33.8
		20 $\mu$ s	1.7	13.4	36.6
		30 $\mu$ s	2.0	15.7	37.2
60%		10 $\mu$ s	0.9	7.4	36.9
		20 $\mu$ s	1.8	14.7	40.1
		30 $\mu$ s	2.1	17.2	41.2
65%		10 $\mu$ s	1.0	7.9	40.5
		20 $\mu$ s	2.0	15.9	44.4
		27 $\mu$ s	2.3	18.2	45.6
70%		10 $\mu$ s	1.1	8.6	44.2
		20 $\mu$ s	2.1	17.1	48.7
		25 $\mu$ s	2.4	19.2	49.0
80%		22 $\mu$ s	2.6	20.4	59.1

Table 16. 전기 전도도 0.001 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=50 Hz, t=1 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.2	1.6	2.1
		20 $\mu$ s	0.4	2.8	2.1
		30 $\mu$ s	0.4	3.3	2.1
15%		10 $\mu$ s	0.3	2.6	2.1
		20 $\mu$ s	0.5	4.4	2.1
		30 $\mu$ s	0.6	5.1	2.1
20%		10 $\mu$ s	0.4	3.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.7	6.0	2.1
		30 $\mu$ s	0.9	7.0	2.1
25%		10 $\mu$ s	0.6	4.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.9	7.6	2.1
		30 $\mu$ s	1.1	8.8	2.2
30%		10 $\mu$ s	0.7	5.4	2.2
		20 $\mu$ s	1.2	9.2	2.3
		30 $\mu$ s	1.3	10.7	2.3
35%		10 $\mu$ s	0.8	6.4	2.5
		20 $\mu$ s	1.3	10.8	2.5
		30 $\mu$ s	1.6	12.5	2.6
40%		10 $\mu$ s	0.9	7.4	3.0
		20 $\mu$ s	1.6	12.4	3.0
		30 $\mu$ s	1.8	14.4	3.0
45%		10 $\mu$ s	1.0	8.4	3.6
		20 $\mu$ s	1.8	14.0	3.6
		30 $\mu$ s	2.0	16.3	3.6
50%		10 $\mu$ s	1.2	9.3	4.2
		20 $\mu$ s	2.0	15.6	4.2
		30 $\mu$ s	2.3	18.1	4.3
55%		10 $\mu$ s	1.3	10.3	4.9
		20 $\mu$ s	2.2	17.2	4.9
		30 $\mu$ s	2.5	19.9	5.0
60%		10 $\mu$ s	1.4	11.3	6.0
		20 $\mu$ s	2.3	18.8	6.0
		30 $\mu$ s	2.7	21.8	6.0
65%		10 $\mu$ s	1.5	12.2	6.6
		20 $\mu$ s	2.6	20.4	6.7
		27 $\mu$ s	2.9	23.2	6.8
70%		10 $\mu$ s	1.6	13.2	7.4
		20 $\mu$ s	2.7	22.0	7.4
		25 $\mu$ s	3.0	24.3	7.4
80%		22 $\mu$ s	3.3	26.2	9.3

Table 17. 전기 전도도 0.001 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=50 Hz, t=2 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.2	1.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.3	2.8	2.1
		30 $\mu$ s	0.4	3.3	2.1
15%		10 $\mu$ s	0.3	2.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.5	4.3	2.1
		30 $\mu$ s	0.6	5.1	2.1
20%		10 $\mu$ s	0.4	3.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.7	5.9	2.1
		30 $\mu$ s	0.9	6.9	2.1
25%		10 $\mu$ s	0.6	4.4	2.1
		20 $\mu$ s	0.9	7.5	2.2
		30 $\mu$ s	1.1	8.7	2.2
30%		10 $\mu$ s	0.7	5.4	2.3
		20 $\mu$ s	1.1	9.1	2.3
		30 $\mu$ s	1.3	10.6	2.3
35%		10 $\mu$ s	0.8	6.3	2.6
		20 $\mu$ s	1.3	10.7	2.6
		30 $\mu$ s	1.6	12.4	2.6
40%		10 $\mu$ s	0.9	7.3	3.1
		20 $\mu$ s	1.6	12.3	3.1
		30 $\mu$ s	1.8	14.3	3.2
45%		10 $\mu$ s	1.0	8.3	3.7
		20 $\mu$ s	1.7	13.9	3.8
		30 $\mu$ s	2.0	16.1	3.8
50%		10 $\mu$ s	1.2	9.2	4.5
		20 $\mu$ s	1.9	15.5	4.5
		30 $\mu$ s	2.2	17.9	4.5
55%		10 $\mu$ s	1.3	10.2	5.2
		20 $\mu$ s	2.1	17.0	5.2
		30 $\mu$ s	2.5	19.8	5.3
60%		10 $\mu$ s	1.4	11.1	6.1
		20 $\mu$ s	2.3	18.6	6.1
		30 $\mu$ s	2.7	21.6	6.2
65%		10 $\mu$ s	1.5	12.1	6.9
		20 $\mu$ s	2.5	20.2	6.9
		27 $\mu$ s	2.9	23.0	6.9
70%		10 $\mu$ s	1.6	13.0	7.0
		20 $\mu$ s	2.7	21.7	7.7
		25 $\mu$ s	3.0	24.2	7.7
80%		22 $\mu$ s	3.2	26.0	9.4



Table 18. 전기 전도도 0.001 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=50 Hz, t=3 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.2	1.6	2.1
		20 $\mu$ s	0.4	2.8	2.1
		30 $\mu$ s	0.4	3.3	2.1
15%		10 $\mu$ s	0.3	2.6	2.1
		20 $\mu$ s	0.5	4.4	2.1
		30 $\mu$ s	0.6	5.1	2.1
20%		10 $\mu$ s	0.4	3.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.7	6.0	2.1
		30 $\mu$ s	0.9	6.9	2.1
25%		10 $\mu$ s	0.6	4.4	2.1
		20 $\mu$ s	0.9	7.5	2.2
		30 $\mu$ s	1.1	8.8	2.2
30%		10 $\mu$ s	0.7	5.4	2.3
		20 $\mu$ s	1.1	9.1	2.4
		30 $\mu$ s	1.3	10.6	2.4
35%		10 $\mu$ s	0.8	6.4	2.7
		20 $\mu$ s	1.3	10.7	2.7
		30 $\mu$ s	1.5	12.4	2.7
40%		10 $\mu$ s	0.9	7.3	3.3
		20 $\mu$ s	1.5	12.3	3.3
		30 $\mu$ s	1.8	14.2	3.3
45%		10 $\mu$ s	1.0	8.3	3.9
		20 $\mu$ s	1.7	13.9	4.0
		30 $\mu$ s	2.0	16.0	4.0
50%		10 $\mu$ s	1.2	9.2	4.7
		20 $\mu$ s	1.9	15.4	4.7
		30 $\mu$ s	2.2	17.9	4.8
55%		10 $\mu$ s	1.3	10.2	5.5
		20 $\mu$ s	2.1	17.0	5.5
		30 $\mu$ s	2.5	19.7	5.6
60%		10 $\mu$ s	1.4	11.1	6.3
		20 $\mu$ s	2.3	18.6	6.4
		30 $\mu$ s	2.7	21.5	6.4
65%		10 $\mu$ s	1.5	12.1	7.1
		20 $\mu$ s	2.5	20.2	7.2
		27 $\mu$ s	2.9	22.9	7.2
70%		10 $\mu$ s	1.6	13.0	8.0
		20 $\mu$ s	2.7	21.7	8.0
		25 $\mu$ s	3.0	24.1	8.0
80%		22 $\mu$ s	3.2	25.9	9.7

Table 19. 전기 전도도 0.001 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=50 Hz, t=4 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.2	1.6	2.1
		20 $\mu$ s	0.4	2.8	2.1
		30 $\mu$ s	0.4	3.3	2.1
15%		10 $\mu$ s	0.3	2.6	2.1
		20 $\mu$ s	0.5	4.4	2.1
		30 $\mu$ s	0.6	5.1	2.1
20%		10 $\mu$ s	0.4	3.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.7	6.0	2.1
		30 $\mu$ s	0.9	6.9	2.1
25%		10 $\mu$ s	0.6	4.5	2.2
		20 $\mu$ s	0.9	7.5	2.2
		30 $\mu$ s	1.1	8.7	2.2
30%		10 $\mu$ s	0.7	5.4	2.3
		20 $\mu$ s	1.1	9.1	2.4
		30 $\mu$ s	1.3	10.6	2.4
35%		10 $\mu$ s	0.8	6.4	2.7
		20 $\mu$ s	1.3	10.7	2.7
		30 $\mu$ s	1.5	12.4	2.7
40%		10 $\mu$ s	0.9	7.3	3.3
		20 $\mu$ s	1.5	12.3	3.3
		30 $\mu$ s	1.8	14.2	3.3
45%		10 $\mu$ s	1.0	8.3	4.0
		20 $\mu$ s	1.7	13.9	4.0
		30 $\mu$ s	2.0	16.0	4.0
50%		10 $\mu$ s	1.1	9.2	4.7
		20 $\mu$ s	1.9	15.4	4.8
		30 $\mu$ s	2.2	17.9	4.8
55%		10 $\mu$ s	1.3	10.2	5.5
		20 $\mu$ s	2.1	17.0	5.6
		30 $\mu$ s	2.5	19.7	5.6
60%		10 $\mu$ s	1.4	11.1	6.3
		20 $\mu$ s	2.3	18.6	6.4
		30 $\mu$ s	2.7	21.5	6.4
65%		10 $\mu$ s	1.5	12.1	7.1
		20 $\mu$ s	2.5	20.2	7.2
		27 $\mu$ s	2.9	22.9	7.2
70%		10 $\mu$ s	1.6	13.0	8.0
		20 $\mu$ s	2.7	21.7	8.0
		25 $\mu$ s	3.0	24.1	8.0
80%		22 $\mu$ s	3.2	25.8	9.7

Table 20. 전기 전도도 0.001 S/m 용수 사용시 회분식 처리조에서의 펄스 특성 측정  
(f=50 Hz, t=5 s)

% power	Setting		Electric field strength (kV/cm)	Peak Voltage (kV)	Peak Current (A)
		pulse width			
10%		10 $\mu$ s	0.2	1.6	2.1
		20 $\mu$ s	0.4	2.8	2.1
		30 $\mu$ s	0.4	3.3	2.1
15%		10 $\mu$ s	0.3	2.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.5	4.4	2.1
		30 $\mu$ s	0.6	5.1	2.1
20%		10 $\mu$ s	0.4	3.5	2.1
		20 $\mu$ s	0.7	5.9	2.1
		30 $\mu$ s	0.9	6.9	2.1
25%		10 $\mu$ s	0.6	4.4	2.2
		20 $\mu$ s	0.9	7.5	2.2
		30 $\mu$ s	1.1	8.7	2.2
30%		10 $\mu$ s	0.7	5.4	2.3
		20 $\mu$ s	1.1	9.1	2.3
		30 $\mu$ s	1.3	10.5	2.4
35%		10 $\mu$ s	0.8	6.3	2.7
		20 $\mu$ s	1.3	10.7	2.7
		30 $\mu$ s	1.5	12.3	2.7
40%		10 $\mu$ s	0.9	7.3	3.2
		20 $\mu$ s	1.5	12.2	3.3
		30 $\mu$ s	1.8	14.2	3.3
45%		10 $\mu$ s	1.0	8.2	3.9
		20 $\mu$ s	1.7	13.8	4.0
		30 $\mu$ s	2.0	16.0	4.0
50%		10 $\mu$ s	1.1	9.2	4.7
		20 $\mu$ s	1.9	15.4	4.7
		30 $\mu$ s	2.2	17.8	4.8
55%		10 $\mu$ s	1.3	10.1	5.5
		20 $\mu$ s	2.1	16.9	5.5
		30 $\mu$ s	2.5	19.6	5.5
60%		10 $\mu$ s	1.4	11.1	6.3
		20 $\mu$ s	2.3	18.5	6.3
		30 $\mu$ s	2.7	21.4	6.4
65%		10 $\mu$ s	1.5	12.0	7.1
		20 $\mu$ s	2.5	20.0	7.1
		27 $\mu$ s	2.8	22.8	7.2
70%		10 $\mu$ s	1.6	12.9	7.9
		20 $\mu$ s	2.7	21.6	7.9
		25 $\mu$ s	3.0	23.9	8.0
80%		22 $\mu$ s	3.2	25.8	9.6

## 나. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추 세포막 투과도 측정

펄스전기장 처리가 홍고추의 내부구조에 미치는 영향을 알아보기 위해 펄스처리 전후 홍고추로부터 용출되는 이온의 농도를 측정하였다. 펄스처리한 홍고추와 무처리 대조군을 동일양의 증류수에 침지시켜 시간에 따른 용액 중 Conductivity의 증가를 측정하였다 (Fig 9). 실험결과 무처리 홍고추의 경우 8 시간이 흐른 후에도 용액 중 이온 농도의 차가 크지 않음을 확인 할 수 있었다. 1 kV/cm, 2 kV/cm, 2.5 kV/cm 펄스전기장 처리한 홍고추의 경우 용액 중 이온농도가 빠르게 증가하였으며 8 시간이 경과 했을 때에는 각각 1.25, 2.70, 3.90 S/m 값에 이르렀음을 관찰하였다.

무처리 대조군의 경우 세포막의 파괴가 없어 이온이 용출되지 않은 것으로 판단된다. 하지만 홍고추를 각각 1 kV/cm, 2 kV/cm, 2.5 kV/cm 의 조건에서 펄스 전기장 처리한 후 수용액상으로 용출되는 이온의 양을 측정한 결과를 살펴보면, 가해진 펄스 전기장의 세기에 비례하여 이온 농도가 빠르게 증가하고 있음을 확인 할 수 있다.

이러한 특징을 통해 펄스 전기장 처리가 홍고추 세포막 구조에 변화를 가져왔으며 그로 인해 홍고추 세포내 이온물질이 비특이적으로 용출되고 있음을 확인했다. 펄스 전기장에 의한 세포막의 선택적 붕괴는 세포 내외부로의 물질전달 속도를 증가시킬 것으로 예상된다. 따라서 홍고추 내부의 수분을 외부로 전달하여야 하는 건조 속도 증가를 예상 할 수 있다.

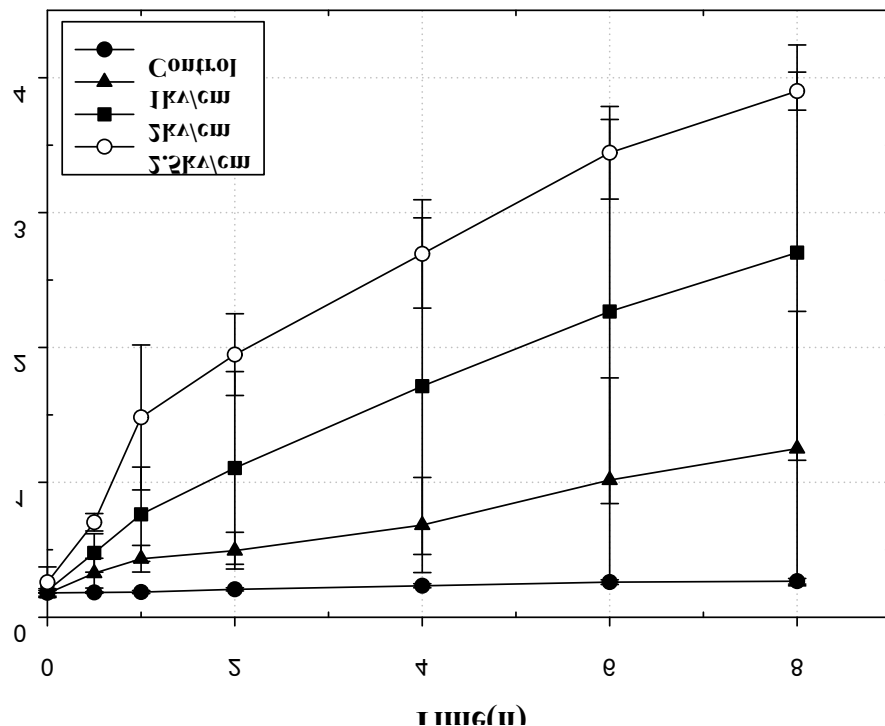


Fig. 9. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추로부터 이온성분 용출 (세포막 투과도)

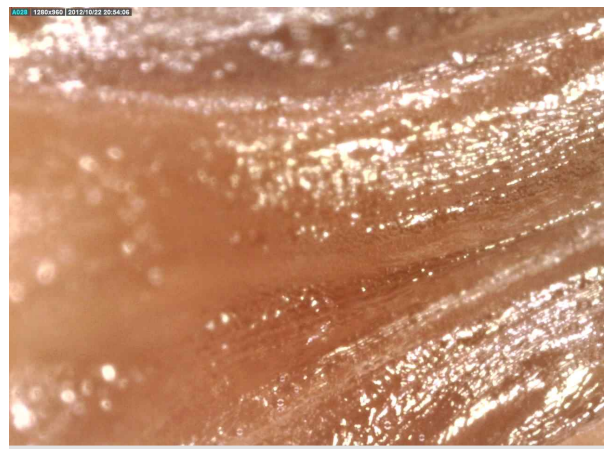
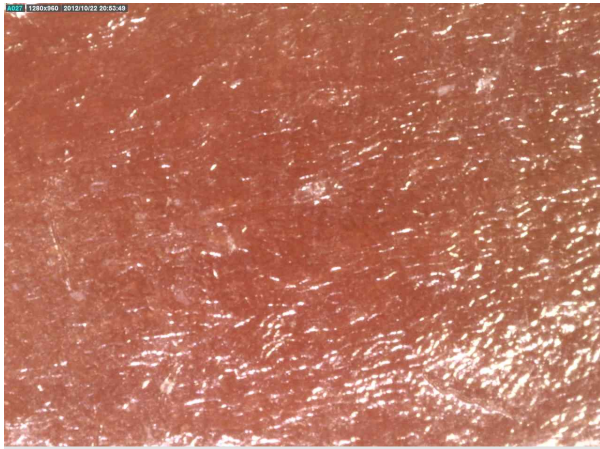
#### 다. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추 외형 변화 관찰

홍고추를 2.5 kV/cm, 50 Hz 의 펄스 전기장 하에서 각각 1, 3, 5 초간 처리 한 후 홍고추 내·외조직의 특성을 관찰하였다 (Fig 10-1~4).

Digital scope (Dino Lite, Taiwan) 를 이용하여  $\times 100$  혹은  $\times 210$  배율로 관찰하여 펄스 전기장 처리 전후 홍고추의 내·외표면을 관찰한 결과 외관상의 큰 차이는 확인할 수 없었다. 따라서 펄스전기장의 홍고추 처리가 홍고추 분자적 수준에서 홍고추 세포막을 파괴할 수는 있으나 현미경 수준이나 일반인이 외관을 관찰할 경우 구분할 수 있는 특이한 변화를 일으키지는 않는 것으로 판단되었다.

##### 1) 무처리 홍고추의 외형적 특징

처리하지 않은 홍고추의 외 표면 ( $\times 210$ )      처리하지 않은 홍고추의 내 표면 ( $\times 210$ )



처리하지 않은 홍고추의 외 표면 ( $\times 100$ )

처리하지 않은 홍고추의 내 표면 ( $\times 100$ )

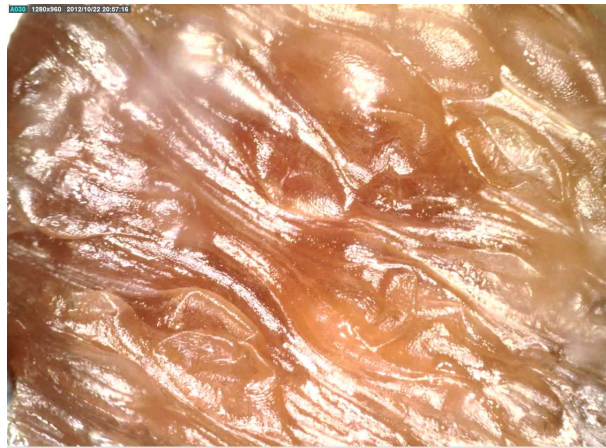
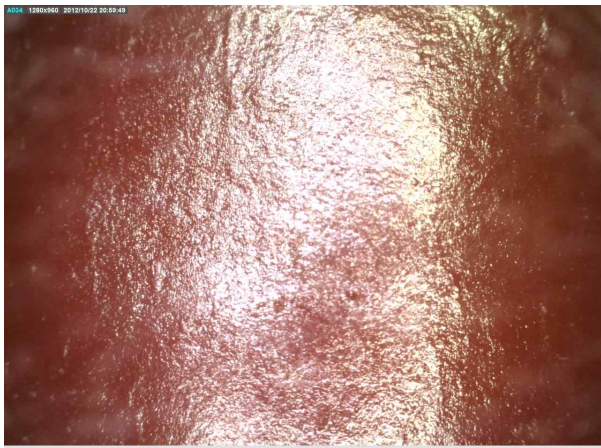


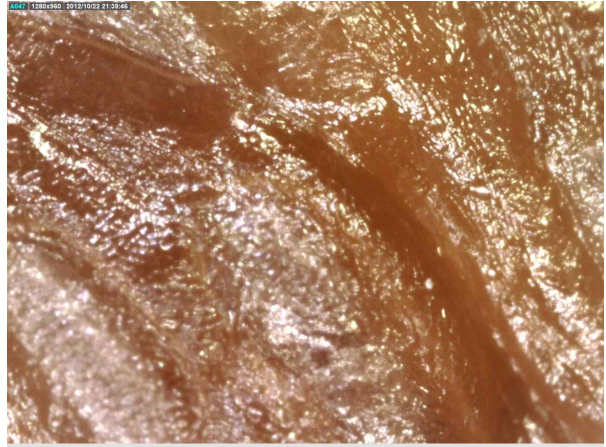
Fig. 10-1. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 내·외부 표면 관찰



2) PEF (2.5 kV/cm, 50 Hz, 1 s) 처리한 홍고추의 외형적 특징

PEF 처리 홍고추의 외 표면 (×210)

PEF 처리 홍고추의 내 표면 (×210)



PEF 처리 홍고추의 외 표면 (×100)

PEF 처리 홍고추의 내 표면 (×100)



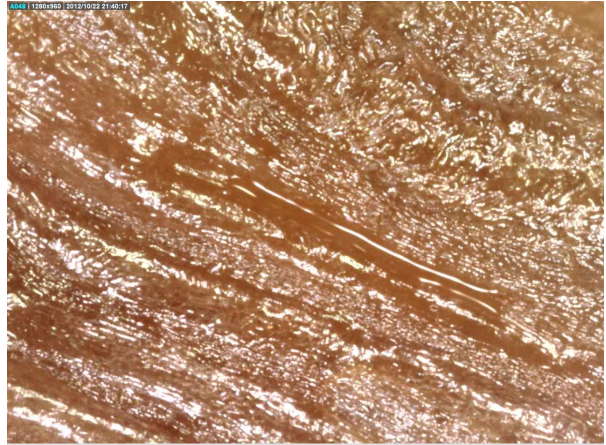
Fig. 10-2. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 내·외부 표면 관찰



3) PEF (2.5 kV/cm, 50 Hz, 3 s) 처리한 홍고추의 외형적 특징

PEF 처리 홍고추의 외 표면 (×210)

PEF 처리 홍고추의 내 표면 (×210)



PEF 처리 홍고추의 외 표면 (×100)

PEF 처리 홍고추의 내 표면 (×100)



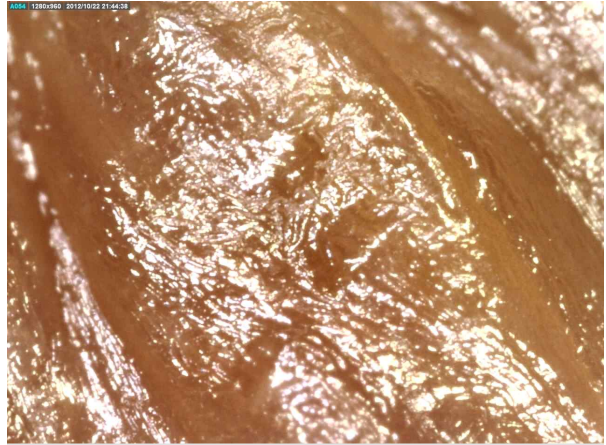
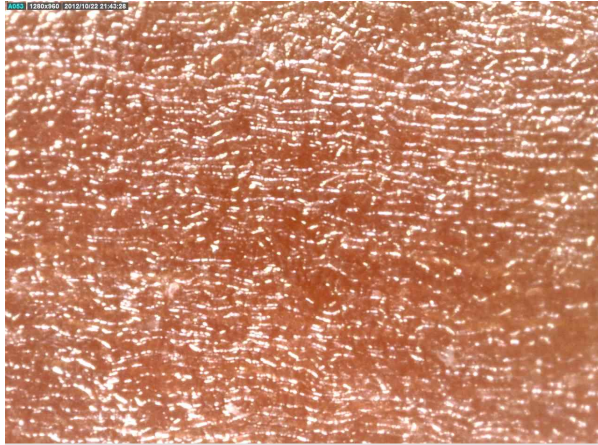
Fig. 10-3. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 내·외부 표면 관찰



4) PEF (2.5 kV/cm, 50 Hz, 5 s) 처리한 홍고추의 외형적 특징

PEF 처리 홍고추의 외 표면 (×210)

PEF 처리 홍고추의 내 표면 (×210)



PEF 처리 홍고추의 외 표면 (×100)

PEF 처리 홍고추의 내 표면 (×100)



Fig. 10-4. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 내·외부 표면 관찰



라. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조속도 증가 검증

(1) Field strength의 차이에 따른 홍고추의 수분함량

선별된 홍고추를 사용하여 1, 1.5, 2, 3 kV/cm의 전기장 하에서 3 초간 처리함 (Table 21). 이후 처리된 홍고추는 표면의 물기를 제거한 후 70 °C의 drying oven에서 25 hr 동안 건조되며 일정 시간 간격으로 무게를 측정하여 건조 속도를 검증한다 (Fig 11).

홍고추에 가해진 펄스전기장의 세기가 클수록 홍고추의 수분 함량이 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 무처리 홍고추의 경우, 70 °C에서 7시간 건조 후 약 55%의 수분함량을 보이지만 2.5 kV/cm의 PEF 처리군의 경우 30%의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다 (Fig 11).

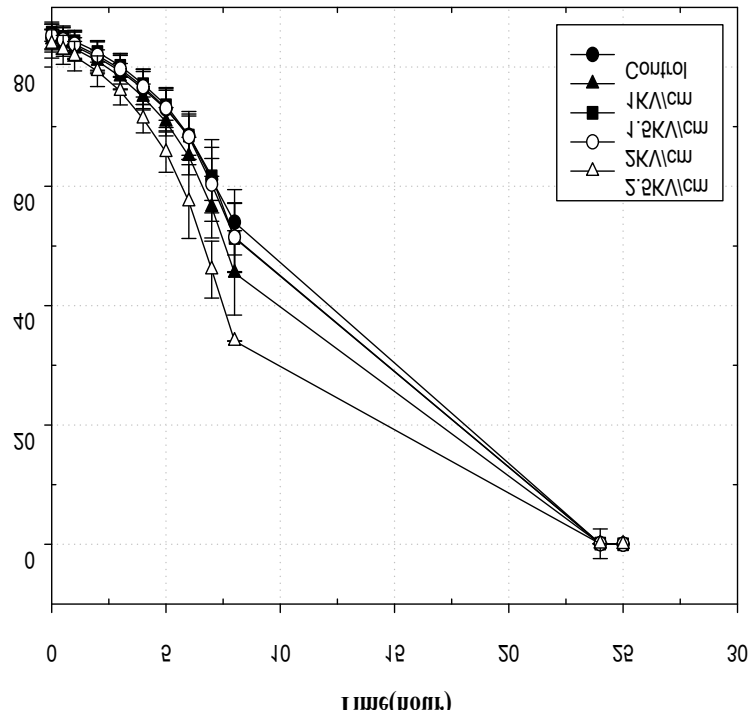


Fig. 11. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조

Table 21. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pulse width( $\mu$ s)	Frequency(Hz)	Time(second)
1	25	30	25	3
1.5	35	30	25	3
2	55	20	25	3
2.5	65	20	25	3

## (2) Field strength의 차이에 따른 홍고추의 수분함량

선별된 홍고추를 사용하여 1, 1.5, 2.5 kV/cm의 전기장 하에서 3초간 처리했다 (Table 22). 이후 처리된 홍고추는 표면의 물기를 제거한 후 70 °C의 drying oven에서 25 hr 동안 건조되며 일정 시간 간격으로 무게를 측정하여 수분함량을 Wet basis 기준으로 측정했다 (Fig 12).

홍고추에 가해진 펄스전기장의 세기가 클수록 홍고추의 수분함량이 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 무처리 홍고추의 경우, 70 °C에서 9시간 건조 후 약 45%의 수분함량을 보이지만 2.5 kV/cm의 PEF 처리군의 경우 21%의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다 (Fig 12).

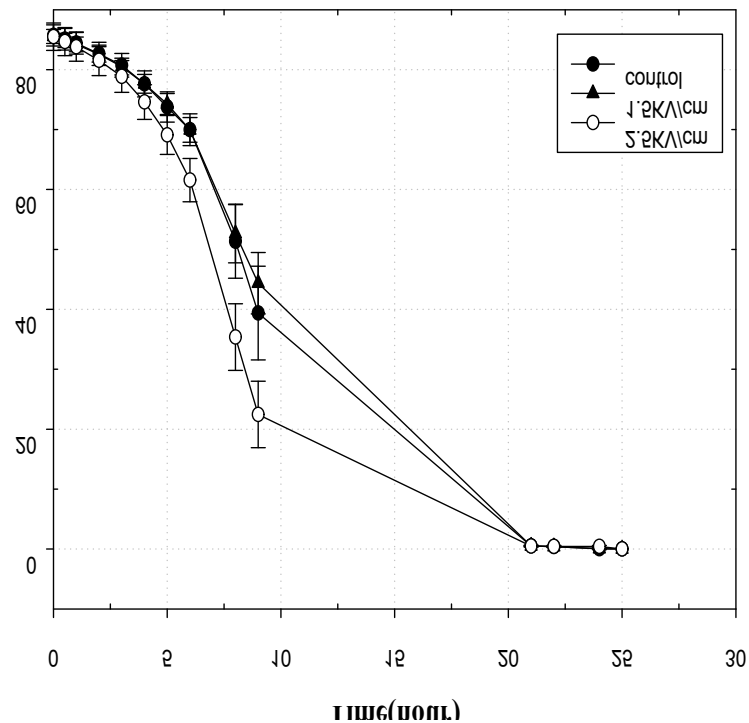


Fig. 12. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조

Table 22. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pulse width( $\mu$ s)	Frequency(Hz)	Time(second)
1	25	30	25	3
1.5	35	30	25	3
2.5	65	20	25	3

### (3) 처리시간의 차이에 따른 홍고추의 수분함량

선별된 홍고추를 사용하여 2.5 kV/cm 의 전기장 하에서 1, 3, 5 초간 처리함 (Table 23). 이후 처리된 홍고추는 표면의 물기를 제거한 후 70 °C 의 drying oven에서 24 hr 동안 건조되며 일정 시간 간격으로 무게를 측정하여 건조 속도를 검증했다 (Fig 12).

홍고추에 가해진 펄스전기장의 세기가 클수록 홍고추의 수분 함량이 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 무처리 홍고추의 경우, 70 °C 에서 9 시간 건조 후 약 72% 의 수분함량을 보이지만 2.5 kV/cm의 PEF 처리군의 경우 59%의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다 (Fig 13).

