

발간등록번호

11-1543000-000840-01

고전압 정전기 유도 방식에 의한 고품질 냉동식품 제조 및 선도유지 기술개발에 관한 연구

Technology development for Freshness-maintenance and processing of
high quality frozen food by the high voltage electrostatic induction method

한국식품연구원

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고전압 정전기 유도 방식에 의한 고품질 냉동식품 제조 및 선도유지 기술 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2014 년 12 월 28 일

주관연구기관명 : 한국식품연구원

주관연구책임자 : 정진웅

연 구 원 : 박기재

연 구 원 : 임정호

연 구 원 : 김영봉

연 구 원 : 오승용

연 구 원 : 성정민

요 약 문

I. 제 목

고전압 정전기 유도 방식에 의한 고품질 냉동식품 제조 및 선도유지 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

국내산 신선 농축산물의 장기 유통 방안인 냉동냉장하에서 초래되는 조직파괴, 중량손실 및 영양소 소실 등의 품질저하를 방지하고, 초기 품질유지 및 안전적 수급에 이바지할 수 있도록 정전기장 유도에너지 발생장치를 이용한 급속동결, 해동 및 선도유지 저장 처리 기술을 개발·보급함으로써 수확 후 관리기술의 선진 유통체계의 확립과 에너지 절약에 이바지하고자 함.

III. 연구개발 내용 및 범위

- 1) 정전기장 유도 에너지 방식을 이용한 냉동냉장 시스템 관련 요소기술 개발
 - 시스템별 pilot 제작 및 시험 운전
 - 동결 및 마이너스 해동 및 선도유지 저장 시스템에의 적용시험
 - 시스템의 성능평가를 위한 내부 온도분포 해석
- 2) 시작품의 성능평가 및 농축산물의 처리조건별 품질평가
 - 냉동처리 조건에 따른 조직 및 빙결정에 대한 품질평가
 - 마이너스 해동에 따른 drip 및 영양성분 손실에 대한 품질평가
 - 저장조건에 따른 냉동 품질 평가
- 3) 시스템의 실용화를 위한 실증시험
 - 경제성 평가 분석
 - 표준 설계도면 작성
 - 성능 검증 및 최적 운전조건 설정에 따른 품질평가

IV. 연구개발결과

1. 냉동유닛 설계 조건 설정 및 시스템별 pilot 제작 및 시험 운전

- 유도에너지 회로장치 개발을 위하여 교류 전압과 직류 전압을 이용한 정전기장 유도장치

설계 방식을 검토하고자 하였으며, 이에 교류(0~1,500V), 직류(-900~0V)변환 가능한 제어부 설계, AC/DC 변환기 전압조절 회로도를 검토하고, 전압조절용 가변 변압기, 승압트랜스, 전류 제한저항장치, 전압조절가변저항, AC/DC변환기, 열교환기, 송풍팬, 스텐레스용기, 절연지지대 등으로 설정·검토하였음

○ 냉동물성을 증진시키기 위한 방안으로 냉동유닛에 적용할 전자기장에너지발생장치를 구상하기 위하여 발생장치의 controller는 입력전압, 출력전압 제어, 전압안정 및 주파수 안정화 등을 검토하였고, 발생기는 최대 3,500 G 발생 및 입력단자 제어가 가능하도록 하여 실험용 제원으로 사용 가능하도록 제작하였음

○ 냉동물성을 증진시키기 위한 방안으로 냉동유닛에 적용할 초음파에너지발생장치는 발전기의 출력이 10 W~250 W(220 V, 40 kHz)로 조절이 가능하도록 하였으며, 진동부는 40 kHz 고정형 소자와 Transduce 및 출력 크넥터 등을 적용하여 실험용 제원으로 사용 가능하도록 제작하였음

2. 저온용 컨테이너 및 용기의 단열재 선정 및 부하용량 산출

○ 냉동 및 저온용 컨테이너/용기에 사용될 수 있는 단열재 종류별 단열특성을 조사·검토하였고 이를 활용하여 냉동 및 냉장 시스템에 적합한 단열재 소재의 최소 사양을 우레탄폼형, 35 kg/m³ 이상, 0.02 kcal/m²·°C·hr 이하로 설정하였음. 또한 냉동장치의 제작을 위한 부하용량 산출식을 고려하여 벽면 침입열량, 냉각열량, 피대상물 냉동소요열량, 호흡열, 포장재의 냉동 부하 등을 냉동장치 제작 요소로 설정하였고, 이에 따라 온도범위(0~-20°C), 온도편차(±0.5°C), 유효면적(590×450×600 : L×W×H mm), 재질 SUS, 냉매 R503으로 구성하였음.

3. 냉동유닛의 적용을 위한 대상 시료의 냉동 품질 비교

○ 냉동장치별 동결속도에 따른 열물성치 측정을 위하여 냉동 유닛의 구상 및 검토를 통한 실험용 유닛은 부착용 전자기장에너지 발생장치 및 초음파에너지 발생장치를 실험용으로 구현하여 사용하였음. 냉동유닛별 냉동특성을 조사하여 냉동유닛의 적용방안과 시제품에 대한 요소 데이터를 확보하고자 냉동장치별 동결속도에 따른 열물성치를 측정된 결과, 전자기장에너지를 적용한 냉동유닛은 최대 -8.9°C까지 과냉각현상이 발생하였고 최대 유지시간이 10,170 sec로 나타내었으며, 냉동압력은 최대 45% 감소하였고, 해동압력은 27%(약 1.8 psig) 감소하는 것으로 나타남. 전자기장에너지를 적용한 냉동유닛은 위치 및 강도에 따라 결과값이 달리 나타났고, 빙결정온도대 유지기간은 증가했으나 3,200 G의 전자기장에너지 발생 조건에서는 빙결정대 이하로 시료가 냉각되지 않는 것으로 나타내었음. 초음파에너지 적용 냉동유닛에서 출력 변화

에 따른 특성을 조사한 결과 10 W의 출력조건에서 시료 온도가 빙결점이하의 온도로 내려가지 않았으며 온도 상승효과를 나타내었음.

○ 냉동유닛의 적용시험은 돼지고기, 당근, 양파, 사과를 대상 시료로 하여 냉동곡선, 냉동압력, 해동곡선, 해동압력 및 drip loss 등을 비교 분석하였음. 정전기장에너지를 활용한 냉동고의 시료가 대조구에 비하여 냉동내압은 2.9~25%가 감소하였고, 냉각속도는 0~6.1% 증가하였으며, drip loss는 14~73% 감소하는 것으로 나타내었음. 그러나 온도별(-10℃ 및 -15℃) 및 시료별 품질 향상 효과의 차이는 발생하였으나 증류수와는 달리 과냉각 현상은 발생하지 않았음.

4. 시스템의 성능평가를 위한 내부 온도분포 및 공기 유동장 해석

○ 냉장고의 온도 흐름에 대한 변화 추세 및 해석을 위하여 벽면을 통한 열플럭스에 대한 전달식을 검토하고 냉동고의 온도분포를 측정된 후 이를 적용하여 온도분포 및 유동속도를 해석하고자 하였음. 온도분포 및 유동흐름은 윗부분에 비하여 아랫부분에서 열손실이 가장 낮은 것으로 나타남. 또한, 냉장고 냉각온도와 시료간의 열적조건 변화에 따른 수치해석 및 온도분포도 해석을 위하여 대류현상에 의한 냉각특성을 수치해석 조건을 도입하여 열유동장 해석을 실시하여 냉동실의 위부분에 비하여 아랫부분에서 열흐름이 안정하다는 것을 알 수 있었으며, 또한 열화상카메라를 이용한 냉각온도의 변화 및 분포도 측정에서도 유사한 결과를 보였음.

5. 고전압 정전기 유도 냉동고의 시스템 설정, 표준설계도면 작성 및 시제품 제작

○ 시제품에 대한 상세 설계 및 표준도면을 작성하고자 하였음. 시스템은 회로장치, AC/DC 변환기, 전압조절 회로도, 냉동기용 전기회로도 구성하였으며, 회로장치는 교류(0~7,000 V) 변환 가능한 제어부로 설계하였음. 주요 장치로서는 유도전압조절용 가변변압기, 승압트랜스, 전류 제한 저항장치, 냉동실 내로의 유도 전기장 발생 전극, 냉동실 내로의 연결 장치, 전기 차단 안전장치 등으로 구성하였음.

○ 실험용 시스템 제작은 시판용 냉동고에 고전압 유도 냉동 시스템을 부착 및 개조하여 시스템을 구성하였으며, 고전압발생 전압 범위는 0~7,000 V, 온도분포는 0℃~-20℃ 범위, 온도편차는 ± 0.5 ℃의 성능을 가지는 냉동고를 시제품으로 설계 제작하였음.

6 고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동기의 품질 특성 분석

○ 기본 물질 및 대상 시료에 대하여 동결 방식에 따른 품질 비교를 실시하고자 하였음. 동결 방식은 고전압 정전기 유도 방식의 냉동고(7,000 V)와 일반 냉동고로 구분하였으며, 시료는 증

류수를 기본 시료로 하고 감자, 쇠고기, 사과를 사용하였고, 처리 온도는 -20°C 로 냉동하였음. 세포손상도는 전도도, TDS, Ion leakage 및 BIA 분석으로 실시하였으며, 조직학적 분석은 H&E 염색법과 SEM 분석을 실시하였음. 고전압 정전기 유도 방식의 냉동고는 일반냉동고에 비하여 전도도가 감자는 25%, 소고기는 30%, 사과는 32%가 감소하는 것으로 나타났으며, TDS에서는 감자는 23%, 소고기는 10%, 사과는 23% 감소하는 것으로 나타났음. 또한, Ion leakage 측정에서는 감자는 5~12%, 소고기는 3%, 사과는 18~20% 감소하는 것으로 나타났으며, BIA 분석은 감자, 소고기, 돼지고기의 정전기 유도 방식을 적용한 냉동시료에서 resistance value가 증가하여 세포손상도가 낮아지는 것을 나타내었음. 조직학적 분석에서도 세포손상도와 유사한 결과값을 나타내어 H&E 염색 분석에서 정전기장 유도 방식을 적용한 냉동시료에서 빙 결정 생성으로 인한 세포외벽 부분의 두께 감소가 뚜렷이 나타나며, 세포의 형태에서도 생시료에 더 가까운 형태로 관찰되었음. SEM 분석에서도 감자, 소고기, 대구 시료의 정전기장 유도 방식을 적용한 동결시료의 미세구조가 상대적으로 규칙적인 것으로 나타내었음.

○ 냉동처리조건 및 온도별 품질변화 측정을 위하여 고전압 정전기장 유도에너지를 적용한 냉동고에서 -20°C 와 -10°C 냉동온도와 정전기 유도 에너지 발생 전압 변화(0V, 3,000V 및 7,000V)에 따른 품질 특성을 비교하였음. 드립량에서는 대구 시료가 최대 36.25%, 소고기는 최대 45.02%, 감자는 최대 29.09% 감소하였으며, VBN은 대구 시료에서 최대 8.1%, 소고기는 최대 20% 감소하였음. 또한 정전기장의 강도가 강할수록 드립량이 감소되었고, 비타민C 함량은 증가되는 것으로 나타났음.

7. 마이너스 해동에 따른 효과 분석

○ 마이너스 해동 조건에 따른 효과 분석을 위하여 고전압 정전기장 유도에너지를 적용한 해동장치를 해동 조건에 적용하였음. 해동 평균 온도는 -1.5°C 로 설정하였음. 고전압 정전기장 유도에너지 적용 마이너스 해동 효과의 평가를 위하여 시료의 냉동조건은 -20°C 일반 냉동을 실시하였고, 해동조건은 정전기 유도 적용 해동기(-1.5°C), 일반해동기(-1.5°C), 2°C 및 실온(5°C)으로 비교 실시하였음. 정전기장 처리구에 있어 드립율은 감자 시료가 25°C 의 해동 조건에 비하여 41.38%, 2°C 에 비하여 37.49%, -1.5°C 일반해동기에 비하여 27.39%의 감소 효과를 나타내었고 소고기에서도 25°C 에 비하여 57.41%, 2°C 에 비하여 47.33%, -1.5°C 에 비하여 17.59%의 감소 효과를 나타내었음. 방울토마토에서도 25°C 대비 80.24%, 2°C 대비 68.91%, -1.5°C 대비 42.15%의 감소 효과를 나타내었음.

○ 고전압 정전기장 유도에너지 적용 냉동시료의 일반해동 중 변화를 관찰하기 위하여 감자를 시료로 하여 측정한 결과 일반 냉동시료에 비하여 총폐놀함량은 5.6% 증가, 항산화활성은 2.8% 증가, 갈변도는 36.5% 감소, 색도는 최대 L값이 57% 감소하였고, ΔE 값은 41% 감소하는

것으로 나타났음. 또한, 정전기장 유도에너지를 적용한 냉동 및 해동 방식의 시스템 적용에 대한 냉동 시료의 품질 비교를 위하여 냉동조건을 정전기 유도 방식 적용 냉동(7,000V, -20℃)과 -20℃ 일반 냉동으로 구분하고, 해동조건은 정전기 유도 적용 해동기(-1.5℃)와 일반해동기(-1.5℃, 2℃, 10℃)로 구분하여 실험을 실시하였음. 실험 결과, -10℃ 해동에서는 고전압 정전기장 처리 냉동시료의 드립율 감소 효과가 나타나 감자 시료가 39%, 소고기 시료가 35% 감소 효과를 나타내었음. 정전기장 -1.5℃ 해동에서 고전압 정전기장 처리 냉동 시스템의 냉동시료에서 감자 시료가 40.9%, 소고기가 23%의 드립율 감소를 나타내었음. 총균수에 있어서도 정전기장 냉동 및 해동 시료가 해동시 미생물 증식이 억제되는 것으로 나타났으며 온도분포도 측정에서도 해동 속도가 증가되는 것을 나타내었음.

8. 현행 냉동조건과의 품질 비교 시험

○ 저장온도별 및 방법 등에 따른 비교를 위하여 감자, 소고기, 대구에 대하여 고전압 정전기 유도 에너지를 적용 후 2개월간의 단기 저장 중의 효과를 비교 분석하였음. 정전기 유도 에너지 적용 냉동 조건은 고전압 7,000V 조건에서 -20℃ 및 -10℃에서 냉동하였으며, 일반냉동고도 -20℃ 및 -10℃에서 처리하였음. 냉동 후 저장온도는 -20℃와 -40℃의 온도에서 저장하면서 2개월간의 드립률, TBA, VBN, Vit C, pH, 미생물 및 색도의 변화를 관찰하였음. 실험 결과, 대구의 경우 고전압 정전기 유도 에너지를 적용한 시료에서 드립률은 15.0~27.5%, TBA는 7.0~47.8%, VBN은 32.63~47.9%가 감소하였으며, 쇠고기에서는 드립률은 5.5~22.13%, TBA는 8.3~23.07%, VBN은 7.15~26.34%의 감소를 나타내었음. 감자에서도 드립률이 4.4~19.73% 감소하였고, Vit C 함량은 0~23.4% 증가하는 것으로 나타났음. 반면 pH, 미생물 함량 및 색도에서는 시료간의 차이는 저장 중 발생하지 않았음.

9. 단위 시스템 적용에 따른 냉·해동 품질평가

○ 냉동 및 해동 조건을 달리한 쇠고기 및 감자에 대한 품질을 평가함. 처리조건은 일반냉동 후 일반 해동(GF-GT), 전기장 냉동 후 일반 해동(EF-GT), 일반 냉동 후 전기장 해동(GF-ET) 및 전기장 냉동 후 전기장 해동(EF-ET) 처리를 하였으며 24시간 냉동 후 15시간 해동하여 분석하였음. 처리구들의 pH는 소고기는 5.49~5.55 수준, 감자는 6.04~6.11 수준으로 처리구들 간에 차이를 나타내지 않았음. 드립률은 해동시간동안 증가하는 경향을 나타내었으며 전기장 해동처리구인 GF-ET와 EF-ET 처리구가 낮게 나타났음. 감자의 색도변화는 GF-GT처리구의 ΔE 값은 27.15로 가장 높게 나타났으며 EF-ET(16.82)와 차이를 보였음. 소고기의 TBA 값과 VBN 값의 경우 전기장에서의 해동 처리구가 낮은 값을 나타내었음.

10. 정전기 유도에너지의 에너지 강도에 따른 품질 변화

○ 정전기 유도에너지의 에너지 강도에 따른 품질 변화를 측정하기 위하여 감자 시료를 이용하여 냉동 처리조건 1,500, 3,000, 5,000, 7,000V로 설정하여 냉동한 후 일반냉장고와 정전기장 냉장고에서 해동 후 품질을 비교하였음. 냉동시 감자의 최초 빙결정 형성 온도는 대조구가 -5.8℃였으며 정전기장 처리시 -6.4~-6.0℃로 빙결온도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며, 해동곡선에서는 해동시 일반해동에 비해 정전기장 해동시 해동시간이 길게 나타났음. 드립율은 냉동방법에 관계없이 정전기장 해동법이 일반 해동법에 비해 낮게 나타났으며, 3,000V 및 5,000V 냉동처리 조건에서 7.22%로 일반 해동법에 비하여 약 28% 이상 감소하는 것을 나타내었음.

11. 최적 시스템 조건 설정을 위한 냉동 조건에 따른 품질 변화

○ 냉동 처리 조건에 따른 소고기의 품질 변화를 조사하기 위하여 냉동 처리를 위한 에너지 강도에 따른 냉동 효과를 측정하였음. 에너지 강도는 0, 3,000V, 7,000V로 달리하여 저장한 소고기의 품질을 평가하였음. 실험 결과 pH는 시료간에 큰 변화를 보이지 않았으며 저장기간 동안 증가하는 경향을 나타내었음. 드립률은 냉동 처리 직후 2.93~3.56% 수준이었으며 저장기간 동안 증가하여 저장 6개월째 대조구 7.23%, 7000V 처리구 5.05%로 나타났음. 수분함량은 저장기간별 처리구별 차이를 보이지 않았으며 보수력은 저장기간 동안 감소하는 경향을 나타내었음. 처리구별 보수력 결과는 저장 6개월째 대조구는 53.32% 수준을 보인 반면 7,000V 처리구는 63.26% 수준으로 정전기장 처리구의 보수력이 높게 나타내었음. VBN 및 TBA 함량은 저장기간이 경과할수록 증가하는 경향을 보였으며 저장기간 동안 대조구의 VBN 및 TBA 함량은 처리구에 비해 높은 증가를 나타내었음. 처리구들의 빙결정 크기는 초기 대조구 50.61 μm 와 처리구 47.15~47.38 μm 로 측정되었으며 저장 6개월째 처리구는 초기에 비해 1.6~1.8배 증가한 반면 대조구는 2배 이상의 증가를 보였음. 색도는 처리구들 간에 큰 차이를 나타내지 않았으며 저장기간 동안 a값은 감소하고 b값은 증가하는 경향을 보여주었음.

○ 냉동 처리 조건에 따른 감자의 품질 변화를 조사하기 위하여 냉동 처리를 위한 에너지 강도에 따른 냉동 효과를 측정하였음. 에너지 강도는 0, 3,000V, 7,000V로 달리하여 저장한 감자의 품질을 평가하였음. 또한 열처리하여 갈변 억제 효과를 동시에 관찰하였음. 실험결과 pH는 시료간에 큰 변화를 보이지 않았으며 저장기간 동안 감소하는 경향을 나타내었음. 드립률 측정 결과, 냉동 처리 직후 6.66~13.16% 수준이었으며 열처리 한 그룹이 열처리 하지 않은 그룹에 비해 높은 수준을 나타내었음. 갈변도는 초기 0.034~0.072 수준으로 냉동 에너지 강도에 관계없이 열처리 그룹이 낮은 경향을 나타내었음. 갈변도는 저장기간 동안 증가하였으며 저장 6개월째 비열처리구의 대조구는 초기에 비해 갈변도가 2배 이상 증가하였으며 정전기 유도에너지의 처리구는 큰 변화를 보이지 않아 비열처리시 정전기 유도 에너지의 적용이 갈변에 효과가

있는 것으로 나타남. 또한 PPO 활성화도 대조구에 비해 처리구의 변화가 적었으며 열처리구에 비해 비열처리구가 높은 수준을 보였음. 색도 결과 초기에 비해 냉동처리 후 a값과 b값은 증가하는 경향을 나타내었음.

12. 정전기 유도 에너지 냉동 시스템의 장기저장 중 소고기의 품질변화

○ 정전기 유도 에너지를 적용한 냉동 시스템에서 냉동 및 저장 효과를 분석하기 위하여 소고기를 7,000V, -20°C 의 조건에서 냉동 한 후 동일 조건하에서 6개월간 저장하면서 품질 변화를 조사하였음. 대조구로서는 일반냉동고에서 -20°C 의 온도에서 품질비교를 위하여 냉동 및 저장을 실시하였음. 수분함량은 초기에 69.21~71.16%이었으며 저장기간동안 큰 변화를 나타내지 않았음. 보수력은 초기의 일반냉동고의 처리구는 65.93%, 정전기장의 67.74%로 정전기장 냉동고의 처리구가 다소 높은 수준을 보였으며 저장 6개월째 대조구는 53.32%로 큰 수준으로 감소한 반면 정전기장 저장 처리구는 67.07% 수준을 나타내었음. 드립률은 초기에는 2.93~3.07% 수준이었으나, 저장기간이 경과할수록 일반냉동고 저장 처리구의 드립 손실률이 7% 이상으로 높아진 반면 정전기장 유도 에너지 냉동고에 저장한 처리구는 4%를 넘지 않은 것으로 나타나 정전기장 처리가 드립률의 발생을 억제하는 것으로 나타남. 이러한 결과는 SEM에 의한 미세구조 분석에서 정전기장 처리 및 저장구가 일반냉동고의 냉동 및 저장구에 비하여 균일한 미세구조와 ice crystal size가 작은 것으로 나타난 것과 상관성이 있는 것으로 판단됨. 또한, VBN 및 TBA 함량이 일반 냉동 처리구에 비해 정전기장 냉동 처리구에서 낮게 나타나 정전기장 냉동 처리구의 품질이 일반 냉동 처리구에 비하여 우수한 것으로 나타났음.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

○ 본 연구과제에서는 정전기 유도 시스템을 이용하여 -20°C 에서 냉동 제품을 생산하여 비교함에 있어서 냉동제품의 품질을 효과적으로 향상시킬 수 있었다. 국내산 농축산물을 안정적으로 저장하기 위한 방법으로 동결함에 있어서 발생하는 조직파괴, 중량손실 및 영양소 손실 등의 품질저하를 방지할 수 있는 기술을 개발함으로써 냉동제품의 품질 개선 효과를 나타내었다. 또한 냉동 품질의 개선은 냉동중 정전기 유도 시스템을 적용함으로써 냉동시 빙결정의 크기가 미세화되어 냉동 조직의 미세구조가 안정화됨으로서 발생하여 이를 응용해 다양한 냉동 제품군의 개발에 응용이 가능할 것이다.

○ 위의 내용을 바탕으로 정전기 유도 시스템을 이용한 냉동제품의 신선도 연장 기술에 대한 특허 1건을 출원하고 냉동제품의 품질 안정화와 관련하여 국외논문 1건과 고전압 정전기장을 이용한 냉동식품의 특성에 관하여 국내논문 1건을 투고하였으며, 냉해동 기술과 제품의 안정화 및 정전기장 유도 시스템을 적용한 제품의 냉동 품질 개선에 대한 학회발표를 국·내외에 3건

을 발표하였다. 또한, 정전기 유도 시스템을 적용한 냉동 제품의 장기 저장 중 품질변화와 관련한 내용으로 국내외 논문 2편을 투고 중에 있으며, 정전기 유도 시스템 장치를 활용한 고품질 냉동제품의 제조에 대하여 기술이전도 진행 중에 있다.

○ 본 연구를 통하여 냉동식품에 있어서 정전기 유도 시스템을 활용한 고품질 제품의 생산을 위한 기초적인 연구 자료를 확보할 수 있었으며, 이 기술을 더욱 향상시킨다면 냉동식품 산업에서 다양한 제품에 적용 될 수 있을 것이라 여겨진다.

○ 연구수행 결과, 예상 활용분야는 다음과 같다.

○ 논문투고

： 고전압 정전기장을 이용한 냉동식품의 특성에 관한 연구 논문 투고

： 냉동 소고기의 장기보관에 고전압 정전기장의 효과에 관한 논문 투고

： 고품질 냉동제품 생산을 위한 고전압 정전기장의 효과에 관한 논문 투고

○ 국내 신선 농축산물 수확 산지, 집하장의 전처리 시설 및 유통센터

○ 저온유통 시스템 설계 및 제작업체

○ 국내산 농수축산물을 이용한 가공식품의 품질개선 및 상미기간 연장

○ 농수축산물의 저장성 증대에 기여

○ 냉동냉장 분야의 정전기유도 기술을 적용하기위한 연구자료 활용

○ 농산물 저온저장고, 물류센터, 포장센터의 저온작업장, 저온매장, 냉장판매시설 등

SUMMARY

(영문 요약문)

I . Title

Technology development for Freshness-maintenance and processing of high quality frozen food by the high voltage electrostatic induction method

II . Purpose and the need of the study

This study aims to prevent quality degradation such as tissue destruction, product weight loss, and nutrients loss in freeze and refrigeration environments, which are long-term distribution measures of fresh agricultural and livestock products in Korea and develop and spread rapid freeze and thaw as well as freshness maintenance and storage processing technologies thereby contributing to establishment of advanced product management technology after harvesting and energy saving.

III . Contents and scope of the research and development

- 1) Development of component technology in relation to freeze and refrigeration systems using electrostatic induction energy method
 - Pilot systems development and test operation per system
 - Application test on rapid freeze and minus temperature thaw and freshness maintenance storage systems
 - Analysis on indoor temperature distribution and air flow field for performance evaluation of the system
- 2) Performance evaluation of the prototype and quality evaluation per processing condition of agricultural and livestock products
 - Quality evaluation on tissues and ice crystal according to the rapid freeze processing condition
 - Quality evaluation on nutritional loss and drip due to minus temperature thaw
 - Quality evaluation on oxidation prevention and spoilage according to freshness maintenance storage conditions

3) Field empirical test for practical application of the developed system

- Evaluation of economic feasibility
- Development of standard design drawings
- Performance verification and optimum operation condition setup

IV. Result of research and development

1. Setup of the design condition of the refrigeration unit and pilot systems development and test operation per system

A. Development of electrostatic field induction energy generator and circuit devices that can induce energy generation reliably

- We have reviewed electrostatic field induction device design method using alternating (AC) and direct (DC) voltages for induction energy circuit device development as well as AC (0~1,500V) and DC (-900~0V) switched controller design and AC/DC transducer voltage regulation circuit diagrams and analyzed by setting up variable voltage regulating transformers, step-up transformers, current limiting resistors, voltage controlled variable resistance, AC/DC transducers, heat exchangers, air blowing fans, stainless steel vessels, and insulation support.

- As a measure to enhance frozen properties, input and output voltage control, voltage and frequency stability of the controller in the generator were reviewed to design the electromagnetic field energy generator that can be applied to the refrigeration unit and conditions of the generator were set to generate up to 3,500G and allow input terminal control so that the specification can be sufficient for the experimental use.

- As a measure to enhance frozen properties, output control (10W~250W), 220V, and 40kHz can be adjusted as the condition of the oscillator in order to design the ultrasonic energy generator that can be applied to the refrigeration unit and a lumped type element with 40kHz vibration, transducer, and output connector were applied to the vibration unit so that the specification can be sufficient for the experimental use.

2. Selection of insulation materials of container and vessel and calculation of load capacity

○ The insulation characteristics by insulation material type that can be used in refrigeration and low temperature containers and vessels were studied and reviewed and utilizing the result, minimum required specification of insulation materials that are appropriate for freeze and refrigeration systems were set as urethane foam type, 35 kg/m³ and more, and 0.02 kcal/m·°C·hr and less. In addition, infiltration calories through walls, cooling calories, freeze required calories for objects to be freeze, heat of respiration, and freeze load of package materials were set as manufacturing factors of the freeze device in consideration of the calculation equation of load capacity to manufacture of the freeze device. Accordingly, temperature range (0~-20°C), temperature deviation (±0.5°C), effective area (590×450×600 :L×W×H mm), material SUS, and refrigerant R503 were configured.

3. Comparison on freeze quality of the tested specimens to apply the refrigeration unit

○ The experimental unit through conception and review on the refrigeration unit to measure heat properties according to freeze rate per freeze device consists of attachable electrostatic field energy generator, electromagnetic field energy generator, and ultrasound energy generator, which were used as experimental components. In order to secure data of the prototype components and application plans for the refrigeration unit by studying the frozen characteristic by refrigeration unit, heat properties according to freeze rate per refrigeration unit were measured and the result showed that an electrostatic field energy-applied refrigeration unit experienced supercooling-cooling up to -8.9°C and its maximum maintaining time was 10,170 sec and freeze pressure was reduced up to 45% and thaw pressure was reduced up to 27% (approximately 1.8 psig). An electromagnetic field energy-applied refrigeration unit had varied results according to location and strength. Its maintaining period of ice crystal temperature zone was increased but under the 3,200G electromagnetic energy generation condition, specimens were not freeze below the ice crystal zone. The changes in frozen characteristics according to changes in output in ultrasound energy-applied refrigeration unit were studied and the result showed that under the 10W output condition, specimen temperature did not go down below the freezing point while showing a temperature increase effect.

○ Analysis of comparison between refrigeration units with different application was conducted with meat type (Category I), vegetable type (Category II), and fruit type

(Category I) for the application test of the refrigeration unit for target specimens. Frozen curves, frozen pressures, thaw curve, thaw pressure, and drip loss of pork, carrot, onion, and apple were compared. A refrigerating internal pressure of the specimens in the freezer utilizing electrostatic field energy was reduced by 2.9~25% while a freeze rate was increased by 0~6.1% and drip loss was reduced by 14~73% compared to those of control group. However, there were differences in quality enhancement effects depending on temperature and specimen and the specimen did not experience supercooling unlike distilled water.

4. Analysis on indoor temperature distribution and air flow field for performance evaluation of the system

○ We aimed to conduct system modeling through transformation of the governing equations and numerical simulations according to changes in system structures and thermal conditions using numerical analysis to perform temperature distribution and flow rate analysis. We aimed to review transfer equation of heat flux through walls and measure temperature distribution of the freezer followed by analyzing the temperature distribution and flow rate to measure and analyze aspects of changes with respect to temperature flow in the refrigerator. The temperature distribution and fluid flow showed that heat loss occurred the most in the lower area rather than the upper area. The cooling characteristics due to convection phenomenon were analyzed by introducing numerical analysis conditions to perform numerical analysis and temperature distribution according to changes in thermal conditions between specimens and cooling temperature in the refrigerator thereby conducting heat flow analysis. The analysis result showed that heat flow was more stable in the lower area than the upper area of the freezer compartment and changes in cooling temperature and temperature distribution were measured using thermal imaging cameras.

5. Setup of the high-voltage electrostatic induction freezer system, creation of the standard design drawings, and prototype manufacturing

○ We aimed to conduct detailed design of the prototype and create the standard drawings. The system consists of circuit devices, AC/DC transducer, voltage control circuit diagrams, and electric circuit diagrams for freezers. The circuit device was designed as AC (0~7,000V) convertible controller. The system consists of the following main devices – induced voltage adjustment variable transformer, step-up transformer, current limiting

resistor, electrode generating an electric field induced into the freezer, device connecting the freezer inside, and electrically cut off safety device.

- To manufacture the experimental system for the prototype, a commercial high-voltage induced freeze system was attached and modified. A freezer that has a range of the high voltage between 0~7,000V, a temperature range between 0°C~-20°C, and a temperature deviation between ±0.5°C was designed and manufactured as a prototype.

6. Analysis on quality characteristics of high-voltage electrostatic induction device-applied freezer

- We aimed to compare qualities according to freezing method of basic material and target specimens. A freezing method was divided into high-voltage electrostatic induction method applied freezer (7,000V) and general freezer. The basic material was water and potato, beef, and apple were used as specimens. The freezing processing temperature was -20°C. The cell damage was determined via conductivity, TDS, ion leakage, and BIA analysis while histological analysis was done by H&E dyeing method and SEM analysis. The high-voltage electrostatic induction method applied freezer reduced conductivity of potato, beef, and apple by 25%, 30%, and 32% while TDS was reduced by 23% in potato, 10% in beef, and 23% in apple compared to those in general freezer. In addition, ion leakage was reduced by 5~12% in potato, 3% in beef, and 18~20% in apple while BIA analysis showed that resistance value increased in frozen samples of potato, beef, and port in which electrostatic induction method was applied, indicating reduction in cell damage. The histological analysis also showed a similar result with that of cell damage, which indicated clear reduction in thickness of cell outer wall due to ice crystal creation in electrostatic induction method-applied frozen samples in the H&E dyeing analysis and a cell type was observed to be more similar to that of raw samples. The SEM analysis also showed that electrostatic induction method applied frozen samples of potato, beef, and cod samples had relatively regular micro-structures.

- To measure changes in quality according to cooling processing condition and temperature, quality characteristics were compared according to freeze temperature of -20°C and -10°C and changes in electrostatic induction energy generation voltage (0V, 3,000V, and 7,000V) in the High voltage electric field-applied freezer. A drip amount was reduced by up to 36.25% in cod sample, up to 45.02% in beef, and up to 29.09% in potato while

VBN was reduced by up to 8.1% in cod sample and up to 20% in beef. A drip amount was reduced more as strength of electrostatic field became stronger during freeze of samples when electrostatic induction system was applied whereas vitamin C contents were increased.

7. Analysis on the effect of minus temperature thaw

○ To analysis the effect of the minus temperature thaw, a High voltage electric field-applied thaw device was applied with respect to the thaw condition. The mean temperature of thaw was set at -1.5°C . To assess the High voltage electric field-applied minus temperature thaw effect, a freeze condition of samples was set at -20°C general freeze while thaw condition was set at electrostatic induction-applied defroster (-1.5°C) and general defroster (-1.5°C), 2°C , and 25°C respectively. A drip rate showed that potato samples had a reduction effect by 41.38% compared to 25°C thaw condition, 37.49% compared to 2°C , and 27.39% compared to -1.5°C general defroster. A drip rate showed that beef samples also had a reduction effect by 57.41% compared to 25°C thaw condition, 47.33% compared to 2°C , and 17.59% compared to -1.5°C . Cherry tomato samples also had a reduction effect by 80.24% compared to 25°C , 68.91% compared to 2°C , and 42.15% compared to -1.5°C .

○ To observe changes while general thaw of High voltage electric field-applied frozen samples, potato samples were selected to be measured. The total phenolic content increased by 5.6%, antioxidant activity increased by 2.8%, browning degree decreased by 36.5%, and surface color showed that the maximum ΔL value decreased by 57% while ΔE value decreased by 41% compared to general frozen samples. In addition, experiments were conducted that freeze condition was divided into electrostatic induction method applied freeze (7,000V, -20°C) and -20°C general freeze while thaw condition was divided into electrostatic induction applied defroster (-1.5°C) and general defroster (-1.5°C , 2°C , and 10°C) to compare qualities of frozen samples with respect to high-voltage electrostatic field induction energy-applied freeze and thaw method systems. The experiment results showed that a drip rate reduction effect was found in high-voltage electrostatic field processed frozen samples under -10°C thaw. For example, potato samples had 39% and beef samples had 35% reduction effect Under the electrostatic field -1.5°C thaw, high-voltage electrostatic field processed freeze system showed that potato and beef samples had a drip rate reduction by 40.9% and 23%. The total bacterial count showed that microbial growth

was inhibited during thaw of electrostatic field freeze and thaw samples and temperature distribution measurement also showed increase in a frost rate.

8. Test of quality comparison with the current freeze condition

○ To make a comparison according to storage temperature and methods, High voltage electric field was applied to potatoes, beef, and cod and the effect was analyzed during a short period of storage within two months. The electrostatic induction energy applied freeze condition was -20°C and -10°C under the high voltage 7,000V condition while the general freezer condition was -20°C and -10°C to make a comparison. A storage temperature after freeze was -20°C and -40°C and changes in a drip rate, TBA, VBN, Vit C, pH, microorganisms, and surface color were observed for two months. The experiment result showed that cod samples to which High voltage electric field was applied had a reduction in drip rate by 15.0~27.5%, TBA by 7.0~47.8%, and VBN by 32.63~47.9% while beef samples had a reduction in drip rate by 5.5~22.13%, TBA by 8.3~23.07%, and VBN by 7.15~26.34%. In the case of potato, a drip rate was decreased by 7.15~26.34% and Vit C content was increased by 0~23.4%. On the other hand, there were no difference between samples in pH, microorganism contents, and chromaticity.

9. Evaluation of freeze and thaw quality according to the application of the unit system

○ Qualities of beef and potato by differentiating freeze and thaw conditions were assessed. The processing conditions were: general freeze followed by general thawing (GF-GT), electric field freeze followed by general thawing (EF-GT), general freeze followed by electric field thawing (GF-ET), and electric field freeze followed by electric field thawing (EF-ET). The analysis was done by freezing for 24 hours followed by thawing for 15 hours. There was no difference in pH between samples in treatment group. For example, pH of beef was in a range of 5.49~5.55 and pH of potato was 6.04~6.11. A drip rate tended to increase during thawing and GF-ET and EF-ET treatment groups, to which electrostatic field thawing was applied, were lower than others. The surface color result of potato showed that ΔE of GF-GT treatment group was the lowest as 27.15, which had a large difference with that of EF-ET (16.82). TBA values and VBN values of beef in the thawing treatment group in the electric field were low.

10. Changes in quality according to energy strength of electrostatic induction energy

○ To measure changes in quality according to energy strength of electrostatic induction energy, potato samples were used and a freeze processing condition was set to 0, 1,500, 3,000, 5,000 and 7,000V thereby comparing qualities of samples between general and electrostatic field refrigerators after thawing. The first ice crystal forming temperature during freezing of control group was -5.8°C and after electrostatic field processed, it became $-6.4 \sim -6.0^{\circ}\text{C}$, verifying that freezing temperature was decreased while thawing curve showed that electrostatic thawing took longer than general thawing. A drip rate using an electrostatic thawing method was lower than that of a general thawing method regardless of freeze method and it was 7.22% under 3,000V and 5,000V freeze processing condition, which was reduced by about 28% compared to that of general thawing method.

11. Changes in qualities according to freeze conditions to set up the optimum system condition

○ To study changes in qualities of beef according to freeze processing condition, a freeze effect according to energy strength for freeze processing was measured. The energy strength varied within a range of 0, 3,000V and 7,000V to evaluate qualities of stored beef. The experiment result showed that there was no significant change in pH between samples while showing a tendency of increase during the storage period. A drip rate was in a level of 2.93~3.56% immediately after freeze processing and continued to increase during storage period, resulting in 7.23% in control group and 5.05% in 7000V treatment group after 6 months of storage. The water contents had no difference between treatment groups by storage period while the water holding capacity tended to decrease during the storage period. The water holding capacity shown by the treatment group showed that control group had a level of 53.32% after 6 months storage whereas 7,000V treatment group had a level of 63.26%, showing that electrostatic treatment group had higher water holding capacity. The contents of VBN and TBN tended to increase as the storage period increased and the contents of VBN and TBA in control group showed higher increase than those of treatment group. The ice crystal size of treatment group showed that initial control group had $50.61\mu\text{m}$ and treatment group had $47.15\sim 47.38\mu\text{m}$. After six month of storage, treatment group increased the ice crystal size by 1.6~1.8 times than the initial one whereas control group increased it by more than two times. The surface color did not

have a significant difference between treatment groups. During the storage period, the following tendency was shown that a value decreased whereas b value increased.

- To study changes in qualities of potato according to freeze processing condition, a freeze effect according to energy strength for freeze processing was measured. The energy strength varied within a range of 0, 3,000V and 7,000V to evaluate qualities of stored potato. In addition, a browning suppression effect due to heat treatment was also observed at the same time. The experiment result showed that there was no significant change in pH between samples while showing a tendency of decrease during the storage period. The drip rate measurement result showed that immediately after the freeze processing, it was within a range of 6.66 ~ 13.16% and that of heat-treated group had a higher level than that of non-heat-treated group. A browning degree was in a range of 0.034~0.072 and heat-treated group had a lower tendency of browning degree regardless of freeze energy strength. A browning degree increased during the storage period and control group with respect to non-heat treatment increased a browning degree by more than two times than initial degree while electrostatic induction energy treatment group had no significant change, which indicated electrostatic induction energy application had a positive effect on browning effect during non-heat treatment. The PPO activity result also showed that changes in treatment group were fewer than that of control group and non-heat treatment group had a higher level than that of heat treatment group. The surface color result showed that a and b values tended to increase after freeze processing compared th their initial values.

12. Changes in beef quality during long-term storage in the electrostatic induction energy freeze system.

- To analyze the freeze and storage effect in electrostatic induction energy-applied freeze system, beef was frozen under the condition of 7000V and -20°C and stored under the same condition for six months thereby inspecting changes in qualities. For control group, they were frozen and stored in general freezer under -20°C temperature condition to compare the quality. The water content, whose initial value was in a range of 69.21~71.16%, did not have a significant change during the storage period. The water holding capacity showed that treatment group in general freezer was 65.93% while electrostatic field freezer was 67.74%, which was slighter higher than treatment group in general freezer. Control group after six month storage had 53.32%, which was reduced significantly

whereas electrostatic field storage treatment group had 67.07%. A drip rate was initially a range of 2.93~3.07% but as storage period was elapsed, a drip rate of general freezer storage treatment group increased to 7% or more whereas treatment group stored in the electrostatic induction energy freezer did not exceed 4%, which indicated that electrostatic field treatment suppressed an occurrence of a drip rate. These results are considered as being related with more uniform microstructure and smaller ice crystal size of electrostatic field treatment and storage groups than freeze and storage groups in the general freezer as found in the microstructure analysis via SEM. In addition, VBN and TBA contents showed that electrostatic field freeze treatment group had lower results than general freeze treatment group, which indicated that qualities of electrostatic field freeze treatment group were better than those of general freeze treatment group.

V. Study achievements and plan of the achievement utilization

- In this study, frozen products under -20°C were produced and compared using an electrostatic induction system thereby improving qualities of frozen products effectively. As a method of storing agricultural and livestock products made in Korea reliably, a technology was developed to prevent quality degradation such as tissue destruction, product weight loss, and nutrients loss in freeze and refrigeration environments thereby showing quality improvement effect of frozen products. In addition, improvements on frozen product qualities were obtained via the application of electrostatic induction systems during freezing to minimize ice crystal size thereby stabilizing the microstructure of frozen tissues. Accordingly, this findings can be applied to other various types of frozen product groups.

- Based on the above study results, we have filed a patent application titled on Technology to extend freshness of frozen products using electrostatic induction systems and submitted an international paper regarding quality stabilization of frozen products and one local paper regarding characteristics of frozen food using high-voltage electrostatic field as well as publishing three papers in local and international conferences regarding freeze and thaw technology and product stabilization and improvements on frozen product qualities utilizing electrostatic induction systems. In addition, we have submitted two local and international papers, which are now under review, regarding changes in quality of electrostatic induction system-applied frozen products during long-term storage as well as undergoing technology transfer about high quality frozen product manufacturing utilizing electrostatic induction system devices.

- Through this study, we can secure foundational research data for high quality product manufacturing that utilizes electrostatic induction systems for frozen foods and we expect this technology to be applied to a variety of products in frozen food industries if this technology is more advanced.