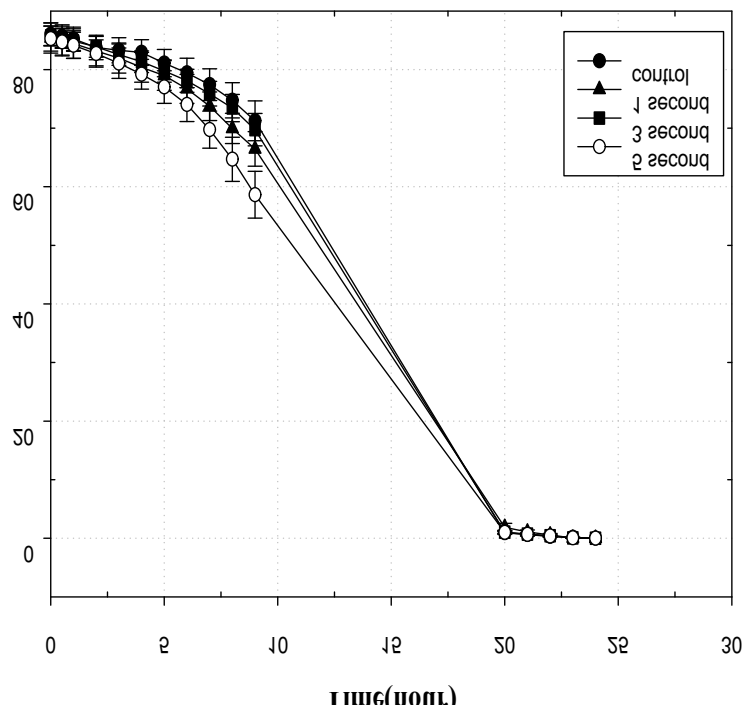


Fig. 13. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조

Table 23. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pulse width( $\mu$ s)	Frequency(Hz)	Time(second)
2.5	55	30	50	1
2.5	55	30	50	3
2.5	55	30	50	5

#### (4) 처리시간의 차이에 따른 홍고추의 수분함량

선별된 홍고추를 사용하여 2.5 kV/cm의 전기장 하에서 1, 3, 5 초간 처리했다 (Table 24). 이후 처리된 홍고추는 표면의 물기를 제거한 후 70°C의 drying oven에서 22 hr 동안 건조되며 일정 시간 간격으로 무게를 측정하여 수분함량을 Wet basis 기준으로 측정했다 (Fig 14).

홍고추에 가해진 펄스전기장의 세기가 클수록 홍고추의 수분 함량이 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 무처리 홍고추의 경우, 70 °C에서 9 시간 건조 후 약 35%의 수분함량을 보이지만 2.5 kV/cm의 PEF 처리군의 경우 15%의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다 (Fig 14).

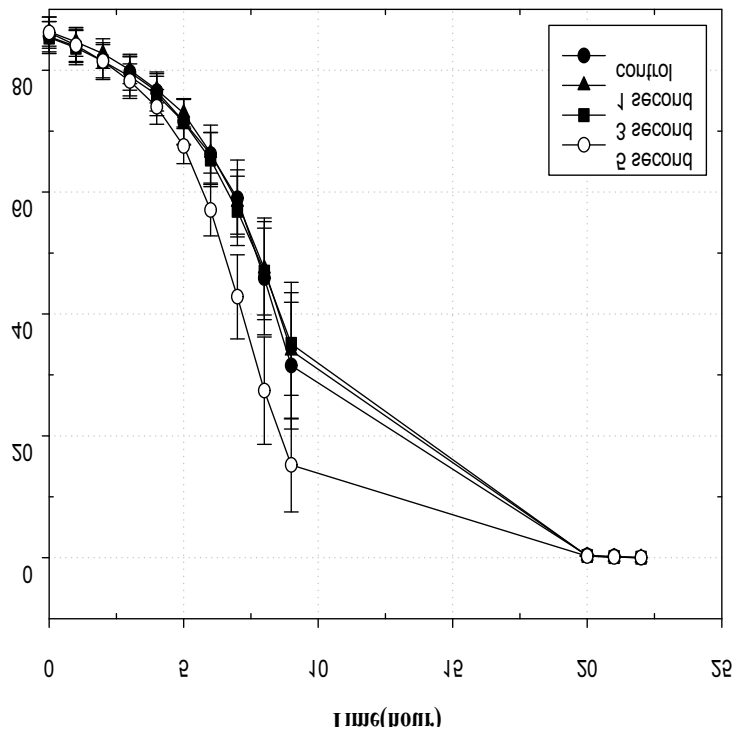


Fig. 14. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조

Table 24. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pulse width(μs)	Frequency(Hz)	Time(second)
2.5	55	30	50	1
2.5	55	30	50	3
2.5	55	30	50	5

### (5) 처리시간의 차이에 따른 홍고추의 수분함량

선별된 홍고추를 사용하여 2.5 kV/cm 의 전기장 하에서 1, 3, 5 초간 처리함 (Table 25). 이후 처리된 홍고추는 표면의 물기를 제거한 후 70 °C 의 drying oven에서 26 hr 동안 건조되며 일정 시간 간격으로 무게를 측정하여 건조 속도를 검증했다 (Fig 15).

홍고추에 가해진 펄스전기장의 세기가 클수록 홍고추의 수분 함량이 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 무처리 홍고추의 경우, 70 °C 에서 12 시간 건조 후 약 26% 의 수분함량을 보이지만 2.5 kV/cm의 PEF 처리군의 경우 18%의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다 (Fig 15).

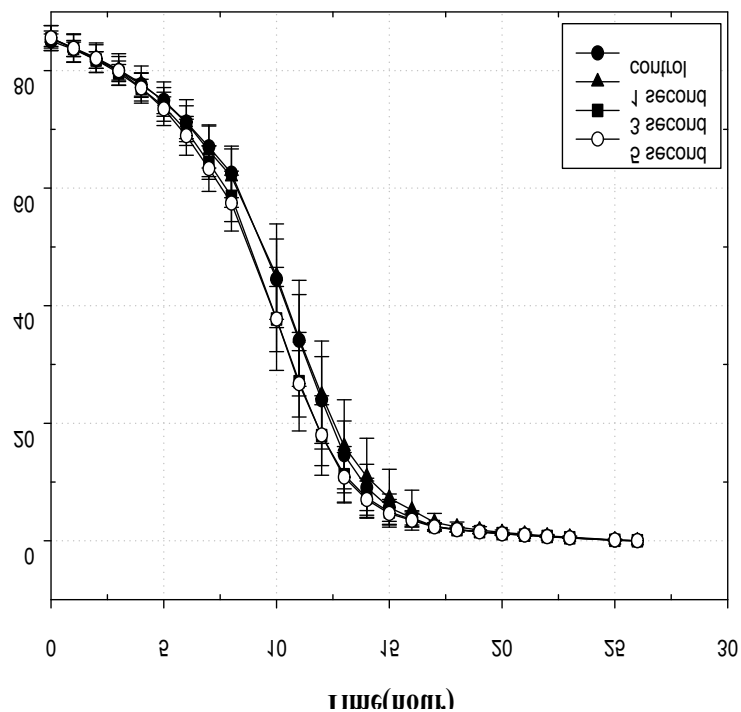


Fig. 15. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조

Table 25. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pulse width( $\mu$ s)	Frequency(Hz)	Time(second)
2.5	55	30	50	1
2.5	55	30	50	3
2.5	55	30	50	5

## (6) 처리시간의 차이에 따른 홍고추의 수분함량

선별된 홍고추를 사용하여 2.5 kV/cm 의 전기장 하에서 1, 3, 5 초간 처리함 (Table 26). 이후 처리된 홍고추는 표면의 물기를 제거한 후 70 °C 의 drying oven에서 26 hr 동안 건조되며 일정 시간 간격으로 무게를 측정하여 건조 속도를 검증했다 (Fig 16).

홍고추에 가해진 펄스전기장의 세기가 클수록 홍고추의 수분 함량이 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 무처리 홍고추의 경우, 70 °C 에서 12 시간 건조 후 약 24% 의 수분함량을 보이지만 2.5 kV/cm의 PEF 처리군의 경우 15%의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다 (Fig 16).

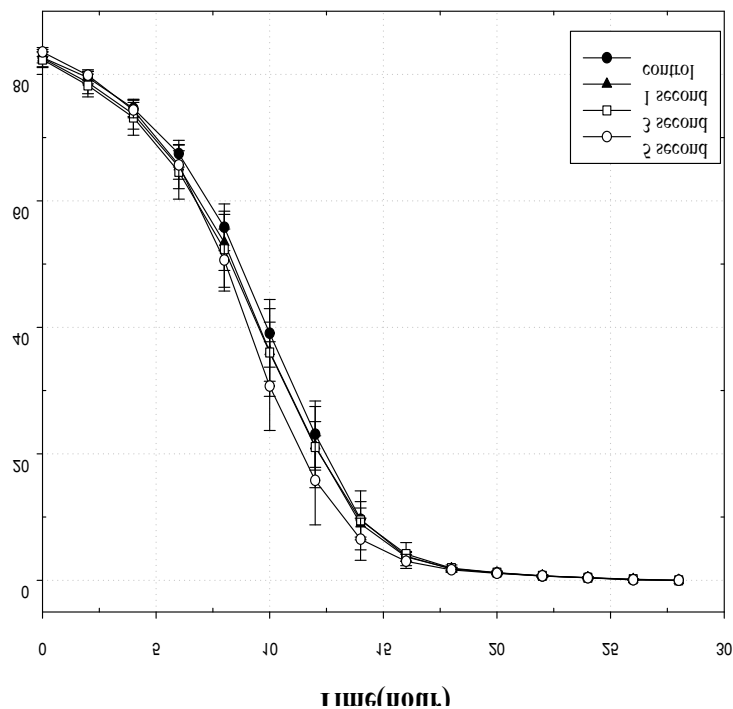


Fig. 16. 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조

Table 26. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pulse width( $\mu$ s)	Frequency(Hz)	Time(second)
2.5	55	30	50	1
2.5	55	30	50	3
2.5	55	30	50	5

## 마. 홍고추의 연속형 펄스처리를 위한 처리조건 최적화

### (1) 홍고추의 연속형 펄스처리를 위한 Electric field strength 최적화

펄스전기장을 이용한 홍고추의 가속건조를 위해 펄스전기장 처리조건 중 최적의 Electric field strength를 선정하는 실험을 수행하였다. 펄스반복수(Frequency, 25Hz)와 펄스처리시간(Duration of pulse, 3s)을 고정하였으므로 시료에 가해지는 총 펄스수는 75 pulses로 고정되었다. 이러한 조건에서 시료에 가해지는 Electric field strength를 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 2.5 kV/cm 의 강도로 조정하여 처리하였다 (Table 27).

건조 중 홍고추의 수분함량은 (Eq 3)의 식으로 계산한다. 시료의 초기 수분함량은 약 83-85% (w.b.) 이다. 시료에 가해진 Electric field strength의 세기가 클수록 시료의 수분함량이 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다 (Fig. 17). 예를 들어 무처리 시료의 경우, 70°C 에서 수분함량(MR)이 0.2 가 되는 시간이 약 7.8 시간이 걸리는 반면 2.5 kV/cm 의 펄스전기장 처리군의 경우 6.3 시간에 0.2의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다. 이는 처리하지 않은 시료 대비 약 20% 건조속도의 향상을 보여 준다. 펄스전기장 처리한 시료의 수분함량의 변화는 무처리 시료에 비해 빠르게 감소하며, 평형수분 함량의 도달 시간 또한 짧다. 그 이유는 펄스전기장 처리를 하는 동안 홍고추의 세포막의 선택적 붕괴를 가져와 시료의 수분이 초반에 급격히 감소하면서 건조속도가 증가 한다 (Ade-Omowaye et al., 2003).

건조속도의 계산은 수식 (Eq 5)의 방법으로 계산하였으며, 그 결과는 Fig 18.에 나타내었다. 건조속도는 2.5 kV/cm 의 조건으로 펄스전기장 처리한 시료가 초반에 빠른 수분의 건조로 같은 시간 대비 수분함량이 낮은 것을 확인 했다. 펄스전기장 처리 대비 1, 1.5, 2 kV/cm 와 무처리 시료의 건조속도의 유의적 차이점을 볼 수 없었으나 2.5 kV/cm 조건은 무처리 시료와 통계적으로 유의적인 차이점을 보였다(Fig 19). 따라서 홍고추의 연속형 펄스처리를 위한 Electric field strength 최적 처리 조건은 2.5 kV/cm 로 선정되었다.

Table 27. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pluse width( $\mu$ s)	Frequency(Hz)	Time(second)
1	25	30	25	3
1.5	35	30	25	3
2	55	20	25	3
2.5	65	20	25	3

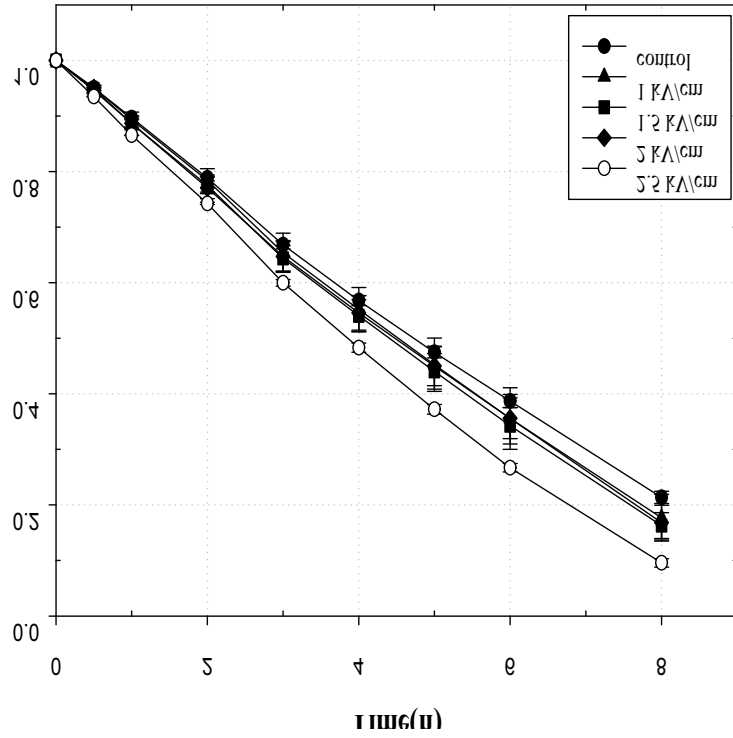


Fig. 17. Field strength (kV/cm) 차이에 따른 홍고추의 수분함량 변화

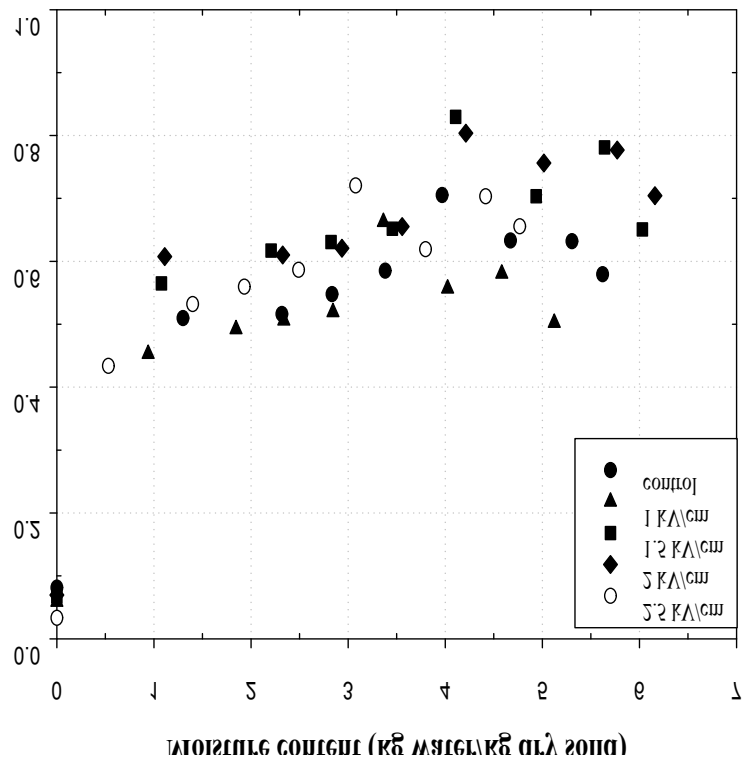


Fig. 18. Field strength (kV/cm) 차이에 따른 홍고추의 건조속도



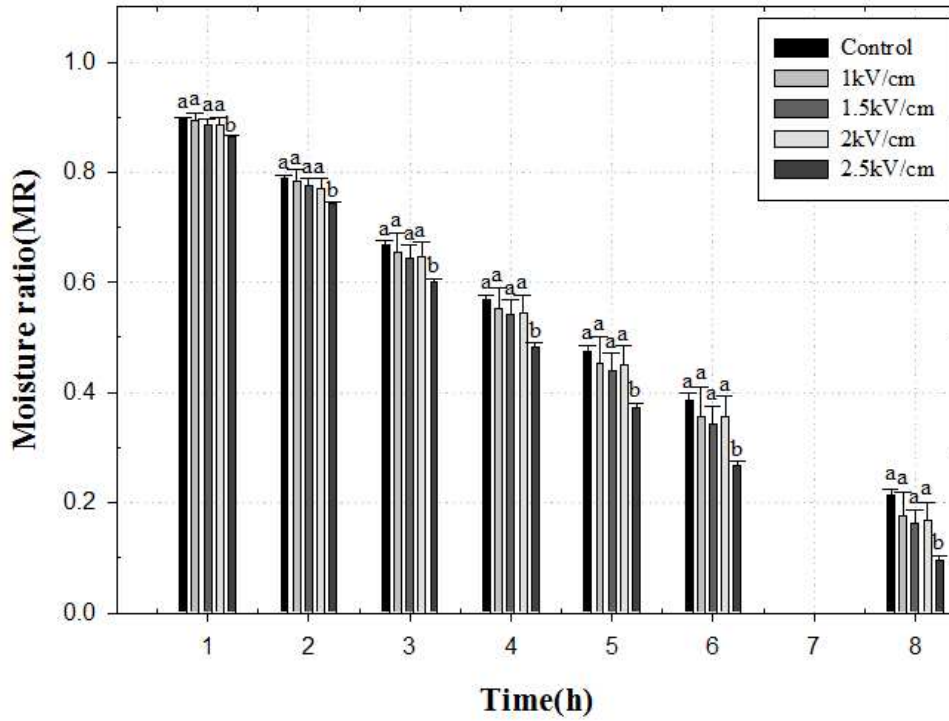


Fig. 19. Duncan's multiple range test 분석한 Electric field strength (kV/cm) 조건에 따른 홍고추의 수분함량 변화

## (2) 홍고추의 연속형 펄스처리를 위한 펄스반복주기(Pulse frequency, Hz)와 펄스처리시간(Duration of pulse, s) 최적화

펄스전기장을 이용한 홍고추의 가속건조를 위해 펄스전기장 처리조건 중 최적의 펄스반복주기(Pulse frequency, Hz)와 펄스처리시간(Duration of pulse, s)을 선정하는 실험을 수행하였다. Electric field strength는 앞의 실험에서 최적 조건으로 확립된 2.5 kV/cm의 세기를 사용하였으며 펄스반복주기(Pulse frequency,  $f$ )의 조건은 100, 200Hz를 사용하였으며 펄스처리시간을 1, 2, 4 초로 조정하였다(Table 28). 이때 시료에 가해지는 총 펄스수는 100 Hz의 경우 100, 200, 400 pulses에 해당하며 200 Hz의 경우 200, 400, 800 pulses에 해당한다.

실험결과 시료에 가해진 Pulse frequency와 전기장의 세기가 일정 할 때 처리시간에 따라 시료의 수분함량이 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 무처리 시료의 경우, 45 °C 에서 수분함량(MR)이 0.15 가 되는데 약 4.8 시간이 걸리는 반면 Field strength 2.5 kV/cm, Frequency 100 Hz 의 펄스전기장 처리한 시료의 경우 4 초 처리 기준 3.1 시간에 0.15 의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다. 이는 처리하지 않은 시료 대비 약 35% 의 건조속도 향상을 보여 준다 (Fig 20). 또한 Field strength 2.5 kV/cm, Frequency 200 Hz 의 조건으로 처리 했을 때, 무처리 시료의 경우 수분함량(MR)이 0.15 에 도달하는데 4.4 시간이 걸렸다. 펄스전기장 처리한 시료의 경우 4 초 처리 기준 3.0 시간에 수분함량이 0.15 에 도달함을 확인했다. 이는 처리하지 않은 시료 대비 약 32% 의 건조속도의 향상을 보여 준다 (Fig 22).

건조속도의 계산은 수식 (Eq 5)의 방법으로 계산하였으며, 그 결과는 Fig 21.에 나타내었다. 건조속도는 Field strength 2.5 kV/cm, Frequency 100 Hz 의 조건으로 펄스전기장 처리한 시료가 수분함량 대비 높은 건조속도 값을 보여준다. 처리시간이 길어짐에 따라 건조속도의 증가를 확인했다 (Fig 21). Field strength 2.5 kV/cm, Frequency 200 Hz 의 조건 역시 처리시간이 길어짐에 따라 건조속도의 증가를 확인 할 수 있다 (Fig 23).

수분함량에 따른 건조속도의 차이에 대해 Duncan's multiple range test를 이용하여 비교 하였다. Frequency 100 Hz 의 조건으로 펄스전기장 처리한 시료는 무처리한 시료에 비교했을 때 수분함량의 유의적인 감소를 확인 할 수 있다. 펄스처리시간에 따른 수분함량의 감소는 1, 2, 4 초 처리한 시료가 무처리 대조군에 비해 유의적 차이를 보였으며 2 초와 4 초 처리한 시료의 경우 통계적 유의성이 없어 처리시간 2 초를 최적의 처리시간으로 설정하였다(Fig 24).

Frequency 200 Hz 의 조건으로 펄스전기장 처리한 시료의 경우에도 무처리한 시료에 비교했을 때 수분함량의 유의적인 감소를 확인 할 수 있다. 펄스처리시간에 따른 수분함량의 감소는 1, 2, 4 초 처리한 시료가 무처리 대조군에 비해 유의적 차이를 보였으며 2 초와 4 초 처리한 시료의 경우 통계적 유의성이 없어 처리시간 2 초를 최적의 처리시간으로 설정하였다(Fig 25).

Table 28. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pluse width( $\mu$ s)	Frequency(Hz)	Time(second)
2.5	55	30	100	1
2.5	55	30	100	2
2.5	55	30	100	4
2.5	55	30	200	1
2.5	55	30	200	2
2.5	55	30	200	4

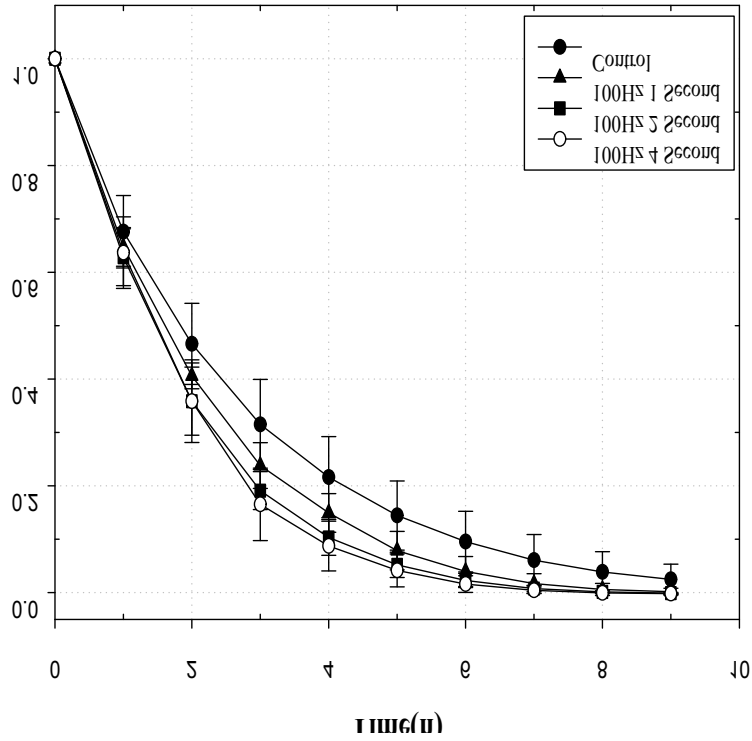


Fig. 20. Frequency 100 Hz 펄스전기장 처리한 홍고추의 건조에 따른 수분함량 변화

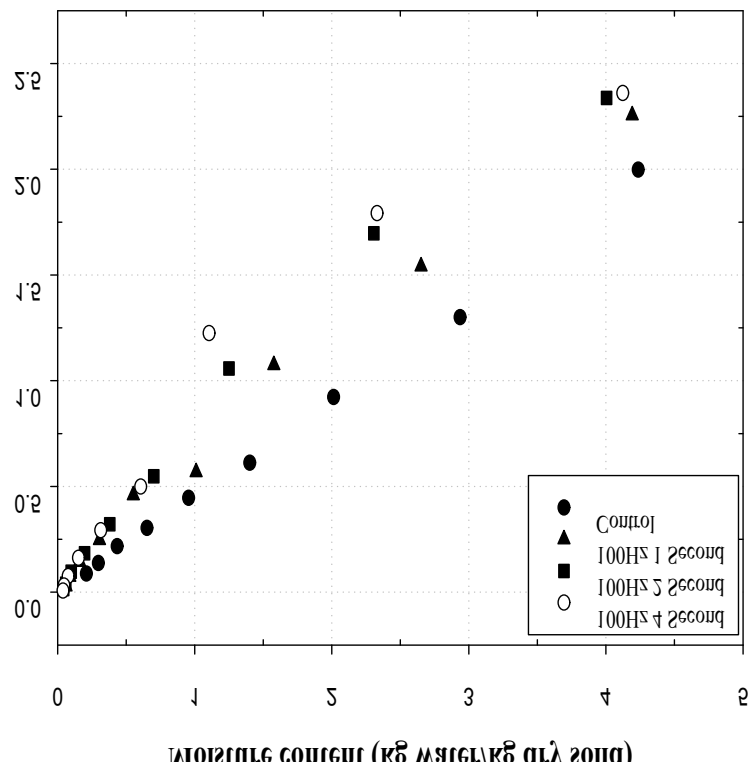


Fig. 21. Frequency 100Hz 펄스전기장 처리한 홍고추의 건조속도

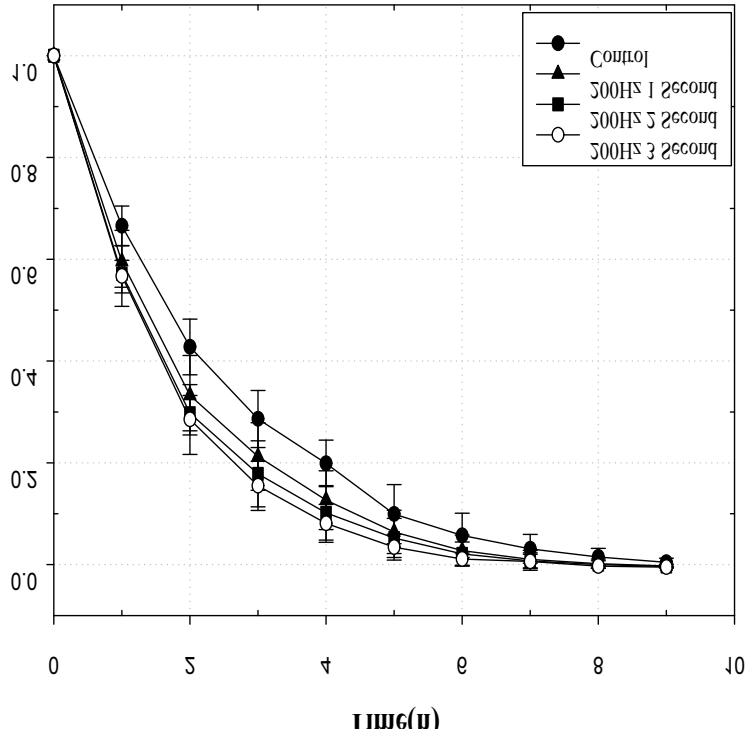


Fig. 22. Frequency 200Hz 펄스전기장 처리한 홍고추의 건조에 따른 수분함량 변화

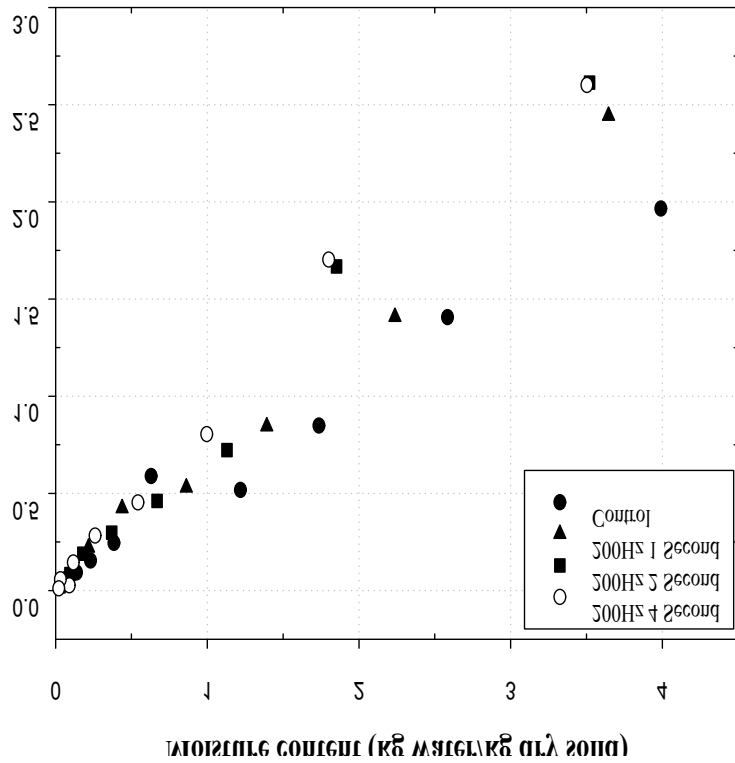


Fig. 23. Frequency 200Hz 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조속도

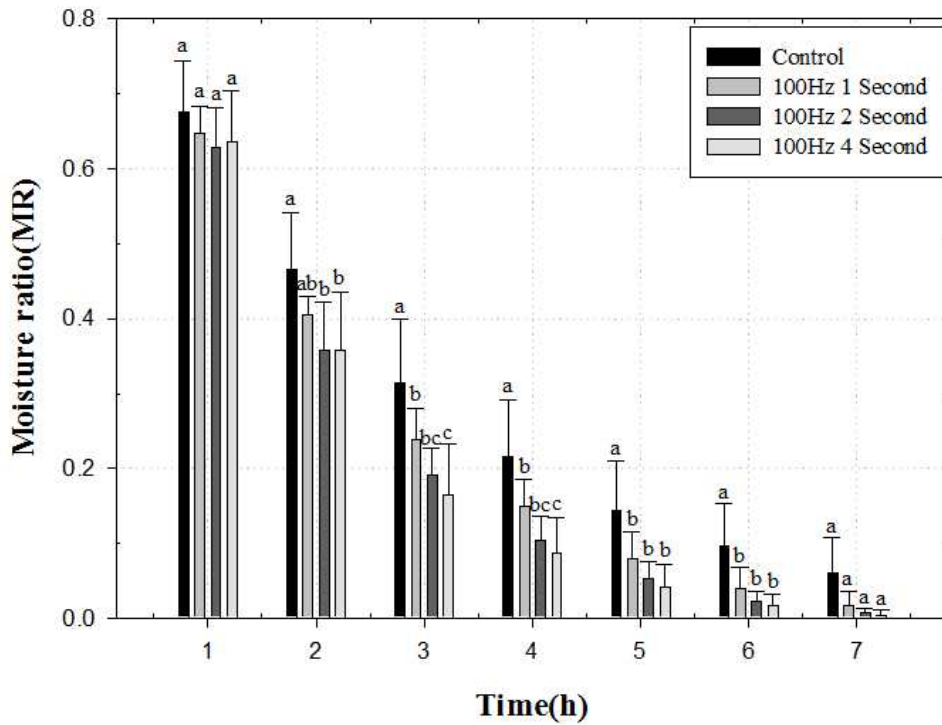


Fig. 24. Duncan's multiple range test 분석한 Frequency 100Hz 펄스전기장 처리한 홍고추의 수분함량 변화

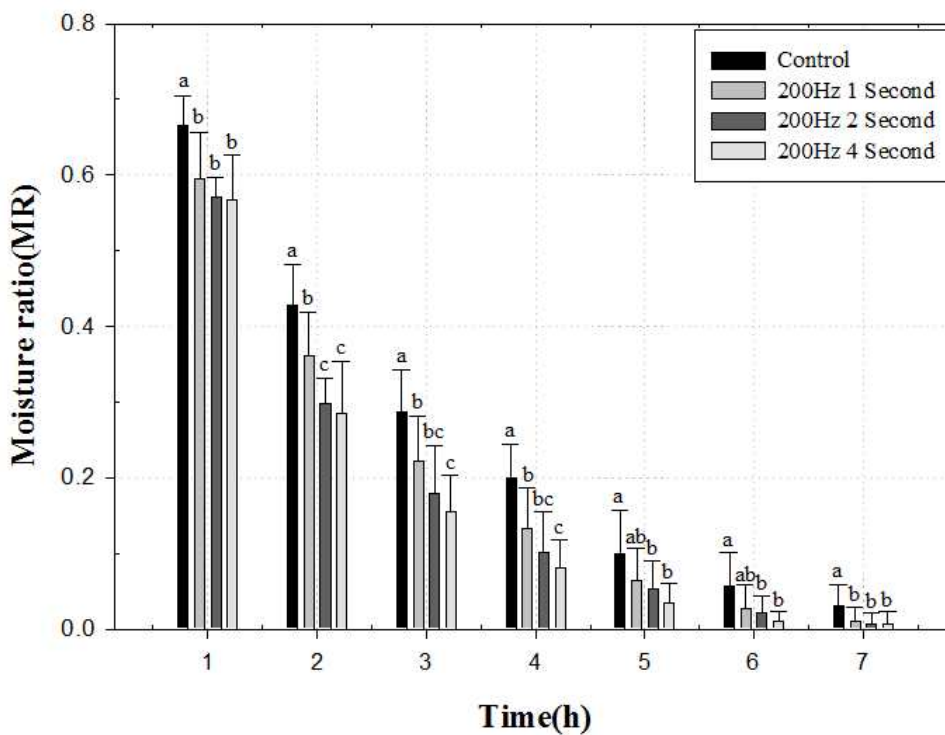


Fig. 25. Duncan's multiple range test 분석한 Frequency 200 Hz 펄스전기장 처리한 홍고추의 수분함량 변화

#### 마. 선정된 최적조건을 활용한 홍고추의 연속형 펄스처리

##### (1) 최적조건에서 홍고추의 연속형 펄스처리와 건조속도 증가효과

선정된 2가지의 최적조건(Table 29)을 활용하여 홍고추의 연속형 펄스처리를 수행하였다. 연속형 펄스처리장치는 회분형 처리장치와 동일한 크기의 electrode (9.0×14.0×8.0 cm)를 갖추고 있으며 이송시스템은 7 cm/s 로 조절되었다. 따라서 회분식 처리조건에서 설정된 최적조건은 변화없이 연속식 시스템에 적용할 수 있었다.