- The study results can be utilized in the following areas.
 - Papers submitted
 - : Study on Characteristics of Frozen Foods using High-voltage Electrostatic Field
 - : Effect of High-voltage Electrostatic Field on Long-term Storage of Frozen Beef
 - : Effect of High-voltage Electrostatic Field for High Quality Frozen Product Manufacturing
 - Preprocessing facilities and distribution centers of fresh agricultural and livestock products harvest origins and collection places in Korea
 - Low temperature product distribution system design and manufacturing companies
 - Quality improvement of processing foods and extension of shelf life for agricultural, fishery, and livestock products in Korea
 - Contribution to storage capability for agricultural, fishery, and livestock products
 - Utilization of the study data to apply electrostatic induction-related technologies in freeze and refrigeration fields
 - Low temperature storage warehouse for agricultural products, logistic centers, low temperature workplace of package centers, low temperature-required shops, and refrigeration sales facilities etc.

CONTENTS

| | |
|--|----|
| SUMMARY | 3 |
| CONTENTS | 24 |
| | |
| Chapter 1. Outline of Research and Development | 27 |
| | |
| Chapter 2. World-wide trends in related technology | 30 |
| Chapter 3. Result of Research and Development | 33 |
| 1. Setup of the design condition of the refrigeration unit and pilot systems development and test operation per system | 33 |
| A. Basic design and manufacturing of refrigeration unit using induction energy | 33 |
| 1) Development of electrostatic field induction energy generator and circuit devices that can induce energy generation reliably | 33 |
| 2) Design and development of electromagnetic field induction energy generator attached to a refrigeration unit | 35 |
| 3) Design and development of ultrasonic output generator attached to a refrigeration unit | 37 |
| B. Selection of insulation materials of container and vessel | 40 |
| C. Design of cooling calories in refrigeration systems | 42 |
| 2. Analysis on quality characteristics per process step according to the unit system application | 44 |
| A. Prediction of cooling and freezing time | 44 |
| B. Comparison of frozen quality through empirical operation test per refrigeration unit .. | 48 |
| C. Application test of refrigeration unit on target samples | 62 |
| 3. Analysis on indoor temperature distribution and air flow field for performance evaluation of the system | 72 |
| 4. Manufacturing of refrigeration device using high-voltage electrostatic methods | 86 |
| A. Basic design of refrigeration device using High voltage electric field | 86 |
| 5. Analysis on quality characteristics of high-voltage electrostatic induction device-applied freezer | 93 |
| A. Design and pressure and temperature measurement during freezing | 93 |

| | |
|--|------------|
| B. Quality evaluation according to freezing method and freeze rate on basic material and target samples | 94 |
| 1) Analysis on phenomenological characteristics of frozen product quality using basic materials | 94 |
| 2) Comparison of cell destruction and histological quality due to freezing conditions | 97 |
| 3) Measurement of quality changes by freeze processing condition and temperature | 113 |
| 6. Analysis on the effect of minus temperature thaw | 119 |
| A. Minus temperature thawing condition setup | 119 |
| B. Study on changes in thawing quality of frozen product specimens between high voltage electrostatic induction method and general freezing method | 125 |
| C. Study on changes in quality according to freezing and thawing conditions | 129 |
| 7. Quality comparison according to storage temperature and method | 146 |
| 8. Evaluation of freeze and thaw quality according to the application of the unit system | 165 |
| 9. Quality changes according to wavelength during electromagnetic freezing | 171 |
| 10. Changes in qualities according to freeze conditions to set up the optimum system condition | 175 |
| 11. Changes in beef quality during long-term storage in the electrostatic induction energy freeze system. | 192 |
| 12. Economy analysis of the electrostatic induction energy freeze system. | 198 |
| | |
| Chapter 4. Research Attainments and Contributions to Related Fields | 204 |
| | |
| Chapter 5. Application Plans for Research Products | 209 |
| | |
| Chapter 6. Science and Technology Information from Abroad | 212 |
| | |
| Chapter 7. Research Equipment and Facilities | 215 |
| | |
| Chapter 8. Reference | 216 |

목 차

| | |
|--|-----|
| 요 약 문 | 3 |
| 목 차 | 24 |
| | |
| 제 1 장 연구개발과제의 개요 | 27 |
| | |
| 제 2 장 국내외 기술개발 현황 | 30 |
| | |
| 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 | 33 |
| 1. 냉동유닛 설계 조건 설정 및 시스템별 pilot 제작 및 시험운전 | 33 |
| 가. 유도에너지를 이용한 냉동유닛 기본 설계 및 제작 | 33 |
| 1) 정전기장 유도에너지 발생장치 및 생성에너지를 안정적으로 유도할 수 있는 회로장치 개발 | 33 |
| 2) 냉동유닛 부착용 전자기장 유도에너지 발생장치 설계 및 개발 | 35 |
| 3) 냉동유닛 부착용 초음파에너지 발생장치 설계 및 개발 | 37 |
| 나. 저온용 컨테이너 및 용기의 단열재 선정 | 40 |
| 다. 냉동시스템의 냉각열량 설계 | 42 |
| 2. 단위 시스템 적용에 따른 공정단계별 품질 특성 분석 | 44 |
| 가. 냉각 및 동결시간 예측 | 44 |
| 나. 냉동유닛별 실증운전시험을 통한 냉동품질 비교 | 48 |
| 다. 대상 시료에 대한 냉동유닛의 적용 시험 | 62 |
| 3. 시스템의 성능평가를 위한 내부 온도분포 및 공기 유동장 해석 | 72 |
| 4. 고전압 정전기 방식을 이용한 냉동 장치의 제작 | 86 |
| 가. 고전압 정전기 유도 에너지를 이용한 냉동 장치 표준 설계 및 시제품 제작 | 86 |
| 5. 고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동기의 품질 특성 분석 | 93 |
| 가. 냉동 중 압력 및 온도 측정 | 93 |
| 나. 기본물질과 대상 시료에 대한 동결 방식 및 속도에 따른 품질 평가 | 94 |
| 1) 기본물질을 이용한 냉동 품질의 현상학적 특성 분석 | 94 |
| 2) 동결조건에 따른 세포 파괴도 및 조직학적 품질 비교 | 97 |
| 3) 냉동처리조건 및 온도별 품질 변화 측정 | 113 |

| | |
|---|-----|
| 6. 마이너스 해동에 따른 효과 분석 | 119 |
| 가. 마이너스 해동 조건 설정 | 119 |
| 나. 고전압 정전기 유도 방식을 적용한 냉동 및 일반 냉동 시편의 해동 품질변화 조사 | 125 |
| 다. 냉동 및 해동 조건에 따른 품질 변화 조사 | 129 |
| 7. 저장온도별 및 방법에 따른 품질 비교 | 146 |
| 8. 단위 시스템 적용에 따른 냉·해동 품질평가 | 165 |
| 9. 정전기 유도에너지의 에너지 강도에 따른 품질변화 | 171 |
| 10. 최적 시스템 조건 설정을 위한 냉동 조건별 품질변화 | 175 |
| 가. 실험방법 | 175 |
| 나. 정전기 유도 에너지 냉동 처리 조건에 따른 쇠고기의 품질변화 | 177 |
| 다. 정전기 유도 에너지 냉동 처리 조건에 따른 감자의 품질변화 | 186 |
| 11. 정전기 유도 에너지 냉동 시스템에서 장기저장 중 쇠고기의 품질변화 | 192 |
| 12. 정전기 유도 에너지 냉동 시스템의 경제성 분석 | 198 |
| | |
| 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 | 204 |
| | |
| 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획 | 209 |
| | |
| 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 | 212 |
| | |
| 제 7 장 연구시설·장비 현황 | 215 |
| | |
| 제 8 장 참고문헌 | 216 |

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구 개발의 최종목적

국내산 신선 농축산물의 장기 유통 방안인 냉동냉장하에서 초래되는 조직파괴, 중량손실 및 영양소 소실 등의 품질저하를 방지하고, 초기 품질유지 및 안전적 수급에 이바지할 수 있도록 정전기장 유도에너지 발생장치를 이용한 급속동결, 해동 및 선도유지 저장 처리 기술을 개발·보급함으로써 수확후 관리기술의 선진 유통체계의 확립과 에너지 절약에 이바지하고자함.

제 2 절 연구개발의 필요성

○ 일반적으로 냉동은 식품의 온도를 저하시켜 조직내의 자유수를 빙결정화 하여 미생물의 성장과 효소 활성의 억제로 식품의 품질저하를 최대한 방지하는 데 그 목적이 있으나, 동결을 하므로써 중량감소 및 조직파손 등의 품질저하나 기작 미숙으로 인해 손실을 초래한다면 식품냉동의 본래 목적과는 크게 다를 것임.

○ 식품 냉동 처리시에는 일반적으로 이화학적 변화에 따른 동결변성을 방지하기 위한 방안으로 급속동결하거나 최대빙결정생성대의 통과시간을 가능한 단축시키는 방법 등이 제시되고 있으나, 온도강하가 외부에서 중심으로 동결이 진행되는 동안 생성된 빙결정이 내부의 미동결 부분이 동결시에 생기는 체적팽창을 억제하므로써 피동결체 전체가 팽창할 수 없게 되어 팽창압에 상당하는 내압이 피동결체의 내부에 발생되어 동결된 식품의 표면 또는 내부에서 균열 또는 용기가 생기는 현상을 볼 수 있음.

○ 식품을 장기간 보존하기 위한 수단으로 저온저장법이 연구 개발되어 지금까지 주로 축육 및 어육의 저장에 이용되었으나 점차 과채류의 저장에도 널리 이용되고 있는 실정이나 기존의 저장법은 조직손상을 수반하는 물리적 변화가 일어나 외관이나 그 이용 면에서 문제가 되고 있음.

○ 이러한 조직손상은 냉동시 식품중의 수분의 상변화로 인한 기계적 손상, 저장조건 및 해동조건의 변화에 따른 손상 등에 의해 주로 영향을 받게 되며 특히, 수분함량이 80%이상인 과채류에서는 더욱 심각한 문제로 대두되고 있음.

○ 따라서 국내산 농수축산물을 안정적으로 공급하기 위해 냉동냉장하므로써 초래되는 조직 파괴, 중량손실 및 영양소 소실 등의 품질저하를 방지함과 동시에 초기 품질을 유지할 수 있는 해동 기법 등에 관한 연구가 실용화 될 수 있도록 적극적인 연구가 필요한 실정임.

○ 한편, 지금까지 국내에서는 농산물을 냉동 처리함으로써 중량감소, 조직파손 등의 품질저하 초래를 최대한 억제할 수 있는 냉각·냉장조건 설정에 관한 연구뿐만 아니라 식품의 조직 내부에 생성되는 빙결정의 크기 및 분포, 피동결품의 내압 증가에 의한 조직의 균열 및 용기 등과 같은 현상을 최대한 억제시킬 수 있는 최적 기작조건의 결정 등에 관한 연구는 거의 전무한 실정임.

○ 종래의 냉동방법은 냉기와 닿으면 물분자 표면이 두껍게 어는 glass현상이 일어나 중심부의 빙결이 늦어져 균일한 빙결이 일어날 수 없다. 이 때문에 해동시에 불균일한 얼음으로 조직이 파괴됨.

○ 일반적인 빙결정 생성 성장이론은 핵생성과 성장이론으로 구분할 수 있으며 별도 과정으로 생성됨에 따라서 완만하게 동결하면 핵생성보다 성장이 우선되어 식품 내의 빙결정생성이 식품의 조직을 파괴하고, 동결농축 현상을 일으켜 단백질이나 타성분의 화학평균의 밸런스를 붕괴시켜 결과적으로 식품에 손상을 준다.

- 급속동결을 하기위해 전열 공학적 측면에서 많은 노력을 해 왔고 장치로서는 열전달을 올리기 위해 air blast, 세미 에어 블라스트, contact freezer, 브라인 동결기 등과 온도차를 내기 위해서 액체 질소, 고체 탄소를 이용하거나 다양한 타입의 동결장치가 개발되어 왔다. 그러나 이것은 어디까지나 표면전열을 촉진하는 수법이며 식품 내부의 전열을 컨트롤할 수 없다.

○ 최근 들어, 일본 등 선진 외국에서는 과냉각 액체 상태인 채 결정성장속도가 큰 온도역보다 더 저온으로 가져갈 수가 있으면 핵생성속도가 지배적인 온도로 작은 빙결정을 만드는 것이 가능하다는 논거를 바탕으로 최근에는 식품외부에 교번 혹은 정지 전기장, 자장 혹은 초음파로 물분자에 미약한 에너지 진동을 주어 빙결정 핵생성을 억제하여 과냉각을 촉진시키고 충분히 과냉각이 진행된 단계에서는 외부 자극을 정지하여 빙결정 핵발생을 재촉한다고 하는 방법이 제안되어 연구 개발이 진행 중이고 일부 제품화 및 상용화를 위한 초기 모델을 제시하고 있는 실정임

○ 기술(제품)개발에 따른 본 장치의 상용화 및 사업화 성과는 향후 식품 저장, 가공, 유통산업 분야의 Cold Chain System 전 과정에 미래 선도 대체 기술로써 경제적, 산업적 효과를 기대할 수 있음.

○ 따라서 국내산 농수축산물을 안정적으로 공급하기 위해 냉동 냉장함으로써 초래되는 조직 파괴, 중량손실 및 영양소 소실 등의 품질저하를 방지함과 동시에 초기 품질을 유지할 수 있는 냉동 해동 기술 및 장치 등의 실용화가 절실한 형편임.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

○ 냉동제품의 품질향상을 위한 다양한 연구는 선진국을 중심으로 활발히 적용되고 있으며, 이는 냉각매체에서 시료 표면까지의 대류 열전달, 일정한 빙결점에서의 잠열 방출, 동결매체를 통한 대류열전도의 관계에 기초한 모델을 기반으로 최적동결조건 설계함으로써 피대상물의 물성치, 냉동 방식, 냉각 매체, 온도강하 속도 등과 같은 가공 요구조건에 적절히 활용하고 있음

○ 국내 냉동 기술은 전도방식, 대류방식, IQF(Individual Quick Freezer), 침지식 등을 도입하여 운행되고 있으며, 현행 일본의 경우 회와 초밥 문화로 인한 냉·해동기술이 발달되어 전자기장을 이용한 기술의 적용 중에 있으며, 유럽에서는 superchilling, supercooling, smart 포장, 공기 순환 냉동, 자기장 냉동방식, 진공 전도 패널, 열전도 차단을 위한 상변화 나노입자 이용 등의 냉·해동 기술이 연구되고 있음

○ 냉동의 장점으로 식품의 영양적 손실을 최소화 할 수 있으나, 냉동에 의한 빙결정 생성과 성장, 얼음의 승화 및 효소작용의 변화 등으로 조직 손상, 지방산화, 단백질 변성이 발생. 또한 해동시 drip의 발생으로 인한 영양소 손실, 안전성 감소, 가공적성의 저하, 설택, 풍미, 조직감 등의 품질저하 발생을 억제하기 위한 연구는 다양함

○ 정전기장 에너지 유도 및 냉동식품에 대한 특허는 1991년부터 최근(2010년 1월)까지 총 143편으로 1997년까지는 관련 특허가 연간 3~5건 수준으로 발표되다가 1998년 13건이 발표된 이후 연간 특허 발생건수가 꾸준히 증가하는 양상을 보여주고 있으며, 특히, 2007년 19건으로 가장 많은 특허가 출원된 것으로 나타나고 있으며, 일본이 가장 앞선 기술을 유지하고 있는 것으로 나타남

○ 정전기 유도 및 냉동식품 관련 특허로 도출된 군집은 30여개로 구성되었으며, 식품의 전기 가열 장치, 정전기 방출, 미생물 살균, 습도 조절, 유통기한 등에 대한 다양한 특허가 기술되어 있음. 기술의 흐름은 1990년대, 2000년~최근 5년, 최근 5년으로 구분하면 1990년대는 식품의 전기 가열 장치 개발을 중심으로 한 란류 제품의 유통기한 연장, 생활 증진 식품, 고전압 펄스를 이용한 유통기한 연장, 고전압 가열을 통한 제빵, 제과 기술 및 튀김 기술의 증진 및 생선 저장 기술 등에 다양한 특허가 개발된 것으로 나갔고, 2000년대에는 1990년대와 다른 특허 기술 경향을 나타내어, 냉각에 필요한 냉각수의 열교환 시스템, 상변화 공정, 식품의 냉동에 있어서 전분질 등의 냉동변성 방지, 절연 방지 기술 등에 대한 특허로 기술적 방향이 전환된 것으로 나타남. 또한, 최근 5년내 기술적 분포는 정전기 방출, 광원 및 전자의 제어 장치, 품질 증진을 위한 조절장치, 초음파 진동 및 정전기, 자기장을 이용한 식품의 유해 미생물 살균, 습도

조절 장치 등에 대한 다양한 특허로 기술적 방향이 전환된 것으로 나타남

○ 최신 해동 기술로서 전자파(마이크로파, 고주파)해동, 저온 고습 해동, 원적외선 해동, 고전압 정전기 유도방식 해동 등 해동 시간의 단축과 해동 후 산화, 퇴색, 드립 발생을 감소시키고자 하는 기술적 시도가 지속적으로 연구되고 있음.

○ 최근 소개되고 있는 정전기장 에너지를 이용한 식품의 냉동 저장 기술은 이들 생성기에 의해 생성된 유도 에너지를 이용하여 피냉동품의 세포 조직 내의 수분을 분자수준으로 활성화(회전, 진동, 충돌, 마찰)시켜 물 분자의 수소 결합이 부분적으로 절단(유리)되고 세포내의 물 분자 집단이 미세결정수 집단 상태로 유지시켜 급속동결시 빙결정에 의한 세포막 파괴 및 수분 분리현상에 의한 손상을 방지하며, 마이너스 온도($0^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$)에서의 해동으로 드립 및 영양 성분 유출 방지, 또한 식품과 장치내의 수분이 환원상태(산화전위의 전환과 약알칼리화)로 되어 산소가 결합되기 어려운 상태가 됨으로써 피냉동품은 산화가 억제됨과 동시에 항균력과 제균력을 높일 수 있어 산화 및 부패를 최소화함으로써 맛, 식감, 향, 색, 형태를 원래의 신선도 초기 상태로 유지, 복원시킬 수 있는 냉동/해동 선도유지 저장 기술로 주목받고 있음

○ 최근 들어 일본 등 선진 외국에서는 과냉각 액체 상태인 채 결정성장속도가 큰 온도역보다 더 저온으로 가져갈 수가 있으면 핵생성속도가 지배적인 온도로 작은 빙결정을 만드는 것이 가능하다는 논거를 바탕으로 최근에는 식품외부에 교번 혹은 정지 전기장, 자장 혹은 초음파로 물분자에 미약한 에너지 진동을 주어 빙결정 핵생성을 억제하여 과냉각을 촉진시키고 충분히 과냉각이 진행된 단계에서는 외부 자극을 정지하여 빙결정 핵발생을 재촉한다고 하는 방법이 제안되어 연구 개발과 제품화·상용화의 초기 단계 과정에 있으며 일부 시작품으로 식품동결장치가 판매되고 있으며, 이러한 기술은 (주)SANTETSU 기술연구소의 정전기식 CAS기술의 배경은 제철소의 공장폐액에서 산화철이나 자성철분, 순철을 정제하여 판매하는 화학원료 제조업체가 개발하여 시판하고 있음. 이들 기술인 Cells Alive System(CAS)은 세포가 살아있는 시스템으로, 식재료의 조직을 파괴하지 않는 기능을 가진 냉동시스템으로 소개되고 있으며, CAS동결과는 최대 -60°C 까지 냉각 가능하며 조직이 파괴되지 않는 비밀은 “電磁場”에 있는 것으로 소개되고 있으며, 동결고 내에는 특수한 방법으로 강한 자력선을 지닌 자기장 코일이 setting 되어 있어 靜磁場을 발생시켜 전류를 흘리면 動磁場이 발생한다. 쌍방이 작용하여 전자장(자장)을 만들어지면 여기서 미약한 에너지가 식자재 내부의 물분자를 진동시키기 때문에 빙(얼음)이 미세하고 균일화되어서 빙결팽창이 거의 억제되어진다. 그 결과 세포조직이 손상되지 않고 해동이 가능하게 된다. 또한, 급속냉각 에너지를 얻기 위해 수도수를 -3°C 의 과냉각수로 하여 이용하는 과냉각 제성기를 구비하고 있는 것을 특정 기술로 하고 있음

○ 본 연구에서는 정전기장 유도 에너지를 이용한 냉동 중 발생될 수 있는 빙결정의 미세구조화 및 세포조직의 파괴율 감소를 통하여 냉동 제품의 주요 품질 저하 인자인 조직파괴, 드립율 증가, 변성 발생 등을 억제시킬 수 있는 효과를 확인하고 이에 대한 품질 개선 효과를 가지는 처리 방법을 제시하고자 하였음

○ 이에 농축산물의 냉동 중 빙결정의 미세구조화 및 세포조직 파괴를 억제하기 위한 방법으로 고전압 발생장치를 이용한 정전기장 유도 에너지를 적용한 냉동장치의 시제품 설계 및 시제품 제작과 이를 이용한 농축산물의 냉·해동 상태에서 품질변화 억제 효과 및 장기저장 중 미세구조 관찰과 빙결정의 크기 등에 관한 상품성 증진 효과를 확인하고자 하였음. 조건하에서 실험한 결과, 일반 냉동 제품에 비하여 고전압 정전기장 유도 에너지를 이용한 소고기의 냉동 제품에서 빙결정의 크기는 냉동 직후 6% 감소하였으며, 저장 6개월에서는 30% 이상 감소효과를 나타내었음. 조직의 균일도 측면에서도 고전압 정전기장 유도 에너지를 적용한 냉동 제품의 미세구조가 균일함을 나타내어 냉동 제품의 품질 증진에 효과를 나타내는 것을 확인할 수 있었음

○ 기타 연구사례와 비교하여 볼 때 농축산물의 냉동제품 제조 과정 중 품질개선에 대한 다양한 연구는 실시되었지만 정전기장 등 물리적인 요소를 이용한 냉동 장치의 구현 및 이를 통한 냉동 제품의 품질안정화에 대한 연구 결과는 미미함. 또한 이들에 대한 이론적 배경으로 한 연구는 다수 있으나 이론을 바탕으로 하여 시제품을 구현하고 그 효과에 대하여 장기적으로 검토한 연구는 볼 수 없었음. 본 연구는 농축산물의 장기보관을 위해 고전압 정전기장 유도 에너지를 활용한 냉동장치에 대한 시제품을 제작하고 이를 통한 제품의 품질 평가를 실시함에 있어 신규 냉동 기술의 상품화를 위한 기초 자료로서 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 더 나아가 냉동 산업의 다양한 분야에 활용할 수 있는 기술적인 근거 자료로 활용이 기대됨.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

1. 냉동유닛 설계 조건 설정 및 시스템별 pilot 제작 및 시험운전

가. 유도에너지를 이용한 냉동유닛 기본 설계 및 제작

1) 정전기장 유도에너지 발생장치 및 생성에너지를 안정적으로 유도할 수 있는 회로장치 개발

(가) 개요 및 구상

교류 전압과 직류 전압을 이용하여 정전기장의 발생 장치를 이용하여 농수축산물의 냉동에서의 정전기장 유도 에너지 발생 장치와 회로 장치는 정전기장 유도 에너지는 전압 조절용 가변 변압기와 승압트랜스 그리고 전류 제한 저항 장치를 가지며 교류 전압과 직류 전압을 변환 할 수 있는 장치를 가지고 이를 이용하여 정 전압을 발생시켜 냉동실 내에서 유도 전기장을 발생시켜 식품 내부의 생리 물질의 pH의 변화와 체액의 물의 크러스트를 변화시켜 냉각 특성을 변화시키고자 개발품을 구성하였다.