홍고추를 사용하여 Electric field strength 2.5 kV/cm의 전기장 하에서 Pulse frequency 100, 200 Hz, 2 초간 처리했다 (Table 29). 건조 중 홍고추의 수분함량은 수식 (Eq 4)의 식으로 계산한다. 실험결과 시료에 가해진 Frequency의 세기가 일정 수준 이상 높아져도 건조속도의 차이가 나타나지 않는 것을 확인 했다. 무처리 시료의 경우, 45 °C 에서 수분함량(MR)이 0.15 가 되는데 약 3.7 시간이 걸리는 반면 Field strength 2.5 kV/cm, Frequency 100, 200 Hz 의 펄스전기장 처리한 시료의 경우 두 가지 조건 모두 약 2.6 시간에 0.15 의 수분함량은 보이고 있음을 확인했다. 이는 처리하지 않은 시료 대비 약 30%의 건조속도 향상을 보여 준다(Fig 26).

건조속도의 계산은 수식 (Eq 5)의 방법으로 계산하였으며, 그 결과는 Fig 27.에 나타내었다. 건조속도는 Field strength 2.5 kV/cm, Frequency 100, 200 Hz 의 조건으로 펄스전기장 처리한 시료가 무처리한 시료와 수분함량 대비 높은 건조속도 값을 보여준다 (Fig 27).

수분함량에 따른 건조속도의 차이에 대해서는 Duncan's multiple range test를 이용하여 비교 하였다. Frequency 100, 200 Hz 의 조건으로 펄스전기장 처리한 시료는 무처리한 시료에 비교했을 때 수분함량의 유의적인 감소를 확인 할 수 있다 (Fig 28). Frequency 100, 200 Hz 펄스전기장 조건으로 처리한 시료의 시간에 따른 수분함량의 유의적 차이를 확인했다. 분석결과 Frequency 100 Hz, 2 초 처리한 시료와 Frequency 200 Hz, 2초 처리한 시료의 수분함량 및 건조속도의 유의적 차이점을 찾아 볼 수 없기 때문에 전기장 세기 2.5 kV/cm, 전기장 펄스 수 200 pulse (Frequency 100 Hz, 2 초) 처리한 펄스전기장 조건이 홍고추의 가속건조를 위해 가장 적절한 처리 조건으로 판단되었다.

Table 29. 펄스전기장 처리 조건

Field strength(kV/cm)	Out voltage(%)	Pluse width(μs)	Frequency(Hz)	Time(second)
2.5	55	30	100	2
2.5	55	30	200	2

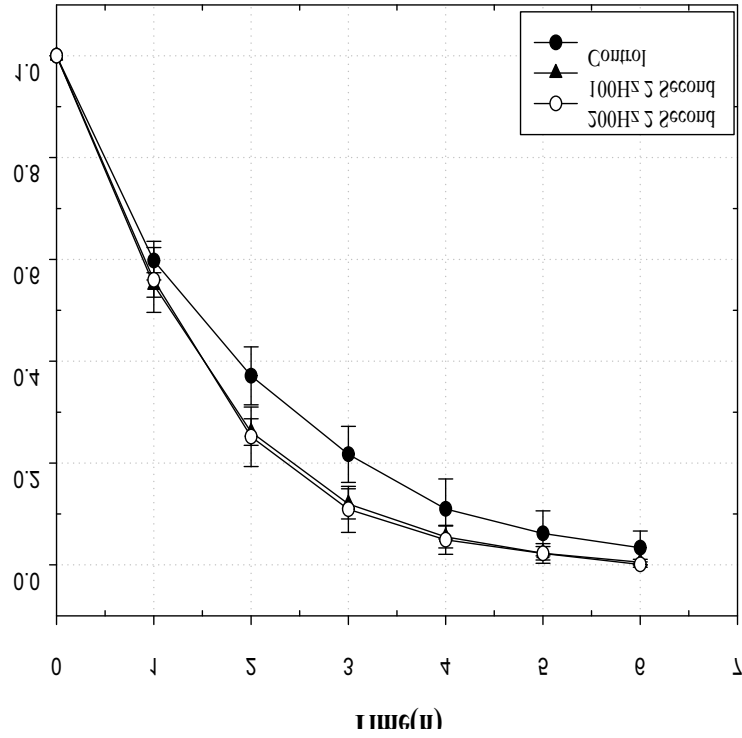


Fig. 26. Frequency 100, 200 Hz 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 수분함량 변화

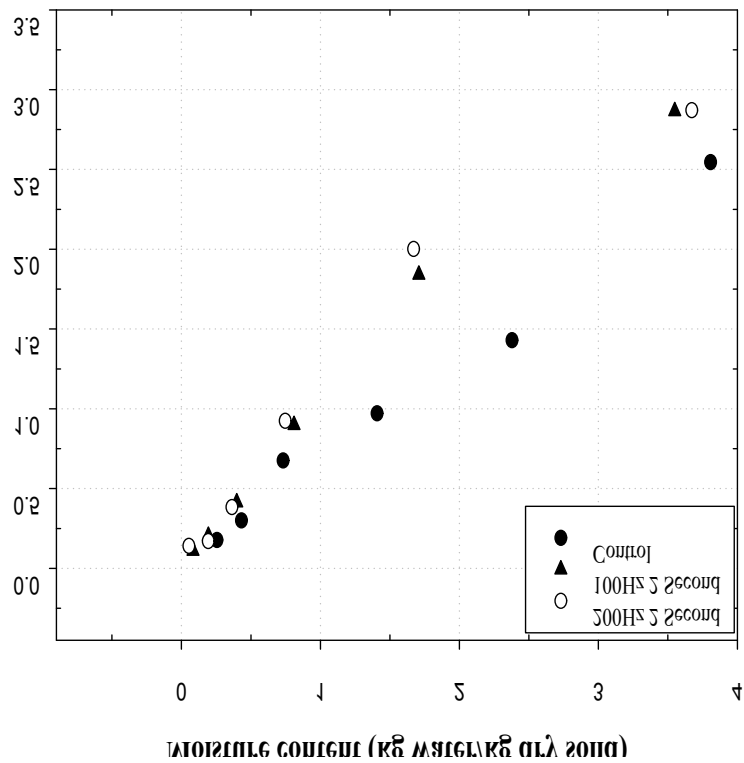


Fig. 27. Frequency 100, 200 Hz 펄스전기장 처리에 따른 홍고추의 건조속도



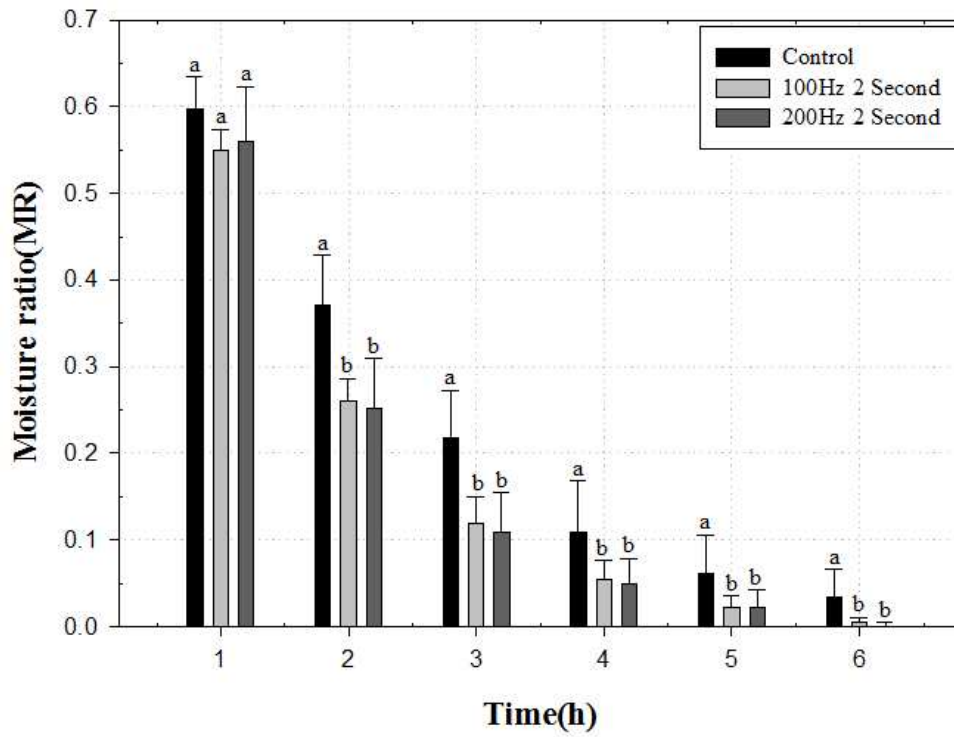


Fig. 28. Duncan's multiple range test 분석한 Frequency 100, 200 Hz 펄스전기장 처리한 홍고추의 수분함량 변화

## (2) 최적조건에서 홍고추의 펄스처리 후 가속건조 모델링

홍고추의 수분함량은 Moisture ratio(수분비)로 바꾸어 Table 7의 5가지 Thin layer 건조 모델식을 이용하여 적합성을 판단하였다. Table 30은 홍고추의 건조속도에 따른 각 모델의 적합성을 비교한 것으로 건조특성을 예측하기 위한 예측 값으로 coefficient of determination( $R^2$ ),  $EMD$  (mean relative percent error),  $MBE$  (mean bias error),  $RMSE$  (root mean square error)를 나타냈다. 홍고추의 thin layer 건조특성을 예측하기에 가장 적합한 모델은 가장 높은  $R^2$  와 가장 낮은  $EMD$ ,  $MBE$ ,  $RMSE$  값을 나타내는데 기준을 두어 선정했다. ( $R^2$ )값은 0과 1사이의 값을 가지며 1일 경우 모든 표본 관측치가 추정된 회귀선상에만 있다는 것을 의미한다.  $R^2$ 는 0.90 보다 클 때 모델식에 잘 맞는다 (Madamba et al., 1996, Erenturk et al., 2004). Table 30에서 각 모델식에 따른  $R^2$ ,  $EMD$ ,  $MBE$ ,  $RMSE$ 의 최소, 최대 값은  $R^2$  0.9953-0.9999,  $EMD$  10.92562-66.47540,  $MBE$  -0.03912-0.04063,  $RMSE$  0.035760-0.061917 의 값을 보였다. 결과 중 가장 높은  $R^2$  및 가장 낮은  $EMD$ ,  $MBE$ ,  $RMSE$  값을 나타낸 모델은 Logarithmic 식으로  $R^2$ ,  $EMD$ ,  $MBE$ ,  $RMSE$  값이 각각 0.9976-0.9989, 10.92562-13.52020, -0.03912-0.02861, 0.036564 ~ 0.053419이다. 이 결과 값은 Page 모델식과도 비슷한 결과를 보이고 있다.  $R^2$ 과  $RMSE$ 의 경우 Page 모델식이 약간 더 높고 낮은 값을 보여주고 있지만 Logarithmic 모델식이  $EMD$ 의 값이 약 4-5정도 더 큰 폭으로 낮은 값을 보여주고 있다. 이에 5가지 모델식 중 홍고추의 건조특성에 적합한 모델은 Logarithmic 모델식이라고 할 수 있다.

Table 30. Values of the drying constants and selected models determined through regression method for frequency(Hz)

Model	Frequency (Hz)	Treatment time (s)	Model constants	$R^2$	$MBE$	$RMSE$	$EMD$
Newton	100	2	$k = 0.5178$	0.9986	0.04065	0.046341	66.47540
	200		$k = 0.6704$	0.9953	-0.03735	0.061917	28.32854
Page	100	2	$k = 0.6008, n = 1.1506$	0.9999	-0.02813	0.035760	14.67760
	200		$k = 0.8564, n = 1.2100$	0.9998	-0.03890	0.048941	18.44536
Logarithmic	100	2	$k = 0.6196, a = 1.0346, c = -0.0283$	<b>0.9989</b>	<b>-0.02861</b>	<b>0.036564</b>	<b>10.92562</b>
	200		$k = 0.6188, a = 1.0436, c = -0.0342$	<b>0.9976</b>	<b>-0.03912</b>	<b>0.053419</b>	<b>13.52020</b>
Two term	100	2	$k = 0.6696, a = 0.5057, b = 0.5057$	0.9976	-0.02694	0.04194	19.70268
	200		$k = 0.6787, a = 0.5076, b = 0.5076$	0.9956	-0.03685	0.060179	27.05147
Modified Henderson and Pabis	100	2	$k = 0.5146, a = 0.8711, b = 0.8711, c = -0.7372, g = 0.5136, h = 0.3699$	0.9993	-0.02921	0.035775	13.19808
	200		$k = 0.6777, a = 0.2554, b = 0.2554, c = 0.5044, g = 0.6777, h = 0.6796$	0.9956	-0.03683	0.060161	27.06114

### (3) 최적조건에서 홍고추의 펄스처리 후 색도 변화 측정

펄스전기장 처리에 따른 색도 측정의 결과는 Table 31에 나타나 있다. 밝기 정도(lightness)를 나타내는 L\*값은 처리하지 않은 홍고추에 비해 100, 200 Hz 처리한 시료의 경우 약간의 밝은 정도의 유의적인 차이를 확인했다. 적색도(redness)를 나타내는 a\* 값의 경우 무처리 시료가 30.79를 보이고 100 Hz는 29.67, 200 Hz는 29.36 값을 확인했다. 이 값은 유의적인 차이를 보이고 있고 펄스전기장 처리의 경우에는 유의적인 차이를 보이지 않고 있다. 황색도(yellowness)를 나타내는 b\* 값의 경우 무처리 시료가 22.85를 보이고 100 Hz는 25.98, 200 Hz는 24.45 값을 확인했다. 이 값은 유의적인 차이를 보이고 있다. 실험 결과 L\* 값은 펄스전기장 처리했을 때 좀더 밝은 색을 나타내고 a\* 값은 펄스전기장을 처리했을 때 약 1 낮은 값을 보여주고, b\* 값은 무처리한 시료보다 펄스전기장 처리한 시료가 더 높은 황색도를 나타내는 것을 확인했다.  $\Delta E$  값은 100 Hz에 비해 200 Hz가 더 낮은 색도의 변화를 나타냈다.

붉은 색의 정도를 나타내는 ASTA 색도는 American Spice Trade Association (ASTA)에서 고춧가루 추출액의 색깔 함량을 분석하는 방법으로, 고춧가루의 품질 지표로 작용하고 있으며, 측정 결과는 Table 31에 나타내었다. 무처리한 홍고추와 100, 200 Hz 펄스전기장 처리한 ASTA는 각각, 136.94, 151.12, 152.52 값이 측정되었다. 미국 양념협회에서 정한 ASTA(American Spice Trade Association)의 규격은 ASTA color value 70 이상을 주요 적색도로 보고, 70-160인 경우에 5-6단계로 품질 분류하고 있다. 한국산업규격(KS)에서 고춧가루의 색상은 ASTA 색도 101-130 이면 보통등급, 131-160 이면 상급, 161 이상 이면 특상으로 구분하고 있다 (Red pepper ground (2008)). 무처리한 시료와 펄스전기장 처리한 시료는 136.9-152.5로 모두 상급에 속하는 색도 값을 가진다. 그러나 무처리한 시료와 펄스전기장 처리한 시료의 색도 차는 14.2-15.58로 상당한 차이를 보여 PEF 처리한 시료가 더 높은 적색도를 보이는 것을 확인했다.

### (3) 최적조건에서 홍고추의 가속건조를 위한 펄스처리 전력량 계산

펄스전기장처리는 매우 짧은 시간동안 처리하므로 전력량의 사용이 크지 않다. 선정된 최적조건에서 펄스처리시 한 시간 가동 중 실제 전력소모시간(Treatment time in s)은 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \text{Treatment time} &= \text{Pulse width (30 } \mu\text{s)} \times \text{Pulse frequency (100 Hz)} \times 1 \text{ hr (3600 s)} \\ &= 10.8 \text{ s/hr} \end{aligned}$$

따라서 최적 조건에서의 한 시간 동안의 전력사용량은 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \text{Work} &= \text{Output voltage(18.4 kV)} \times \text{Output current(9.5 A)} \times \text{Treatment time(10.8 s/hr)} \\ &= 524.4 \text{ W} \end{aligned}$$

Table 31. Color characteristics and ASTA value of PEF treatment red pepper using hot air drying

	Treatment time (s)	L*-value	a*-value	b*-value	$\Delta E$	ASTA
Control		49.91 $\pm$ 0.40 <sup>1)a2)</sup>	30.79 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	22.85 $\pm$ 0.47 <sup>a</sup>	0	136.94 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>
100 Hz	2	50.72 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	29.67 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	25.98 $\pm$ 0.49 <sup>c</sup>	3.42	151.12 $\pm$ 0.72 <sup>b</sup>
200 Hz	2	50.76 $\pm$ 0.43 <sup>b</sup>	29.36 $\pm$ 0.37 <sup>b</sup>	24.45 $\pm$ 0.63 <sup>b</sup>	2.30	152.52 $\pm$ 0.40 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Each value presents the mean  $\pm$  SD.

<sup>2)</sup>Mean with different letters within the column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

## 제 2 절 콜드플라즈마를 이용한 분말식품 살균기술

### 1. 연구방법

#### 가. 콜드 플라즈마 공정변수 확립

##### (1) Lab 장비 최적화

고춧가루(분말고추) 처리에 적용이 가능하고, 에너지 소비를 고려하면서 처리 impedance 에 맞추어 장비 최적화를 수행하였다. 그 결과, cavity chamber, microwave generation parts, gas mass flow rate control, vacuum gauge, vacuum valve 장비들이 최적화되었다 (Table 32).

Table 32. The major specifications of the lab equipment

장 치	주요 사양
Cavity chamber	<ul style="list-style-type: none"> <li>Size: 428.4(W) × 370(H) × 400(L) mm</li> </ul>
Microwave generation parts	<ul style="list-style-type: none"> <li>Magnetron 2M246 (LG electronics Inc., Seoul, Korea)</li> <li>냉각 방식: air cooling, min 0.8 m<sup>3</sup>/min, 상온</li> <li>Power supply: 50-1,000 W</li> </ul>
Gas mass flow rate control	<ul style="list-style-type: none"> <li>MODEL 3660 (Kojima instrument Inc., Osaka, Japan)</li> <li>유량의 범위: 0-20 slm per each</li> <li>적용 수량: 2 lines</li> <li>연결 사양: SUS 304 1/4 tube</li> </ul>
Vacuum gauge	<ul style="list-style-type: none"> <li>Model KC 430 (KVC Co. Ltd., Gyeonggi-do, Korea)</li> <li>측정 범위: 760-1×10<sup>-3</sup> torr</li> </ul>
Vacuum valve	<ul style="list-style-type: none"> <li>Model 2-way electric ball valve (DongjooAP, Incheon, Korea)</li> <li>연결 사양: NW 25 flange</li> </ul>

##### (2) 콜드 플라즈마 공정변수 확립

Table 33에 나타난 사용기체, 처리 전력, 처리시간, 처리압력의 조건을 변수로 정하여 안정적인 플라즈마 형성을 위한 각 변수들의 사용 범위를 실험을 통해 결정하였다. 사용기체들 중 질소-산소 혼합가스 II(99.3 : 0.7)과 헬륨-산소 혼합가스 (99.8 : 0.2)는 각각 Pintassilgo 등 (2007)과 Hong 등 (2009)의 연구결과를 근거로 하여 선정하였다.

Table 33. The range of gas, power, treatment time and pressure for forming stable plasma

사용기체	유속(mL/min)	처리 전력(W)	처리 시간(min)	처리 압력(torr)
질소	1,000	300-900	1-20	2-200
헬륨				
헬륨-산소 혼합가스 (헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2)				
질소-산소 혼합가스 II (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7)	2,500 (2,000 질소: 500 산소)			
질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1)				

#### 나. 콜드 플라즈마 처리에 의한 미생물 살균효과 검증

##### (1) 병원성 미생물(*Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*)에 대한 살균

###### (가) *B. cereus*

###### ① 영양세포

*B. cereus* ATCC 10876, ATCC 13061 그리고 W-1는 tryptic soy broth (TSB, BDTM)에서 각각 증균배양하였다. 각 균주들이 배양된 TSB를 3 회 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하여 세척한 후, 동등한 농도로 만들어 15 mL cornical tube에 담아 cocktail로 제조하였다. 0.1%(w/v) peptone water로 희석하여 약 8 log CFU/mL인 접종원으로 만들었다.

시중에 판매되고 있는 분말고추(고추 잠자리, Goesan)는 고압증기멸균기를 이용하여 121 °C에서 15 분 동안 처리되었다. 멸균된 분말고추 시료 5 g에 1 mL 분무한 후, 1 시간 건조시켰다. 처리전력 900 W에서 10, 20 또는 30 분 동안 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 헬륨-산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)로 콜드 플라즈마 처리를 하였다. 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 tryptic soy agar (TSA, BDTM)에 24 시간 동안 37 °C에서 배양하였다.

###### ② 포자

TSB에 증균배양된 *B. cereus* ATCC 10876, ATCC 13061, 그리고 W-1을 다시 TSA에 도말하여 37 °C에서 5-7 일 동안 배양하였다. 배양된 plate에 2 mL의 0.1%(w/v) peptone water를 분주하여 현탁액을 만들고, 이를 항온수조(water bath)에 넣어 heat shock (80

°C, 10 min)을 하였다. 이 때, 얻은 균액을 8,000 rpm에서 20 분간 4 회 원심분리 하여, 3 가지 균주들을 동등한 농도로 만든 후, 15 mL conical tube (50015, SPL Life Science Co., Pocheon)에 담아 cocktail로 제조하고, 0.1%(w/v) peptone water로 희석하였다. 그 후, 멸균한 유리 sprayer에 농도가 약 8 log spores/mL인 접종원으로 만들었다.

시중에 판매되고 있는 분말고추(고추 잠자리)는 고압증기멸균기를 이용하여 121 °C에서 15 분 동안 처리되었다. 멸균된 시료 5 g에 1 mL 분무한 후, 1 시간 건조시켰다. 접종된 시료는 전력 900 W에서 10, 20 분 동안 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 헬륨-산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)로 처리되었다. 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 TSA에 24 시간 동안 37 °C에서 배양하였다.

#### (나) *Clostridium perfringens*

*C. perfringens* KCCM 40946을 fluid thioglycollate medium (BDTM)에서 혐기적으로 배양 하였다. 이 때, anaerobic jar (BDTM)에 Gas-pak (BDTM, MD, USA)를 넣어 혐기적 조건 을 만들어주었다. 증균된 액체배지를 4,000 rpm에서 20 분간 원심분리(centrifuge)를 한 후, 마지막에 0.1%(w/v) peptone water로 희석하여 접종원을 준비하였다. 멸균한 시료 5 g에 1 mL 분무한 후, 1 시간 동안 건조시키고 처리전력 900 W에서 10 분 동안 질소 가 스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm)로 콜드 플라즈마 처리하였다. 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 tryptose sulfite cycloserine agar (Merk, Darmstadt, Germany)를 이용하여 pour plating하였다. 이는 37 °C에서 24-48 시간 동안 혐기적으로 배양하였다.

### (2) 부패미생물(호기성균, *Aspergillus flavus*)에 대한 살균

#### (가) 호기성균

콜드 플라즈마의 호기성균 저해에 대한 연구는 분말고추와 홍고추를 가지고 진행 하였다.

##### ① 분말고추

피산 농협에서 판매하고 있는 분말고추를 5 g 취하여 호기성 미생물 농도를 알아보았다. 분말고추는 처리 전력 900 W에서 20 분 동안 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 헬륨-산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)로 콜드 플라즈마 처리를 하였다. 처리하지 않은 시료와 처리된 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 plate count agar (BDTM)에 24 시간 동안 37 °C에서 배양하였다.



## ② 홍고추

반 건조 상태인 홍고추의 표면의 호기성 미생물 농도를 알아보았다. 홍고추는 수분함량이 높아 처리 시간에 비례하여 품질변화가 나타날 것으로 사료되어 처리 시간을 최대 10 분으로 정하였다. 처리전력 900 W에서 진행되었고, 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 헬륨-산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)를 사용하였다. 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 PCA에 24 시간 동안 37 °C에서 배양하였다.

### (나) *A. flavus*

*A. flavus* ATCC 200026을 potato dextrose agar (PDA, BDTM)로 만든 사면배지에 도말하여 증균시킨 후, 5-10 mL의 0.1% Tween 80을 넣어 멸균된 loop로 현탁시켰다. 곰팡이의 포자를 취하기 위해 cloth를 이용하여 현탁액을 여과시킨 후, 여과된 부유액을 Hemocytometer (Paul Marienfeld GmbH & Co. KG, Lauda-Königshofen, Germany)로 계수하였다. 0.1%(w/v) peptone water로 희석하여 약 7 log spores/g의 접종원으로 준비하였다.

시중에 판매되고 있는 분말고추(고추 잠자리)는 고압증기멸균기를 이용하여 121 °C에서 15 분 동안 처리되었다. 멸균된 분말고추 시료 5 g에 1 g의 미생물을 접종하여 1 시간 동안 건조시켰다. 건조 후에 처리전력 900 W에서 20 분 동안 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 헬륨-산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)로 콜드 플라즈마 처리되었다. 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 potato dextrose agar(PDA, BDTM)에 2-3 일 동안 25 °C에서 배양하였다.

### (3) 미생물 저해 model 구축 및 model parameter들 결정

분말고추에 접종시킨 *A. flavus*가 비열 플라즈마 처리에 의해 저해되는 현상을 잘 설명하는 모델이 무엇인지 알아보기 위해 1차 반응 속도 모델들(Eq 12, 13), Fermi 모델(Eq 14) (Peleg, 1995), 그리고 Weibull 모델(Eq 15)에 미생물 저해 데이터를 피팅(fitting) 시켰다. 이 때 1 차 반응 속도 모델들과 Fermi 모델은 Minitab 15 (ver. 15, Minitab, Inc., State College, PA) 프로그램을 이용하였고, Weibull 모델은 GInaFiT (Geeraerd and Van Impe Inactivation Model Fitting Tool) 프로그램을 이용하였다. 비열 플라즈마 처리 전과 후의 미생물 농도로 저해되지 않은 미생물 농도( $RM$ )를 구하였다(Eq. 11).

$$RM = A/A \quad (11)$$

$A$ : 처리구의 미생물 농도(log CFU/g),  $A_0$ : 대조구의 미생물 농도(log CFU/g).

$$\ln (RM) = -k E \quad (12)$$

$E$ : 처리 전력(W),  $k_r$ : 1 차 반응상수.

$$\ln (RM) = -k_n t \quad (13)$$

$t$ : 처리 시간(분),  $k_E$ : 1 차 반응상수.

$$RM = \frac{1}{1 + e^{(-E)/a}} \quad (14)$$

$E$ : 처리 전력(W),  $E_r$ :  $RM$ 이 0.5가 되는 처리 전력(W),

$a$ :  $E_r$  주위 곡선의 기울기를 나타내는 인자.

$$\log N = \log N_0 - (t/\delta)^s \quad (15)$$

$\delta$ : 크기 인자,  $s$ : 모양 인자.

#### (4) Lab scale 에서의 미생물 살균 최적조건 확립

모든 실험은 2회 반복되었다. 분산분석법(analysis of variance)으로 각 표본 평균값의 차이를 분석하였고, 유의차가 있는 경우 Duncan 다범위 검증을 실시하였다. 분산분석법과 유의차 검증은 SAS 프로그램(SAS<sup>®</sup> version 9.2, SAS Institute Inc., Raleigh, NC, USA)을 이용하였다. 시료 간의 유의차는 5% 수준에서 검증되었다. *A. flavus* 저해, 처리 전력, 그리고 처리 시간의 상관관계는 SAS의 Pearson correlation을 이용하여 결정하였다. 양배추에 접종시킨 *A. flavus*를 저해할 때 처리 전력과 시간이 주는 영향을 알아보기 위하여 변수가 2개인 중심합성계획법 (two variable second-order center composite RSM design)으로 Minitab (Minitab, Inc.) 프로그램을 이용하여 실험을 계획하였으며, 이때 중심점과 구간을 각각 5 개와 13개로 설정하였다(Table 34) (Nath 등, 2007). 독립변수는 처리 전력 ( $X_1$ , 400, 474, 650, 828, 900 W)과 처리 시간( $X_2$ , 4.0, 6.4, 12.5, 18.6, 20 분)이었다. 실험결과 분석은 SAS 프로그램을 이용한 반응표면분석을 통해 이루어졌으며, 모델 식은 다음과 같이 2차 회귀모형을 사용하였다.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (16)$$

$Y$ 는 종속변수로서 *A. flavus*의 저해농도(log CFU/g)이고,  $b_n$ 는 회귀계수이며,  $X_1$ 와  $X_2$ 는 각각 처리전력(W)과 처리 시간(분)이다. *A. flavus* 저해에 대한 최적 조건은 Minitab의 Response optimizer function을 사용하여 결정하였다. 분산분석법과 회귀분석을 이용하여 모델 인자들( $k_m$ ,  $k_E$ ,  $E_r$ ,  $a$ ) 값들을 예측하였다.

Table 34. Experimental variables and their values for the determination of optimum cold plasma treatment<sup>1)</sup> conditions for inhibiting *A. flavus* on red pepper powder

Experiment Number	Explanatory variables - Treatment power: X <sub>1</sub> , C <sub>1</sub> ; Treatment time: X <sub>2</sub> , C <sub>2</sub>				Response variable
	Coded value		Real value		Reduction (log spores/g)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	
1	-1.4	0	400	12.5	0.5±0.1
2	-1	1	474	18.6	0.6±0.0
3	-1	-1	474	6.4	0.6±0.1
4	0	0	650	12.5	0.7±0.0
5	0	0	650	12.5	0.7±0.1
6	0	0	650	12.5	0.7±0.0
7	0	0	650	12.5	0.7±0.0
8	0	0	650	12.5	0.7±0.0
9	0	1.4	650	20	0.7±0.1
10	0	-1.4	650	4	0.5±0.0
11	1	-1	828	6.4	1.1±0.2
12	1	1	828	18.6	1.4±0.1
13	1.4	0	900	12.5	1.5±0.1

#### (5) 온도 및 수분활성도 측정

분말고추 처리 직전과 직후의 표면 온도는 적외선 온도계(DT 44L, DIAS Infrared GmbH, Dresden, Germany)로 측정하였고, 수분활성도( )는 water activity meter (Pawkit water activity meter, Decagon Devices Inc., WA, USA)를 사용하여 측정하였다.

#### (6) Scanning electron microscoph (SEM)

아무 처리되지 않거나 쿨드 플라즈마 처리된 포자의 세포벽을 비교 관찰하고자 하였다. 관찰용 시료 준비는 Cheng와 Huber (1996)의 방법으로 진행되었다. Polystyrene (PE) dish에 *B. cereus* 포자 접종원 1 mL을 접종한 후 건조시켜 쿨드 플라즈마 처리(헬륨-산소 혼합가스, 900 W, 20 분)하였다. 처리된 후에 0.1%(w/w) peptone water가 첨가된 멸균 백(19×16 cm, Nasco WHIRL-PAK®, WI, USA)에 넣어 액상시료로 만들었다. 만들어진 액상시료를 polycarbonate membrane filter (25-mm diameter, 0.2-μm pore size) (Nuclepore membranes 110606, Whatman, NJ, USA)에 여과시켜 포자를 얻었다. Membrane filter에 있는 포자는 8% glutaraldehyde (16020, PA, USA), 10% formaldehyde (15713), and 0.1 M sodium cacodylate buffer (pH 7.1 at 4 °C) (11652)로 구성된 Karnovsky's 고정액(Karnovsky, 1965)을 이용하여 고정되었다. 고정된 시료는 10 분 간격으로 0.1 M sodium cacodylate buffer로 3회 세척된 후 1% osmium tetroxide (19192)와 0.05 M sodium cacodylate buffer를 이용하여 4 °C에서 2 시간 동안 2차 고정되었다. 시

1) Nitrogen was used as the plasma-forming gas

료는 증류수로 2회 세척된 후, 10 분 간격으로 30, 50, 70, 80, 그리고 100%의 에탄올을 여과시켰다. 마지막 100%의 에탄올의 경우에는 3 회 연속 여과시켰다. 세척된 시료는 100 % hexamethyldisilazane (16700)을 이용하여 24 시간 동안 건조되었다. 건조 후 백금(Pt)로 코팅하여 scanning electron microscopy (Field emission-SEM, FE-SEM, S-4700, Hitachi, Tokyo, Japan)을 사용하여 SEM 이미지를 취하였다.

#### 다. 혼합처리의 미생물 살균에 대한 영향

##### (1) 마이크로웨이브-콜드 플라즈마 동시 처리의 미생물 저해에 대한 영향

###### (가) 위치와 높이 설정

Teflon plate (25 cm × 25 cm)위에 놓인 시료가 어느 위치와 높이에 있을 때 마이크로웨이브-콜드 플라즈마 동시처리의 미생물 저해효과가 가장 높은지 알아보았다.

###### ① 시료 준비

지름 5 cm인 PE dish에 *B. cereus* spores, *Salmonella* Typhimurium, 그리고 *Listeria monocytogenens* 접종원(약 6-8 log CFU/cm<sup>2</sup>)을 100 μL씩 취하여 고르게 스폿팅 (spotting)하였다.

###### ② 콜드 플라즈마 처리(cold plasma treatment, CPT)

Teflon plate 위에 시료가 놓이는 위치에 따른 미생물 저해효과를 알아보기 위하여 Fig. 29와 같이 PE dish를 놓았다. 또한, 챔버 내 시료가 놓이는 높이를 0, 3, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 그리고 27 cm로 증가시키면서 CPT하여 마이크로웨이브-CPT 동시처리(MW-CPT)에 가장 적합한 위치 및 높이를 결정하였다(Fig. 30). 이 때, CPT는 각 미생물의 저해가 가장 높게 발생되었던 사용가스, 처리 전력, 그리고 처리 시간을 이용하여 진행되었다. 처리가 진행되는 동안 식품 표면의 온도 변화를 적외선 온도계로 측정하였다.

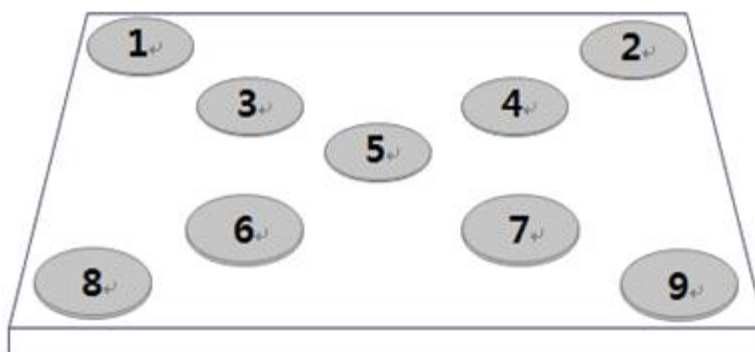


Fig. 29. Sample positions in the cold plasma treatment chamber.

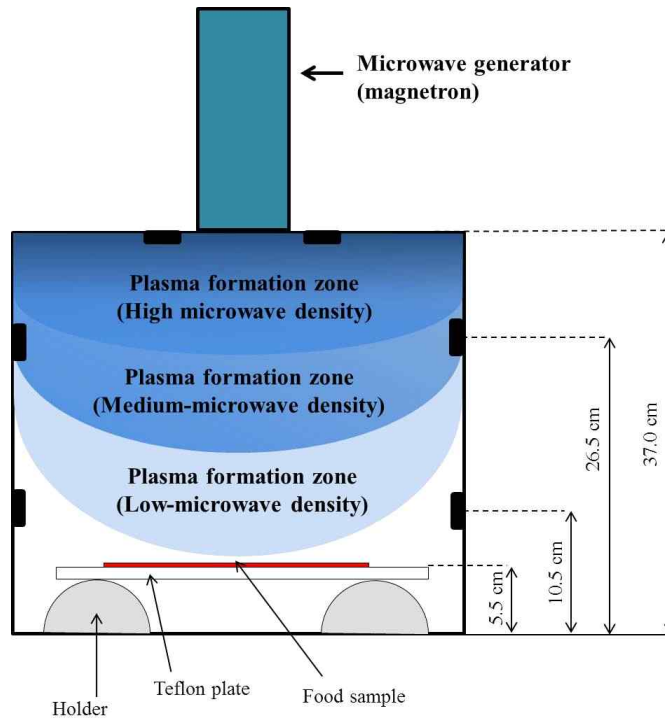


Fig. 30 Schematic diagram of the formation of plasma zones with different microwave densities in the treatment chamber.

### ③ 미생물 분석

처리 전후의 PE dish를 멸균백(Nasco WHIRL-PAK<sup>®</sup>)에 넣은 후에 0.1%(w/v) peptone water을 10 mL을 첨가하여 균이 포화된 액상시료로 만들었다. 액상시료를 희석하여 100  $\mu$ L 취한 후, MYP agar에 37  $^{\circ}$ C에서 48 시간 동안 배양하였고, XLD agar에서는 37  $^{\circ}$ C에서 48 시간 동안 배양하였다. 그리고 70% 에탄올을 이용하여 액상으로 만든 supplement 5 mL이 첨가된 Listeria selective agar (CM0856, Oxoid, Hampshire, UK)에 35  $^{\circ}$ C에서 48 시간 동안 배양하였다.

#### (나) 마이크로웨이브 밀도(microwave powder density) 값 확인

지름 6 cm인 원으로 감열기록지를 자른 후에 처리 챔버 내 0, 12, 15, 20, 21, 24, 27, 그리고 30 cm 높이에서 CPT 하였다. CPT된 감열기록지의 밝기 값을 image j program (Image J, National institute of health, Wayne rasband, USA)으로 측정한 후 최고 저해효과가 나타난 높이에서 생성된 마이크로웨이브의 밀도 값을 알아내었다.

## (2) 열 병합 처리의 미생물 저해에 대한 영향

### (가) 열 처리 방법의 미생물 저해에 대한 효과

#### ① 분말 고추와 비분말 고추 시료 준비

분말 고추는 피산농협에서 판매되고 있는 분말고추 A와 본 실험실에서 피산으로부터 구매한 비분말 고추를 이용하여 만든 분말고추 B로 총 2 가지 종류의 샘플이 준비되었다.

분말 고추 A는 85 °C에서 2 시간 동안 원적외선 건조(7-20 μm)된 고추를 분말화한 것이고, 분말 고추 B 시료는 펀칭기를 이용하여 분말화(0.5 cm × 0.5 cm)하였다(Fig. 31. (A)). 비분말 고추는 121 °C에서 15 분 동안 멸균시킨 가위를 이용하여 1.5 cm × 1.5 cm 크기로 잘라 준비하였다(Fig. 31. (B)).

② *B. cereus* spores 접종

분말 고추 A의 경우에는 기존에 존재하는 미생물을 사멸시키기 위해 121 °C에서 15 분 동안 멸균시킨 후, 5 g 취하여 접종원 1 mL (약 8 log spores/mL)을 분무 접종하였다. 분말 고추 B와 비분말 고추의 경우에는 미생물이 검출되지 않아 접종 전에 멸균처리하지 않고, 접종원 10 μL을 표면에 스폿팅하여 접종시켰다.

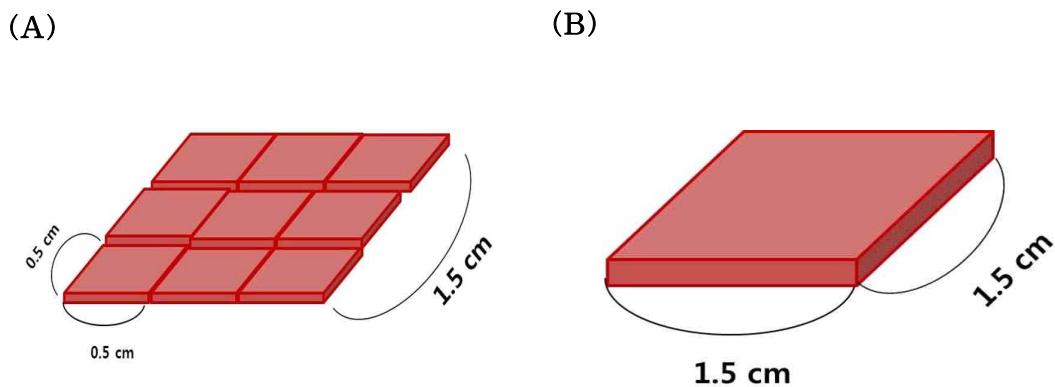


Fig. 31. Dimensions of red pepper powder sample and non-powdered red pepper sample.

③ 열처리

열처리는 항온수조, 고압증기 멸균기, 그리고 열풍 건조기를 이용하여 진행하였다.

㉞ 항온수조(water bath heating)

미생물이 접종된 분말고추 시료 5 g을 멸균백에 넣은 후, Table 35에 나타난 처리 조건에 따라 처리하였다.

Table 35. The conditions of heat treatment using a water bath.

Temp. (°C)	70			80			90			
Time (min)	10	30	60	10	30	60	10	30	60	120

㉞ 고압증기살균기(high pressure steam heating)

70, 80, 그리고 90 °C에서 10, 30, 그리고 60 분 동안 미생물이 접종된 시료를 유리병(250 mL, Duran Group, Mainz, Germany), 멸균 백(19×30 cm, Nasco WHIRL-PAK®), 지름 6 cm인 알루미늄 팬, 또는 알루미늄 호일에 펼쳐 처리하였다.

#### ㉔ 열풍처리(hot air heating)

미생물이 접종된 분말고추 A와 B 또는 비분말 고추 시료를 85 °C에서 1 시간 반 또는 2 시간 동안 처리하였다. 분말고추 A의 경우에는 피산농협에서 실제 사용되고 있는 원적외선 건조처리 시간(2 시간)을 이용하여 처리되었고, 분말고추 B와 비분말 고추는 수분함량이 15% 이하가 되는데 필요한 시간(1 시간 반)을 결정하여 처리되었다. 분말고추가 플라즈마 처리를 받는데 있어 영향을 줄 수 있는 시료 상태를 변수로 두어 그에 대한 추가 실험을 계획하였다. 시료 상태는 분말 고추 B와 비분말 고추로 만들었다(Fig. 31 (A), (B)). 먼저 비분말 고추의 표면, 즉 겉면과 안쪽 면에 따른 CPT 또는 MW-CPT의 저해효과를 관찰하였다. 그리고 비분말 고추와 분말고추 B를 Teflon plate에 펼친 후 CPT 또는 MW-CPT하여 시료 형태에 따른 저해효과를 알아보았다. 이 때 분말고추 B의 경우 입자들이 겹치지 않도록 멸균된 핀셋을 이용하여 배열하였다(Fig. 31 (A)).

#### ④ CPT 또는 MW-CPT

CPT는 시료를 바닥으로부터 0 cm에 놓았고, MW-CPT시에는 24 cm (microwave density: 21.7 W/cm )에 놓고 진행하였다. 사용된 처리 전력과 처리 시간은 각각 900 W와 20 분이었으며, 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 헬륨-산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)를 사용하였다.

#### ⑤ 미생물 분석

처리 전후의 분말고추 A (5 g)를 0.1%(w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 MYP agar에 37 °C에서 24 시간 동안 배양하였다. 처리 전후의 분말고추 B와 비분말 고추를 0.1%(w/v) peptone water 10 mL이 첨가된 멸균 백에 넣고 손으로 문질러 액상시료로 만든 후, MYP agar에 37 °C에서 24 시간 동안 배양하였다.

### 라. 건조 방법의 미생물 저해에 대한 영향

#### (1) 고추 건조

건조는 원적외선 건조기와 진공 건조기를 이용하였다. 원적외선 건조(7-20  $\mu$ m)는 85 °C에서 2 시간 동안 진행되었으며, 진공 건조는 진공도와 온도가 각각 5 kPa와 85 °C인 상태에서 6 시간 동안 진행되었다. 건조 된 고추들의 수분함량은 15%이하 이었다.

#### (2) 분말고추와 비분말 고추 시료 준비

건조 된 고추 샘플들은 편칭기로 분말화(0.5 cm  $\times$  0.5 cm)되어 분말 고추 시료가 되거나, 멸균시킨 가위를 이용하여 1.5 cm  $\times$  1.5 cm 크기로 잘라 비분말 고추 시료로 준비되었다 (Fig. 31 (A), (B)).

### (3) 미생물 접종

준비된 시료의 겉 표면(wax 층)이 위로 오도록 놓고 *B. cereus* spores 접종원 10  $\mu$ L (5-6 log spores/cm )을 스폿팅 하였다.

### (4) CPT 또는 MW-CPT

CPT는 시료를 바닥으로부터 0 cm에 놓았고, MW-CPT시에는 24 cm (microwave density: 21.7 W/cm<sup>3</sup>)에 놓고 진행하였다. 그리고 900 W에서 20 분 동안 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 헬륨-산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)로 처리하였다.

### (5) 미생물 분석

처리 전후의 분말고추 시료와 비분말 고추 시료를 각각 0.1%(w/v) peptone water 10 mL 이 담겨진 멸균 백에 넣고 손으로 문질러 액상 시료로 만들었다. 만들어진 액상시료를 희석하여 MYP agar에 37 °C에서 24 시간 동안 배양하였고, PDA와 PCA에 각각 20 °C와 35 °C에서 5 일 그리고 48 시간 동안 배양하였다.

### (6) SEM

미생물이 접종되거나 되지 않은 원적외선 건조 또는 진공 건조된 고추 표면을 관찰하고자 하였다. 먼저 Petri-dish 바닥에 1 mL의 1% osmium tetroxide (19192, Electron Microscopy Sciences, Hatfield, PA, USA)를 100 mL씩 고르게 분포하도록 스폿팅 (spotting)하였다. Petri-dish의 뚜껑에 분말 고추를 양면테이프로 고정시킨 후, osmium tetroxide가 놓인 바닥 표면과 평행할 수 있게 시료가 고정된 뚜껑을 덮었다. 바닥과 시료 사이의 간격은 0.5 cm로 유지하였다. 상온에서 24시간 보관 후, 분말 고추 시료를 떼내어 carbon tape 위에 부착하고 백금(Pt)으로 코팅하여 FE-SEM (Field emission-SEM, S-4700, Hitachi, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

## 마. $a_w$ 의 미생물 저해에 대한 영향

### (1) 비분말 고추 시료 준비

고추 샘플들은 85 °C에서 2 시간 동안 원적외선 건조(7-20  $\mu$ m)되었으며, 멸균된 가위로 1.5 cm  $\times$  1.5 cm 크기로 잘라 시료로 준비되었다(Fig. 31. (B)).

### (2) $a_w$ 조절

준비된 고추 샘플들은 포화 염 용액으로 0.6, 0.7, 0.8, 그리고 0.9의  $a_w$ 로 맞춰진 데시케이터에 2-3 일 동안 보관되면서 각  $a_w$ 의 수준으로 맞춰지도록 하였다.



### (3) *B. cereus* spores 접종

고추 샘플 표면에 *B. cereus* spores 접종원 10 µL을 스포팅한 후, 1 시간 동안 건조시켰다.

### (4) CPT 또는 MW-CPT

CPT는 시료를 바닥으로부터 0 cm에 놓았고, MW-CPT시에는 24 cm (microwave density: 21.7 W/cm<sup>3</sup>)에 놓고 진행하였다. 처리는 900 W에서 20 분 동안 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)를 사용하여 진행되었다.

### (5) 미생물 분석

처리 전후의 분말고추 샘플과 고추 샘플을 0.1%(w/v) peptone water 10 mL을 이용하여 3 분간 blending한 후 MYP agar에 37 °C에서 24 시간 동안 배양하였다.

## 바. 저장 중 CPT 또는 MW-CPT 동시처리가 분말 고추의 미생물 성장 및 품질 변화에 주는 영향

### (1) 저장 중 미생물 농도 변화

#### (가) 분말 고추 시료 준비

과산농협으로부터 제공받은 세척 직후의 고추를 직접 세절한 후, 진공건조기를 사용하여 수분함량이 15% 이하가 될 때까지 85 °C에서 6 시간 동안 건조시켰다. 진공건조 된 고추를 편칭기로 분말화(0.5 cm × 0.5 cm)하여 분말 고추 시료로 만들었다.

#### (나) 미생물 접종

*B. cereus* 포자와 *A. flavus* 포자 접종원 10 µL을 스포팅한 후, 1 시간 동안 건조시켰다. 호기성균에 대한 저해효과를 알아보기 위한 시료들은 미생물 접종 없이 준비되었다.

#### (다) CPT 또는 MW-CPT

CPT는 시료를 바닥으로부터 0 cm에 놓았고, MW-CPT시에는 24 cm (microwave density: 21.7 W/cm<sup>3</sup>)에 놓고 진행하였다. 그리고 처리는 진공 건조된 분말 고추에 접종된 *B. cereus* 포자에 대해 가장 저해효과가 좋았던 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)를 사용하여 900 W에서 20 분 동안 진행되었다.

#### (라) 미생물 분석

저장 후 0, 3, 7, 14, 21, 28 그리고 60 일 째 아무처리 하지 않은 시료와 CPT 또는 MW-CPT된 시료를 0.1%(w/v) peptone water 10 mL가 첨가된 멸균 백에 넣어 3 분간 blending한 후, MYP agar에 37 °C에서 24 시간 동안 배양하였고, PDA와 PCA에 각각 20 °C와 35 °C에서 5 일 그리고 48 시간 동안 배양하였다.

## (2) 저장 중 분말 고추의 이화학적 특성 변화

### (가) 분말 고추 시료 준비

피산농협으로부터 제공받은 세척 직후의 고추를 직접 세절한 후, 수분함량이 15% 이하가 되도록 진공건조기를 사용하여 85 °C와 5 kPa에서 6 시간 동안 건조시켰다. 진공건조 된 고추를 편칭기로 분말화(0.5 cm × 0.5 cm)하여 분말고추 샘플로 준비하였다.

### (나) 캡사이신 검출용 시료 전처리

처리 전후의 각 분말 고추 시료(0.5 g)에 5 mL의 acetonitrile을 첨가한 후, 80 °C로 맞춰진 water bath에 4 시간 동안 두었다. 매 시간마다 시료를 흔들어서 주었다(Collins 등, 1995). Syringe를 사용하여 추출물을 취한 뒤, syringe filter (DISMIC<sup>®</sup>-25CP, cellulose acetate, pore size: 0.45 µm, ADVANTEC MFS, Inc., CA, USA)로 여과하여 분석 전까지 -80 °C에서 보관하였다. 이동상으로는 73% methanol (73:27, v/v)를 사용하였으며 0.6 mL/분의 유속(LC-10ATvp, liquid chromatograph, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)으로 흐르게 하였다. 연구에 사용된 column은 Symmetry<sup>®</sup> C18 (5 µm, 4.6 mm × 250 mm I.D, Waters Co., MA, USA)으로 분석 중에는 23±2 °C의 온도로 유지시켰다(Column oven, Shinkwang Scientific Co., Taipei Hsien, Taiwan). 분석 시료 20 µL를 주입하고, SPC-10Avp (UV-Vis detector, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) detector를 이용하여 284 nm의 파장으로 캡사이신을 검출하였다.

### (다) 비타민 C 검출용 시료 전처리

비타민 C 검출용 시료 준비는 Kim 등 (2006)의 방법을 바탕으로 하여 진행되었다. 처리 전후의 각 분말 고추 시료(0.5 g)에 6 mL의 4%(w/v) metaphosphoric acid을 첨가한 후, 4 °C에서 10 분 간격으로 시료를 흔들어서 주며 1 시간 동안 추출하였다. Syringe를 사용하여 추출물을 취한 뒤, syringe filter (DISMIC<sup>®</sup>-25CP, cellulose acetate, pore size: 0.45 µm, ADVANTEC MFS, Inc., CA, USA)로 여과하여 분석 전까지 -80 °C에서 보관하였다. 이동상으로는 5 mM tetrabutylammonium phosphate:acetonitril (3:1, v/v)을 사용하였으며 0.6 mL/분의 유속(LC-10ATvp, liquid chromatograph, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)으로 흐르게 하였다. 캡사이신 농도 측정 시 사용하였던 기기와 온도 조건은 동일하였고, 분석 시료 20 µL를 주입하여 SPC-10Avp (UV-Vis detector, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) detector로 254 nm의 파장에서 비타민 C를 검출하였다.

### (라) 항산화능

처리 전후의 각 분말 고추 시료(0.4 g)에 5 mL의 80%(w/v) methanol을 첨가한 후, 30 분 동안 sonication하였다. Sonication을 한 뒤, 15,000 rpm에서 15 분 동안 원심분리 하였다. 상등액을 취한 후, 남아있는 침전물에 다시 5 mL의 80%(w/v) methanol을 첨가한다. 30 분 동안 sonication한 후, 15,000 rpm에서 15 분 동안 원심분리 하여 상등액을 취한다 (Arslan 등, 2011). 최종적으로 취해진 약 10 mL 추출물은 분석 전까지 -20 °C에서 보관 하였다.

① 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) radicals 소거능:  
 10 mM의 potassium persulfate (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)와 10 mM의 ABTS (Sigma-Aldrich Co.)를 2.6:7.4 비율로 혼합하고 24 시간 동안 37 °C의 암소에서 반응시켰다. Potassium buffer seline (PBS, pH 7.4) (Sigma-Aldrich Co.)을 이용하여 암소 반응 시킨 ABTS 용액을 10배 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 50 µL와 분석시료 150 µL를 혼합하여 1분간 방치한 뒤, 732 nm에서 흡광도(Spectra Max 250, Molecular Device, Sunnyvale, CA, USA)를 측정하였다.

② 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical 소거능:  
 0.15 mM의 DPPH (Sigma-Aldrich Co.)를 99.9% 메탄올(Sigma-Aldrich Co.)에 용해시켜 DPPH 용액을 만들었다. 분석시료 50 µL와 DPPH 용액 150 µL를 혼합하고, 30분간 암소에서 반응시키고 난 후 517 nm에서 흡광도(Spectra Max 250)를 측정하였다.

#### (마) 색도

색도는 CIELab와 ASTA 값을 알아보았는데, CIELab의 경우에는 colorimeter (Minolta Chroma Meter CR-400)를 사용하여 L\*, a\*, and b\* 값을 측정하였고, ASTA 값은 분말 고추 시료(0.1 g)에 100 mL의 acetone을 첨가하여 암실에서 16 시간 동안 보관한 후, 상등액을 취하여 spectrophotometer (UV/VIS spectrophotometer, Mecasys Co., Ltd., Daejeon, Korea)로 460 nm의 파장에서 ASTA 값을 측정하였다. ASTA 값은 측정된 흡광도 값을 아래의 식(Eq. 17)에 대입하여 얻어내었다(ASTA, 1968).

$$\text{ASTA unit} = \frac{\text{absorbance of extract} \times 16.4 \times}{\text{eight (g) of red pepper powder}} \quad (17)$$

#### (바) 관능평가

CPT 또는 MW-CPT에 따른 분말고추의 관능적 특성(색, 냄새)의 차이를 관찰하였다.

##### (1) 샘플 준비

진공 건조된 고추를 편칭기를 이용하여 분말화(0.5 cm × 0.5 cm)한 후, 헬륨 가스를 이용하여 900 W에서 20 분 동안 CPT 또는 MW-CPT하였다.

##### (2) 관능 평가

서울여자대학교 학생으로 이루어진 패널 27명을 모집하였고, 연령대는 25-29세였다. 시료는 난수표가 붙여진 흰색 그릇에 놓았으며, 패널들은 각 시료의 색과 냄새를 맡은 후 선호도에 따라 9점 평점법(ranking rate)을 사용하여 평가하였다(1점: 비선호-9점: 선호). 관능평가의 결과는 SPSS 통계 프로그램(IBM Co., Ver. 20.0.0, Armonk, NY, USA)을 이용하여 일원배치분산분석법(One-way ANOVA test)되었다.

## 2. 연구결과

### 가. 콜드 플라즈마 공정변수 확립

#### (1) Lab 장비 최적화

분말고추의 미생물 저해를 위해 최적화된 장비들의 사용 범위로 처리 chamber는 5-10 torr 가 되도록 진공 펌프를 사용하였고, microwave frequency는 2,450 MHz, power는 50-900 W로 정하였다. 그리고, 처리 시간은 0.5-20 분으로 변화시키고, 산소, 질소, 헬륨을 단독 또는 조합으로 속도를 0.1-10 L/분으로 변화시켜 가며 분말고추 처리에 안정적인 플라즈마를 형성했다.

#### (2) 콜드 플라즈마 공정변수 확립

처리전력과 처리압력을 독립변수로 하여 각 가스별 생성되는 플라즈마의 안정적인 범위에 대하여 Table 36에 나타내었다. 플라즈마를 형성시켰을 때 사용된 가스 종류에 관계없이 높은 전력과 낮은 압력에서 플라즈마가 안정적으로 나타났다.

Table 36. Formation of plasma at various levels of power and pressure with different gases.

Gas	Power (W)	Pressure (kPa)									
		0.27	0.67	0.80	1.07	1.33	2.67	4.00	6.67	13.34	26.68
Nitrogen	900	Unstable plasma	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
	800		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
	700		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
	600		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
	500		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
	400		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
Nitrogen-oxygen (99.3:0.7)	900	Unstable plasma	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	800		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	700		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	600		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	500		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	400		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
Nitrogen-oxygen (4:1)	900	Unstable plasma	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	800		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	700		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	600		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	
	500		Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	

	400										
	300										
Helium	900	Unstable plasma									
	800										
	700										
	600										
	500										
	400										
	300										
Helium-oxygen (99.8:0.2)	900	Unstable plasma									
	800										
	700										
	600										
	500										
	400										
	300										

나. CPT에 따른 미생물 살균효과 검증

사용 기체, 처리 전력, 처리 시간, 처리 압력 등의 조건에 따른 미생물 저해효과에 대해 Table 37에 나타내었다.

Table 37. Effects of the food sample, microorganism, and treatment conditions (gas, power, time, pressure, and flow rate) on the inhibition of microorganisms by the cold plasma treatments.

식품 종류	미생물	처리 조건 (사용 기체, 처리 전력, 처리 시간, 처리 압력, flow rate)	미생물 농도 (log CFU/g)	
			대조구	처리구
고춧가루	<i>B. cereus</i> (포자)	질소-산소 혼합가스 II (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7), 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	6.6±0.1	6.5±0.1
		헬륨-산소 혼합가스 (헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2), 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	6.6±0.1	6.4±0.2
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 10 분, 10 torr, 2,500 sccm	6.4±0.1	6.1±0.2
		질소, 900 W, 10 분, 10 torr, 1,000 sccm	6.4±0.1	6.2±0.1
		질소, 900 W, 10 분, 10 torr, 1,000 sccm	5.7±0.1	5.7±0.1
		질소-산소 혼합가스 II (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7), 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	5.9±0.1
		질소-산소 혼합가스 II (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7), 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	5.9±0.2

고춧가루	B. <i>cereus</i> (영양 세포)	: 0.7), 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm		
		질소-산소 혼합가스 II (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7), 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.8±0.1	5.8±0.1
		헬륨, 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.8±0.2	5.6±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 10 분, 10 torr, 2,500 sccm	4.2±0.2	4.4±0.3
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 20 분, 10 torr, 2,500 sccm	7.4±0.7 (Heat-shock 후 농도: 6.9±0.2)	5.9±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 20 분, 10 torr, 2,500 sccm	4.2±0.2	3.9±0.5
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 20 분, 10 torr, 2,500 sccm	5.8±0.2	5.8±0.2
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 30 분, 10 torr, 2,500 sccm	7.4±0.7	6.1±0.1
		헬륨, 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	5.9±0.3
		헬륨, 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	5.9±0.3
		질소, 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	6.4±0.1	6.5±0.1
		질소, 900 W, 10 분, 10 torr, 1,000 sccm	6.5±0.2	6.4±0.1
	질소, 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	4.9±0.1	
	헬륨, 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	4.9±0.1	

고춧가루	호기성 미생물	질소-산소 혼합가스Ⅱ (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7), 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 ccm	5.9±0.1	4.9±0.1
		헬륨-산소 혼합가스 (헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2), 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	5.8±0.3
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 10 분, 5 torr, 2,500 sccm	6.3±0.1	6.2±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 10 분, 5 torr, 2,500 sccm	6.3±0.1	6.5±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 10 분, 10 torr, 2,500 sccm	6.4±0.1	6.7±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 10 분, 10 torr, 2,500 sccm	5.8±0.1	5.9±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	6.3±0.1	6.5±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1) 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	Coliform 농도: 2.8±0.4	ND
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 10 분, 10 torr, 1,500 sccm	6.4±0.1	6.7±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 10 분, 10 torr, 1,500 sccm	5.8±0.1	5.8±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 10 분, 5 torr, 2,500 sccm	5.8±0.1	5.8±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 10 분, 10 torr, 2,500 sccm	6.4±0.1	6.2±0.1
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 20 분, 10 torr, 2,500 sccm	5.9±0.1	5.3±0.3

호기성 미생물	질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 20 분, 10 torr, 2,500 sccm	6.4±0.1	6.2±0.1	
	질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	6.5±0.1	6.4±0.1	
	질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	Heat shock 후: 5.2±0.1	Heat shock 후: 5.2±0.1	
	질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 10 분, 5 torr, 2,500 sccm	영양세포: 6.4±0.1	영양세포: 6.2±0.1	
	질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 10 분, 5 torr, 2,500 sccm	포자: 6.1±0.1	포자: 5.8±0.1	
	질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 20 분, 10 torr, 2,500 sccm	영양세포: 6.4±0.1	영양세포: 6.2±0.1	
	질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 20 분, 10 torr, 2,500 sccm	포자: 6.1±0.1	포자: 5.2±0.1	
	질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 30 분, 10 torr, 2,500 sccm	영양세포: 6.4±0.2	영양세포: 6.3±0.2	
		포자: 6.1±0.1	포자: 5.7±0.1	
	고춧 가루	질소, 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.7±0.1	3.2±0.3
		질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1), 900 W, 20 분, 10 torr, 2,500 sccm	5.7±0.1	5.2±0.1
		질소-산소 혼합가스 II (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7), 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.7±0.1	5.2±0.1
		A. <i>flavus</i> 헬륨, 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.7±0.1	3.7±0.3
		헬륨-산소 혼합가스 (헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2), 900 W, 20 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.7±0.1	5.4±0.1



홍고추	호기성 미생물	질소, 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	7.1±0.1	4.5±0.1
		헬륨, 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	7.1±0.1	4.8±0.1
		질소-산소 혼합가스Ⅱ (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7), 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	3.9±0.2
		헬륨-산소 혼합가스 (헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2), 900 W, 10 분, 5 torr, 1,000 sccm	5.9±0.1	6.0±0.2

\*Detection limit: 10 CFU/g

(1) 병원성 미생물(*Bacillus cereus*, *Clostridium. perfringens*)에 대한 살균

(가) *B. cereus*

① 영양세포

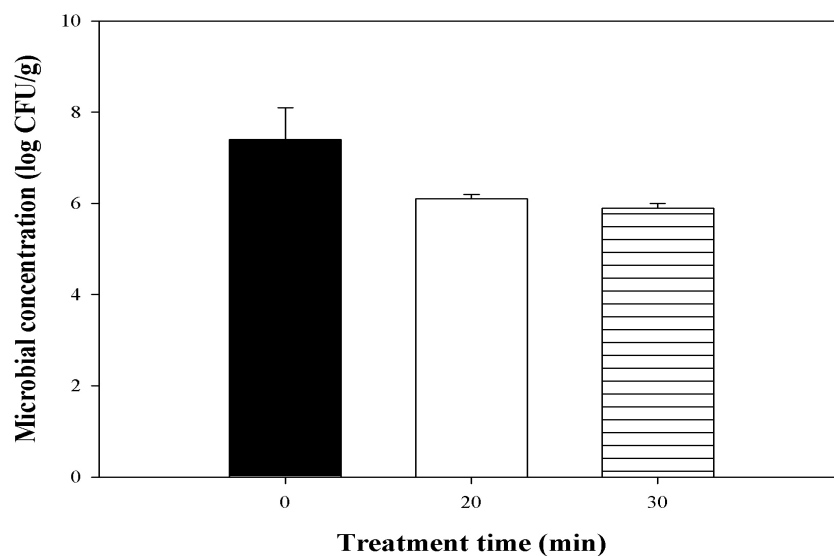


Fig. 32. Effects of treatment time of the cold plasma treatment on the inhibition of *B. cereus* vegetative cells on hot pepper. Treatment gas: nitrogen : oxygen mixture (nitrogen : oxygen = 4 : 1), power: 900 W, pressure: 10 torr, and flow rate: 2,500 sccm.