- 일반적으로 정 전기장을 이용할 때 고 전압을 적용하였으나 본 연구에서는 기존의 전압보다 작고 안전하며 전압을 짧은 시간 적용하여 고 전압에 대한 위험을 예방하고 짧은 시간 냉동의 초기 온도(-5~-10℃)에서 적용하여 줌으로서 에너지의 효율을 높이는 방법을 적용하였다.
- 전압 컨트롤러를 이용하여 교류 전압만 적용하거나, 직류 전압을 적용 할 수 있도록 하였으며 또한 동시에 교류와 직류를 적용 할 수 있는 시스템을 구성하여 적용하였다.
- 직류의 전압을 적용할 때 양극과 음극의 전압 수치를 다르게 하여 적용 할 수 있도록 제어를 할 수 있는 제어 시스템을 개발 하고자 하였다.
- 고압의 교류 전원은 교류 고전압(0 ~ 1500V)의 전압을 가변으로 출력 할 수 있도록 개발 하고자 하였다.
- 고압의 직류 전원은 직류 고전압(-900 ~ 0V)의 전압을 출력 할 수 있도록 AC/DC 변환기, 전압 조절 가변 저항 등을 설치하여 직류 전압만 출력 할 수 있도록 하는 회로를 개발 하고자 하였다.
- 교류 전압과 직류 전압의 적용 인가 전압은 식품의 종류(육류, 어패류, 야채, 과일)에 따라 생체 에너지, 제품의 산화 정도에 따라 교류는 0~500V까지 직류는 -180~0V까지 실제 적용하여 연구 하고자 하였다.

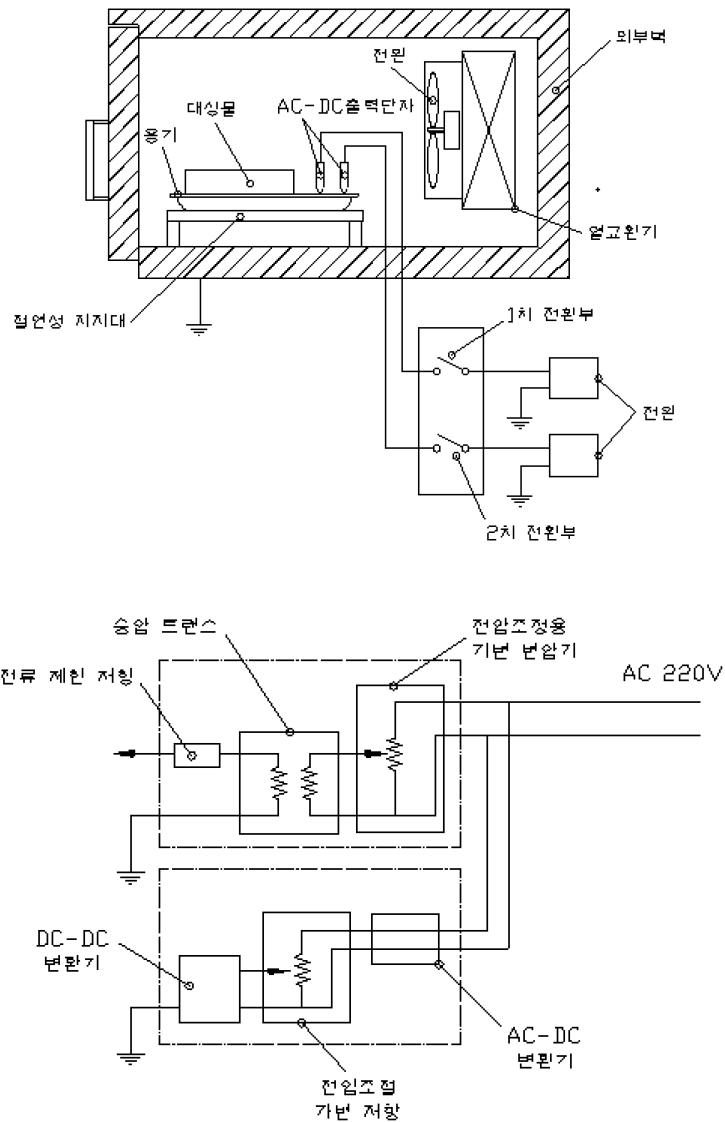
(나) 주요사항

정전기장의 유도 에너지 : 교류의 경우 0~1,500V를 단계별 정전기 유도 에너지를 발생 가

능하게 제어부를 제작하고 직류의 경우 $-900\sim 0V$ 를 단계별로 조절 할 수 있게 제어부를 설계하고 전류의 발생을 제한하는 전류 제한 저항을 적용하며 AC/DC 변환기 및 DC/DC 변환기를 적용하여 전압을 조절하는 회로를 설계한다.

- 입력 전원은 220V, 50/60Hz 용으로 설계하며 조절은 아날로그 방식으로 조절 하거나 디지털 방식으로 조절 표시가 되도록 설계한다.
- 안전을 위하여 각 전원은 접지를 필히 진행하고 내부의 전선의 접촉을 피할 수 있도록 설계한다. 정전기 유도 에너지 발생 장치의 주요 장치는
 - 1) 정전기 발생 장치 : 전압 조절용 가변 변압기, 승압트랜스, 전류 제한 저항 장치, 전압 조절 가변 저항, AC/DC 변환기, DC/DC 변환기 등을 구성하며
 - 2) 냉동고 : 열교환기, 송풍팬, 스텐레스 용기, 절연 지지대 등으로 구성되어 있도록 한다.

○ 설계도 :



2) 냉동유닛 부착용 전자기장 유도에너지 발생장치 설계 및 개발

(가) 개요 및 구상

전자기장 유도에너지를 이용하여 비접촉식 냉동장치에 대한 개발을 설계하고자한다. 전자기장 유도에너지는 도체의 양극을 중심으로 coil를 구성하고 이 coil에 전류를 인가하면 전류에 의한 magnetic field가 유지되고 이 전자장에 의한 전류가 유도된다. 이 에너지는 냉동실내에 유도 자장과 전류를 발생시킨다. 전류와 유도 자장은 고내 전자기력을 발생시키고 전자기력에 의해 식품의 냉각 특성을 변화시키고자 제품을 구성하였다.

기본적으로 자기장 유도에너지를 발생시키기 위하여 전력 제어 방식 중 Full Bridge PWM 제어방식을 채택하여, 임의 주파수 출력 등 실험의 다양화를 부여하고 변환 효율을 높임. 제품의 구성을 위하여 마이크로 컨트롤러를 이용하여 제어 시스템을 구성하였으며, 안정적인 동작을 구상하였다.

동일한 자기장 형성을 위하여 정전압 출력을 구성하였으며, 전압 및 전류제어를 통한 자기장의 강도를 안정적으로 제어할 수 있는 변환 시스템으로 구성하였다.

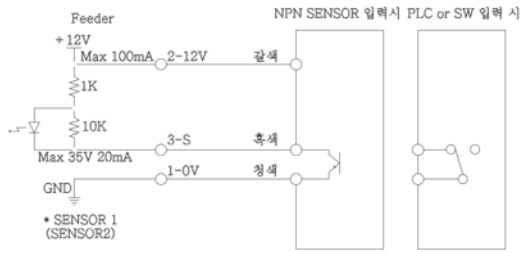
- Controller : 입력전압 220V, 출력전압 제어가능(0V~90V), 전압안정도($\pm 3\%$), 주파수(60Hz), 주파수안정도($\pm 0.2\%$)
- 발생기 : 자기장 유도 발생장치는 최대 3,500 G(입력단자 DC 90V, 1.05A)를 기준으로 제작

(나) 주요사항

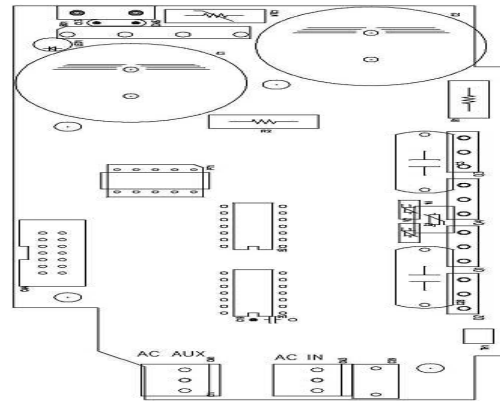
전자기장 유도에너지 : 최대 3,500 G 최소 0 G로 단계별 전자기장 유도에너지 발생 가능하도록 controller를 제작하여 부착하였다.

- Controller : Input 전원은 220 V, 50/60 Hz용으로 설계함. 입력 전압 AC 220 V, 출력전압 DC 10~90 V, 출력용량 최대 3 A로 설계함. 외형크기는 124×182×100 mm이며 디지털식 조절 표시가 가능하도록 설계하였다.
- 발생기 : 자기장 유도발생장치는 최대 3,500 G (입력단자 DC 90 V, 1.05 A)를 기준으로 제작하였으며, 전류값에 비례하여 자기장 유도에너지가 감소하도록 설계하였다. 외형크기는 200×100 mm의 원형으로 제작하여 실험에 사용하였다. 외부재질은 철을 사용하였으며 내부는 구리선을 이용하였고, 실리콘으로 내부선의 접촉을 방지하도록 설계하여 실험에 사용하였다.

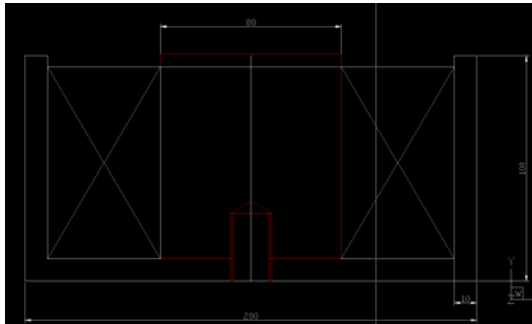
○ 설계도 :



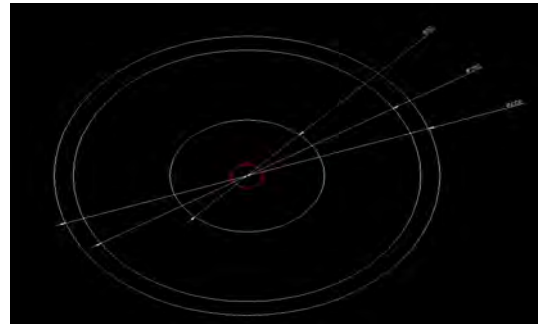
<Controller 기본 배선도>



<Controller 내부 구성도>



<발생기_정면>



<발생기_상면>

○ 제작 및 기본 성능 :

| 순 번 | 내용 | 품명 | 내용 |
|-----|--------|-----------------------|-----------|
| 1 | 규 격 | 200(r=100) × 100(H)mm | 발생장치 크기 |
| 2 | 용 량 | 0 ~ 3500G(최대) | 자기장 POWER |
| 3 | 주파수 | 50/60khz | 주파수 |
| 4 | 재질 | 철, 구리선 | 발생장치 재질 |
| 5 | 최대출력용량 | 3A | 전류량 |



<Controller 외관>



<발생기>

3) 냉동유닛 부착용 초음파에너지 발생장치 설계 및 개발

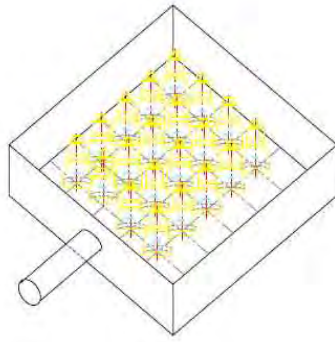
(가) 개요 및 구상

초음파에너지 이용은 물체를 초음파에너지로 미세한 충격을 발생하도록 구성하는 것이므로 일반적인 초음파의 액 중 캐비테이션을 발생을 억제하여야 한다.

초음파 에너지 발생장치는 발진기와 진동부의 2개의 부분으로 구성되도록 하며, 28 khz~132 khz의 범위에서 고주파 전기신호로 변화하여 진동부로 공급할 수 있도록 한다. 진동부는 발진기로부터 입력된 고주파 전기신호를 초음파로 바꿀 수 있도록 설계하여야 한다.

초음파에너지는 열량과 관계되는 부분으로서 최대 2,400 W를 나타낼 수 있으나 출력이 높을수록 발열에 대한 문제가 발생함으로 이를 최대한 감소시킬 수 있는 범위에서 제작하여 사용하고자 한다.

- 발진기 : 전원 스위치로 조절이 가능하도록 하고, 초음파 출력을 조절하기 위하여 조절용 volume 스위치를 적용하고자 한다. 초음파의 출력을 5단계로 조절하여 사용할 수 있도록 설계한다.
- 진동부 : 발진기에서 주어지는 고주파 전기 신호를 초음파로 변환하는 소자로서 ultrasonic radiation plate는 금속면(stainless steel SUS304 사용)을 적용한다. 관련부품으로 Transducer, Attachment, 출력컨넥터 사용한다.

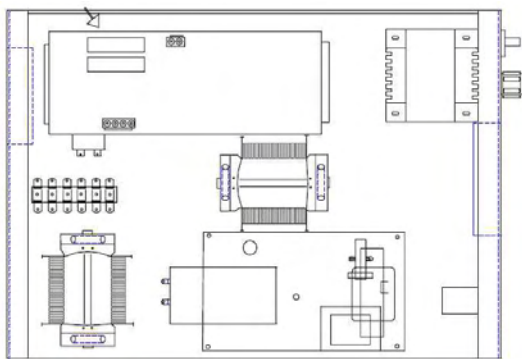


<진동부 구성 외관>

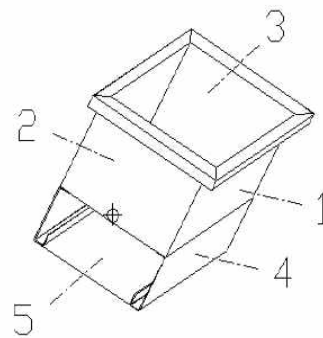
(나) 주요사항

- 발전기 : Input 전원은 220 V, 50/60 Hz용으로 설계함. 최대 용량 200 W~최소 10 W로 조절 가능하도록 설계한다. 외형크기 320×390×150 mm로 5단계 조절 표시가 가능하도록 설계한다.
- 진동부 : 진동자는 40 khz를 발생시킬 수 있는 고정형 진동자를 부착하였으며, 최대 출력 50 W로 구성된 것을 4개 부착하여 사용한다. 용기의 재질은 미세진동에서 강진동에 의한 충격에 견디기 위하여 SUS304 재질+크롬 도금(20μm)을 사용한다. 용기의 크기는 180(L)×180(W)×200(H) mm로 제작하여 실험에 사용한다.

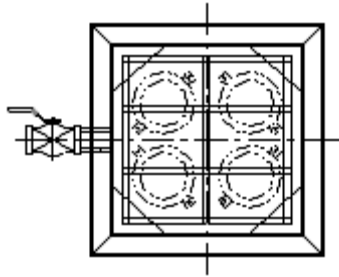
○ 설계도 :



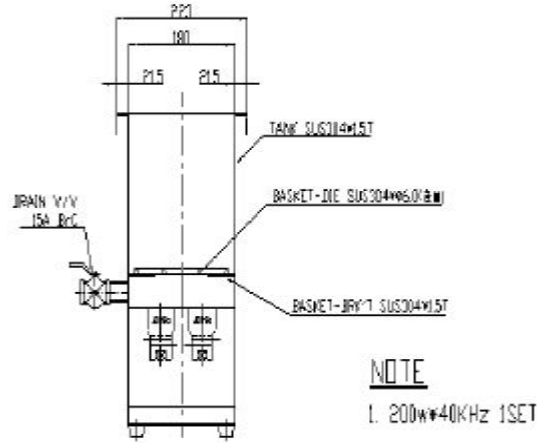
<발전기의 기본 구성>



<전반적인 외관 구성도>



<하단부>



<측면부>

○ 제작 및 기본 성능 :

| 순 번 | 내용 | 품명 | 내용 |
|-----|-----|------------------|-----------|
| 1 | 규 격 | 180 * 180 * 200h | 냉각조 6.4ℓ |
| 2 | 용 량 | 200w(최대) | 초음파 POWER |
| 3 | 주파수 | 40khz | 초음파 주파수 |
| 4 | 재질 | SUS 304 | 냉각조 재질 |
| 5 | 드레인 | 15A | 드레인 밸브 |



<발전기 외관>



<발전기 후면>



<진동부>

나. 저온용 컨테이너 및 용기의 단열재 선정

단열재는 무기재료, 유기재료 및 금속재료로 구분된다. 무기재료로서 섬유탄, 기포형, 분말형을 구분되며, 다시 섬유탄은 암면, 유리면, 석영섬유, 고규산질섬유, 세라믹섬유로, 기포형은 발포유리, A.L.C로 분말형은 규산칼슘, 석고보드, 질석, 규조토로 구분된다. 유기재료는 섬유탄과 기포형으로 구분되며, 섬유탄은 모피, 식물섬유가, 기포형은 발포폴리스티렌, 발포폴리우레탄, 발포고무, 요소수지, 발포폴리에틸렌으로 구분된다. 또한 금속재료는 반사형으로서 알루미늄박판이 사용된다.

냉동 및 보냉을 위한 단열소재로서 유기재료의 기포형이 다수 사용되고 있으며 이들은 폴리에틸렌이나 폴리프로필렌을 화학가교제나 전자선 조사에 의해 가교, 발포된 씨트상의 반경질 및 연질상의 발포체로 산업용 단열재로 다양하게 사용되고 있다.

Table 1. The classification of the insulation of ‘the rule regarding the standard equipment of buildings’

| 등급 분류 | 열전도율의 범위 (KS L 9016 또는 KS F 2277에 의한 20±5℃ 시험조건에 의한 열전도율) | | KS M 3808, 3809 및 KS L 9102에 의한 해당 단열재 및 기타 단열재 |
|----------|---|-------------|--|
| | W/mK | kcal/mh℃ | |
| 가 | 0.034이하 | 0.029이하 | <ul style="list-style-type: none"> - 압출법보온판 특호, 1호, 2호, 3호 - 경질우레탄폼보온판 1종 1호, 2호, 3호 및 2종 1호, 2호, 3호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.034 W/mK (0.029 kcal/mh℃)이하인 경우 |
| 나 | 0.035~0.040 | 0.030~0.034 | <ul style="list-style-type: none"> - 비드법보온판 1호, 2호, 3호 - 암면보온판 1호, 2호, 3호 - 유리면보온판 2호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.035~0.040 W/mK (0.030~0.034 kcal/mh℃)이하인 경우 |
| 다 | 0.041~0.046 | 0.035~0.039 | <ul style="list-style-type: none"> - 비드법보온판 4호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.041~0.046 W/mK (0.035~0.039 kcal/mh℃)이하인 경우 |
| 라 | 0.047~0.051 | 0.040~0.044 | <ul style="list-style-type: none"> - 기타 단열재로서 열전도율이 0.047~0.051 W/mK (0.040~0.044 kcal/mh℃)이하인 경우 |

Table 1은 ‘국내 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’ 중 단열재의 등급에 대한 분류를 나타낸 것으로서 국내 생산되는 단열재의 모든 기준이 적용된다. 단열효과를 나타내는 가장 일반적인 측정방법으로서 열전도율에 대한 측정 기준을 제시하고 있으며, 가장 높은 효율로서 0.029 kcal/mh℃이하의 열전도율을 나타내는 것을 기준으로 정하고 있다. 고효율의 냉장 및 냉동기를 생산하기 위한 단열재로서는 가등급에 속하는 경질우레탄폼형 또는 열전도율이 0.029 kcal/mh℃이하의 제품을 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Table 2. Thermal conductivity characteristics of a variety of material properties

| 종류 | 밀도 (kg/m ³) | 열전도도 (kcal/mh℃) | 단열등가두께 (mm) | |
|-----------|----------------------------|--------------------|----------------|----------|
| 경질우레탄PIR폼 | 32 | 0.017 | 20 | A사 |
| | 35 | 0.016 | 56 | B사 |
| 경질우레탄PUR폼 | 32 | 0.019 | 24 | A사 |
| 우레탄PUR폼 | 30 | 0.029 | 100 | B사 |
| 연질우레탄폼 | 16 | 0.035 | 44 | A사 |
| 수성연질폼 | 24 | 0.032 | 50 | C사 |
| | 32 | 0.031 | 50 | C사 |
| 스치로폼 | 16 | 0.035 | 44 | 기타자료 |
| 폴리스틸렌폼 | 47 | 0.031 | 18 | 20T(HD) |
| | 18 | 0.037 | 18 | 20T |
| 폴리에틸렌폼 | 45 | 0.026 | 4.7 | L1000W-3 |
| | 23 | 0.036 | 9 | S4000LK3 |
| 암면 | 100 | 0.037 | 46 | 기타자료 |
| 암면 | 300 | 0.041 | 51 | 기타자료 |
| 유리면 | 65~160 | 0.041 | 51 | 기타자료 |
| 요소 | 30 | 0.025 | 27 | 기타자료 |

냉동 및 냉장시스템에 사용되는 단열소재로서 시중에서 유통되는 유기재료용 기포형 단열재로서 폴리스틸렌폼, 폴리에틸렌폼, 우레탄폼 및 기타 소재에 대한 열전도도에 대한 특성을 조사하였다(Table 2). 단열재의 종류에 따라서 0.016 kcal/mh℃에서 0.041 kcal/mh℃ 사이의 다양한 열전도도를 나타내었으며, 밀도에 대한 상관정보다 종류에 대한 열전도도 차이가 더 크게

발생하는 것으로 나타났다. 따라서 일반적으로 경질우레탄 PIR폼형이 열전도도 0.016 kcal/m h°C 내외를 나타내어 가장 우수한 것으로 판단되었으며, 경질우레탄 PUR폼형이 0.019 kcal/m h°C로 다음을 나타내었다. 일반적인 스티로폼 및 폴리스틸렌폼 및 폴리에틸레폼에 비하여 폴리우레탄개열의 단열재료가 최대 2배 이상의 단열효과를 나타내는 것으로 보였으며, 제조 회사에 따른 차이는 크지 않은 것으로 판단되었다.

다. 냉동시스템의 냉각열량 설계

1) 냉동 총열량 : $Q(\text{kcal/h}) = Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5$

가) 주위 외벽을 통해서 침입하는 열량 : $Q_1(\text{kcal/h})$

$$Q_1 = K \times A \times (t_1 - t_2)$$

K : 열통과율(kcal/hm²°C) = λ/t

λ : 방열재의 열전달율(kcal/mh°C)

t : 방열재의 두께(cm)

A : 방열벽의 표면적(m²)

t₁ : 벽 외면 온도 (°C)

t₂ : 고내온도 (°C)

나) 고내 침입공기 냉각열량(환기로 인한 열손실) : $Q_2(\text{kcal/h})$

$$Q_2 = E \times V \times n \times 1/24$$

E : 외기를 고내온도까지 냉각하는 열량(kcal/m³) : 28 ~ 41

$$E = (i_2 - i_1)/v$$

i₁ : 외부 공기의 엔탈피(kval/kg)

i₂ : 고내 공기의 엔탈피(kval/kg)

v : 비체적(m³/kg)

V : 냉동고의 체적 (m³)

n : 환기횟수 : 0.7 ~ 10

다) 저장품의 냉동 시키는데 필요한 열량 : $Q_3(\text{kcal/h})$

○ 동결점 이상일 때 : $Q = C \times T \times (t_1 - t_2) \times 1/H$

○ 동결점 이하일 때 :

$$Q = \{C \times T \times (t_1 - t_f) + C_1 \times T \times (t_f - t_2) + T \times hf\} \times 1/H$$

T : 저장품의 입고중량(Kg)

C : 동결점 이상에서의 비열(Kcal/kg $^{\circ}$ C)
 C_1 : 동결점 이하에서의 비열(Kcal/kg $^{\circ}$ C)
 t_1 : 입고시의 온도($^{\circ}$ C)
 t_2 : 입고품의 최종동결온도($^{\circ}$ C)
 t_f : 동결점($^{\circ}$ C)
 h_f : 동결 잠열(Kcal/kg)
 H : 냉각시간(h)

라) 호흡열에 의한 발열 : Q_4 (kcal/h)

$$Q_4(\text{kcal/h}) = W \times \varepsilon$$

W : 수용량(Kg)

ε : 호흡열(Kcal/kg \cdot h)

마) 포장재료의 냉동부하 : Q_5 (kcal/h) : 보통 냉각열의 10 ~ 15% 수준

2) 냉동 장치의 제작 시방

가) 제원(mm) :

- 내치 : 590 \times 450 \times 600(L \times W \times H)
- 재질 : 고품질 우레탄 판넬 (밀도 : 35kg/m³ 이상, 열전도율 : 0.02kcal/m \cdot $^{\circ}$ C \cdot hr 이하, 열저항성 : 난연성), 두께 30mm 이상
: 판넬 외장용 소재로 양면을 PVC 코팅강판
- 온도 : 0 $^{\circ}$ C ~ -20 $^{\circ}$ C
- 전원 : 1상 AC 220V/60Hz

나) 냉동장치의 주요 사양

온도범위; 0 $^{\circ}$ C ~ -20 $^{\circ}$ C, 온도편차; \pm 0.5 $^{\circ}$ C, 유효면적; 590(L) \times 450(W) \times 600(H)mm, 재질; SUS304, 냉동시스템(1Hp), 냉매(R503), 표면대류에 의한 냉동장치, 온도제어를 위해 heating coil장착

2. 단위 시스템 적용에 따른 공정단계별 품질 특성 분석

가. 냉각 및 동결시간 예측

1) 재료 및 방법

(가) 열확산법에 의한 열전도도 측정

일반적으로 고체식품 및 고점도식품의 전열은 대부분 전도에 의한 전열로서, 여기에 관여하는 비열 및 밀도는 가성성이 성립하므로 비교적 추정이 쉬우나 열전도도는 비가성성이므로 측정이 용이하지 않다. 따라서 본 연구에서는 시간에 따른 온도변화를 연속 측정하여 열류조절이 경계조건을 만족했을 경우에는 반무한대 전도전열 이론식을, 그렇지 못할 때에는 curve fitting 법을 이용하였다.

(나) 냉각 및 동결시의 열물성치 측정

냉각 및 동결시간 예측모델을 개발하기 위한 기본 데이터로서 시료는 beef와 pork를 사용하였으며, 이들 시료의 열물성치로써 동결전후의 밀도, 열전도도 및 비열과 잠열, 초기빙결점 등을 구하였다.

2) 결과 및 고찰

(가) 동결시간 예측

○ 동결시간 예측모델은 기본적으로 균일물질과 등방성물질이라는 가정하에서, 다음과 같은 초기조건 및 경계조건을 기초로 하여 설정되어 진다.

$$\text{[I. C.]} \quad t \leq 0 \quad T = T_i \quad 0 \leq x \leq L$$

$$\text{[B. C.]} \quad t > 0 \quad -h \frac{\partial T}{\partial x} = h(T - T_a) \quad x = L$$

$$t < 0 \quad \frac{\partial t}{\partial x} = 0 \quad x = 0$$

○ 본 연구에서는 동결시간 예측모델을 동결시간과 관련있는 무차원변수의 집단으로 나타내기 위해 무차원 해석을 적용하였다. 먼저 일반적인 Plank방정식의 형태는 식(i)과 같다.

$$t = \frac{\Delta H}{(T_f - T_a)} \left(P \frac{D}{h} + R \frac{D^2}{k} \right) \quad (i)$$

○ 여기서 ΔH 는 초기빙결점과 동결이 종료된 시점에서의 온도 사이의 엔탈피, T_f 는 빙결점, T_a 는 동결매체온도, D 는 관상시료의 두께, h 는 표면열전달계수, k 는 동결상의 열전도도, P 와 R 은 형태인자이며, T_i 는 동결할 시료의 초기온도이다. 식(i)에서 보면 실험인자로는 $D, h, (T_f - T_a)$ 로 구성되어 있으며 초기의 과열온도인 $(T_i - T_f)$ 는 없다.

- Fourier No.는 시료의 두께, 상변화 시간, 시료의 전열물성치(상변화 이후)와 관련이

있으며

$$F_o = \frac{\alpha t}{D^2} \quad (\text{ii})$$

- Biot No.는 열전달에 있어 외부저항에 대한 내부저항의 비로써

$$B_i = \frac{h \cdot D}{k_s} \quad (\text{iii})$$

- Stefan No.는 주위동결매체를 설명하고, 아울러 자체의 잠열방출에 따른 상변화과정 이후의 열전달과 관계가 있다.

$$S_{te} = \frac{c_s(T_f - T_a)}{\Delta H} \quad (\text{iv})$$

- 또한, Plank No.는 과냉각 또는 예냉과 잠열에 관계되므로

$$P_k = \frac{c_u(T_i - T_f)}{\Delta H} \quad (\text{v})$$

으로 표시된다.

- 이들을 기초로 식(i), (ii) 및 (iii)식을 Plank식에 대입하면 다음과 같은 무차원 형태로 나타낼 수 있다.

$$F_o = \left[\frac{P}{S_{te} \cdot B_i} \right] + \left[\frac{R}{S_{te}} \right] \quad (\text{vi})$$

- 그리고 무차원 동결시간, F_o 는 동결시료의 열물성치와 외부조건에 관련이 있으므로 일반적으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_o = f(B_i, P_k, S_{te}) \quad (\text{vii})$$

여기서 무차원 변수의 집단은 T_i , T_a , h , D 의 실험조건으로 구성된다. 여기에서 Plank 식에서 이미 알려져 있는 바와같이 동결시간에 직접적으로 영향을 미치는 인자와 식품을 2차 냉매(냉공기와 액체)중에서 냉각 또는 동결시킬 때 그 속도에 영향을 주는 요소는 주로

A) Thermal properties of material B) Size of the object C) Initial temperature of the material D) The freezing medium temperature E) The surface resistance to heat transfer as defined by the surface heat transfer coefficient F) The geometric configuration of the object G) The final temperature at the thermodynamic center at the completion of the phase change process 이다.

따라서, 동결시간 예측에 직접적으로 영향을 미치는 인자인 시료의 크기, 동결매체온도, 표면 열전달계수, 시료의 초기온도, 시료의 열물성치(수분함량, 비열, 밀도, 열전도도 등)에 대한 영향을 상호 검토한 바에 의하면, 동결시간은 거의 시료의 두께에 비례하므로 두께가 클수록 열량을 감소시키는 시간이 길어진다고 알려져 있으며, 동결시간과 시료 두께사이의 관계는 표면 열전달계수의 크기에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 초기온도의 영향은 동결시간에 그다지 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보이며, 시료의 두께가 얇을수록 초기온도의 영향은 작으며

상대적으로 두께가 두꺼울수록 초기온도의 영향은 커짐을 알 수 있다. 그리고 동결매체온도의 영향은 -60°C 이하에서는 비교적 적게 나타나지만 $-20^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ 사이에서는 동결시간에 영향을 크게 미쳤으며, 또한 표면열전달계수의 영향은 매우 민감한 것으로 나타났다. 따라서 자연대류 식 냉동기에 의한 동결은 상대적으로 동결시간이 길어지는 특성을 나타냄을 알 수 있다.

이와같은 실험인자에 의하여 동결시간을 예측할 수 있는 간편한 모델을 모색하기 위하여 동결시간의 증가요소인 시료의 초기온도(X_1), 시료의 두께(X_2)와 동결시간의 감소요소인 시료의 초기빙결점에서 동결매체 온도사이의 차의 역수(X_3) 및 표면열전달계수의 역수(X_4)를 독립변수로 하고 동결시간(Y)을 종속변수로 설정하였다. 실험적 데이터를 이용하여 통계 소프트웨어인 SAS(statistical analysis system, version 6.11)을 사용하여 다중회귀 분석을 실시하였다. 다중회귀 분석에서 독립변수는 변수선택법 중 R^2 선택법을 이용하여 적정 독립변수를 선정하였다. 그 결과 식(viii) 및 (ix)와 같은 방정식을 얻었다.

$$Y_{beef} = 0.68X_1 + 7568.98X_2 + 2430.78X_3 + 3293.26X_4 - 299.00 \quad (\text{viii})$$

$$(R^2 = 0.9897)$$

$$Y_{pork} = 1.92X_1 + 4593.92X_2 + 3447.63X_3 - 136.67 \quad (\text{ix})$$

$$(R^2 = 0.9903)$$

Table 3. Results of the experimental conditions pork(P) and beef(B)

| No. | 초기온도 (°C) | 중심온도 (°C) | 표면열전달 계수 (Wm ⁻² C) | 두께(m)/ 무게(g) | 무치원변수 | | | | 실험적동결시간 (min) |
|------|--------------|--------------|-------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|----------|------------------|
| | | | | | F_o | B_i | P_k | S_{te} | |
| P-1 | 15.5 | -39.6 | 20.57 | 0.030/ | 5.108 | 0.464 | 0.171 | 0.201 | 119.5 |
| P-2 | 19.7 | -37.4 | 20.57 | 0.030/ | 5.666 | 0.464 | 0.204 | 0.182 | 138.2 |
| P-3 | 16.0 | -35.5 | 20.57 | 0.030/ | 5.688 | 0.464 | 0.175 | 0.178 | 135.6 |
| P-4 | 13.8 | -40.0 | 20.57 | 0.030/ | 4.974 | 0.464 | 0.157 | 0.205 | 114.2 |
| P-5 | 14.0 | -39.0 | 20.57 | 0.030/ | 5.082 | 0.464 | 0.158 | 0.201 | 117.9 |
| P-6 | 23.5 | -42.7 | 20.57 | 0.030/ | 4.597 | 0.464 | 0.280 | 0.243 | 130.4 |
| P-7 | 18.7 | -38.0 | 20.57 | 0.030/ | 5.518 | 0.464 | 0.197 | 0.186 | 133.2 |
| P-8 | 12.5 | -41.1 | 20.57 | 0.030/ | 4.746 | 0.464 | 0.146 | 0.215 | 108.2 |
| P-9 | 16.5 | -39.5 | 20.57 | 0.030/ | 5.185 | 0.464 | 0.179 | 0.198 | 122.2 |
| P-10 | 17.0 | -33.7 | 20.57 | 0.030/ | 6.045 | 0.464 | 0.183 | 0.167 | 146.1 |
| P-11 | 20.0 | -35.0 | 20.57 | 0.030/ | 6.044 | 0.464 | 0.206 | 0.169 | 149.0 |
| P-12 | 21.0 | -40.5 | 20.57 | 0.030/ | 5.350 | 0.464 | 0.214 | 0.195 | 130.7 |
| P-13 | 11.0 | -35.9 | 20.57 | 0.030/ | 5.276 | 0.464 | 0.132 | 0.190 | 122.2 |
| P-14 | 14.0 | -35.5 | 20.57 | 0.015/ | 10.562 | 0.232 | 0.158 | 0.182 | 62.0 |
| P-15 | 19.5 | -39.5 | 20.57 | 0.015/ | 10.241 | 0.232 | 0.203 | 0.183 | 62.1 |
| P-16 | 22.0 | -40.0 | 20.57 | 0.015/ | 10.428 | 0.232 | 0.221 | 0.191 | 64.6 |
| P-17 | 16.9 | -33.7 | 20.57 | 0.015/ | 11.514 | 0.232 | 0.182 | 0.167 | 69.3 |
| P-18 | 21.5 | -38.6 | 20.57 | 0.015/ | 10.712 | 0.232 | 0.218 | 0.184 | 66.3 |
| P-19 | 23.1 | -35.0 | 20.57 | 0.015/ | 11.946 | 0.232 | 0.229 | 0.164 | 75.6 |
| P-20 | 11.1 | -42.5 | 20.57 | 0.015/ | 8.558 | 0.232 | 0.133 | 0.226 | 48.5 |
| P-21 | 15.5 | -41.0 | 20.57 | 0.015/ | 7.133 | 0.232 | 0.021 | 0.251 | 45.1 |
| P-22 | 21.0 | -41.5 | 20.57 | 0.015/ | 9.965 | 0.232 | 0.214 | 0.200 | 60.9 |
| P-23 | 22.5 | -42.0 | 20.57 | 0.015/ | 10.032 | 0.232 | 0.225 | 0.200 | 62.2 |
| B-1 | 9.0 | -29.6 | 20.57 | 0.020/26.7 | 8.680 | 0.316 | 0.108 | 0.160 | 94.2 |
| B-2 | 4.8 | -31.8 | 20.57 | 0.019/39.3 | 7.987 | 0.301 | 0.067 | 0.180 | 78.7 |
| B-3 | 7.2 | -33.1 | 20.57 | 0.022/45.7 | 6.951 | 0.348 | 0.091 | 0.183 | 90.3 |
| B-4 | 3.7 | -32.4 | 20.57 | 0.018/31.4 | 6.728 | 0.348 | 0.055 | 0.186 | 89.6 |
| B-5 | 3.8 | -30.8 | 20.57 | 0.022/42.6 | 7.082 | 0.348 | 0.056 | 0.176 | 94.8 |
| B-6 | 1.8 | -30.6 | 20.57 | 0.022/34.6 | 6.905 | 0.348 | 0.035 | 0.179 | 94.7 |
| B-7 | 2.1 | -32.5 | 20.57 | 0.018/21.5 | 7.875 | 0.285 | 0.038 | 0.190 | 71.5 |
| B-8 | 15.3 | -26.2 | 20.57 | 0.030/ | 6.730 | 0.432 | 0.200 | 0.160 | 182.1 |
| B-9 | 15.5 | -30.2 | 20.57 | 0.034/61.6 | 5.696 | 0.538 | 0.166 | 0.153 | 183.1 |
| B-10 | 10.8 | -28.9 | 20.57 | 0.032/ | 5.912 | 0.506 | 0.125 | 0.153 | 166.3 |
| B-11 | 15.7 | -28.5 | 20.57 | 0.028/39.7 | 7.189 | 0.443 | 0.168 | 0.143 | 157.2 |
| B-12 | 20.0 | -30.0 | 20.57 | 0.029/75.0 | 6.974 | 0.459 | 0.202 | 0.145 | 167.3 |
| B-13 | 21.6 | -26.4 | 20.57 | 0.028/59.4 | 8.267 | 0.443 | 0.214 | 0.125 | 188.3 |
| B-14 | 21.8 | -28.5 | 20.57 | 0.029/59.3 | 7.464 | 0.459 | 0.215 | 0.135 | 182.0 |
| B-15 | 20.7 | -33.7 | 16.11 | 0.057/74.2 | 7.900 | 0.359 | 0.207 | 0.163 | 188.1 |
| B-16 | 24.7 | -35.4 | 16.11 | 0.084/95.0 | 4.294 | 0.706 | 0.236 | 0.165 | 407.5 |
| B-17 | 25.5 | -36.4 | 16.11 | 0.055/96.3 | 2.897 | 0.946 | 0.288 | 0.201 | 649.2 |
| B-18 | 20.7 | -37.3 | 16.11 | 0.045/130.2 | 4.048 | 0.682 | 0.207 | 0.181 | 343.7 |
| B-19 | 24.6 | -38.0 | 16.11 | 0.029/59.2 | 4.959 | 0.558 | 0.235 | 0.178 | 290.5 |
| B-20 | 20.4 | -32.1 | 16.11 | 0.028/54.9 | 8.236 | 0.359 | 0.205 | 0.155 | 196.5 |
| B-21 | 19.3 | -32.0 | 13.07 | 0.028/54.9 | 10.251 | 0.282 | 0.196 | 0.156 | 225.7 |
| B-22 | 19.5 | -33.8 | 13.07 | 0.029/65.5 | 9.446 | 0.292 | 0.198 | 0.165 | 222.5 |
| B-23 | 17.2 | -34.5 | 13.07 | 0.030/96.9 | 8.733 | 0.302 | 0.180 | 0.172 | 216.0 |

나. 냉동유닛별 실증운전시험을 통한 냉동품질 비교

유닛별 냉동 중 동결특성을 조사하기 위하여 증류수를 공시시료로 설정하여 사용하였다. 유닛은 정전기장에너지발생 장치, 자기장에너지발생 장치 및 초음파에너지발생장치에 대하여 각각의 온도에서 유닛의 냉동특성을 조사하고자 하였다.

1) 재료 및 방법

가) 냉동유닛의 적용을 위한 대상 시료 선정

시료의 열물성치는 동결 또는 미동결 상태에서 항상 일정한 것으로 가정하여야 하며 시료와 냉각매체 사이는 정상상태의 열전달로 일정한 초기 빙결점에서 모든 잠열이 방출되며 현열은 무시하는 것으로 가정한다. 일정한 초기온도를 가질 뿐만 아니라 일정한 동결매체온도에 의해 동결되는 것으로 가정하였다. 냉동 유닛의 품질특성을 시료는 기본적인 증류수를 기반으로 설계하여 실험에 사용하였다.

나) 동결 및 해동 중의 온도 및 압력 측정 및 제작



Fig. 1. Temperature and inner-pressure measurement system

동결 및 해동 중의 내부 온도 및 압력 변화 측정을 위하여 압력 측정용 용기를 제작하였다 (Fig. 1). 센서는 다채널 Fluke hydra 기종을 선정하여 data logger로 활용하였으며, 압력 측정은 식품에 적합한 모형으로 제작하여 측정하여야 하며 신뢰도를 확보하기 위하여 지속적인 반복 측정을 실시하여 데이터에 대한 신뢰도를 높이도록 하였다. 일반적으로 식품의 냉동 압력은 15psig의 범위를 넘지 않는 것으로 나타남으로 압력센서를 0~15psig의 범위에서 측정될 수 있고 accuracy가 $\pm 0.04\%$ 가 되는 것으로 설정하여 냉동 및 해동 압력의 측정에 사용하였으며, 본 실험에 사용된 압력센스는 GE M & C, UNIK 5000 모델을 도입하여 실험에 적합하도록 구성하였다. 압력 센서의 특성상 영하 -40°C 이하의 온도에서 정밀 측정이 불가함으로 압력 측정 등은 -40°C 이상의 온도에서 측정하는 것을 기본으로 설계하여 실험에 사용하도록 하였다.