CPT한 결과, 질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1)를 사용하여 20 분간 처리한 경우

1.2±0.1 log CFU/g의 저해효과가 나타났다. 또한, 처리를 30 분 동안 한 경우에는 1.5±0.1 log CFU/g의 저해효과를 볼 수 있었다(Figs. 32). 처리 시간이 20 분 이상 될 경우 저해효과는 높아지지만 상업적으로 적용할 경우에 경제적인 부담을 초래할 가능성이 높아 20 분이 적절한 처리 시간이라고 생각되었다.

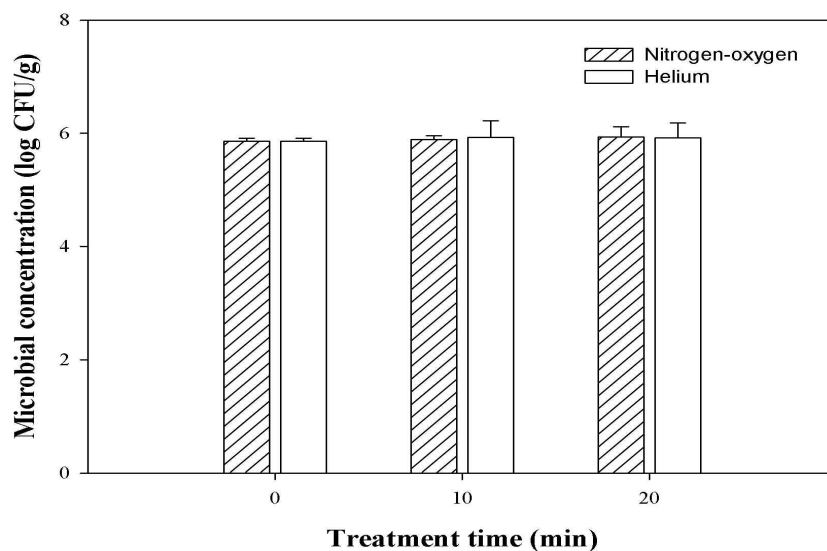


Fig. 33. Effects of treatment time of the cold plasma treatment on the inhibition of *B. cereus* vegetative cells on hot pepper. Treatment gas: nitrogen : oxygen mixture (nitrogen : oxygen = 99.3 : 0.7) and helium, power: 900 W, pressure: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm.

이 외에 질소-산소 혼합가스 (99.3:0.7)와 헬륨 가스를 사용하여 10 분 또는 20 분 동안 CPT 한 경우에는 처리 전과 후의 미생물 농도에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다( $P>0.05$ ) (Table 37, Figs. 32-33).

② 포자

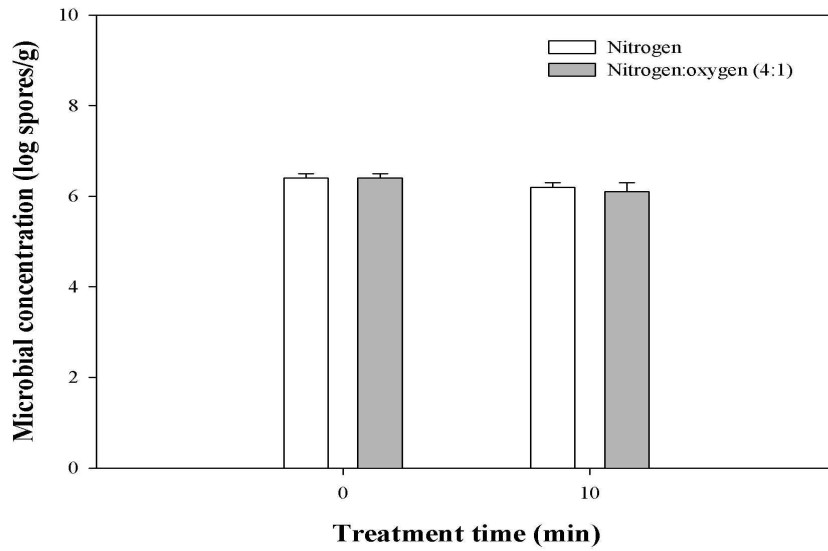


Fig. 34. Effects of gas of the cold plasma treatment on the inhibition of *B. cereus* spores on hot pepper. Treatment time: 10 min, power: 900 W, pressure: 5 torr or 10 torr and flow rate: 1,000 sccm (nitrogen) or 2,500 sccm (nitrogen : oxygen = 4 : 1).

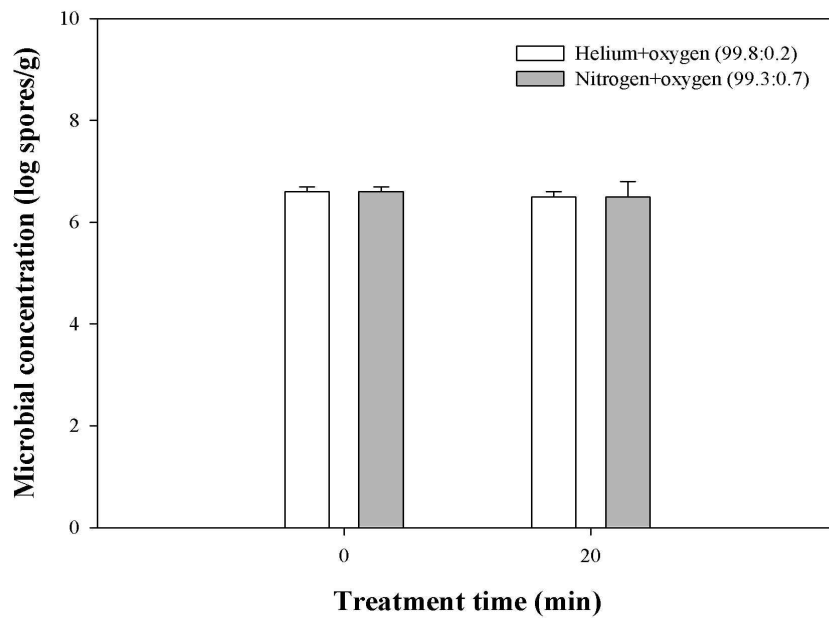


Fig. 35. Effects of gas for a cold plasma treatment on the inhibition of *B. cereus* spore on red pepper powder. Treatment time: 20 min, power: 900 W, pressure: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm.

분말고추에 접종된 *B. cereus* 포자를 질소 가스 또는 질소-산소 혼합가스 (4 : 1)을 사용하여 10 분 동안 CPT한 결과 아무 처리 되지 않은 시료의 미생물 농도와 유의적이 차이가 나타나지 않았다( $P>0.05$ ) (Fig. 34).

처리시간을 20 분으로 증가시켜 헬륨-산소 혼합가스 (99.8 : 0.2) 또는 질소-산소 혼합가스 (99.3 : 0.7)로 CPT한 경우에도 *B. cereus* 포자는 저해되지 않았다( $P>0.05$ ) (Fig. 34). 포자는 영양세포에 비해 플라즈마 내에 생성된 라디칼, 전자, 광자 등에 대한 저항성이 높아 저해가 되지 않은 것으로 사료되었다. 따라서 1차 적으로 *B. cereus* 포자에 대한 저항성을 낮춘 후 2 차적으로 CPT 처리를 하는 병합처리가 필요할 것으로 판단되었다.

(나) *Clostridium perfringens*

처리 챔버 안을 진공상태(5-10 torr)로 만든 후, 가스를 주입하였다. 이 때 산소 주입여부에 따른 균 생존여부를 알아보려고 질소, 질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1)를 처리 가스로 선택하였다. 그 결과, 산소가 주입될 경우에는 관찰되지 않았지만, 그 외의 경우에는 관찰이 되는 것을 알 수 있었다. 따라서 *C. perfringens*는 콜드 플라즈마 처리와 관계없이 산소 가스 주입만으로도 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 부패미생물(호기성균, *Aspergillus flavus*)에 대한 살균

(가) 호기성균

① 분말고추

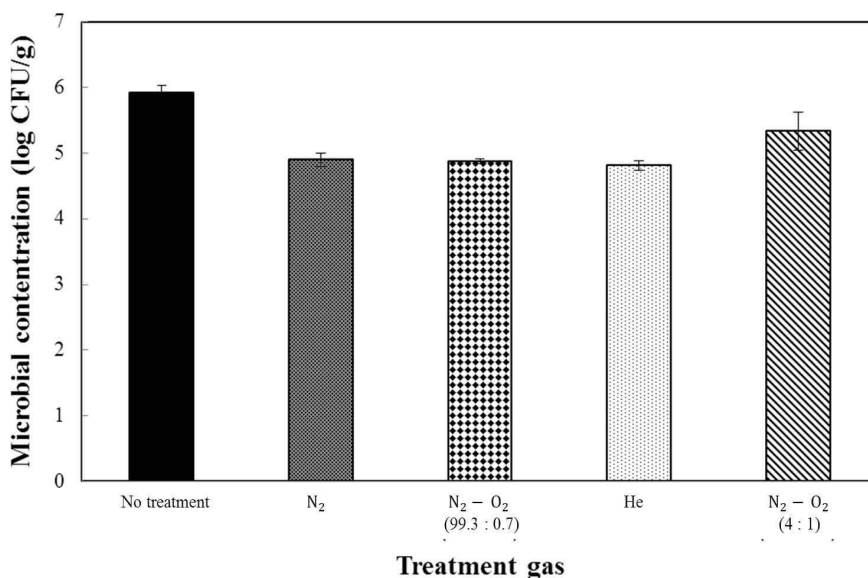


Fig. 36. Effects of the cold plasma treatments on the total aerobic plate counts of red pepper powder.

분말고추의 호기성균 농도는  $5.9 \pm 0.1 \log \text{ CFU/g}$ 이었다. 미생물 저해는 질소, 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1), 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7), 그리고 헬륨 가스를 사용하였을 때 각각  $1.0 \pm 0.1 \log \text{ CFU/g}$ ,  $0.6 \pm 0.3 \log \text{ CFU/g}$ ,  $1.1 \pm 0.0 \log \text{ CFU/g}$  그리고  $1.1 \pm 0.1 \log \text{ CFU/g}$ 로 나타났다( $P < 0.05$ ) (Table 37, Fig. 36.). 실험에 사용된 분말고추를  $90^\circ \text{C}$ 에서 30 분 동안 열처리 한 후 *B. cereus* 선택배지인 MYP agar에 배양한 결과  $3.6 \log \text{ CFU/g}$ 이 검출되어 분말고추에 존재하는 호기성균의 약 60 %가 *Bacillus* 속 포자임을 알 수 있었다. 따라서 *Bacillus* 속 포자를 목표 미생물로 정하여 CPT의 추가적인 연구가 요구되었다.

## ② 홍고추

홍고추를 두 가지 샘플로 나누어 초기 농도를 측정하였다. 꼭지를 제거하지 않은 상태와 꼭지를 제거한 상태를 측정한 결과, 전자의 경우  $\geq 8 \log \text{ CFU/고추}$ 가 검출 되었으며, 후자의 경우에는  $6.4 \pm 0.2 \log \text{ CFU/고추}$ 였다. 가스 종류 별 콜드 플라즈마를 처리한 결과를 Table 37, Fig. 37에 나타내었다.

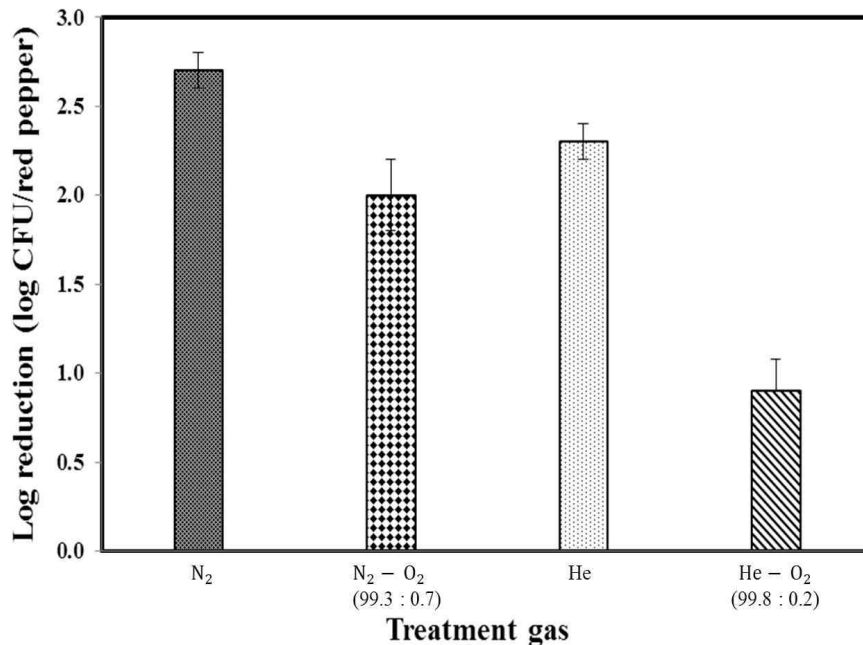


Fig. 37. Effects of the cold plasma treatment on the total aerobic plate counts of red pepper.

질소의 경우  $2.7 \pm 0.1 \log \text{ CFU/red pepper}$ 가 저해되었으며 헬륨은  $2.3 \pm 0.1 \log \text{ CFU/red pepper}$ 를 저해시켰다. 또한, 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7)에서는  $2.0 \pm 0.2 \log \text{ CFU/red pepper}$ 이 저해되었고, 헬륨-산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2)에서는  $0.9 \pm 0.2 \log \text{ CFU/red pepper}$ 가 저해되었다( $P < 0.05$ ). 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm)는 홍고추가 터져서 처리할 수 없었다(Fig. 37). 홍고추에 존재하는 호기성균의 저해정도는 분말고추에 비해 높은 수준으로 나타났는데, 이는 시료간의 a 와 표면 상태의 차이에서 기인되는 것으로 사료되었다. 홍고추와 분말고추의  $a_w$ 는 각각 약 0.9와 0.5 수준으로 측

정되었으며, 홍고추를 CPT할 경우 진공 상태에서 자유수들이 챔버 내에 존재하게 되어 플라즈마 내에 미생물의 세포벽을 산화시키는 주요 인자인 reactive oxygen species (ROS)의 농도가 증가되었을 것이다. 또한, 홍고추와 분말고추의 표면 상태에 따른 저해효과에 대한 차이는 본 실험실에서 이전에 진행했던 연구를 통해 알 수 있었는데, model film과 flake을 준비하여 *B. cereus* 포자에 대한 CPT의 저해효과를 알아본 결과, 각각  $2.1 \pm 0.1$  log spores/cm<sup>2</sup>와  $0.1 \pm 0.2$  log spores/cm<sup>2</sup> 저해되었다. Model film과 홍고추, 그리고 model flake와 분말고추에서 *B. cereus* 포자의 저해정도가 각각 유사하게 관찰되어 시료의 표면 상태에 따라 CPT의 저해효과가 다르게 나타날 수 있음을 알 수 있었다.

(나) *A. flavus*

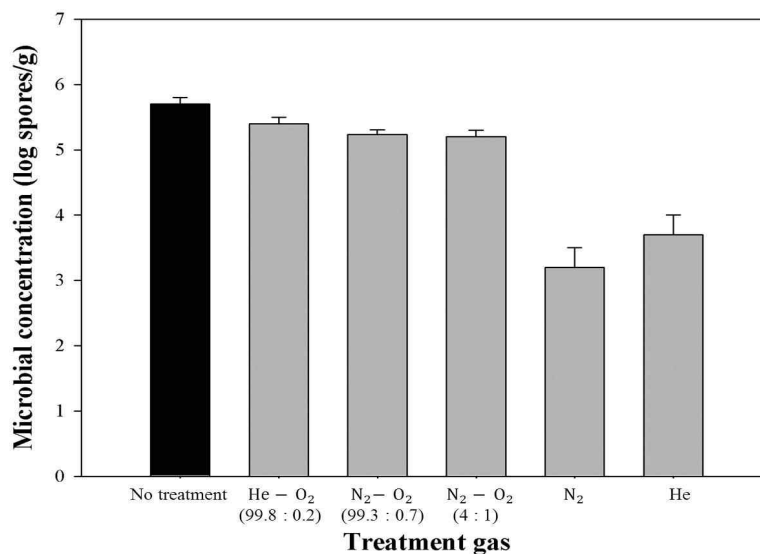


Fig. 38. Effects of the cold plasma treatment on the microbial count of *A. flavus* spores

*A. flavus*는 질소-산소 혼합가스 I(질소 : 산소 = 4 : 1)와 질소-산소 혼합가스 II(질소 : 산소 = 99.3 : 0.7)의 경우 각각  $0.5 \pm 0.1$  log spores/g,  $0.4 \pm 0.1$  log spores/g의 저해효과가 나타났고, 헬륨- 산소 혼합가스(헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2)의 경우에도  $0.3 \pm 0.1$  log spores/g의 유의적인 저해효과가 나타났다( $P < 0.05$ ) (Fig. 38). 그리고, 질소와 헬륨을 단독으로 사용하여 처리할 경우에는 각각  $2.5 \pm 0.3$  log spores/g,  $2.0 \pm 0.3$  log spores/g의 높은 저해효과를 관찰할 수 있었다( $P < 0.05$ ) (Fig. 38). 질소와 헬륨 단독 가스에서 높은 저해효과가 나타났는데, 이는 각 가스로 생성된 플라즈마 내 자유 라디칼, ROS, 그리고 reactive nitrogen species (RNS)의 농도가 *A. flavus* 포자의 세포막을 산화시키는데 요구되는 적정 수준에 도달했던 것으로 사료되었다(Gander, 1974, Lu 등, 2008). *A. flavus* 포자의 저해에 대한 최적화 실험은 가장 높은 저해효과를 얻었던 질소 가스를 사용하여 진행되었다.

### (3) 미생물 저해 model 구축 및 model parameter들 결정

*A. flavus* 저해에 대한 model 식의 적합성을  $R^2$  으로 알아보았다. 처리 전력에 대한 1st-order model (Eq. 12), 처리 시간에 대한 1st-order model (Eq. 13), Fermi's model (Eq. 14), 그리고 Weibull model (Eq. 15)에 대한  $R^2$  값은 각각 0.69, 0.61, 0.88, 그리고, 0.91이었다. 저해 결과는 Weibull model ( $\delta=63.96, s=0.24$ )에 가장 fitting이 잘 되었다. 본 연구에서 얻은 *A. flavus* 저해는 처리 전력이나 처리 시간에 따라 non-linear하게 저해되는 것을 관찰할 수 있다(Fig. 39-40). 따라서 변수들(처리 전력과 *A. flavus* 저해, 처리 시간과 *A. flavus* 저해)의 관계가 linear할 때 성립되는 1st-order model (Eq. 12, 13)보다 non-linear한 관계를 나타내는 Fermi's model과 Weibull model이 더욱 적합한 것으로 나타났다.

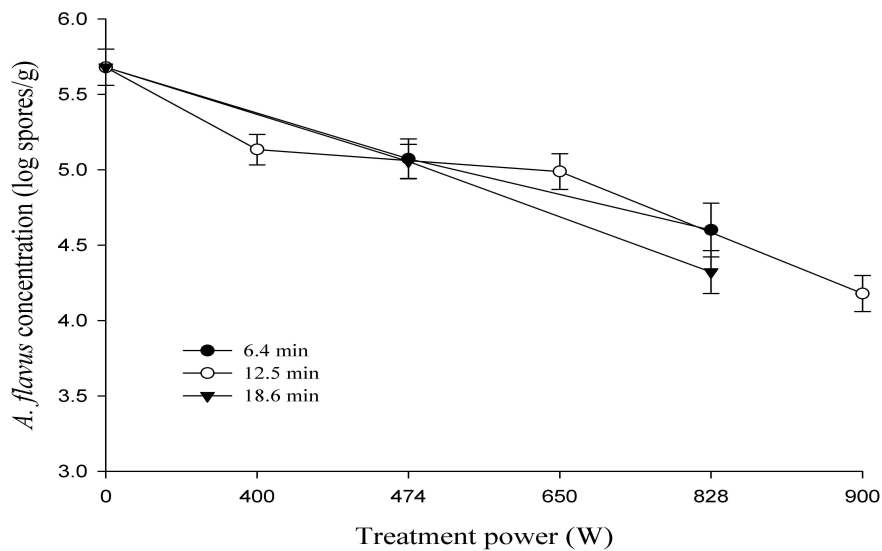
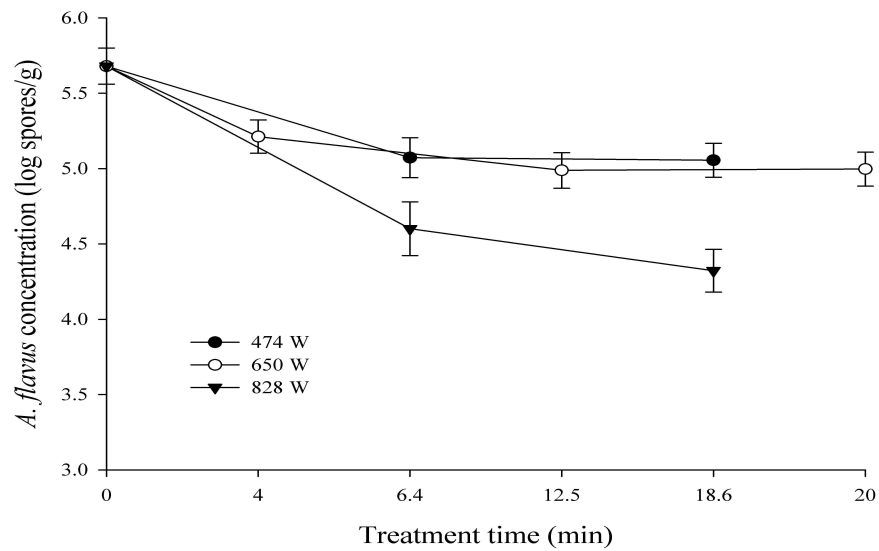


Fig. 39. Effect of the treatment power and time on the concentration of *A. flavus* with cold plasma treatments using nitrogen.

처리 전력이 700 W 미만일 경우에 약 1 log spores/g의 저해효과가 나타났지만, 800 W 이상에서는 1 log spores/g이상의 저해효과가 나타나 처리 전력이 높을수록 저해효과가 증가한다는 것을 알 수 있었다(Fig. 39).



**Fig. 40.** Effect of the treatment power and time on the concentration of *A. flavus* spores with cold plasma treatments using nitrogen.

처리 전력 수준과 관계없이 처리 시간이 높을수록 저해가 많이 나타나는 경향을 보였고, 처리 전력이 800 W 이상이면서 처리 시간이 20 분일 때 가장 높은 저해( $1.4 \pm 0.1$  log spores/g)가 발생되었다. 처리 전력이 800 W 이상일 경우에 *A. flavus* spores 저해가 biphasic curve 형태로 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 CPT된 미생물의 survival curve에 대해 발표한 Philip 등 (2002)의 연구결과와 부합하였다.



#### (4) Lab scale 에서의 미생물 살균 최적조건 확립

Pearson's correlation coefficient는 독립 변수(처리 전력과 처리 시간)와 종속 변수 (*A. flavus* 저해)간에 유의적인 상관관계(power: 0.840 ( $P < 0.0001$ ); time: 0.744 ( $P < 0.001$ ))가 있음을 나타내주고 있어 처리 전력과 처리 시간이 높을수록 *A. flavus* 저해가 크게 발생할 수 있다는 것을 알 수 있다. 실험을 통해 얻은 미생물 저해 데이터들을 반응표면분석 하여 *A. flavus* 저해에 대한 최적 조건(처리 전력과 시간)을 구하였다. 처리 전력, 처리 시간, 그리고 *A. flavus* 저해( $Y$ )의 관계가 polynomial model,  $Y = (3.875160) + (-0.010226)X_1 + (-0.113244)X_2 + (0.000162)X_1X_2 + (0.000007879)X_1^2 + (0.001207)X_2^2$  로 결정되었고, 이를 Fig. 41에 나타내었다. 이를 통해 처리 전력( $X_1$ )과 처리 시간( $X_2$ )값은 *A. flavus* 저해에 유의적으로 영향을 주었다( $R^2=0.89, P < 0.001$ ). *A. flavus*의 최대 저해를 가져다주는 처리 전력과 시간은 900 W와 20 분으로 예측되었고(Table. 37), 이 때 예측된 저해 값은 2.5 log spores/g이었다. 이는 실제 900 W에서 20 분 동안 실험을 통해 얻었던 저해 정도( $2.5 \pm 0.3$  logs spors/g)와 유사하여 모델식의 예측이 유효한 것으로 사료되었다.

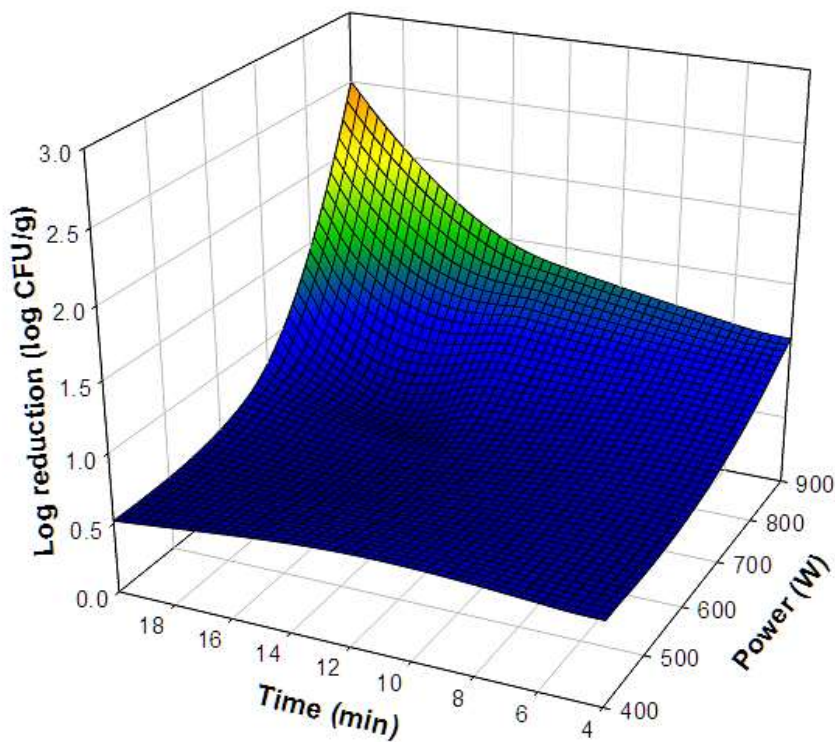


Fig. 41. Response surface plots generated with power, time, log reduction of the cold plasma.

(5) 온도 및 변화 측정

(가) 온도

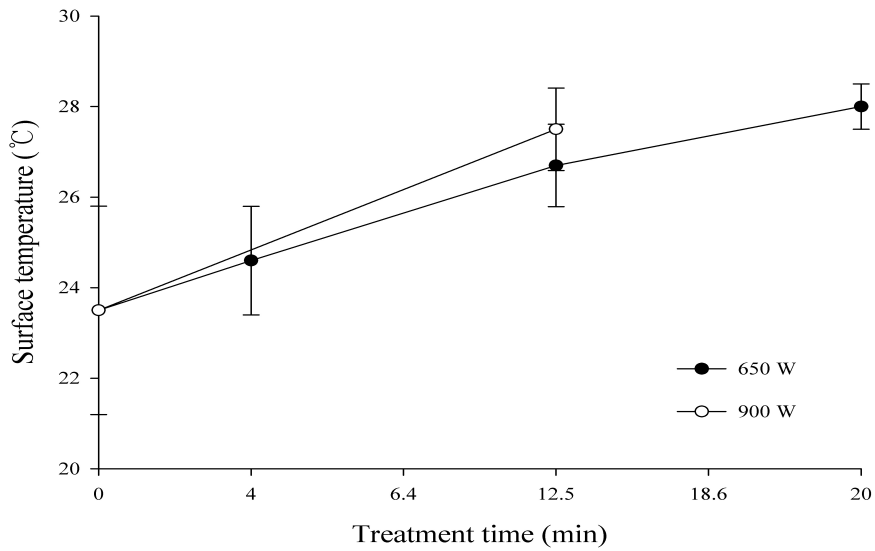


Fig. 42. Effects of treatment time of the cold plasma treatment on the surface temperature of red pepper powder.

처리 전력 650 W에 비해 900 W에서 CPT하는 경우 처리 직후에 식품의 표면 온도가 높았고(Fig. 42), 처리 시간이 길어질수록 증가되는 것을 알 수 있었다. 온도 증가가 30 °C 이상 되지 않아 CPT가 비열 살균 기술임을 증명할 수 있었다(Fig. 42).

(나)  $a_w$

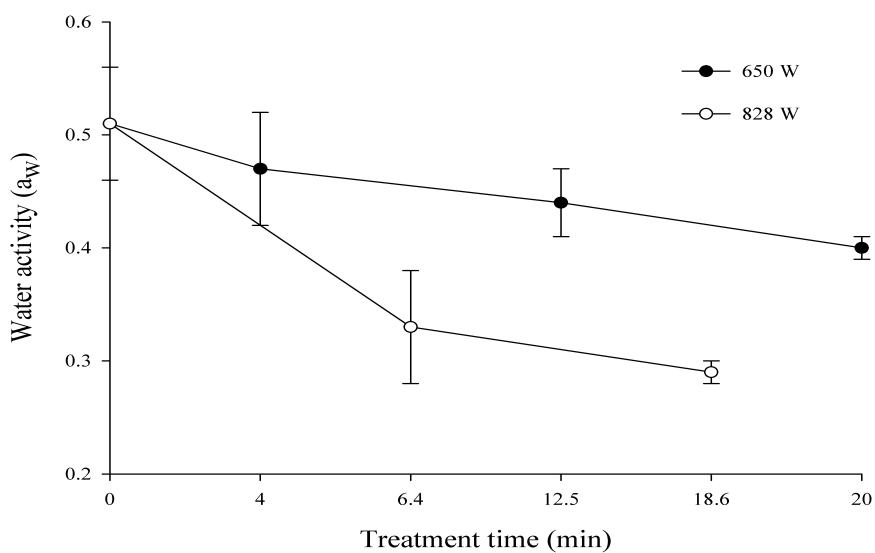


Fig. 43. Effects of treatment time of the cold plasma treatments of 650 W and 828 W on the water activity of red pepper powder.

처리 전력 650 W, 828 W에서 5 분, 20 분 동안 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)으로 처리한 직후 식품의  $a_w$  를 측정된 결과, 전력이 높고 시간이 길어질수록  $a_w$  감소가 크게 나타났다(Fig. 43). 수분활성도는 미생물 성장에 주요 인자로서 CPT에 의한 수분활성도 감소는 분말 식품의 미생물 안전성을 높여줄 수 있을 것으로 사료된다.

다. 혼합처리에 따른 미생물 살균에 대한 영향

(1) 마이크로웨이브-콜드 플라즈마 동시처리의 미생물 저해에 대한 영향

(가) 처리 조건 설정

Table 38. Effects of sample position on the ground level of the treatment chamber on the inhibition of *S. Typhimurium* on a polystyrene plate.

(단위: log CFU/cm<sup>2</sup>)

		Microbial concentration	Reduction rate
Untreated sample		7.3±0.0	0.0±0.0
Samples at different location (Fig. 26)	1	5.8±0.0	1.4±0.0
	2	6.2±0.1	1.0±0.1
	3	5.7±0.1	1.5±0.1
	4	6.1±0.1	1.2±0.1
	5	5.6±0.2	1.6±0.2
	6	5.8±0.1	1.4±0.1
	7	6.3±0.0	0.9±0.0
	8	6.2±0.1	1.1±0.1
	9	6.0±0.0	1.2±0.0

시료가 Teflon plate의 정중앙(5번)에 위치했을 때 *S. Typhimurium* 저해효과가 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있었다( $P<0.05$ ) (Table 38).

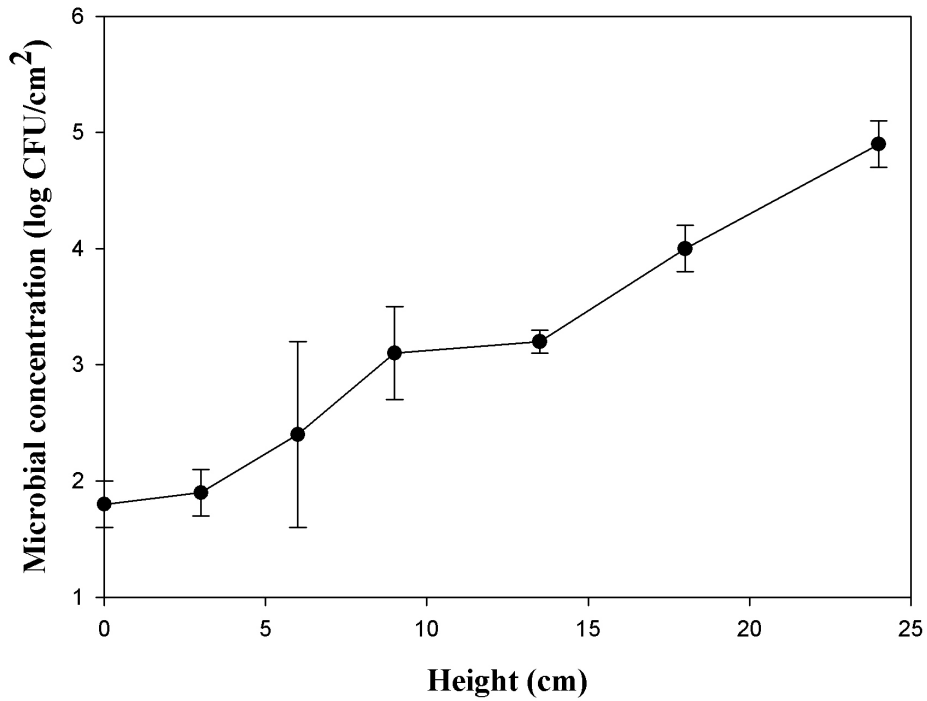


Fig. 44. Effects of the level of the treatment chamber from the ground on the inhibition of *S. Typhimurium* on a polystyrene plate by the cold plasma treatment using nitrogen at 400 W for 10 min.

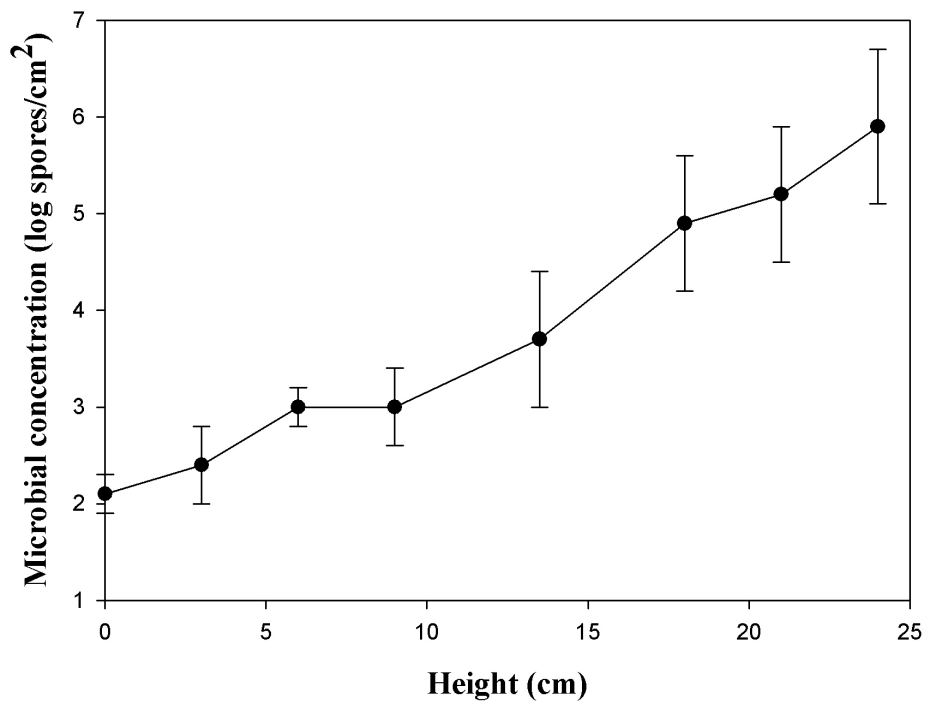


Fig. 45. Effects of the level of the treatment chamber from the ground on the inhibition of *B. cereus* spores on a polystyrene plate by the cold plasma treatment using helium-oxygen mixture gas at 900 W for 20 min.

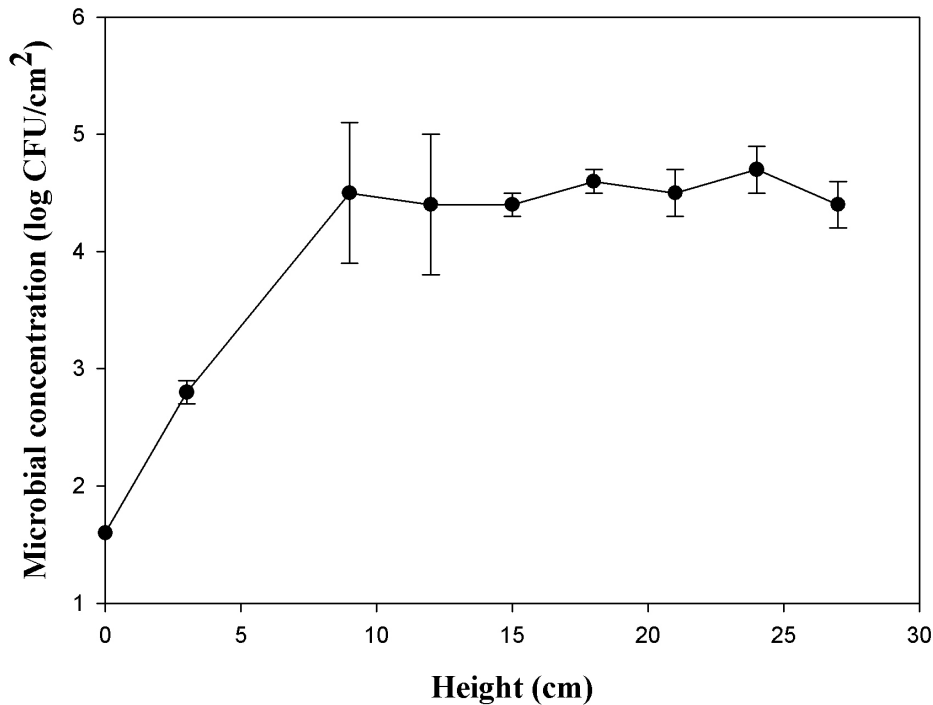


Fig. 46. Effects of the level of the treatment chamber from the ground on the inhibition of *L. monocytogenes* on a polystyrene plate by the cold plasma treatment using helium-oxygen mixture gas at 400 W for 10 min.

시료가 놓여진 Teflon plate가 바닥으로부터 24 cm 높이에 위치했을 때 *S. Typhimurium* 와 *B. cereus* 포자에 대한 저해효과가 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있었다(Fig. 44-45). *L. monocytogenes*의 경우에는 바닥으로부터 10 - 27 cm 높이에서 4-5 log CFU/cm<sup>2</sup>의 유사한 저해효과가 나타났다(Fig. 46). 이는 처리 챔버 내에서 높이가 올라갈 수록 위에 연결된 microwave generator 입구 부분과 가까워져 microwave powder density (W/cm<sup>3</sup>)가 높아졌기 때문이다. 따라서 MW-CPT함에 있어 시료를 처리하기에 적합한 위치와 높이를 각각 Teflon plate의 정중앙과 24 cm로 결정하였다.

#### (나) 마이크로웨이브 밀도 값 (microwave power density) 확인

감열기록지의 밝기에 따른 microwave powder density를 알아본 결과, 처리 챔버 내에 microwave generator 입구 부분의 밀도 값은 23.8 W/cm<sup>3</sup>이었고, 미생물 저해가 가장 높게 발생한 24 cm에서는 21.7 W/cm<sup>3</sup>로 측정되었다.

(2) 열 병합 처리의 미생물 저해에 대한 영향

(가) 항온수조(water bath heating)

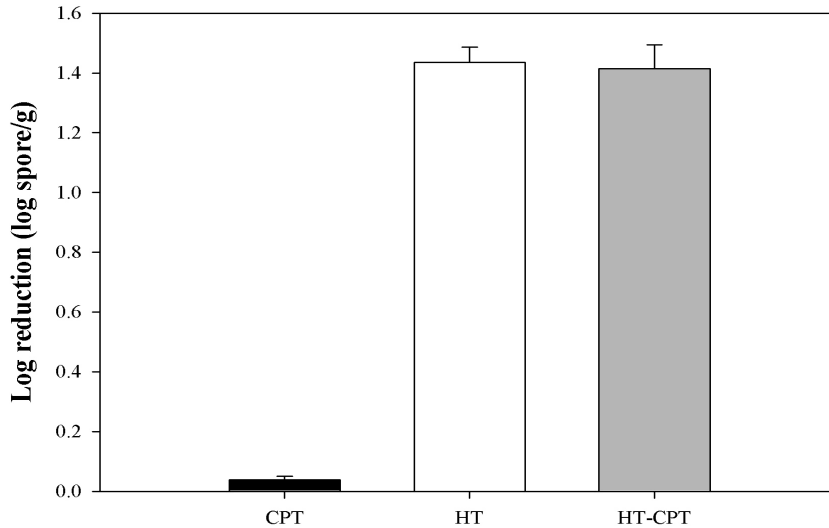


Fig. 47. Effects of the combined treatment of water bath heating (90 °C, 30 min) and cold plasma (nitrogen-oxygen mixture gas (99.3 : 0.7), 900 W, 20 min) on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper powder.

*B. cereus* 포자가 접종된 분말 고추 A를 CPT하였을 때 저해가 되지 않았고, 항온 수조에서 열처리 한 후에는  $1.4 \pm 0.1$  log spores/g 저해되었다. 열처리 직후에 질소-산소 혼합가스 (99.3 : 0.7)를 이용하여 CPT한 결과( $1.4 \pm 0.1$  log spores/g)는 열처리 후의 저해정도와 유의적인 차이가 나타나지 않아 *B. cereus* 포자의 저해에 대한 추가적인 저해효과가 발생되지 않았다( $P > 0.05$ ) (Fig. 47). 열 단독 처리로도 높은 저해가 나타났는데, 이는 고온에서 영양세포로 발아되면서 사멸에 이른 것으로 사료된다.

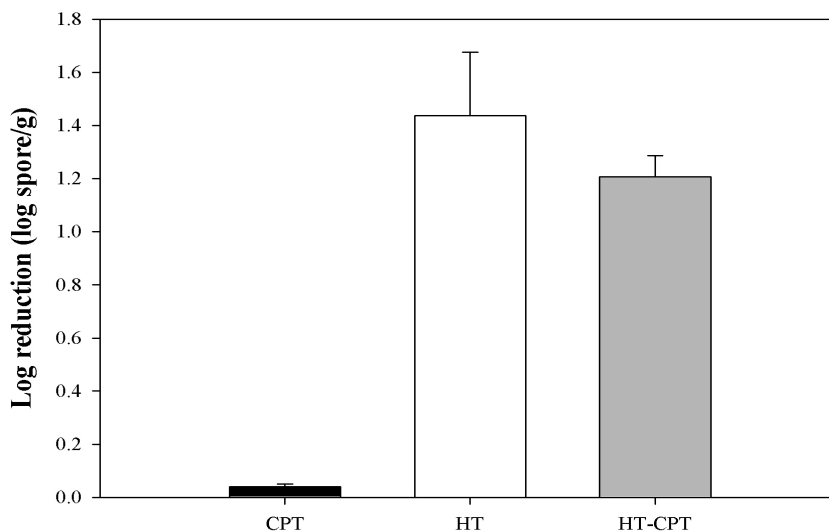


Fig. 48. Effects of the combined treatment of water bath heating (90 °C, 30 min) and cold plasma (nitrogen-oxygen mixture gas (4 : 1), 900 W, 20 min) on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper powder.

분말고추 A에 접종된 *B. cereus* 포자는 CPT 후에 저해되지 않았고, 항온 수조에서 열처리 한 후에 1.4±0.2 log spores/g의 저해가 발생되었다. 열처리 후의 미생물 저해정도와 열-CP 병합처리의 미생물 저해정도(1.2±0.1 log spores/g)에서 유의적인 차이가 나타나지 않아( $P>0.05$ ) *B. cereus*의 저해에 대한 추가적인 저해는 없는 것으로 판단되었다(Fig. 48).

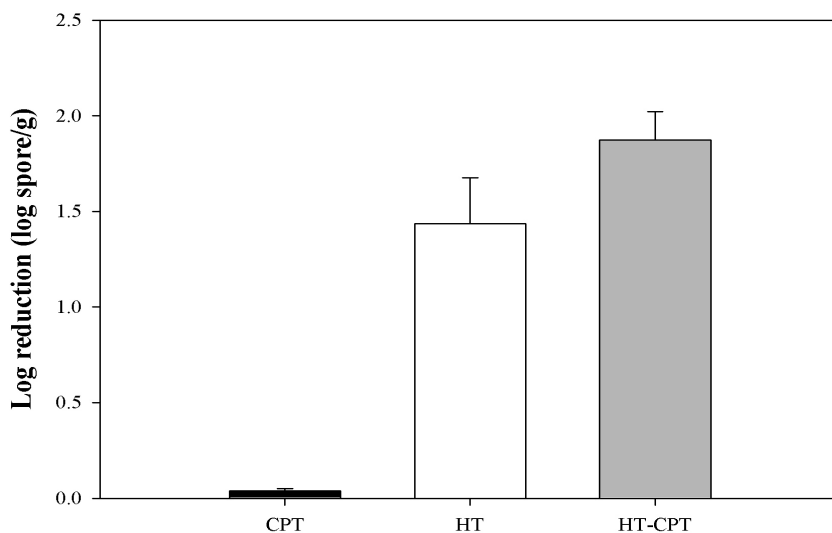


Fig. 49. Effects of the combined treatment of water bath heating (90 °C, 30 min) and cold plasma (nitrogen gas, 900 W, 20 min) on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper powder.

항온 수조에서 열처리된 *B. cereus*가 접종된 분말고추 A를 질소 가스로 CPT한 결과 저해되지 않은 것으로 나타났고, 열 단독 처리(1.4±0.2 log spores/g)와 열-CP 병합처리 (1.9±0.2 log spores/g)의 저해효과에서 유의적인 차이가 나타나 *B. cereus*의 저해에 대한 상승효과가 관찰되었다(Fig. 49). 병합처리에 있어 질소-산소 혼합가스 (4 : 1)를 사용하였을 경우보다 질소 가스를 사용하였을 때 저해효과가 더욱 높았던 것은 플라즈마 내 생성되는 산소 농도가 포자 저해에 영향을 주었을 것으로 사료되었으며, Pintassilgo 등(2007)에 따르면 1-3%의 산소를 가스에 첨가하였을 때 포자에 대한 가장 높은 저해 효과를 얻었던 산소 농도는 0.3%이었다. 따라서 본 실험에서는 질소 가스를 사용하였을 때 분말 고추 내 수분이 진공상태인 챔버 내에서 증발되면서 산소를 첨가하지 않아도 0.3% 수준에 도달되었을 것으로 사료되었다.



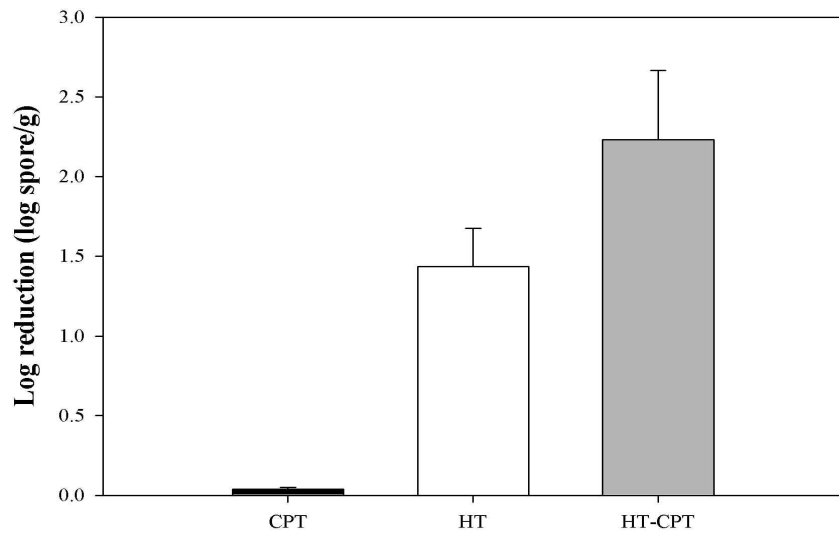


Fig. 50. Effects of the combined treatment of water bath heating (90 °C, 30 min) and cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper powder.

분말고추 A에 접종된 *B. cereus*는 CPT에 의해 저해되지 않았고, 열처리 한 후에  $1.4 \pm 0.2$  log spores/g 저해되었다. 열-CP 병합처리에 의해서는  $2.23 \pm 0.44$  log spores/g의 높은 저해가 발생되었고, 이는 열처리 후에 발생한 저해 정도에 비해 유의적으로 높았기 때문에 *B. cereus*의 저해에 대한 상승효과가 나타난 것을 알 수 있었다( $P < 0.05$ ) (Fig. 50). 질소 가스와 질소-산소 혼합가스를 사용한 열-CP 병합처리의 저해효과에 비해 높은 저해가 발생된 것은 헬륨 가스에 의해 생성된 플라즈마에 존재하는 라디칼들( $\text{He}^+$ ,  $\text{He}^{2+}$  등) 대한 포자의 민감도가 더욱 높았기 때문으로 사료되었다.

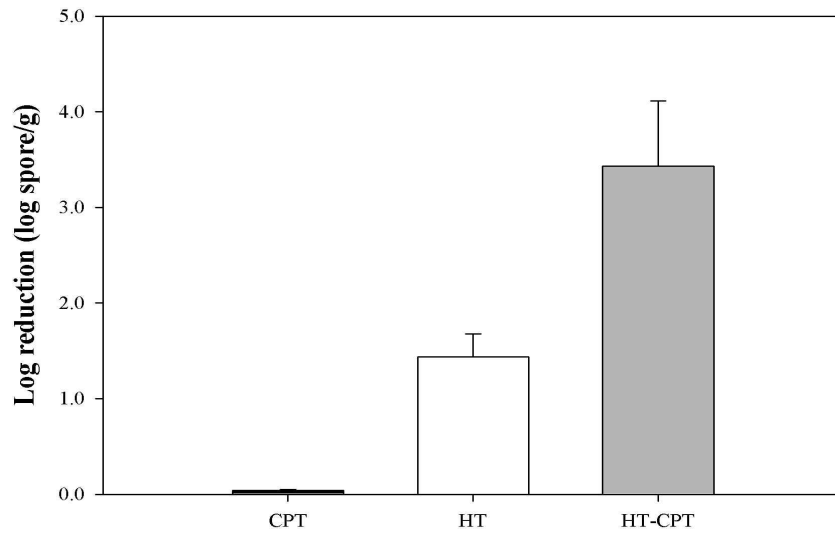


Fig. 51. Effects of the combined treatment of water bath heating (90 °C, 30 min) and cold plasma (helium-oxygen mixture gas (99.8 : 0.2), 900 W, 20 min) on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper powder.

헬륨-산소 가스를 이용하여 열과 CP 병합처리 한 결과 *B. cereus* 포자의 저해에 대한 추가적인 저해효과가 관찰되었다(Fig. 51). CPT에 의해서는 저해되지 않았고 열 단독 처리와 열-CP 병합처리의 저해효과는 각각  $1.4 \pm 0.2$  log spores/g와  $3.4 \pm 0.7$  log spores/g으로 유의적으로 차이가 나타나 *B. cereus* 포자의 저해에 대한 상승효과가 발생된 것으로 보였다( $P < 0.05$ ). 헬륨-산소 혼합가스에서 헬륨 가스를 사용한 경우보다 높은 저해가 발생되었는데, 낮은 농도의 산소가 첨가됨으로써  $O^{2+}$ ,  $O_2^-$ , O, 그리고  $O_3$  등 과 같은 라디칼들이 더욱 많이 생성되어 포자의 세포벽을 부식시키거나 산화시킨 것으로 사료되었다(Hong 등, 2009). 열-CP 병합처리에 의한 *B. cereus* 영양세포와 포자의 세포벽을 관찰한 결과(Fig. 52), 세포벽의 파괴로 인해 내부물질이 용출되어 포자가 사멸된 것을 알 수 있었다.

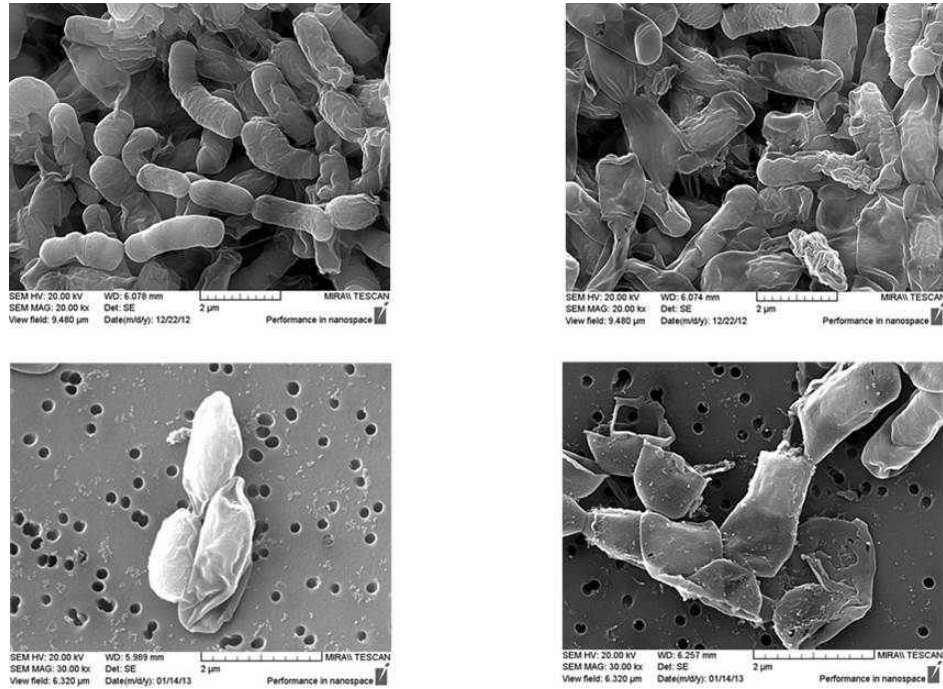


Fig. 52. Scanning electron micrographs of *B. cereus*. Left, untreated *B. cereus* vegetative cells and spores; right, *B. cereus* vegetative cell and spores imposed to the integrated treatments of heat (90 °C, 30 min) and cold plasma (helium-oxygen mixture gas (99.8 : 0.2), 900 W, 20 min).

Table 39. Effects of heat treatments, cold plasma treatments (CPTs), and combined treatments on the color properties of red pepper powder.

Color	Treatments				
	No treatment	Heat treatment <sup>a</sup>	CPT I <sup>b</sup>	CPT II <sup>c</sup>	Combined treatment (heat treatment+CPTII)
<b>L*</b>	38.27±0.34 <sup>a</sup>	37.19±0.50 <sup>b</sup>	38.47±0.49 <sup>a</sup>	38.54±0.53 <sup>a</sup>	37.49±0.28 <sup>b</sup>
<b>a*</b>	11.99±0.53 <sup>a</sup>	9.49±0.50 <sup>b</sup>	12.10±0.50 <sup>a</sup>	12.38±0.49 <sup>a</sup>	9.32±0.41 <sup>b</sup>
<b>b*</b>	9.89±0.66 <sup>a</sup>	8.45±0.38 <sup>b</sup>	10.32±0.38 <sup>a</sup>	10.84±0.65 <sup>a</sup>	8.23±0.58 <sup>b</sup>
<b>ASTA</b>	46.62±1.91 <sup>ab</sup>	43.24±0.82 <sup>b</sup>	48.65±0.09 <sup>a</sup>	50.73±0.47 <sup>a</sup>	47.37±3.95 <sup>ab</sup>

<sup>a, b, c, d</sup> Different letters within the same column differ significantly ( $P < 0.05$ )

<sup>a</sup> Temperature: 90 °C, time: 30 min

<sup>b</sup> Gas: nitrogen, power: 900 W, time: 20 min

<sup>c</sup> Gas: helium-oxygen mixture, power: 900 W, time: 20 min

CIELab과 ASTA 측정 결과 CPT에 의한 분말고추의 색 변화는 유의적으로 관찰되지 않았으며( $P < 0.05$ ) (Table 39), 이는 CPT가 분말 고추의 외관(색)에 영향을 주지 않는 비열 살균 처리임을 증명해주고 있다.

(나) 고압증기살균기(high pressure steam heating)

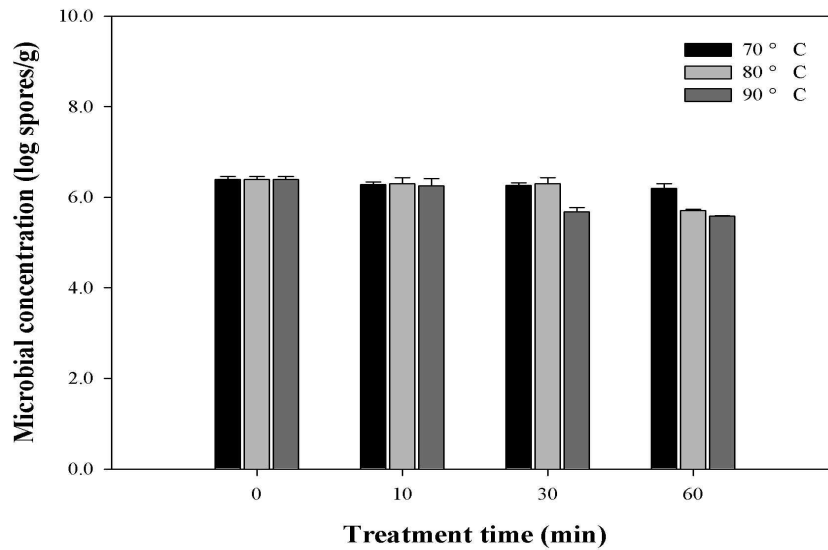


Fig. 53. Effects of treatment time of the high pressure steam heating on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper powder.

*B. cereus* 포자를 접종시킨 분말고추 A를 유리병에 고르게 깔리도록 한 후, 고압증기살균기에 넣어 각 온도별 처리 시간에 따른 저해효과를 관찰하였다(Fig. 53). 온도가 80 °C일 때 처리 시간 60 분일 때  $0.7 \pm 0.0$  log spores/g 저해되었고, 90 °C일 때 처리 시간 30 분과 60 분에서 각각  $0.7 \pm 0.1$  log spores/g와  $0.8 \pm 0.0$  log spores/g으로 저해효과가 유의적으로 관찰되었다( $P < 0.05$ ).

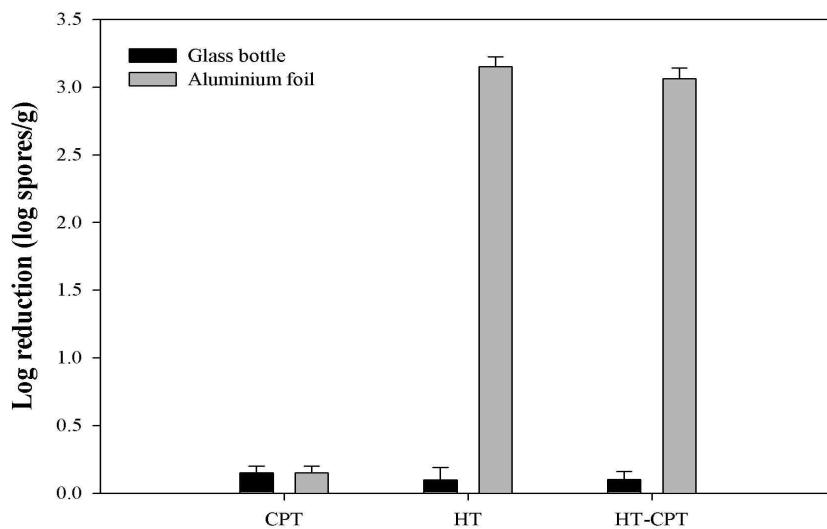


Fig. 54. Effects of type of container holding red pepper powder inoculated with *B. cereus* spores on the inhibition of the spores by the high pressure steam heating at 90 °C for 30 min.

*B. cereus* 포자가 접종된 분말고추 A는 CPT에 의해서 저해가 0.5 log 미만으로 유의적인 저해효과가 관찰되지 않았고( $P>0.05$ ), 이를 유리병에 담아 열 단독 처리하였을 때 저해가 되지 않았으며, 열-CP 병합처리에서도 저해가 발생되지 않았다. 호일에 고르게 퍼진 경우에는 열 단독 처리에 의해서 약 3 log spores/g의 높은 저해가 발생되었고, 열-CP 병합처리 후에는 유의적으로 추가적인 저해가 발생되지 않아 *B. cereus* 포자의 저해에 대한 상승효과를 기대할 수 없었다( $P>0.05$ ) (Fig. 54).

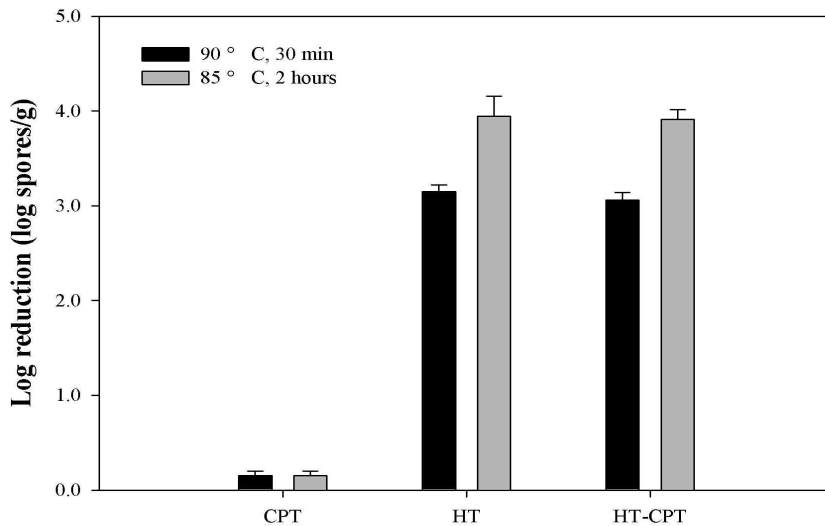


Fig. 55. Effects of the heating temperature and time on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper powder by the treatments of cold plasma (helium-oxygen mixture gas (99.8 : 0.2), 900 W, 20 min), high pressure steam heating (90 °C, 30 min) and their combination.