2) 실험 내용

가) 전자기장 유도에너지 발생장치에 의한 냉동 유닛의 냉동 특성 비교

(1) 동결에 의한 온도 변화

상변화온도는 과냉각을 해소하여 일정한 온도를 유지하며 응고잠열을 저장할 수 있는 구간이다. 냉각과정동안의 온도변화는 Fig. 2와 같이 물의 냉각동안 초기 빙결점은 -0.5°C 로 나타났으며, 정전기장처리에 따른 냉각은 초기에 발생하지 않고 -9.1°C 까지 과냉각현상이 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

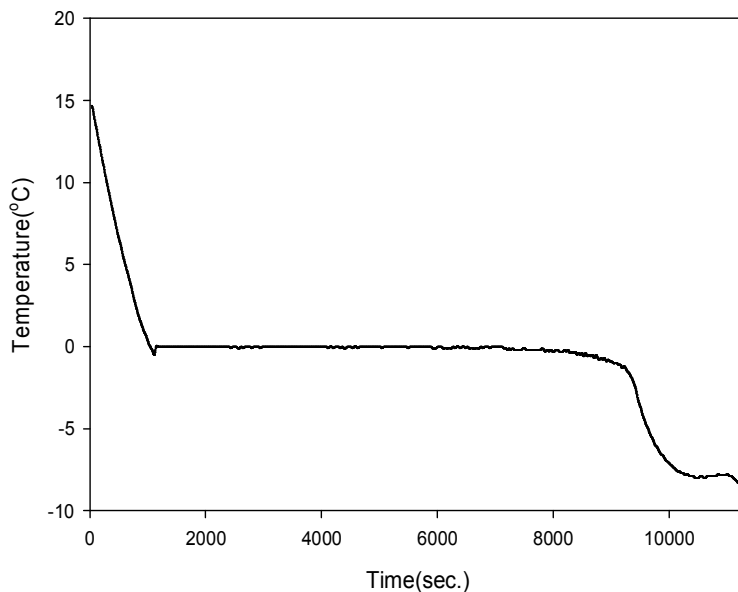


Fig. 2. Changes of freezing temperature of the distilled water into the commercial freezer

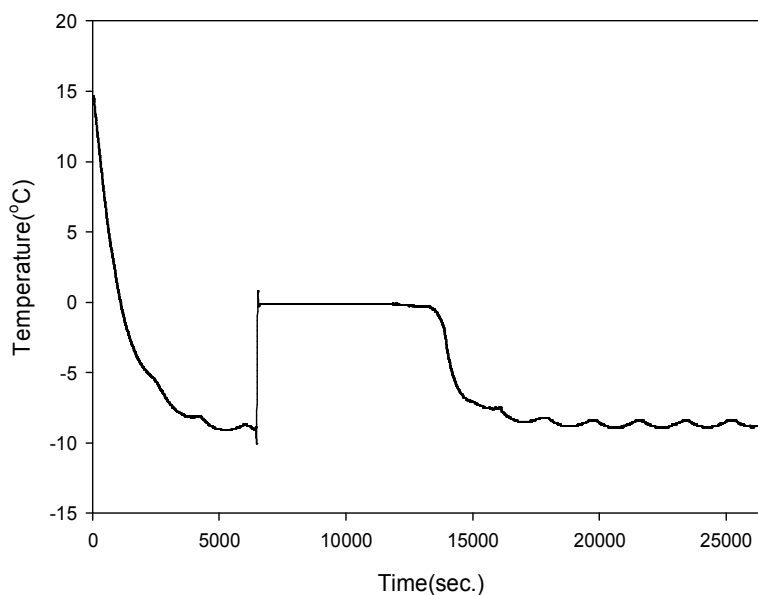


Fig. 3. Changes of freezing temperature of distilled water into the electromagnetic field freezer

본 실험의 물에 있어서 일반냉동고에서는 초기 동결시간이 1,110 sec가 소요되었으며, 빙결 접대에서 6,390 sec 동안 유지되었으며, -8.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 총 10,440 sec이었다. 반면, 정전기장처리에 따른 과냉각 현상이 해소되지 못하고 상변화를 하지 않는 것으로 나타났다. 전자기장처리에 따라 -9.1°C 까지 상변화가 없이 감소되는 것으로 나타났으며, 이때까지의 시간은 5,070 sec가 소요되었다(Fig. 3).

과냉각 유지시간은 1,410 sec로서 나타났으며, 이 후 $-0.1^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ 를 5,610 sec 동안 유지하였으며 다시 냉각하여 -8.0°C 를 통과하는데 소요된 시간은 4,170 sec로 나타났다. 또한 최저 온도인 -8.9°C 까지 다시 냉각되는 시간은 과냉각 이후 13,860 sec가 소요되었다. 전반적으로 전자기장처리에 의해서 과냉각 온도를 최대 -9°C 까지 감소시킬 수 있었으며, 빙결접대의 유지기간이 약 12.2% 정도 감소시키는 효과를 나타내었다.

물분자는 빙핵에 의한 얼음결정이 생성되지만, 정전기장처리에 의해 빙핵 형성의 진행이 방해가 됨으로 어는점이 낮아지는 것으로 해석할 수 있다. 정지상태에서 냉각과정동안, 과냉각과 액상유지기간에 영향을 미친 인자들은 용량, 용기의 재질, 충전물의 특성, 열전달율등이 있을 수 있으며 냉각속도 및 냉열원 내에서의 유동에 의한 진동 및 충격 등의 외적 요인들이 있다. 따라서, 과냉각도(ΔT)는 상변화온도(T_p)와 과냉각 최저온도(T_s)의 차로써 아래의 식에 의해서 구할 수 있다.

$$\Delta T = T_p - T_s$$

일반적인냉동고에서는 과냉각도가 0.5°C 였으나, 정전기장처리에 따른 과냉각도는 증류수에 의하여 -9.1°C 를 나타내었다. 과냉각도는 상변화온도와 과냉각 최저온도와의 차로써, 대부분의 과냉각 현상은 과냉각 상태가 해소된 후 상변화를 하게 된다. 이러한 액상유지기간은 실제 냉동 및 냉장시스템에서 냉동기를 가동하는 시간과 식품을 보관하는 시간에 중요한 데이터로 작용할 수 있다. 이러한 과냉각 상태의 유지기간은 냉동식품의 해동 능력 및 해동품질에도 좋은 영향을 미칠 수 있을 것임으로 이에 대한 다양한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(2) 전자기장유도에너지를 적용한 냉동고의 위치별 냉각 특성

증류수를 이용하여 냉장고 위치에 따른 동결특성을 조사하여 Fig. 4에 나타내었다. 전자기장처리에 따른 냉장고 중심높이에서 각각의 벽면을 중심으로 좌측[L1(뒤), L2(앞)], 우측[R1(뒤), R2(앞)]으로 구분한 후 증류수에 대한 냉각특성을 조사하였다. 전반적으로 전자기장의 처리에 따른 과냉각유지 효과가 나타나고 있는 것으로 나타났으며, L1의 경우 최대 과냉각 온도 -9.1°C , 최대 과냉각까지의 시간 5,070 sec, 과냉각 유지시간 1,410 sec을 나타내었고, L2의 경우 최대 과냉각 온도 -8.9°C , 최대 과냉각까지의 시간 4,890 sec, 과냉각 유지시간 10,170 sec을 나타내었다. 우측부위에서 R1에 있어서 최대 과냉각 온도 -9.1°C , 최대 과냉각까지의 시간 4,590

sec, 과냉각 유지시간 4,950 sec을 R2에 있어서 최대 과냉각 온도 -8.9°C , 최대 과냉각까지의 시간 3,630 sec, 과냉각 유지시간 1,170 sec을 나타내었다.

전자기장처리에의해서 최대 10,170 sec (2.5hr) 동안 과냉각상태를 유지하는 것으로 나타났으며, 평균 4,425 sec (1.2hr) 동안 과냉각상태의 유지효과를 나타내었다. 이러한 특성은 피냉각물질의 냉각온도 감소와 이를 이용한 온도균일화 효과를 더할 경우 피냉각물질의 빙결점 이하의 온도에서 급속한 동결이 가능한 것으로 판단되어질 수 있다. 본 실험에서 냉장고위치에 따른 효능이 달리 나타나는 것은 전자기장처리의 균일성이 확보되지 않는 것으로 판단된다.

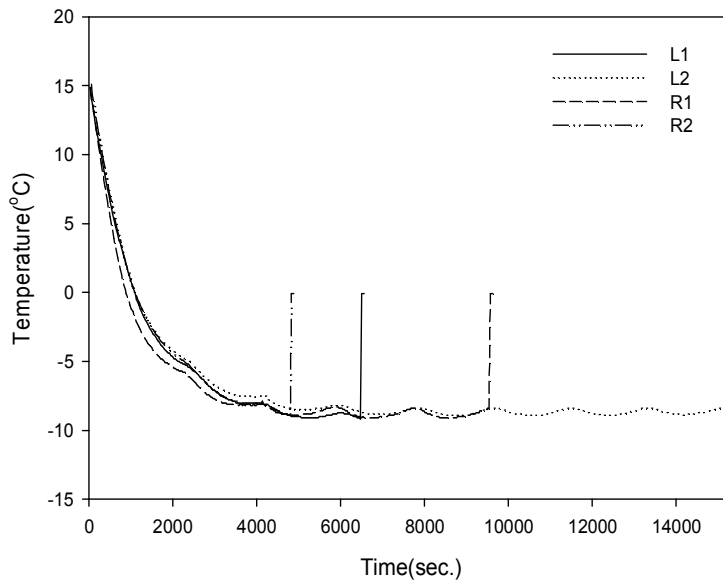


Fig. 4. Changes of temperature according to distilled water measured position into the electromagnetic field freezer

(3) 동결에 의한 내부압력 변화

순수한 물이 동결하여 0°C 의 얼음으로 될 때, 미동결시의 체적을 기준으로 8.75%정도 팽창하므로 물이 주성분인 신선식품을 동결시키면 체적은 당연히 팽창하게 되며 체적의 변화는 냉동에 의한 식품내부압력의 변화로 나타나게 된다. 이러한 식품내부압력은 식품이 동결시 표면부가 먼저 얼어서 주위를 단단하게 덮은 후 점차적으로 내부의 수분이 빙결되며 이 때 체적팽창을 일으키면서 표면의 동결부에 막혀 팽창을 하지 못하면 식품내부에서 압력이 발생된다고 보고되고 있다. 이러한 내부압력은 식품의 동결 시 품질의 저하 즉, 냉동 파괴에 의한 세포의 원형을 보존하기 어렵고 이를 통해 드립 등 제품의 품질 저하를 발생시킨다. 이로 인해 증류수의 동결 및 해동 시 내부압력의 변화를 조사하여 식품의 냉동 품질 특성에 대한 예측을 가능할 것으로 판단된다.

증류수를 동결하였을 때의 내부압력을 측정한 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 초기 온도가 감소함에 피냉각물질의 부피가 감소하는 특성으로 인하여 압력이 감소하는 것으로 나타났으며,

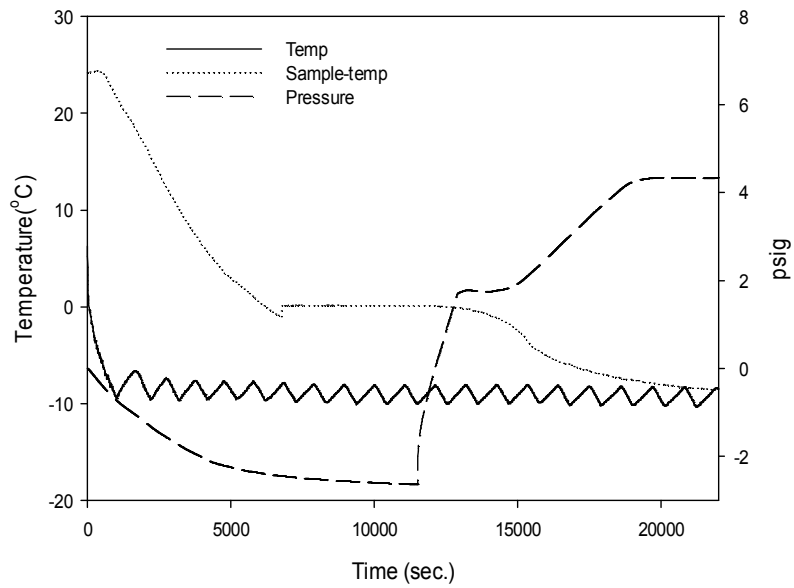


Fig. 5. Changes of the pressure of distilled water during freezing

피냉각물질이 빙결점 온도때인 0°C부근에서 안정화될 때 압력 또한 안정화되는 것으로 나타났다. 이에 0°C이하저점부터 완전 동결 온도 때까지는 내부압력이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 0°C의 순수한 물이 얼어서 0°C의 얼음으로 변화할 때의 체적팽창과 이후의 온도강하에 따른 체적변화 이론과 거의 일치함을 알 수 있다. 증류수의 압력변화는 동결에 의하여 최대 6.93 psig의 압력차이를 나타내었으며, 동결전 -2.6 psig에서 동결과정에서 2.09 psig로 급격히 증가한 후 냉동온도가 안정화되는 -8.0°C부근에서 4.33 psig의 내부압력을 나타내었다.

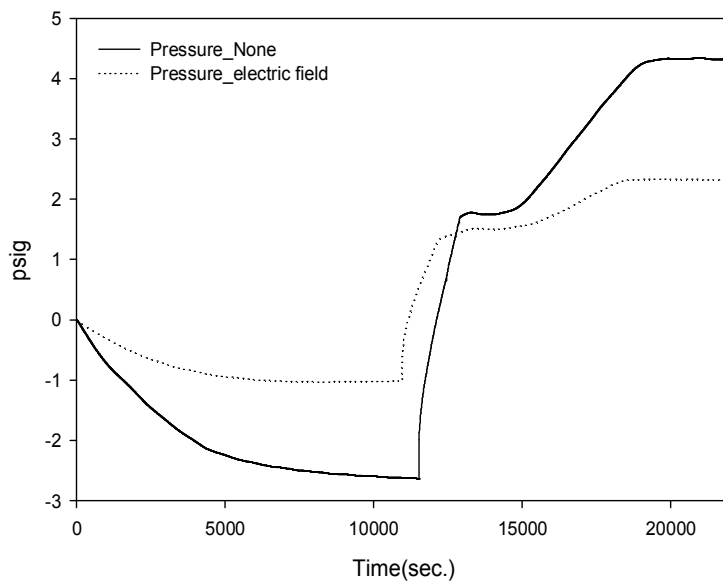


Fig. 6. Changes of freezing pressure in the electromagnetic field treatment

Fig. 6은 증류수의 전자기장처리에 따른 내부압력 대한 변화량을 나타내었다. 내부압력은 전자기장처리에 의해 감소하는 경향을 나타내어 일반냉동고에서 6.9690 psig의 내부압력차이를 나타낸 반면, 전자기장처리에 의해서 3.3642 psig의 압력차가 발생하였으며, 일반냉장고에서 최고 4.3329 psig를 전자기장처리냉장고에서 2.3302 psig의 내부압력을 나타내어 약 45% 내외의 내부압력 감소를 나타내었다. 이러한 압력의 감소는 빙결점 영역을 지나 완전동결이 되는 때의 내부압력을 감소시키는 효과로서 전자기장처리에 의해서 식품의 조직적 안정성을 높여줄 수 있을 것을 기대할 수 있을 것이다. 내부압력 감소에 의한 식품의 조직의 보존성을 높이는 것은 품질적 측면에서 드립 등 다양한 이득이 발생할 수 있음으로 이에 대한 다양한 연구 수행이 필요할 것으로 판단된다.

(4) 해동에 의한 내부압력 변화

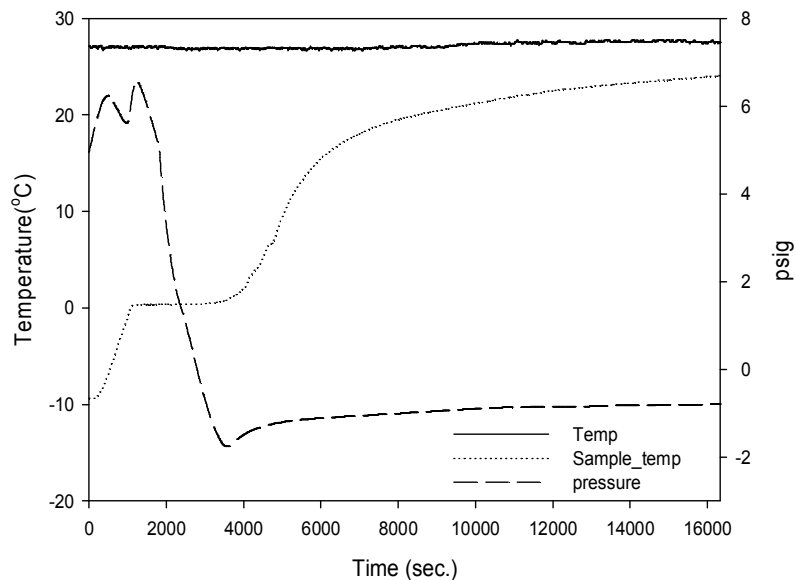


Fig. 7. Changes of the pressure and temperature of distilled water during thawing

증류수를 해동하였을 때의 내부압력을 측정한 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 초기 온도가 증가함에 피해동물질의 압력이 일시적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 피해동물질이 빙결점 온도대인 0°C 부근에서 안정화될 때 압력은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이에 해동시작 지점에서부터는 내부압력이 감소하여 해동 완료지점에서는 압력 감소가 완전히 이루어지는 것으로 나타났다. 증류수의 압력변화는 해동에 의하여 최대 8.00 psig의 압력차이를 나타내었으며, 해동전 6.24 psig에서 해동과정에서 -1.76 psig로 급격히 감소한 후 해동온도가 안정화되는 20.0°C 부근에서 -0.98 psig의 내부압력을 나타내었다.

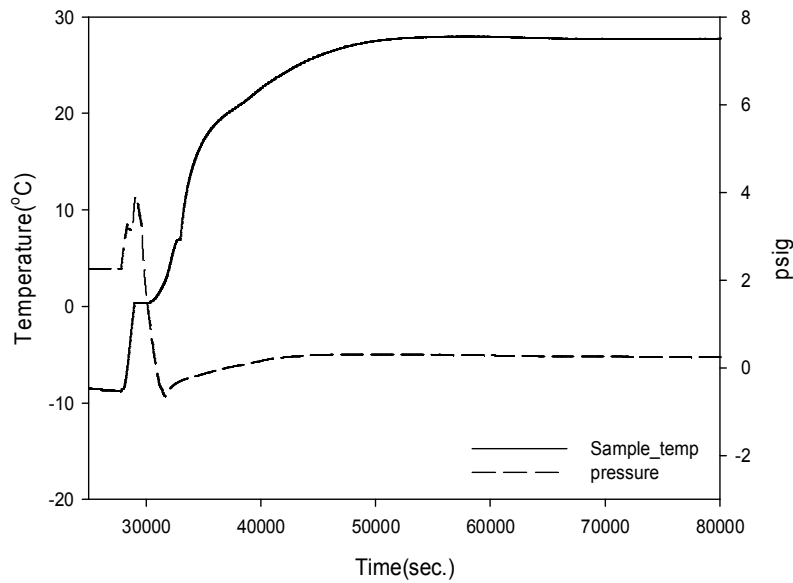
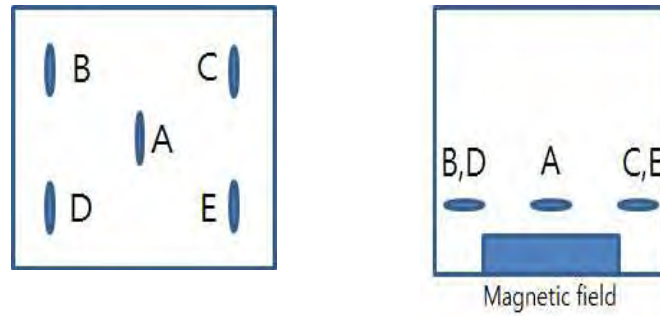


Fig. 8. Changes of the pressure and temperature in the electromagnetic field thaw treatment

전자기장처리에 의한 증류수 해동 시 내부압력의 변화를 측정된 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 일반냉동고의 해동과정과 동일한 현상을 나타내어 초기 온도가 증가함에 피해동물질의 압력이 일시적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 피해동물질이 빙결점 온도대인 0.4°C부근 온도대부터 완전해동시까지 압력은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 증류수의 압력변화는 해동에 의하여 최대 4.57 psig의 압력차이를 나타내었으며, 해동전 최대 2.76 psig에서 해동과정에서 -0.65 psig로 급격히 감소한 후 해동종결지점에서 0.30 psig의 내부압력을 나타내었다. 이러한 내부압력의 변화는 전자기장처리에 의해서 약 1.8 psig 정도 감소하는 것으로 나타났다.

(4) 전자기장에너지 강도 및 위치에 따른 냉동 특성

전자기장 발생에 따른 냉동 특성을 조사하기 위하여 전자기장 발생장치의 위치에 따른 자기장강도와 위치에 따른 냉동곡선을 측정하였다. 전자기장 발생장치에 대한 sample에 대한 측정 위치는 아래의 Fig. 9에 나타내었다.