*B. cereus* 포자를 접종시킨 분말고추 A (7 log spores/g)를 알루미늄 호일 표면에 고르게 깔리도록 한 후, 고압증기살균기에 넣어 열처리 조건(온도, 시간)에 따른 저해효과를 관찰하였다(Fig. 55). 고압증기살균기를 사용하여 열-CP 병합처리 한 경우에는 온도와 시간에 관계없이 *B. cereus* 포자의 저해에 대한 추가적인 저해효과가 나타나지 않았다. 항온 수조를 이용한 열과 CP 병합처리의 저해효과(약 3 log spores/g)와는 상반된 결과인데, 이는 고압증기살균기로 열처리한 후에는 증기가 상온에서 수분이 되어 CPT하는 동안 시료에 접종된 포자에 대한 보호막 역할을 하였기 때문으로 사료되었다.

(다) 열풍건조기(hot-air heating)

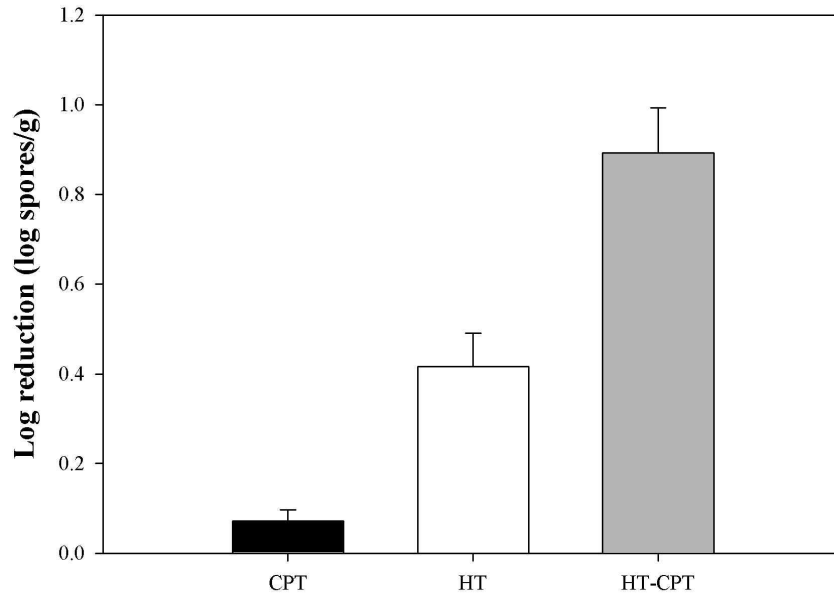


Fig. 56. Effects of the combined treatment of hot-air heating (90 °C, 30 min) and cold plasma (helium-oxygen mixture gas (99.8 : 0.2), 900 W, 20 min on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper powder.

*B. cereus* 포자가 접종된 분말고추 A를 열풍건조기를 이용하여 열처리한 후 CPT를 병합한 결과를 Fig. 56에 나타내었다. CPT에 의한 저해는 발생되지 않았고, 열처리에 의한 저해효과( $0.4 \pm 0.1$  log spores/cm<sup>2</sup>)보다 열-CP 병합처리의 저해효과( $0.9 \pm 0.1$  log spores/cm<sup>2</sup>)가 높게 나타났다. 추가적인 저해효과는 1 log 수준이 되지 않았는데, 이는 분말고추 A의 경우 다양한 크기와 모양을 가진 입자들이 겹겹이 쌓여있어 본 연구에 사용된 플라즈마가 침투하지 못하여 플라즈마의 영향을 덜 받았을 것으로 사료되었다.

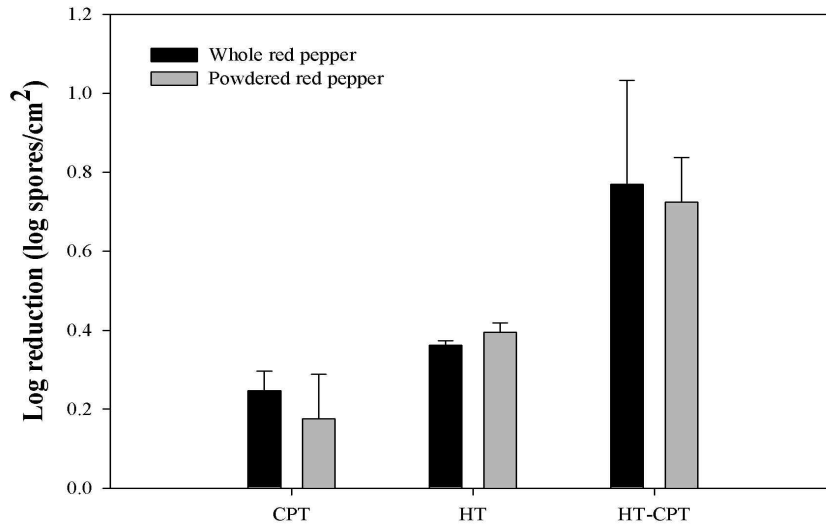


Fig. 57. Effects of the dimensions of red pepper on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper by the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min), hot-air heating (90 °C, 30 min) and their combination.

분말고추의 상태, 즉 비분말과 분말 상태가 열과 CP 병합처리에 주는 영향을 Fig. 57에 나타내었다. 그 결과, 시료 상태에 관계없이 각 단독 처리의 저해효과보다 열과 CP 병합 처리의 저해효과가 더욱 높게 관찰되었다( $P < 0.05$ ).

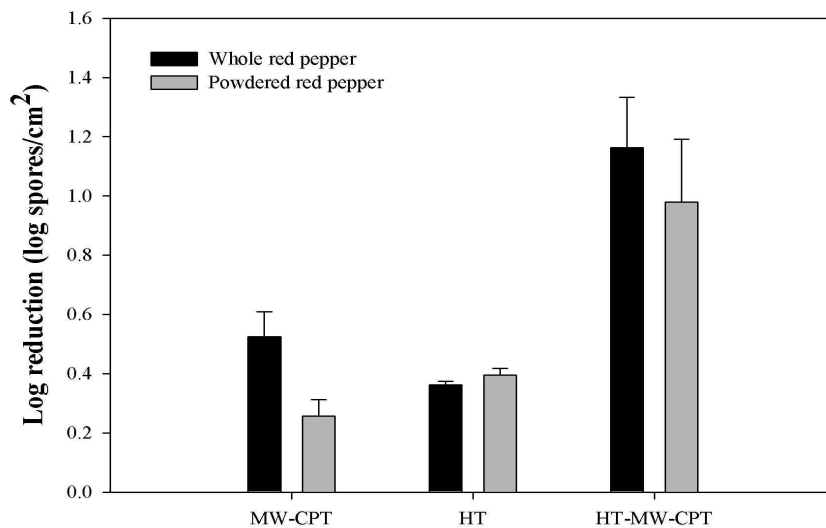


Fig. 58. Effects of the dimensions of red pepper on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper by the treatments of microwave-cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min), hot-air heating (90 °C, 30 min) and their combination.

열과 MW-CPT를 병합하여 저해효과를 관찰한 결과(Fig. 58)에서는 비분말 고추의 경우에는 MW-CPT에 의해서  $0.5 \pm 0.1$  log spores/cm<sup>2</sup> 저해되었고, 이는 분말 고추의 저해효과



( $0.3 \pm 0.1 \log \text{ spores/cm}^2$  reduction)에 비해 유의적으로 높은 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ). 분말고추와 비분말 고추에 접종된 *B. cereus* 대한 MW-CPT의 저해정도와 열처리( $0.4 \pm 0.0 \log \text{ spores/cm}^2$  reduction)의 저해정도를 합친 것에 비해 열과 MW-CP 병합처리 후에 얻은 저해효과(비분말 고추:  $1.2 \pm 0.2 \log \text{ spores/cm}^2$ , 분말 고추:  $1.0 \pm 0.2 \log \text{ spores/cm}^2$ )가 높았다( $P < 0.05$ ).

비분말 고추의 경우 겉면과 안쪽 면에 접종된 *B. cereus* 포자의 저해효과가 각각  $2.8 \log \text{ spores/cm}^2$ 와  $1.4 \log \text{ spores/cm}^2$ 으로 나타났으며, 겉면은 wax 층으로 되어있지만 안쪽 면은 wax층이 없고 굴곡과 주름이 많아 포자가 플라즈마의 영향을 피할 수 있는 공간이 있어 저해효과가 비교적 낮게 발생된 것으로 사료되었다.

앞선 연구결과를 바탕으로 하여 열과 CP 병합처리가 추가된 새로운 분말고추 제조공정은 1) 고추를 분말화한 후에 열처리한 후 UV 조사 대신 CPT하는 것이며 (Fig. 59), 2) 세척된 고추를 원적외선 건조 대신 열풍 건조기로 건조하여 UV 조사 대신 MW-CPT하고 분말화 하는 것이다 (Fig. 60).

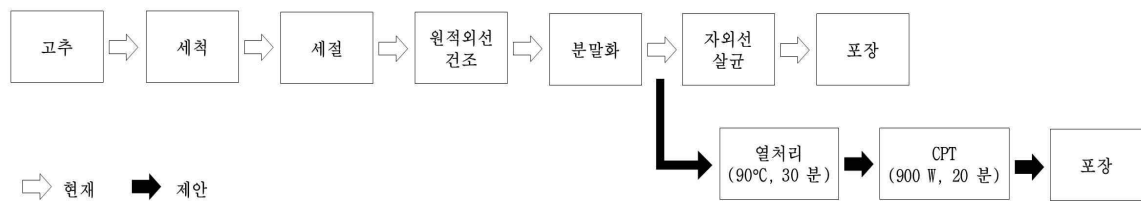


Fig. 59. Red pepper powder manufacturing flow chart suggesting conduct a combined treatment of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) and water bath heating (90 °C, 30 min) after powder formation.

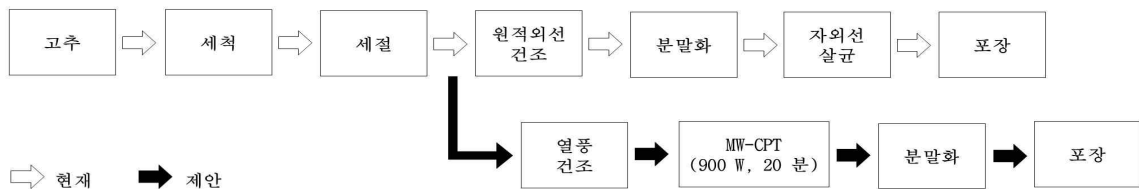


Fig. 60. Red pepper powder manufacturing flow chart suggesting replace far infrared drying with hot-air drying.

라. 건조 방법의 미생물 저해에 대한 영향

(가) 처리 조건 설정

① 진공 건조 조건

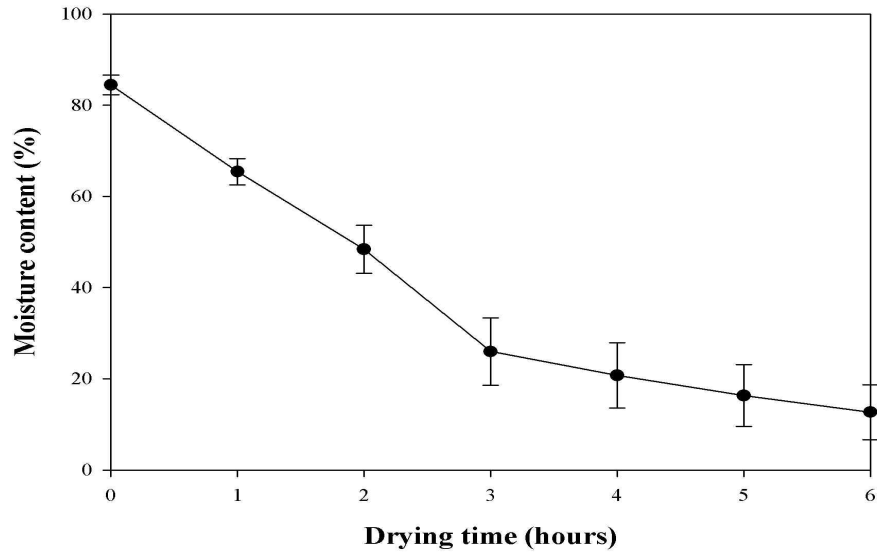


Fig. 61. Effects of drying time of vacuum drying (5 kPa, 85 °C) on the moisture content of red pepper.

원적외선 건조 시 사용되는 온도(85 °C)에서 진공 건조기를 사용할 경우 6 시간 후에 고추의 수분함량이 15% 이하가 되는 것을 알 수 있었다(Fig. 61).

② CPT 조건 설정

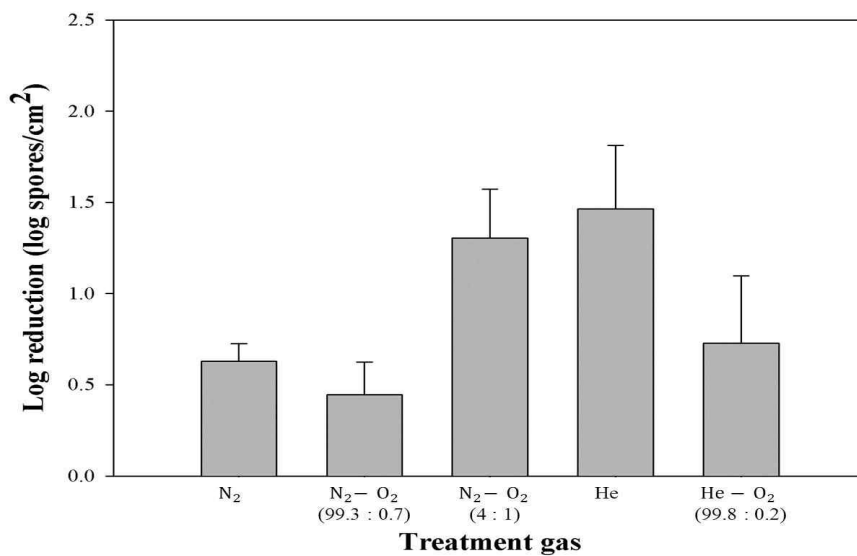


Fig. 62. Effects of plasma forming gas on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper dried by vacuum drying (5 kPa, 85 °C).

진공 건조된 고추에 접종시킨 *B. cereus* 포자(약 4 log spores/cm)는 헬륨가스를 사용하여 900 W에서 20 분 동안 CPT하였을 때, 가장 많이 저해되어(Fig. 62), 이를 CPT 조건으로 설정하였다.

(나) 미생물 저해

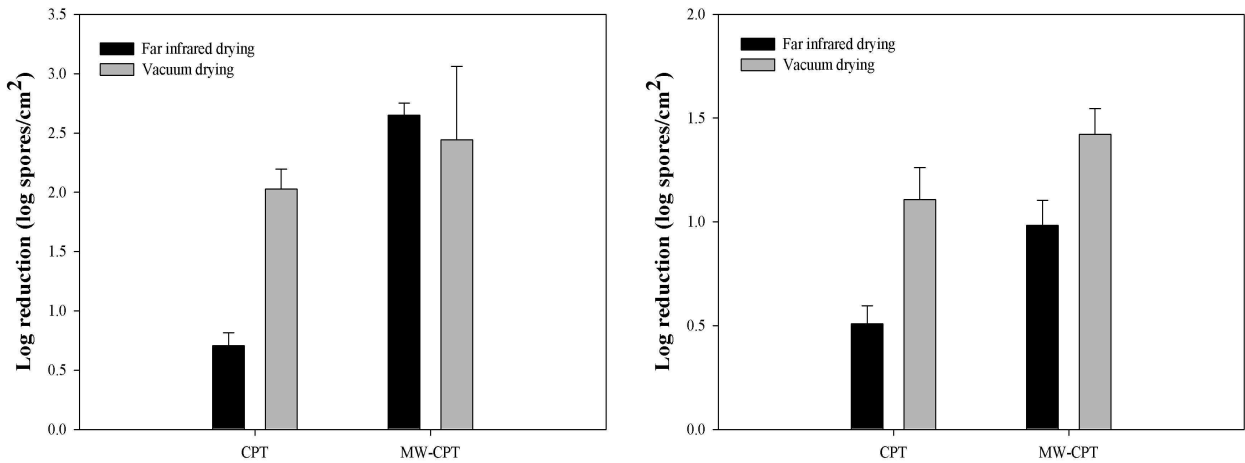
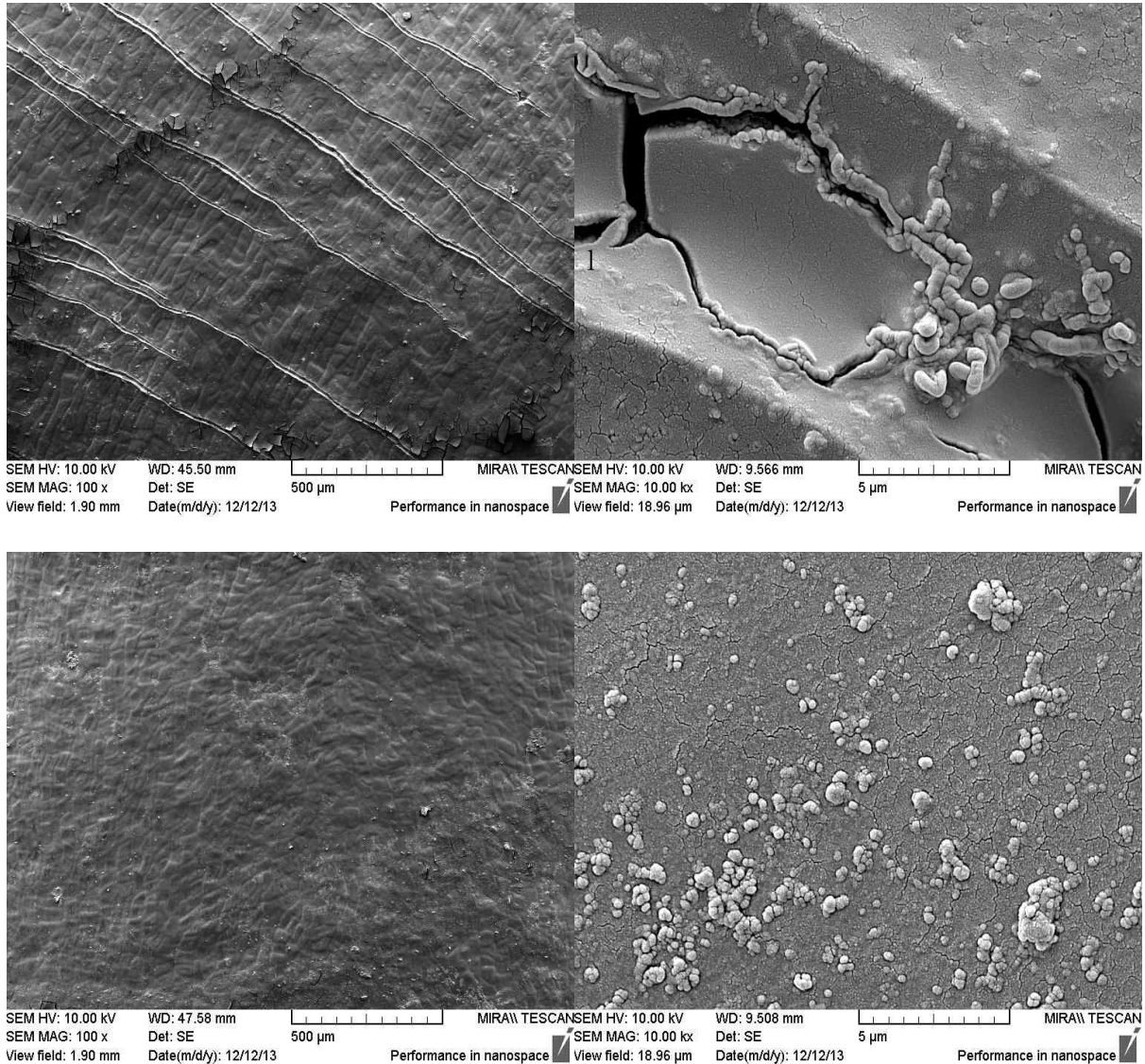


Fig. 63. Effects of drying method on the effectiveness of microbial inhibition of *B. cereus* spores on non-powdered red pepper powder (left) and powdered red pepper (right) by the cold plasma treatments (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave.

헬륨가스를 사용하여 900 W에서 20 분 동안 CPT하였을 때, 시료 형태에 관계없이 CPT에 비해 MW-CPT되었을 때 저해효과가 더욱 크게 나타났다( $P>0.05$ ) (Fig. 63). 비분말 고추의 경우에는 건조방법과 상관없이 MW-CPT되었을 때 가장 높은 저해효과를 나타내었다( $P>0.05$ ). 분말고추의 경우에는 진공 건조된 분말고추에 접종시킨 *B. cereus* 포자(약 4 log spores/cm<sup>2</sup>)가 원적외선 건조된 분말고추에 접종된 포자에 비해 많이 저해되었다( $P<0.05$ ). 그리고 분말고추에 비해 비분말 고추에 접종된 포자가 더욱 높은 수준으로 저해되었다. 원적외선 건조 또는 진공 건조된 시료 간에 발생된 미생물 저해효과에 대한 유의적인 차이의 원인을 알아보려고 미생물이 접종되지 않거나 접종된 시료의 표면을 관찰하였다 (Fig. 64).



**Fig. 64.** Scanning electron micrographs of red pepper. Left, uninoculated Far infrared dried red pepper and vacuum dried red pepper; right, Far infrared dried red pepper and vacuum dried red pepper inoculated with *B. cereus* spores.

건조 처리 후에 원적외선 건조된 고추 표면은 진공 건조된 고추 표면에 비해 많은 손상을 입었고, 틈이 생겨있는 것을 관찰할 수 있었다. 미생물 접종 후 진공 건조된 고추에는 미생물들이 표면에 존재하는 반면, 원적외선 건조된 고추에는 미생물들이 틈 사이에 존재하고 있었다(Fig. 64). 표면 관찰을 통해 원적외선 건조된 고추에 접종된 *B. cereus* 포자에 비해 진공 건조된 고추에 접종된 포자가 CPT의 영향을 쉽게 받을 수 있어 많이 저해되었음을 알 수 있었다.

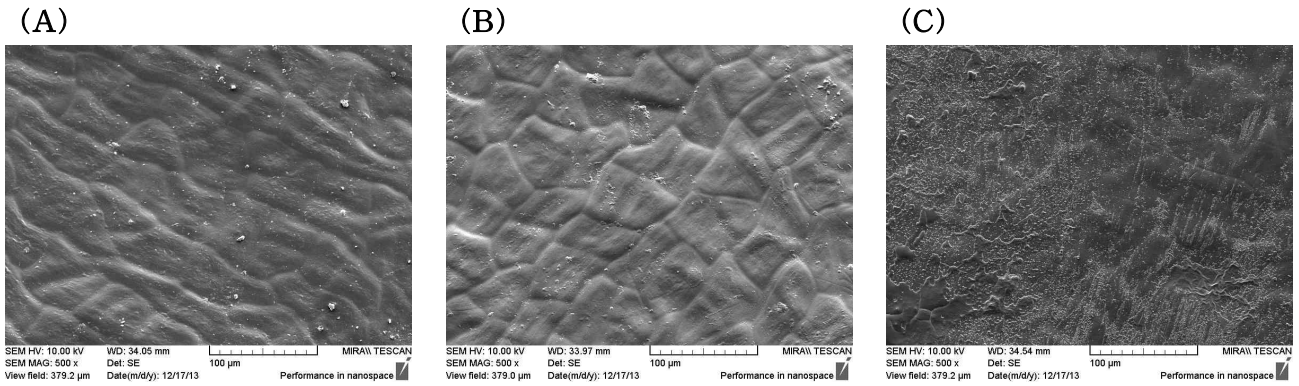


Fig. 65. Scanning electron micrographs of red pepper surface. A, untreated vacuum dried pepper; B, vacuum dried red pepper treated by cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min); C, vacuum dried red pepper treated by a simultaneous treatment with cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) and microwave ( $21.7 \text{ W/cm}^3$ ).

또한, 진공 건조된 샘플을 CPT 또는 MW-CPT한 후, 각 샘플의 표면을 비교 관찰하였다 (Fig. 65). 아무 처리되지 않은 고추 표면과 CPT 된 고추 표면에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, MW-CPT 된 고추 표면에서는 손상된 부분을 관찰할 수 있었다. CPT에서는 마이크로웨이브의 영향을 받지 않는 위치에서 시료가 처리되기 때문에 고추 표면에 아무 영향이 없어보였지만, MW-CPT의 경우에는 높은 마이크로웨이브 밀도( $21.7 \text{ W/cm}^3$ )로 인해 플라즈마 내 생성되는 주요 라디칼들의 활동이 활발하여 고추 표면에도 영향을 준 것으로 사료되었다.

본 연구결과를 통해 1) 실제 분말고추 제조공정인 원적외선 건조를 진공 건조로 대체하여 고추를 진공 건조시킨 후에 CPT 또는 MW-CPT하여 분말화를 하거나, 2) 원적외선 건조 후에 MW-CPT하여 분말화를 한다면 미생물 안전성을 높일 수 있는 새로운 분말고추 제조 공정이 제안될 수 있을 것이다(Fig. 66-67).

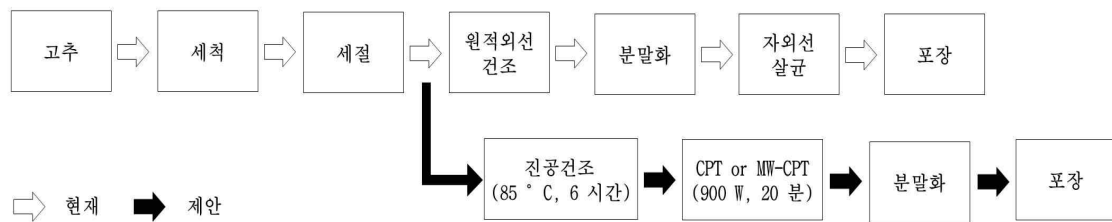


Fig. 66. Red pepper powder manufacturing flow chart suggesting replace far infrared drying with vacuum drying.

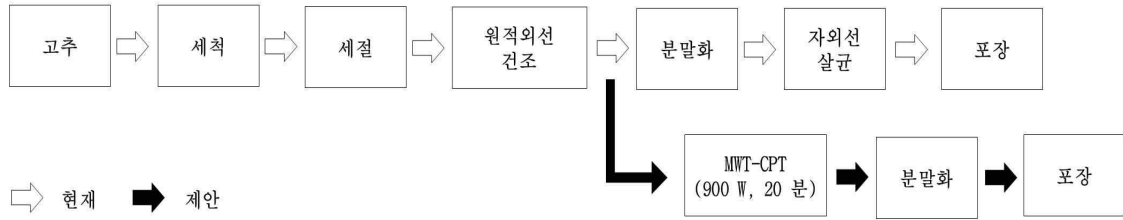


Fig. 67. Red pepper powder manufacturing flow chart suggesting conduct a simultaneous treatment of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) and microwave prior to powder formation.

마. 고추  $a_w$ 의 미생물 저해에 대한 영향

Table 40. Effects of  $a_w$  of red pepper on the inhibition of *B. cereus* spores on red pepper by cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) and the simultaneous treatment of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) and microwave.

(단위: log spores/cm<sup>2</sup>)

	CPT	MW-CPT
0.6	0.7±0.1	0.9±0.1
0.7	0.8±0.0	1.7±0.1
0.8	0.9±0.0	2.1±0.3
0.9	0.8±0.1	1.3±0.1

원적외선 건조된 샘플의  $a_w$ 가 0.6에서 0.8로 증가함에 따라 CPT 또는 MW-CPT에 의한 포자에 대한 저해효과가 크게 나타났다(Table 40). 앞서 고압증기살균기를 이용하였을 경우에도 높은 수분함량( $a_w$  0.9 이상)으로 인해 CPT의 저해가 낮게 발생되었었는데, CPT 또는 MW-CPT의 저해효과를 증가시키는데  $a_w$ 가 중요 변수가 될 것으로 사료되었다. 현재 제품으로 출시되는 분말고추의 수분활성도는 약 0.53으로 측정되었는데 제조과정 중 원적외선 건조처리를 고추의  $a_w$ 가 0.8이 될 때까지 한다면 건조 시간이 단축될 수 있고,  $a_w$ 가 0.8인 고추를 MW-CPT한다면 분말화 후에도 낮은 미생물 농도가 검출될 것으로 사료된다. 이를 토대로 제시된 새로운 공정을 Fig. 68에 나타내었다.

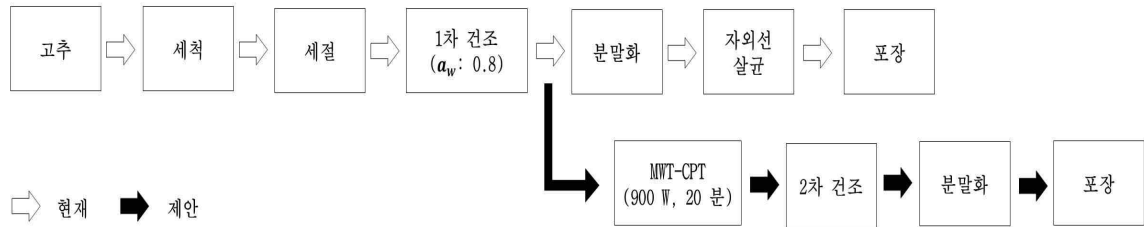


Fig. 68. Red pepper powder manufacturing flow chart suggesting replace far infrared drying with vacuum drying.

바. 저장 중 CPT 또는 MW-CPT 동시처리가 분말 고추의 미생물 성장 및 품질 변화에 주는 영향

(1) 저장 중 미생물 농도 변화

(가) *B. cereus* 포자

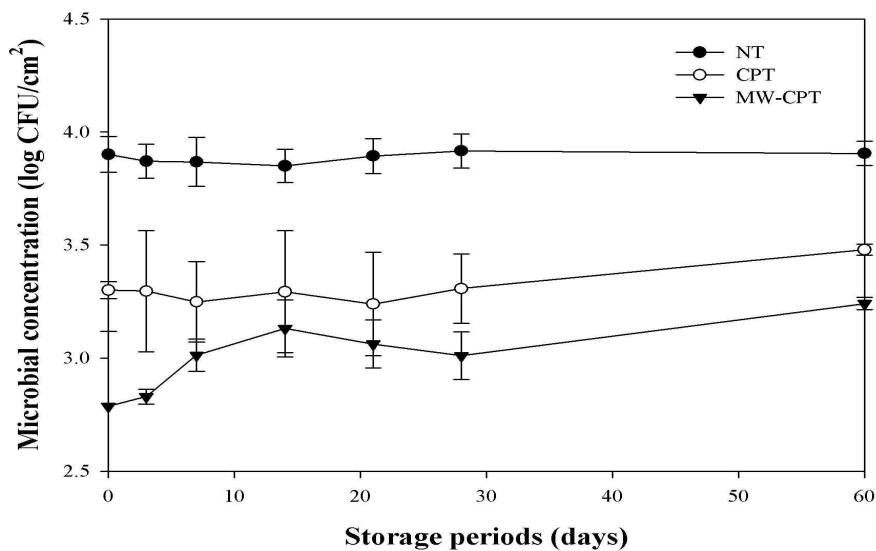


Fig. 69. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave (21.7 W/cm<sup>3</sup>) on the concentration of *B. cereus* on red pepper powder during storage at 25 °C for 60 days.