A: 측정 위치(top view) B: 측정 위치(side view)

Fig. 9. Measuring the location of the temperature sensor

전자기장의 강도는 가우스(G)로 나타내었으며, 위치에 따른 강도는 아래의 Table 4에 나타내었다. 각각의 위치에 따라서 전자기장의 강도의 변화는 크게 나타났으며, 전자기장 발생장치의 상부에 위치한 경우 최대 3,200 G의 강도를 나타내었으며, 기타 전자장발생장치의 외측면에서는 최대 96 G의 강도를 나타내었다. 전기에 의해 발생하는 자기장은 이론상 발생장치의 N극에서 S극으로 이동하며 자기장 내에서 움직이는 전하의 힘을 나타내는 것이다. 따라서 자기선이 미치지 않는 곳에 대하여 자기장의 강도는 0 수준으로 나타날 수 있으나 본 실험에서는 자기장 발생장치의 주위에서도 미약하나 일부 자기장의 강도가 측정되는 것으로 나타났다.

Table 4. The intensity of the electromagnetic field in accordance with the position of the sensor

(Unit : G)

| Position | Out put (V) | | | |
|----------|-------------|------|------|------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 |
| A | 32 | 800 | 1600 | 3200 |
| B | 19.2 | 64 | 64 | 96 |
| C | 19.2 | 38.4 | 57.6 | 64 |
| D | 19.2 | 65.2 | 48 | 48 |
| E | 19.2 | 19.2 | 48 | 48 |

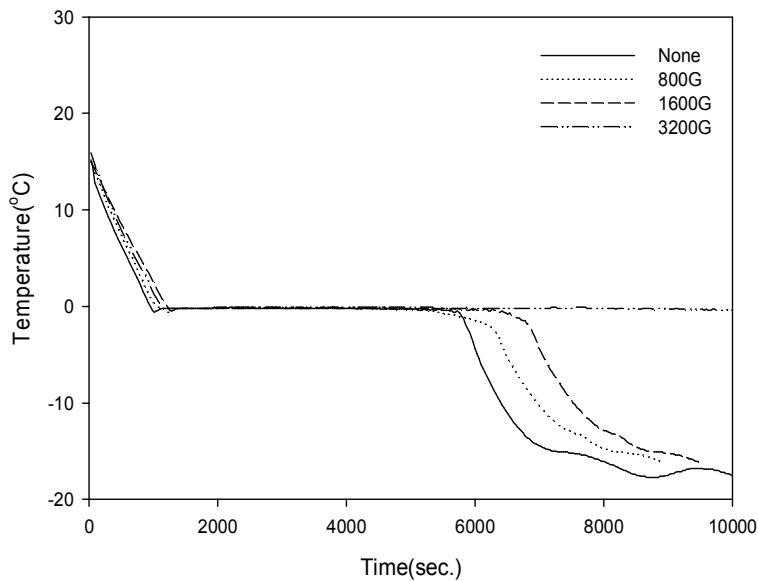
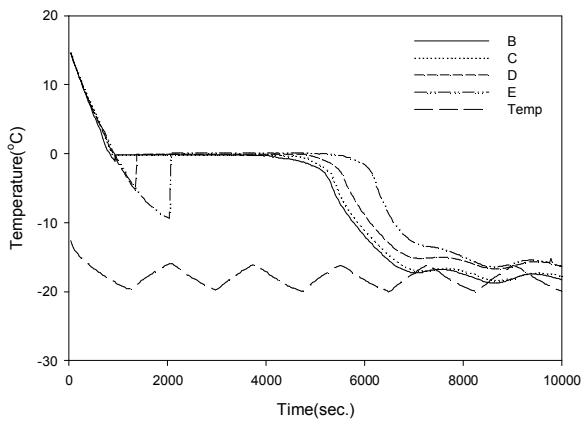


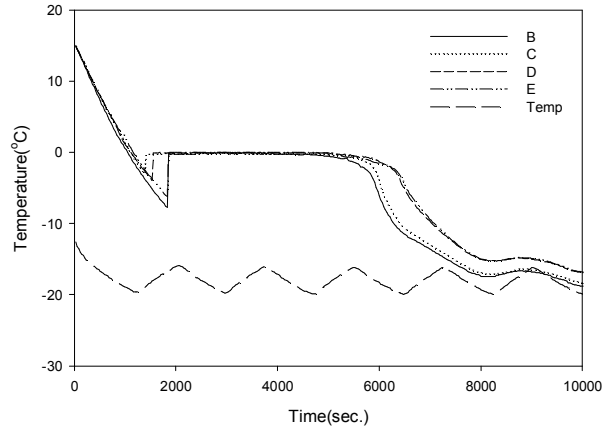
Fig. 10. Changes of freezing curve in electromagnetic field intensity

전자기장처리 강도에 따른 냉동곡선 변화는 Fig. 10과 같이 나타내었다. 초기 시료온도 15°C에서부터 빙결점온도인 -0.5°C까지의 냉각곡선은 전자기장 비처리구가 1,020 sec를 나타내었으며 전자기장의 강도가 클수록 다소 높아져 800 G에서 1,080 sec, 3,200 G에서 1,200 sec를 나타내었다. 냉동곡선 중 빙결점 온도대의 유지기간은 전자기장 비처리구가 3,840 sec, 800 G 처리구가 3,780 sec, 1,600 G 처리구가 4,530 sec를 나타내었으며, 3,200 G에서는 8,190 sec를 나타내었다. 3,200 G 처리구에서는 약 14,160 sec 동안 -2.3°C로 냉각되어 빙결점대를 통과하지 못하는 것으로 나타났다.

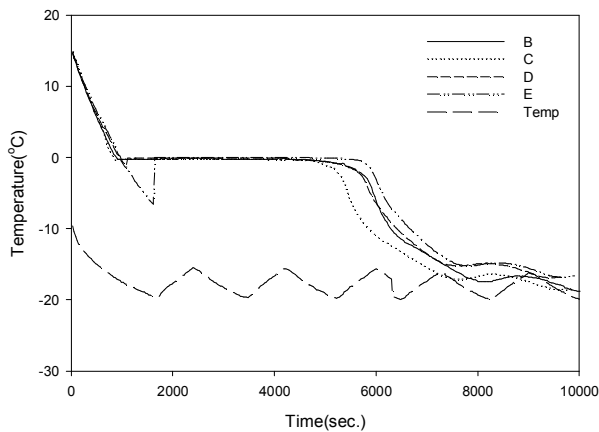
반면 전자기장 비처리구는 -5°C에 도달시간이 약 6,030 sec, -10°C 도달시간이 약 6,420 sec가 소요되었다. 전자기장 강도 800G와 1600G 처리구에서도 -5°C 및 -10°C 도달시간이 각각 6,480 sec, 7,050 sec 와 6,960 sec, 7,530 sec를 나타내었다. 빙결점영역을 통과하여 -10°C까지 도달하는 냉동곡선의 slope는 전자기장 비처리구가 약 -0.0128 °C/sec를 나타내었으며 1,600 G 처리구가 약 -0.01041 °C/sec를 나타내어 냉동영역에서의 변화에서는 비처리구에 비하여 약 18%의 높은 냉동속도를 나타내었다. 하지만 -10°C까지 냉각되는 총소요시간이 17% 정도 증가됨으로 냉동영역에서의 냉동곡선 기울기의 증가와 정전기장과의 융합 및 동행처리 등에 대한 다양한 연구가 더욱 필요할 것으로 판단된다.



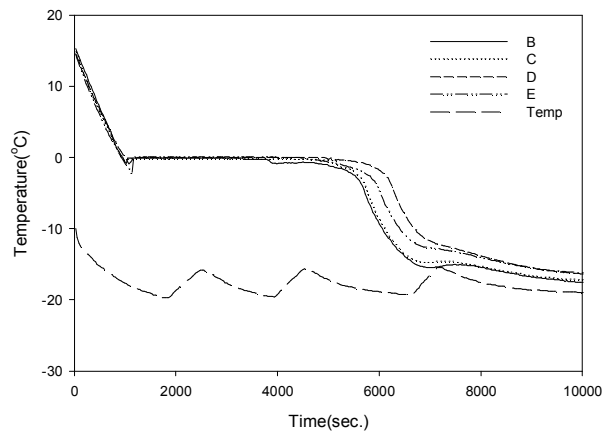
<None-Treatment>



<The electromagnetic field intensity :
800G>



<The electromagnetic field intensity :
1600G>



<The electromagnetic field intensity :
3200G>

Fig. 11. Comparison of the freezing curve according to the electromagnetic field intensity and the treatment position

작용지점에 따른 전자기장 처리 후 냉동곡선의 변화를 전자기장 강도의 변화를 주면서 측정하였다(Fig. 11). 냉동곡선은 전반적으로 위치에 따라서 다소 다르게 나타났다. 이는 냉동기의 위치별 성능에 따른 냉각능력의 차이로 인하여 발생하는 것으로 판단된다. 전자기장의 처리에 의하여 전반적으로 빙결점온도 영역의 유지기간이 길어지는 것으로 보이며, 일시적인 과냉각현상이 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 높은 강도의 전자기장이 형성되는 위치가 아님으로 이로 인한 유의적인 차이는 찾기 힘들었다. 전자기장의 형성과 이에 대한 영향은 자기력선의 영향권과 일정수준 이상의 전자기 강도가 형성될 수 있는 곳에서 냉동곡선에 영향을 줄 수 있는 것으로 보이며 본 연구에서는 800 G이상의 전자기장의 강도 이상에서 물성 및 냉동특성의 변화를 줄 수 있을 것으로 판단되었다. 이러한 특성은 정전기장과 병행 처리시 냉동성능의 개선을 가져다 줄 수 있을 것으로 판단되었다.

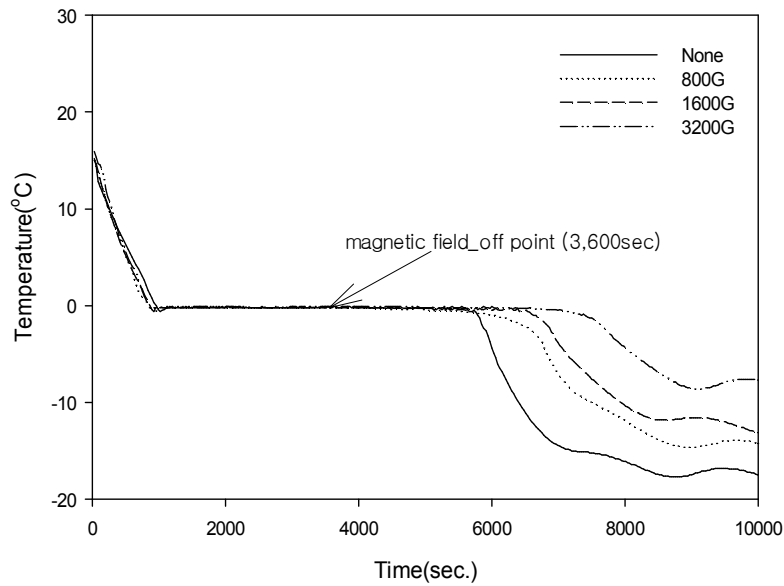


Fig. 12. Changes of freezing curve according to the electromagnetic field intensity

Table 5. Characteristics of cooling thermal according to the electromagnetic field intensity

| Treatment | Initial freezing | | Time(sec.) | |
|-----------|------------------|------------|------------|-------|
| | point(°C) | Time(sec.) | -5°C | -10°C |
| None | -0.6 | 1020 | 6030 | 6420 |
| 800G | -0.6 | 960 | 6810 | 7500 |
| 1600G | -0.6 | 930 | 7110 | 7950 |
| 3200G | -0.5 | 900 | 8130 | 12450 |

전자기장 유도에너지를 1시간동안 강도에 따라 처리한 후 전자기장에너지를 제거하였다. 전자기장 유도에너지의 혼합처리에 따른 냉동곡선의 변화를 살펴보고자 하였다(Fig. 12). 전자기장유도에너지를 처리 유무에 상관없이 15°C의 피냉동물질은 빙결점온도로 감온되는데 약 900 ~ 1020 sec의 시간이 소요되었다. 이 후 전자기장유도에너지의 강도가 높을수록 빙결점온도 영역에서의 머무름 시간이 길어지는 현상이 나타났다. 또한, 이 후 냉동곡선에서 빙결점온도에서 -10°C에 도달하는 시간도 비처리구, 800G, 1,600G 및 3200G에서 각각 1,950 sec, 3,210 sec, 2,130 sec 및 6,060 sec로서 각각 초당 -0.0049°C, -0.0030°C, -0.0045°C 및 -0.0016°C를 나타내어 전자기장유도에너지 처리에 의해서 냉각속도의 저하가 발생됨을 발견하였다(Table 5).

나) 초음파에너지 발생장치 설계에 의한 냉동 유닛의 냉동 특성 비교

(1) 초음파에너지 발생에 의한 냉동 특성

초음파유도에너지를 활용하기 위하여 10W~200W의 출력으로 조절이 가능한 초음파 유도장치를 설치하였다. 초음파 유도장치의 용기에 1 L의 증류수를 첨가한 후 유도에너지를 발생시킨 후 온도의 변화를 측정한 것은 Fig. 13에 나타내었다.

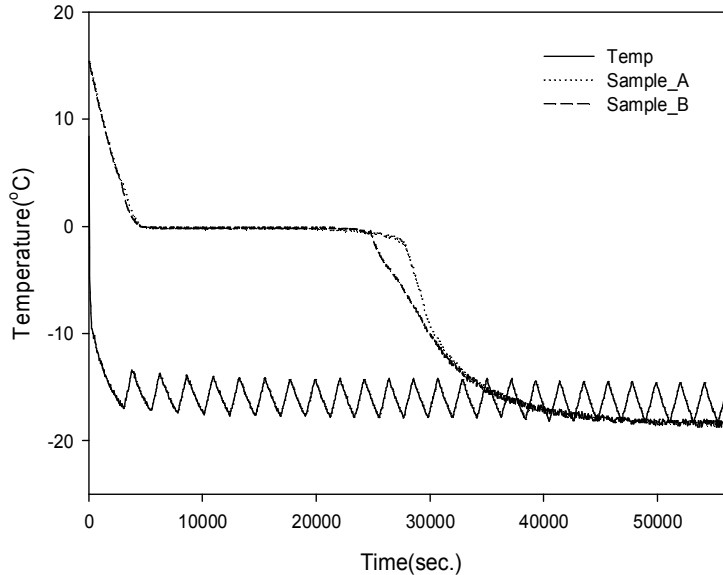


Fig. 13. Changes of freezing curve in ultrasonic energy

초음파유도에너지를 이용하여 냉각 특성을 조사하기 위하여 동일한 용기 조건에서 용기의 중심부(sample A)와 용기의 가장자리(sample B)로 구분하여 온도의 변화를 측정하였다. 초음파유도에너지가 적용되지 않았을 경우에 15°C에서 빙결점 온도인 -0.1°C 까지 도달하는 시간은 sample A와 B가 각각 약 4,710 sec (78 min)과 4,740 sec이었으며 -0.1°C 도달 후 온도유지 시간은 sample A와 B가 각각 21,390 sec와 20,160 sec였고, -5°C 에 도달하는 시간은 각각 2,670 sec 와 2,220 sec 후로 나타내었다. -10°C 에 도달하는 시간은 sample A와 B가 각각 -5°C 통과 후 1,590 sec와 2,760 sec로 나타내어 -5°C 에서 -10°C 사이의 시간에 대한 온도의 변화 slope 는 sample A와 B가 각각 $0.00314^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 와 $0.00181^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 로 나타나 sample A의 위치가 B의 위치에 비하여 더욱 급격한 감소를 나타내었다.

Sample A와 B의 위치에 따른 온도 변화의 미묘한 차이가 발생하는 것은 초음파유도에너지의 처리 방법으로 인하여 중심위치에서 더 안정적인 처리효과를 나타내는 것으로 판단된다. 이 후 초음파에너지 처리에 대한 온도 측정은 용기의 중심부 온도에서 측정하도록 하였다.

초음파유도에너지를 적용은 최소 10 W에서 시작하였다(Fig. 14). 초음파유도에너지의 출력이 냉동부하열량보다 높게 될 경우 시료의 온도는 냉각되지 않고 증가될 것임으로 이에 가장 낮은 출력인 10 W의 출력에서 먼저 실험을 실시하였다.

실험에 사용된 고내온도는 -18°C 를 유지하도록 하여 실험에 사용하였다.

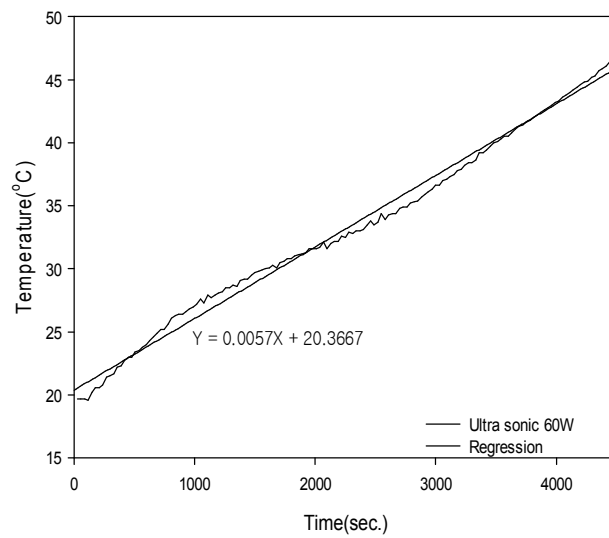
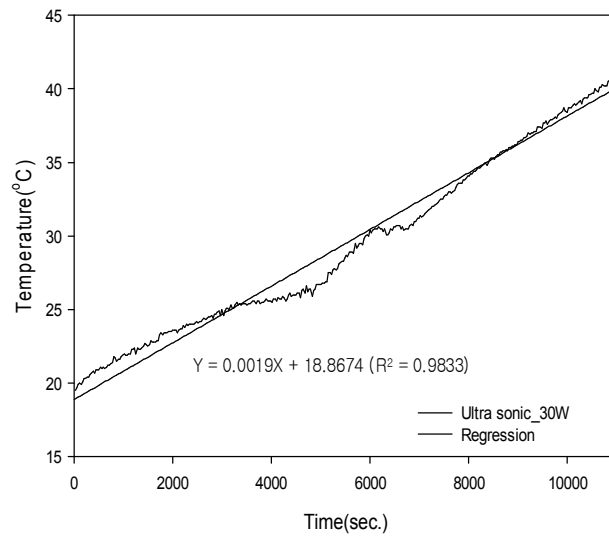
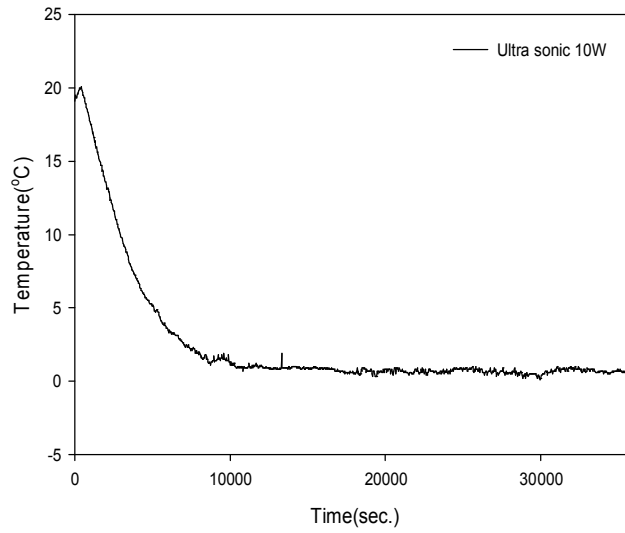


Fig. 14. Changes of freezing curve in ultrasonic energy output intensity

10 W의 출력으로 초음파유도에너지를 이용한 결과 Fig. 15와 같이 상온에서 0.9℃까지 냉각되는 시간은 173.5분이 소요되었으며 이 후 10시간이상 0.5~0.7℃의 온도를 유지하였다. 이는 초음파유도에너지에 의한 물분자의 움직임이 발생함으로 인하여 동결에 필요한 잠열, 빙결잠열로 지속적인 소비가 가능하기 때문에 동결곡선을 형성하지 못하는 것으로 판단된다.