저장 기간 동안 *B. cereus* 포자는 아무 처리 하지 않은 분말 고추에서 가장 높은 수준으로 검출되었고, CPT와 MW-CPT된 분말고추 순서로 낮게 검출되었다(Fig. 69). 저장 기간 동안 아무 처리 되지 않은 시료에서는 *B. cereus* 포자가 약 4 log CFU/cm<sup>2</sup>으로 유지되었고, CPT된 시료에서도 약 3.0-3.5 log CFU/cm<sup>2</sup>로 검출되었다. MW-CPT된 시료에서

는 *B. cereus*의 농도가 60 일째에서는 약 0.5 log CFU/cm<sup>2</sup> 증가된 것을 알 수 있었는데, 이는 MW-CPT시 비교적 높은 손상을 받은 *B. cereus* 포자가 저장 중에 발아하여 영양세포로 전환되었을 가능성이 있었다. 따라서 분말고추 제품에 대한 CPT 또는 MW-CPT를 한다면 *B. cereus*로 인해 발생될 수 있는 문제가 감소될 수 있을 것으로 기대되었다.

(나) *A. flavus*

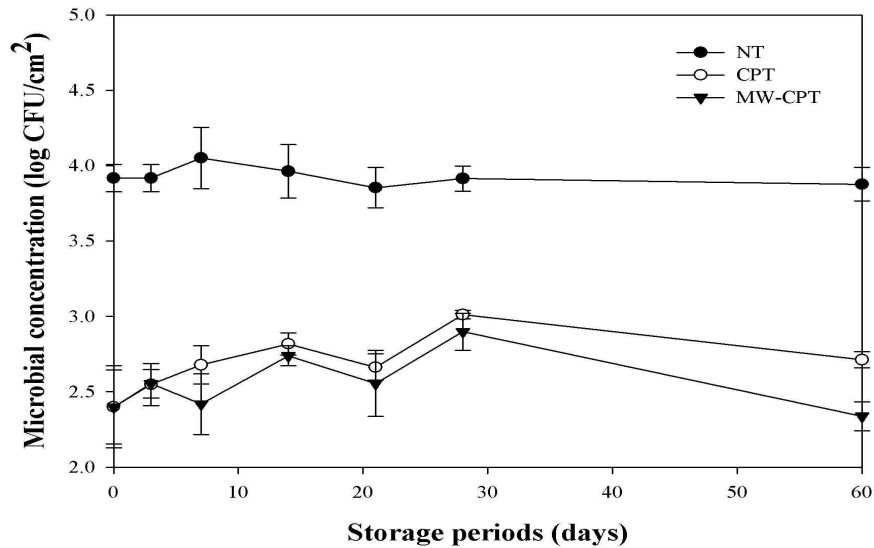


Fig. 70. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave (21.7 W/cm<sup>3</sup>) on the concentration of *A. flavus* on red pepper powder during storage at 25 °C for 60 days.

아무 처리 하지 않은 분말고추에 접종된 *A. flavus* 포자는 약 4 log CFU/cm<sup>2</sup>으로 검출되었으며 저장 기간 동안 증가하지 않았고, CPT 또는 MW-CPT된 분말고추에 접종된 *A. flavus* 포자는 30 일째에서 약 2-3 log spores/cm<sup>2</sup> 수준으로 유지되었지만 60 일째에서는 감소되어 생식세포로 발아된 *A. flavus* 포자가 분말고추의 낮은 수에 영향을 받았을 것으로 사료되었다. 이를 통해 CPT 또는 MW-CPT가 분말고추의 새로운 살균 공정으로 대체될 수 있다는 가능성을 보여주었다(Fig. 70).



(다) 호기성균

분말고추에 존재하는 호기성균은 처리 여부에 관계없이 저장 기간 동안 검출되지 않았다.

(2) 저장 중 분말고추의 이화학적 특성 변화

(가) 캡사이신

Table 41. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave on the concentration of capsaicin during storage at 25 °C for 60 days.

(단위: mg/100g)

Storage time (day)	Untreated sample	CP	MW-CPT
0	120.7±2.3	106.9±12.2 <sup>a</sup>	88.5±5.9 <sup>b</sup>
3	110.9±9.4 <sup>a</sup>	96.3±9.2 <sup>b</sup>	55.8±2.1 <sup>c</sup>
7	92.0±11.7 <sup>a</sup>	78.7±8.4 <sup>a</sup>	47.7±2.1 <sup>b</sup>
14	69.7±2.8 <sup>a</sup>	58.4±10.0 <sup>a</sup>	43.6±1.6 <sup>b</sup>
21	56.6±2.9 <sup>a</sup>	43.9±10.0 <sup>a</sup>	38.1±3.0 <sup>a</sup>
28	44.2±6.2 <sup>a</sup>	42.8±11.6 <sup>a</sup>	37.1±2.2 <sup>a</sup>
60	42.0±11.7 <sup>a</sup>	40.2±4.3 <sup>a</sup>	33.0±8.7 <sup>a</sup>

아무 처리 하지 않거나 CPT와 MW-CPT된 분말고추의 캡사이신 농도는 각각 약 121 mg/100g, 107 mg/100g 그리고 89 mg/100g이었다(Table 41). 0일 째와 3 일 이후부터 아무 처리 하지 않거나 CPT된 시료 간에 유의적인 차이가 관찰되지 않았다( $P>0.05$ ). MW-CP된 시료의 경우에는 0-14 일째에 다른 시료들의 캡사이신 함량과 유의적으로 차이가 나타났지만( $P<0.05$ ), 21 일째부터 60 일까지 저장된 시료에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다( $P>0.05$ ). 저장 기간 동안 처리여부에 관계없이 분말고추의 캡사이신 함량은 감소되었다. 아무 처리 되지 않거나 CPT 그리고 MW-CPT된 시료는 저장 60 일째에 각각 65.2%, 62.4%, 그리고 61.6%의 감소율을 보였다.

(나) 비타민 C

Table 42. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave (21.7 W/cm<sup>3</sup>) on the concentration of ascorbic acid during storage at 25 °C for 60 days.

(단위: mg/100g)

Storage time (day)	Untreated sample	CP	MW-CPT
0	141.7±6.0	125.1±1.4 <sup>b</sup>	106.9±7.1 <sup>c</sup>
3	132.0±3.3 <sup>a</sup>	103.0±8.9 <sup>b</sup>	92.8±5.3 <sup>c</sup>
7	127.3±3.1 <sup>a</sup>	99.5±6.0 <sup>b</sup>	88.1±4.6 <sup>c</sup>
14	95.2±5.2 <sup>a</sup>	85.3±3.4 <sup>b</sup>	85.0±3.5 <sup>b</sup>
21	94.0±3.6 <sup>a</sup>	81.5±2.6 <sup>b</sup>	80.0±3.6 <sup>b</sup>
28	82.3±4.3 <sup>a</sup>	79.7±6.3 <sup>a</sup>	76.7±7.8 <sup>a</sup>
60	66.1±8.0 <sup>a</sup>	59.6±7.0 <sup>ab</sup>	56.1±7.7 <sup>b</sup>

아무 처리 하지 않은 분말고추의 비타민 C 함량은 약 142 mg/100g이었으며, CPT와 MW-CPT된 분말고추의 비타민 C 함량은 각각 125 mg/100g과 107 mg/100g이었다 (Table 42). 이는 저장 기간 동안 처리여부에 관계없이 감소되었고, CPT 또는 MW-CPT된 분말고추의 비타민 C는 아무 처리하지 않은 분말고추의 함량에 비해 낮은 농도로 검출되었다. 14 일째 부터는 CPT 또는 MW-CPT된 시료 간에 유의적인 차이가 관찰되지 않았지만( $P>0.05$ ), 아무 처리 되지 않은 시료 간에는 유의적인 차이가 나타났다( $P<0.05$ ). 저장 60 일째에는 아무 처리 하지 않은 시료와 CPT 그리고 MW-CPT된 시료의 비타민 C 함량이 각각 53.3%, 52.3%, 그리고 47.5% 감소되었다.

(다) 항산화능

Table 43. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave (21.7 W/cm<sup>3</sup>) on the scavenging ABTS radicals during storage at 25 °C for 60 days.

(단위: %)

Storage time (day)	NT	CP	MW-CPT
0	94.0±1.81	95.5±1.0	96.3±0.02
3	96.4±0.2	95.4±1.4	96.1±0.5
7	94.3±1.2	94.8±1.0	93.4±1.5
14	95.5±0.5	95.5±0.6	95.3±0.3
21	95.4±0.4	95.4±0.6	94.2±0.3
28	95.5±0.2	95.8±0.5	95.2±0.4
60	95.4±0.1	95.1±0.2	94.8±1.3

추출된 시료를 50% 희석하여 ABTS 소거능(%)을 살펴본 결과(Table 43), 처리 여부와 저장 기간에 상관없이 94% 이상의 항산화능을 보여주었다.

Table 44. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave (21.7 W/cm<sup>3</sup>) on the scavenging DPPH radicals during storage at 25 °C for 60 days.

(단위: %)

Storage time (day)	NT	CP	MW-CPT
0	86.0±2.6	86.8±0.4	86.3±1.2
3	86.5±0.6	86.4±1.2	86.3±0.7
7	84.6±0.5	86.6±0.3	85.7±0.4
14	85.3±0.5	85.9±0.8	84.7±0.7
21	84.8±0.6	86.1±3.9	85.7±0.5
28	83.6±0.5	83.6±0.6	84.0±0.6
60	86.7±0.2	86.5±0.4	86.2±0.2

추출된 시료 원액의 DPPH 라디칼 소거능(%)을 살펴본 결과(Table 44), 처리 여부와 저장 기간에 상관없이 83% 이상의 항산화능을 보여주었다. 따라서, CPT 또는 MW-CPT는

분말고추의 항산화능에 영향을 주지 않는 것을 알 수 있었다. 분말고추에는 비타민 C 외에도 많은 항산화물질을 함유하고 있어 비타민 C 이외의 물질들에 대한 효과도 살펴보는 추가 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

(라) 색도(CIELab, ASTA)

① CIELab

Table 45. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave (21.7 W/cm<sup>3</sup>) on the color (CIELab) during storage at 25 °C for 60 days.

	Storage times(days)	NT	CPT	MW-CPT
L 값	0	36.6±1.7	37.2±1.3 <sup>a</sup>	36.4±1.4 <sup>a</sup>
	3	36.3±1.3 <sup>a</sup>	37.2±1.9 <sup>a</sup>	36.8±1.4 <sup>a</sup>
	7	36.2±1.6 <sup>a</sup>	36.9±1.7 <sup>a</sup>	36.9±1.8 <sup>a</sup>
	14	37.8±2.4 <sup>a</sup>	37.8±1.9 <sup>a</sup>	38.0±0.9 <sup>a</sup>
	21	38.1±1.0 <sup>a</sup>	38.4±1.4 <sup>a</sup>	38.2±0.9 <sup>a</sup>
	28	37.3±0.7 <sup>a</sup>	37.4±1.2 <sup>a</sup>	37.6±0.8 <sup>a</sup>
	60	37.1±1.0 <sup>a</sup>	36.8±1.6 <sup>a</sup>	36.8±1.2 <sup>a</sup>
a 값	0	8.2±2.3 <sup>a</sup>	8.7±1.9 <sup>a</sup>	7.2±1.9 <sup>a</sup>
	3	6.5±1.1 <sup>a</sup>	6.8±1.1 <sup>a</sup>	5.9±0.8 <sup>a</sup>
	7	5.9±1.0 <sup>a</sup>	6.1±1.2 <sup>a</sup>	5.3±1.5 <sup>a</sup>
	14	6.9±0.7 <sup>a</sup>	6.5±2.1 <sup>a</sup>	5.6±0.9 <sup>a</sup>
	21	6.1±1.4 <sup>a</sup>	6.8±1.1 <sup>a</sup>	6.3±0.6 <sup>a</sup>
	28	6.9±0.5 <sup>a</sup>	6.7±1.0 <sup>a</sup>	6.2±0.3 <sup>b</sup>
	60	6.5±0.6 <sup>a</sup>	6.6±1.9 <sup>a</sup>	5.7±0.3 <sup>a</sup>
b 값	0	3.2±1.0 <sup>a</sup>	3.8±0.5 <sup>a</sup>	3.2±1.0 <sup>a</sup>
	3	2.8±0.5 <sup>a</sup>	3.0±0.7 <sup>a</sup>	2.6±0.5 <sup>a</sup>
	7	2.5±0.6 <sup>a</sup>	2.8±0.7 <sup>a</sup>	2.5±0.6 <sup>a</sup>
	14	3.0±0.4 <sup>a</sup>	2.9±1.4 <sup>a</sup>	2.3±0.6 <sup>a</sup>
	21	3.1±0.9 <sup>a</sup>	3.1±0.7 <sup>a</sup>	2.7±0.4 <sup>a</sup>
	28	3.6±0.9 <sup>a</sup>	3.2±1.0 <sup>a</sup>	3.0±0.7 <sup>a</sup>
	60	3.6±0.4 <sup>a</sup>	3.6±0.9 <sup>a</sup>	3.1±0.3 <sup>a</sup>

처리 여부와 저장 일수에 따른 분말고추 표면의 색에 대한 유의적인 차이가 관찰되지 않았다( $P<0.05$ )(Table 45). 따라서, CPT 또는 MW-CPT가 분말고추의 표면의 색에 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있었다.

## ② ASTA

Table 46. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave (21.7 W/cm<sup>3</sup>) on the ASTA values during storage at 25 °C for 60 days.

	NT	CP	MW-CPT
0	52.5±13.8	42.9±4.1 <sup>a</sup>	42.5±7.5 <sup>a</sup>
3	41.7±9.4 <sup>a</sup>	39.2±5.3 <sup>a</sup>	37.6±0.6 <sup>a</sup>
7	39.2±10.8 <sup>a</sup>	36.1±6.9 <sup>a</sup>	31.3±7.7 <sup>a</sup>
14	35.6±11.2 <sup>a</sup>	32.0±15.4 <sup>a</sup>	27.7±6.0 <sup>a</sup>
21	31.5±11.7 <sup>a</sup>	29.7±9.8 <sup>a</sup>	26.4±7.4 <sup>a</sup>
28	28.7±7.3 <sup>a</sup>	27.5±7.5 <sup>a</sup>	26.0±12.5 <sup>a</sup>
60	20.2±1.3 <sup>a</sup>	19.9±2.6 <sup>a</sup>	19.5±2.4 <sup>a</sup>

처리 여부에 따른 ASTA 값의 차이가 유의적으로 나타나지 않았다( $P < 0.05$ )(Table 46). 저장 기간이 오래될수록 ASTA 값의 감소가 나타났으며, 60 일 째 아무 처리 되지 않거나 CPT 그리고 MW-CPT된 시료 샘플의 ASTA 값은 0 일 째 값에 비해 각각 61.6%, 53.6%, 그리고 54.1% 감소되었다.

## ③ 관능평가

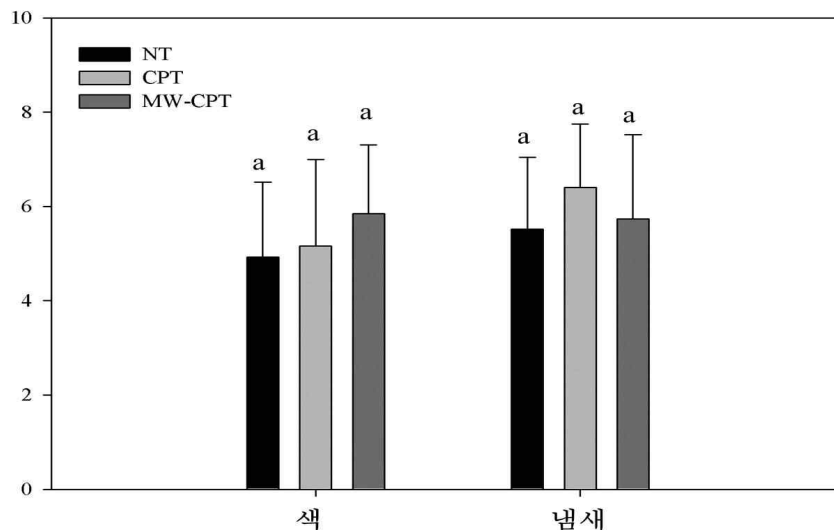


Fig. 71. Effects of the treatments of cold plasma (helium gas, 900 W, 20 min) with and without microwave (21.7 W/cm<sup>3</sup>) on the sensory properties of color and flavor.

CPT 또는 MW-CPT된 샘플은 아무 처리 되지 않은 샘플과 비교하였을 때, 색과 냄새에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다( $P < 0.05$ ). 따라서 CPT 또는 MW-CPT가 분말고추의 관능적 특성에 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있었다.

# 제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

## 1. 년차별 목표 달성도

### 가. 1차년도 (2011.12.26~2012.12.25)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2012)	펄스전기장(PEF) 처리를 이용한 고 추의 신속건조 기 술 개발	○Batch형 펄스전기장처리를 위한 공정변수 확립	100	- (홍)고추 처리용 batch chamber 확보 - Peak voltage, pulse width, frequency 에 따른 펄스에너지 측정 및 계산 - (홍)고추 침지 용액의 전기적 특성 (Conductivity, S/m)에 따른 펄스 에너지 측정 및 계산
		○펄스전기장 처리에 따른 (홍) 고추 세포막 투과도 측정	100	- Ion 용출 정도에 의한 세포막 투과도 측정 - 현미경관찰에 의한 막구조 변화 관찰 - 투입된 펄스에너지와 세포막구조 변성간의 상관관계 구명 - (홍)고추 절단여부에 대한 효과
		○펄스전기장 처리에 따른 (홍) 고추의 건조속도 증가 검증	100	- 펄스전기장 전처리에 따른 (홍)고추 열풍 건조 속도 측정 - 펄스전기장 전처리와 (홍)고추 건조 속도간의 상관관계 구명
	콜드플라즈마 처 리를 이용한 고춧 가루의 비열살균 기술 개발	○콜드플라즈마 공정변수 확립	100	- Lab 장비 최적화 - 콜드플라즈마 공정변수 확립 (Power, 처리시간, 사용기체, 처리압력 등)
		○콜드플라즈마 처리에 따른 미 생물 살균효과 검증	100	- 부패미생물에 대한 살균 kinetics 구축 - 병원성미생물에 대한 살균 kinetics 구축 - 미생물 저해 model 구축 및 model parameter들 결정 - Lab scale 에서의 미생물 살균 최적조건 확립
	고품질 고춧가루 의 시생산 및 가 공식품 원료적성 검증	○고품질 (홍)고추 평가기술	100	- 실험을 위한 원료 수급 및 검증 - 기술홍보

나. 2차년도 (2012.12.26.~2013.12.25)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2013)	펄스전기장(PEF) 처리를 이용한 고 추의 신속건조 기 술 개발	○(홍)고추의 연속 처리를 위한 기반확보	100	- (홍)고추 연속형 펄스 처리용 chamber 확보 및 적용 - Continuous chamber에서 flow rate에 따른 펄스특성 확립
		○(홍)고추의 연속형 펄스처리 최적화	100	- 홍고추의 연속형 펄스처리를 위한 처리조건 최적화 - 2.5 kV/cm, 100-200Hz, 처리시간 2초를 연속형 펄스처리를 위한 최적 조건으로 제시
		○연속형 펄스처리 (홍)고추의 건조효율 측정과 특성분석	100	- 2.5 kV/cm, 100 Hz, 펄스 처리시간 2초의 조건을 최적조건으로 확립. - 최적 조건에서 펄스처리군이 대조군 대비 30%의 건조효율 증가 확인 - 최적 조건에서 펄스처리군이 대조군대비 적색도 증가 확인
	콜드플라즈마 처 리를 이용한 고춧 가루의 비열살균 기술 개발	○콜드플라즈마 파일럿 기반 확보	100	- <열 병합처리 최적화> 열 처리 방법: 항온수조, 고압증기살균기, 열풍건조기 - 열 처리 조건: 90°C, 30 분 - CPT 조건: 헬륨 가스, 900 W, 20분 - 열과 CP 병합처리 저해효과: 3.4±0.7 log spores/g
	고품질 고춧가루 의 시생산 및 가 공식품 원료적성 검증	○콜드플라즈마 처리 고춧가루 의 이화학적-관능 특성 평가	100	- 색상(아스타), 색체계 (a/b값), 그리고 항산화능은 저장 중에 유지되었음. - 캡사이신 농도, 그리고 비타민 C 농도는 처리 여부에 관계 없이 저장 중에 감소되었으나, 아무 처리하지 않은 시료에 비해 손실율이 낮았음. - 관능적 특성에는 처리여부에 따른 유의적 차이가 나타나지 않았음.
	고품질 (홍)고춧가루 평가기술 확립 및 Pilot 테스트 지원	○고품질 (홍)고춧가루 평가기술 확립 및 Pilot 테스트 지원	100	- 실험을 위한 원료 수급 및 검 증 - 기술홍보

## 2. 관련분야 기여도

펄스전기장과 콜드플라즈마 기술은 국내에서 많은 연구가 이루어지지 않은 분야이다. 고부가가치식품개발사업을 통해 최신 식품가공기술에 대한 원리 및 응용 기술을 축적하였으며 이는 식품공학 분야의 새로운 연구 분야로서 산업기술 발전에 기여할 것으로 기대된다.

연구 과제를 통해 도출된 실험 결과는 국·내외 식품관련학회(포스터 발표 10건)를 통해 활발히 발표되었으며, 관련기술과 연구결과가 국내 학술지(2012년 비SCI, 1건)와 해외학술지(2014년 SCI, 1건)를 통해 발표완료 되었다. 추후 1편의 연구결과가 논문으로 작성되어 SCI(E)급 학술지에 발표 할 예정이다.

연구 과제를 통해 도출된 실험 결과 중 고춧가루의 살균에 적용할 수 있는 1건의 특허가 2013년 12월24일자로 출원되었으며 (출원번호 10-2013-0162690) 신속건조 관련 1건의 특허가 추가로 준비 중에 있다.

펄스전기장을 이용한 고추의 신속건조 연구결과, Electric field strength=2.5 kV/cm, Pulse width=30  $\mu$ s, Pulse number=200 ( $f=100$ Hz, 2s)의 최적조건에서 최대 30%의 건조 속도 증가를 관찰하였다. 이는 가공기술 중 장비와 에너지 소모율이 높은 건조공정에서 건조에 소모되는 시간과 에너지를 최대 30% 까지 절감 할 수 있음을 의미한다. 따라서 처리 공정 중 사용되는 에너지와 환경 부담 저감 효과가 기대된다.

펄스전기장과 콜드플라즈마 기술은 저에너지 활용기술로서 예를들어 가속건조 공정의 도입을 통해 신규공장 설계시 건조장비의 경량화도 가능하다고 판단된다. 따라서 신규공장 도입시 초기 시설비용 절감과 운영비 절감을 도모할 수 있어 고춧가루 산업 이외에도 산업적 활용도가 기대된다.

본 과제에서 개발된 신속건조와 비가열살균 기술의 경우, 산업화를 위해 비교적 고가의 추가 장치가 생산공장에 설치되어야 한다는 어려움이 있다. 따라서 특허에 대한 등록이 진행되는 시점에 따라 참여기업인 괴산고추조합공동사업법인에 특허에 대한 통상실시권을 이전하여 기술이전을 실시하고자 한다.



## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

### 1. 연구개발 성과

#### (가) 연구개발을 통한 국·내외 학회 발표: 8 건

- 한국산업식품공학회(국내), 포스터 발표, Dehydration of hot red peppers as influenced by pulsed electric fields pretreatment (2012)
- IFT (해외), 포스터 발표, Decontamination of Red Pepper Powder Using the Microwave-Powered Cold Plasma System (2012)
- 한국산업식품공학회(국내), 포스터 발표, Membrane Permeabilization of Red Peppers by Pulsed Electric Fileds and Its Impacts on Impedance Profile and Accelerated Drying (2013)
- IFood Conference 2013 (해외), 구두 발표, The Effect of Size Reduction on the Functional Property of Chlorella and Defatted Rice Bran
- 한국식품과학회 (국내), 포스터 발표, Cold Plasma Tretaments for Inhibitiong Microorganisms in Red Pepper Powder (2013)
- 한국식품과학회 (국내), 포스터 발표, Effects of Integrated Treatments of Cold Plasma on the Inhibittion of B. cereus Spores in Red Pepper Powder (2013)
- 한국식품과학회 (국내), 포스터 발표, Inhibition of Foodborne Pathogens in Powder Products Using an Integrated Treatment of Cold Plasma and Microwave (2013)
- 산업식품공학회 (국내), 포스터 발표, Microwave-integrated Cold Plasma Treatments for Inhibiting Bacillus cereus Spores on Red pepper (2013)

#### (나) 특허 출원: 1건

- 식품 살균방법 (Food Sterilization Method), 출원완료 (20131224)

#### (다) 홍보 : 2건

- 중부매일, 괴산고추조합 고춧가루 신제조기술 효과 탁월, 최동일, (20140204)
- 충북일보, 펄스전기장·콜드플라즈마 첨단기술 이용 고품질 고춧가루 제조기술 개발, 김성

훈, (20140204)

**(라) 발표 논문 : 2건**

- 식품과학과산업, 논문 발표, 펄스전기장을 이용한 식품가공과 산업적 적용, 이동언 (2012)
- Food Microbiology, 논문 발표, Microbial Decontamination of Red Pepper Powder by Cold Plasma (Online publication : 2013)

**(마) 인력양성: 석사 5명 졸업**

- 중앙대학교 이강현 (2013), 이건준(2014), 이지현(2014)
- 서울여자대학교 이한나 (2013), 김인하 (2013)

## 제 6 장 참고문헌

American Spice Trade Assn., 1968. Official analytical methods of the American spice trade associationn. (2nd ed.). New Jersey: ASTA, 38-41.

Arslan, D., Ozcan, M.M., 2011. Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.):

Byun, M. W. 1985. Radurization and Radicidantion of Spices. Korean Journal of Food Science and Technology. 17: 311-318.

Byun, M. W., Yook, H. S., Kwon, J. H., Kim, J. O. 1996. Improvement of Hygienic Quality and Long-term Storage of Dried Red Pepper by Gamma Irradiation. Korean Journal of Food Science and Technology. 28: 482-489.

Change in drying behavior, colour and antioxidant content, Food and Bioproducts Processing, 89, 504-513.

Cheng, G. W., Huber. D. J., 1996. Alterations in structural polysaccharides during liquefaction of tomato locule tissue. Plant Physiology, 11, 447-457. --> 10 페이지

Collins, M.D., Wasmund, L.M., Bosland, P.W., 1995. Improved Method for Quantifying Capsaicinoids in *Capsicum* Using High performance Liquid Chromatography, Hort Science, 30, 137-139.

Choi, E. H., Kim, Y. B., Lee, S. R. 1977. Isolation of Microorganisms from Red Pepper Powder and their Radiosensitivity. Korean Journal of Food Science and Technology. 9(3): 205-210.

Defatted Mustard Meal-based Edible Films. Korean Journal of Food Science and Technology. 43(1): 30-38.

Deng, S., Ruan, R., Mok, C. K., Huang, G., Lin, X., Chen, P. 2007. Inactivation of *Escherichia coli* on Almonds Using Nonthermal Plasma. Journal of Food Science. 72(2): M62-M66.

Di Scala, K. C., & Crapiste, G. H. (2008). Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. LWT: Food Science and Technology, 41(5), 789 - 795.

Gander, J.E., 1974. Fungal cell wall glycoproteins and peptido-polysaccharides. Annual

Reviews in Microbiology, 28, 103-119.

Henderson SM. (1974). Progress in developing the thin-layer drying equation. Transactions of the ASAE, 17, 1167-1172.

Hong, Y. F., Kang, J. G., Lee, H. Y., Uhm, H. S., Moon, E., Park. Y. H., 2009. Sterilization effect of atmospheric plasma on Escherichia coli and Bacillus subtilis endospores. Journal of Applied Microbiology, 48, 33-37.

Jung, J. J., Choi, E. J., Lee Y. J., Kang, S. T. 2011. Effects of Infrared Pasteurization on Quality of Red Pepper Powder. Korean Journal of Food Science and Technology. 43(2): 156-160.

Karathanos VT. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. Journal of Food Engineering, 39, 337-344.

Karnovsky, M. J., 1965. Formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. Journal of Cell Biology, 27, 137-138.

KFDA, Food Code. 2009. Korea Food and Drug Administration, Cheongwon, Korea. 5-21-6.

Kim, M. H. 1997. Color Development of Whole Red Peppers during Drying. Food Engineering Progress. 1: 174-178.

Kwon, J. H., Byun, M. W., Cho, H. O. 1984. Effect of Gamma Irradiation on the Sterilization of Red Pepper Powder. Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition. 13: 188-192.

Kwon, J. H., Byun, M. W., Cho, H. O., Han, B. H. 1994. Comparative Effects of Gamma Irradiation and Ethylene Oxide Fumigation on Some Chemical Quality of White Ginseng Powder. Korean Journal of Food Science and Technology. 26: 278-282.

Lee, H. B., Noh, Y. E., Yang, H. J., Min, S. C. 2011. Inhibition of Foodborne Pathogens on Polystyrene, Sausage Casings, and Smoked Salmon Using Nonthermal Plasma Treatments. Korean Journal of Food Science and Technology. 43(4): 513-517.

Lee, H. S., Lee, W. D., Koh, B. H., Lee, M. S. 2000. Preparation of Squid-Joetkal with Pasteurized Red Pepper I. Pasteurization of Red Pepper Powder by Ohmic Heating. Journal of Food Hygiene and Safety. 15(1): 13-17.

Lee, K. N., Paek, K. H., Ju, W. T., Lee, Y. H. 2006. Sterilization of Bacteria, Yeast, and Bacterial Endospores by Atmospheric-Pressure Cold Plasma using Helium and Oxygen. *The Journal of Microbiology*. 44(3): 269-275.

Lee, S. H., Lee, H. J., Byun, M. W. 1997. Effects of Ozone Treatment and Gamma Irradiation on the Microbial Decontamination and Physicochemical Properties of Red Pepper Powder. *Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition*. 26(3): 462-467.

Lu, X.P., Ye, T., Cao, Y.G., Sun, Z. Y., Xiong, Q., Tang, Z.Y., Xiong, Z. L., Hu, J., Jiang, Z.H., Pan, Y., 2008. The roles of the various plasma agents in the inactivation of bacteria. *Journal of Applied Physics*, 104, 053-309.

Min, S. C., Choi, Y. J. 2009. Microbial Modeling in Quantitative Risk Assessment for the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System: A Review. *Food Science and Biotechnology* 18(2):279-293.

Min, S., Min, S. K., Zhang, Q. H. 2003c. Inactivation Kinetics of Tomato Juice Lipoxigenase by Pulsed Electric Fields. *Journal of Food Science*. 68(6):1995-2001.

Nath, A., Chattopadhyay, P.K., Majumdar, G.C., 2007. High temperature short time air puffed ready-to-eat (RTE) potato snacks: Process parameter optimization. *Journal of Food Engineering*, 80, 770-780.

Page G. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layer. M.S. Thesis. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.

Peleg, M., 1995. A model of microbial survival after exposure to pulsed electric fields. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67, 93-99.

Philip, N., Saoudi, B., Crevier, MC., Moisan, M., Barbeau, J., Pelletier, J., 2002. The Respective Roles of UV Photons and Oxygen Atoms in Plasma Sterilization at Reduced Gas Pressure: The Case of N<sub>2</sub> - O<sub>2</sub> Mixtures. *IEEE Transactions on plasma science*, 30, 1429-1436.

Song, H. P., Kim, B., Choe, J. H., Jung, S., Moon, S. Y., Choe, W. H. 2009. Evaluation of Atmospheric Pressure Plasma to Improve the Safety of Sliced Cheese and Ham Inoculated by 3-strain Cocktail *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiology*. 26: 432-436.

The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Secretariat for The Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer & The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Ozone Secretariat United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi. Kenya (2000).

Wesley, F., Rourke, B., Darbishire, O. 1965. The Formation of Persistent Toxic Chlorohydrins in Foodstuff by Fumigation with Ethylene Oxide and with Propylene Oxide. *Journal of Food Science*. 30: 1037-1042.

Yagcioglu A, Degirmencioglu A, Cagatay F. (1999). Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In A. Bascetincelik (Ed.), *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, 26-27 May, Adana, Turkey (pp. 565-569). Faculty of Agriculture, Cukurova University.

Yang, H. K., Noh, B. S., Kim, J. H., Min, S. C. 2011. Effects of a Carbohydrase Mixture, Ultrasound, and Irradiation Treatments on the Physical Properties of

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.