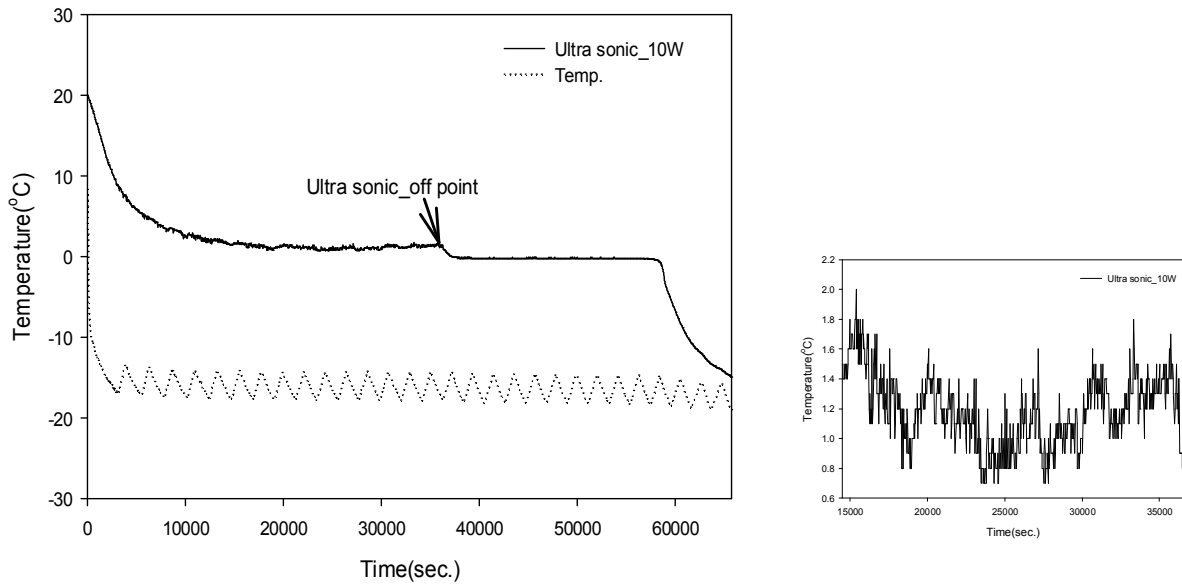


Fig. 15. Changes of temperature by the presence or absence of the ultrasonic energy output

초음파유도에너지에 의한 빙결잠열에 대한 영향을 조사하기 위하여 10 W의 초음파유도에너지를 형성하여 초기 냉각 시작 시점에서 10 시간동안 유지하였다(Fig. 15). 그 후 초음파에너지를 정지시켜 냉각 및 동결곡선에 대한 변화를 살펴보았다. 본 실험에서 10시간까지 초음파에너지에 의해서 냉각 온도 곡선이 부드럽지 못하고 $1.3^{\circ}\text{C} \pm 0.16^{\circ}\text{C}$ 범위에서 상당한 진폭을 나타내었다. 초음파유도에너지를 제거한 후 sample의 온도는 약 15분 내에 0℃ 까지 감소하였으나 그 후 $-0.1^{\circ}\text{C} \sim -0.2^{\circ}\text{C}$ 범위에서 약 20,010 sec(약 5hr 30min)동안 유지되었다. 이 후 -10°C 까지 감소하는데 소요된 시간은 약 3,930 sec가 소요되어 초당 0.0025°C 씩 감소하였다. 이러한 냉각특성은 초음파유도에너지를 적용하지 않았을 경우에 빙결점온도에서 -10°C 까지 냉각하는 초당 온도의 변화인 $0.0023^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 보다는 빨리 냉각되는 것을 볼 수 있으나, 오차범위 10%를 적용할 경우 동등한 성능을 나타내는 것으로 판단되어진다.

초음파에너지를 냉동기에 부착하여 사용하기위하여 초음파에너지를 이용한 냉각특성을 조사한 결과, 30 W의 출력조건에서도 1 L 용량의 증류수의 온도를 초당 0.0019°C 씩 증가시키는 것으로 나타났다. 이에 40°C 로 상승하는 동안 소요된 시간은 약 177분을 나타내었다. 또한 60 W의 출력조건에서도 1L 용량의 증류수의 온도를 초당 0.0057°C 씩 상승시키는 것으로 나타났다.

이에 40℃로 상승하는 동안 소요된 시간은 약 57분을 나타내었다. 출력이 30 W 증가함에 의해서 약 0.0038 °C/sec의 상승효과를 나타내는 것으로 보아 이는 동결을 위한 에너지 사용보다 해동 시스템에 더욱 적절할 것으로 판단된다. 또한, 냉동효율을 높이기 위한 출력 변수의 조정, 주파수 증대, 처리시간의 변화 등에 대한 다양한 조건 변경이 필요할 것으로 판단된다.

다. 대상시료에 대한 냉동유닛의 적용 시험

1) 재료 및 방법

가) 재료

식품의 냉동 중 동결속도 및 시간, 온도변화에 따른 물리적 손상에 대한 조사를 위하여 대상시료로서 물, 당근, 사과, 양파 및 돼지고기에 대한 적용 시험을 실시하였다. 각각의 시료는 실험 당일 성남의 하나로마트에서 직접 구입한 후 선별하여 사용하였다.

나) 품질 특성 조사

(1) 동결특성 조사

시료 처리조건에 따른 내부압력 및 품온 측정을 위한 주요 장치는 동결장치, 압력 및 온도 측정부 및 데이터 출력부로 구성하였다. 시료는 냉동유닛의 특성에 맞도록 배치하였다. 그리고 압력측정은 -15~15 psig 범위의 pressure sensor(GE, UNIK 5000, UK)의 압력부에 밀봉장치를 제작하여 사용하였다. 온도는 동시에 측정하고자 K-type의 0.3mm 동-콘스탄탄 열전대를 고정하여 단열처리 하였다. 동결시의 내부압력 및 소요시간은 시료의 기하학적 중심부의 온도가 냉동 평형상태에 도달하는 시간에 대하여 측정하였으며, 해동시의 내부압력 및 소요시간은 품온이 +1℃에 도달할 때까지 Hydra data acquisition(모델: 2625A, Fluke, USA)를 이용하여 연속 측정하였다.

(2) Drip loss의 변화

당근, 브로콜리, 감자, 양파, 사과 및 돼지고기를 냉동과 해동 과정을 통해 발생하는 drip loss를 측정하기 위해 각 시료의 두께를 2 mm로 slice하였다. 냉동은 정전기장냉동고와 일반냉동고의 온도를 같은 온도로 설정하였고 -70℃ 급속동결 냉동고와 비교하였다. 냉동 시간은 15 시간이었으며 해동은 10℃에서 6 시간 해동하였다.

2) 결과 및 내용

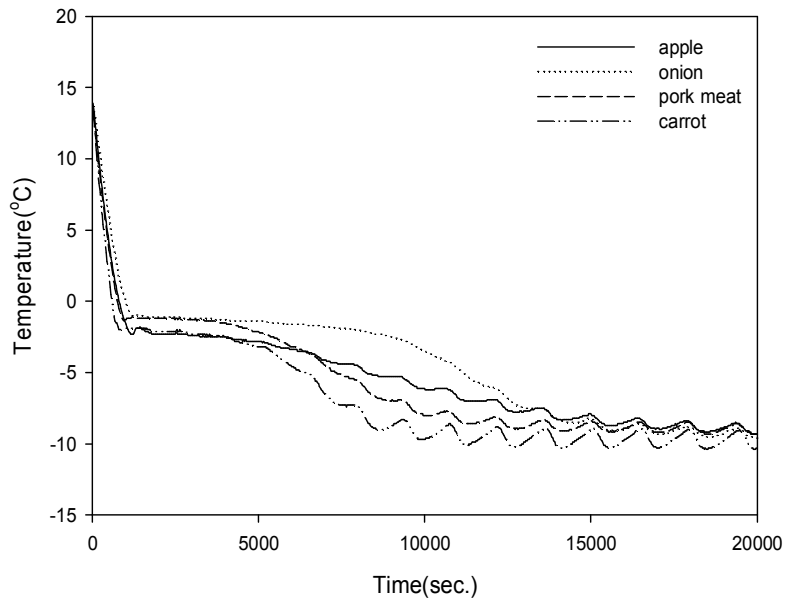
가) 유닛에 따른 냉동 및 해동특성 변화

(1) 전자기장 유도에너지 냉동고에 대한 냉동특성

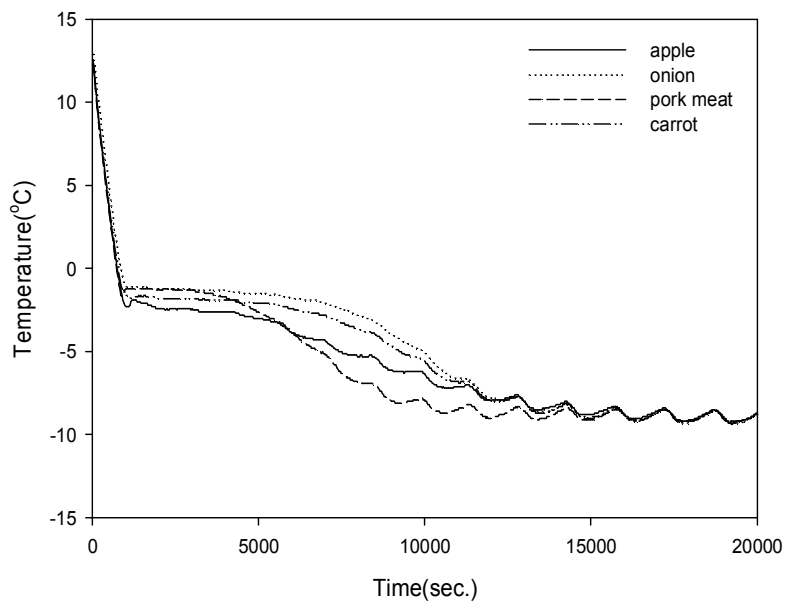
냉동 중 대상 시료, 즉 사과, 양파, 돼지고기 및 당근의 온도 변화를 조사하였다(Fig. 16). 전반적으로 전자기장에너지유도장치에 의한 냉동시간 단축 효과와 냉동 중 내압의 감소효과를 나타나고 있었으나, 기준 시료인 증류수를 활용하여 측정한 결과와 같이 과냉각 상태의 장시간 유도 효과는 나타나지 않았다. 하지만, 시료에 따른 차이는 발생하였지만, 냉동 내압의 뚜렷한 감소효과는 냉동품질을 증가시키는 주요한 요인으로 작용함으로 이에 대한 긍정적인 검토가 지속적으로 필요할 것이다(Fig. 17).

사과의 초기 동결시간이 1,170 sec가 소요되었으며, 그 때의 온도는 -2.3°C 이었고, 빙결점대에서 2,850 sec 동안 유지되었으며, -5.0°C 까지 감소되는 소요 시간은 총 8,220 sec이었고, -8°C 까지 감소되는 시간은 13,800 sec였다. 반면, 전자기장처리에 따른 사과의 초기 동결시간은 1,050 sec 이었으며, 그 때의 온도는 -2.3°C 이었다. 또한 빙결점대에서 3,270 sec 동안 유지되었으며, -5.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 7,410 sec, -8.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 12,990 sec를 나타내었다. 시료 사과의 경우 전자기장 유도에너지를 활용한 냉동고에서 -8.0°C 까지 냉각되는 동안 약 810 sec가 단축되어 냉동효율이 약 6% 정도 증가되는 것으로 나타났다.

사과시료의 냉동 중 내부압력의 변화는 냉동시작 시점에서 최저압력인 -1.4016 psig을 나타내었고, 냉동 완료 시점에서 -0.9200 psig의 압력을 나타내어 0.4816 psig의 압력 변화를 나타내었다. 반면, 전자기처리에 따른 사과의 냉동 중 내부압력 변화는 냉동 시작 시점에서 최소값인 -1.3188 psig의 압력에서 냉동완결지점의 -0.9600 psig의 압력을 나타내어 냉동과정에서 0.3588 psig의 압력이 증가하여 비처리구에 비하여 약 25%의 압력 저하를 나타내었다.

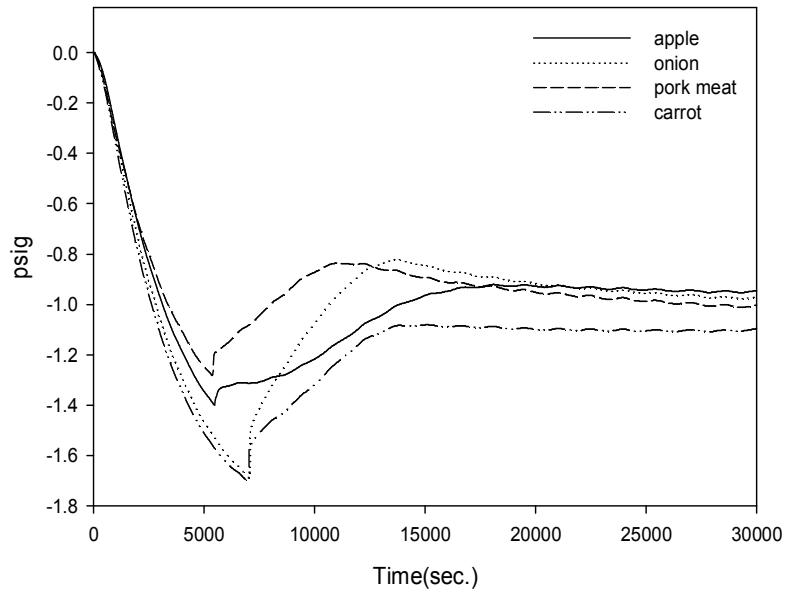


(A)

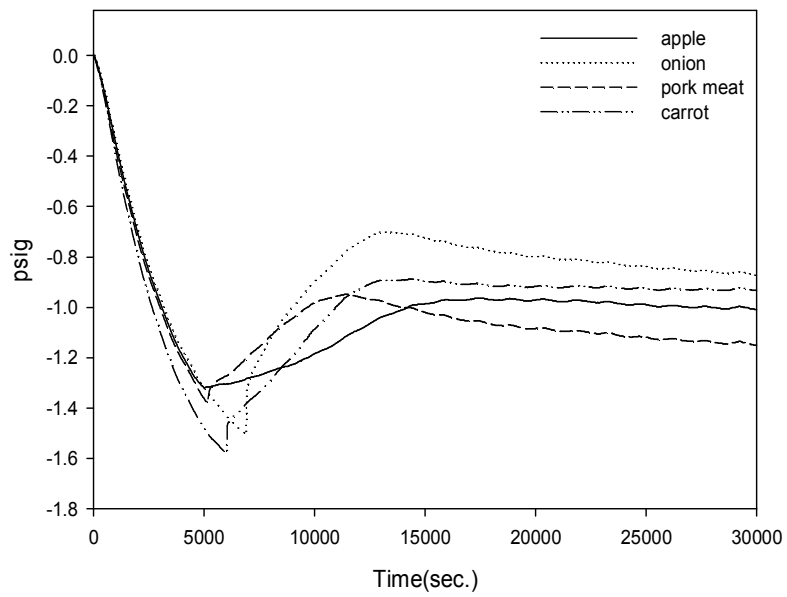


(B)

Fig. 16. Changes of freezing temperature of the target sample (apple, onions, pork, carrot)
 (A) Commercial freezer, (B) Electromagnetic field freezer



(A)



(B)

Fig. 17. Changes of freezing pressure of the target sample (apple, onions, pork, carrot)
 (A) Commercial freezer, (B) Electromagnetic field freezer

양파는 초기 동결시간이 1,170 sec가 소요되었으며, 그 때의 온도는 -1.0°C 였고, 빙결점대에서 6,870 sec 동안 유지되었으며, -5.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 총 11,100 sec, -8°C 까지 감소되는 시간은 13,830 sec였다. 반면, 전자기장처리에 따른 양파의 초기 동결시간은 990 sec 이었으며, 그 때의 온도는 -1.1°C 이었다. 또한 빙결점대에서 4,920 sec 동안 유지되었으며, -5.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 9,930 sec, -8.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 12,990 sec를 나타내었다. 시료 양파의 경우 전자기유도에너지를 활용한 냉동고에서 -8.0°C 까지 냉각되는 동안 약 840 sec가 단축되어 냉동효율이 약 6.1% 정도 증가되는 것으로 나타났다.

양파시료의 냉동 중 내부압력의 변화는 냉동시작 시점에서 최저압력인 -1.6899 psig을 나타내었고, 냉동 완료 시점에서 -0.8211 psig의 압력을 나타내어 냉동과정에서 0.8688 psig의 압력 변화를 나타내었다. 반면, 전자기처리에 따른 양파의 냉동 중 내부압력 변화는 냉동 시작 시점에서 최소값인 -1.5045 psig의 압력에서 냉동완결지점의 -0.7008 psig의 압력을 나타내어 냉동과정에서 0.8037 psig의 압력이 증가하여 비처리구에 비하여 약 7.5%의 압력 저하 효과를 나타내었다.

돼지고기는 초기 동결시간이 960 sec가 소요되었으며, 그 때의 온도는 -1.4°C 였고, 빙결점대에서 2,820 sec 동안 유지되었으며, -5.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 총 7,320 sec, -8°C 까지 감소되는 시간은 9,960 sec였다. 반면, 전자기장처리에 따른 돼지고기의 초기 동결시간은 900 sec 이었으며, 그 때의 온도는 -1.7°C 이었다. 또한 빙결점대에서 2,190 sec 동안 유지되었으며, -5.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 6,810 sec, -8.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 9,000 sec를 나타내었다. 시료 돼지고기의 경우 정전기유도에너지를 활용한 냉동고에서 -8.0°C 까지 냉각되는 동안 약 960 sec가 단축되어 냉동효율이 약 9.6% 정도 증가되는 것으로 나타났다. 돼지고기시료의 냉동 중 내부압력의 변화는 냉동시작 시점에서 최저압력인 -1.2816 psig을 나타내었고, 냉동 완료 시점에서 -0.8361 psig의 압력을 나타내어 냉동과정에서 0.4455 psig의 압력 변화를 나타내었다. 반면, 전자기처리에 따른 돼지고기의 냉동 중 내부압력 변화는 냉동 시작 시점에서 최소값인 -1.3809 psig의 압력에서 냉동완결지점의 -0.9486 psig의 압력을 나타내어 냉동과정에서 0.4323 psig의 압력이 증가하여 비처리구에 비하여 약 2.9%의 압력 저하 효과를 나타내었다.

당근은 초기 동결시간이 810 sec가 소요되었으며, 그 때의 온도는 -2.0°C 였고, 빙결점대에서 3,120 sec 동안 유지되었으며, -5.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 총 6,330 sec, -8°C 까지 감소되는 시간은 8,190 sec였다. 반면, 전자기장처리에 따른 당근의 초기 동결시간은 1,050 sec 이었으며, 그 때의 온도는 -1.7°C 이었다. 또한 빙결점대에서 3,330 sec 동안 유지되었으며, -5.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 9,240 sec, -8.0°C 까지 감소되는데 소요된 시간은 12,960 sec를 나타내었다. 시료 당근의 경우 전자기유도에너지를 활용한 냉동고에서 -8.0°C 까지 냉각되는 동안 약 4,770 sec가 증가되어 냉동효율이 감소되는 것으로 나타났다.

당근의 냉동 중 내부압력의 변화는 냉동시작 시점에서 최저압력인 -1.7034 psig을 나타내었고, 냉동 완료 시점에서 -1.0809 psig의 압력을 나타내어 냉동과정에서 0.6225 psig의 압력 변화를 나타내었다. 반면, 전자기처리에 따른 당근의 냉동 중 내부압력 변화는 냉동 시작 시점에서 최소값인 -1.5824 psig의 압력에서 냉동완결지점의 -0.8886 psig의 압력을 나타내어 냉동과정에서 0.6938 psig의 압력이 증가하여 비처리구에 비하여 내부압력이 증가하는 것으로 나타나, 당근의 냉동품질이 저하될 수 있는 것으로 판단되었다. 당근의 경우 사과, 양파 및 돼지고기와 달리 냉동 중 냉동시간의 증가와 내부압력의 증가를 가져오는 것으로 나타났다. 이러한 변화는 식품의 조직 및 구성성분의 조성 등에 영향을 받는 것으로 판단됨으로 더욱 다양한 연구가 필요할 것으로 보인다.

(2) 전자기장 유도에너지 냉동고에 대한 해동특성

(가) 내부압력 변화

시료에 대한 내부 압력은 다양한 방법으로 측정될 수 있으나, 본 실험의 실험조건하에서 측정된 해동 중 시료의 내부 압력 변화는 Table 6과 같다. 시료의 해동 중 압력의 변화는 온도의 상승으로 인한 공기층의 팽창과 시료 내부의 해동으로 인한 압력 감소를 동시에 나타내는 것으로 볼 수 있다. 동일한 실험조건에서 실시된 해동시 내부압력의 변화는 시료의 종류에 따라 조금씩 다른 특성을 나타내고 있지만, 전반적으로 전자기유도에너지를 활용한 냉동고에서 냉동한 시료의 경우 압력이 감소하는 것으로 나타났으며, 최고 압력과 최저 압력의 차이도 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 특성은 시료의 냉동시 전자기유도에너지를 이용할 경우 시료의 내부압력이 감소하는 결과와 인과성이 높은 것으로 볼 수 있다. 시료에 있어서 내부압력의 발생이 감소함은 시료의 냉동에 의한 붕괴 가능성이 낮아짐으로 품질 향상에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Changes of internal pressure during thawing of samples

| Pressure(psig) | | Samples | | | |
|-----------------------|---------|---------|--------|-----------|--------|
| | | Apple | Onion | Pork meat | Carrot |
| Commercial | Max(A) | 0.4689 | 0.4986 | 0.6162 | 0.4603 |
| | Min(B) | 0.1914 | 0.0396 | 0.3879 | 0.0859 |
| | ΔP(A-B) | 0.2775 | 0.4590 | 0.2283 | 0.3744 |
| Electromagnetic field | Max(A) | 0.3360 | 0.3489 | 0.3162 | 0.3409 |
| | Min(B) | 0.3288 | 0.2991 | 0.2598 | 0.2775 |
| | ΔP(A-B) | 0.0072 | 0.0498 | 0.0564 | 0.0634 |

(나) Drip loss의 변화

전자기장냉동고 -10°C 조건에서 냉동할 경우와 일반냉동실 및 -70°C 의 급속동결에 의한 drip loss를 비교한 결과를 Fig. 18에 나타내었다. 전반적으로 drip loss는 시료에 따라 큰 변화를 나타내었으며, 동일온도에서의 전자기장처리에 따른 변화는 전반적으로 크지 않았다.



Fig. 18. Drip loss of different samples under different freezing conditions at -10°C

당근, 돼지고기, 감자, 양파 및 사과 시료 중 -10°C 의 동일 냉동조건에서 감자, 돼지고기 및 양파 시료가 전자기장에 의해 14.23%, 1.64% 및 0.06%로 일반 냉동고에 비하여 14%, 25% 및 73%의 drip loss 감소 현상을 나타내었다. 반면, 양파 및 사과와 같은 수분이 많은 채소류의 경우 -70°C 에서 급속 동결하였을 때 양파 12.26%, 사과 5.5%로 drip loss가 급속히 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 식품의 과냉각 보존 및 빙결정 구조의 미세결정화 등에 대한 다양한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한 동결온도인 -18°C 에 근접하기 위하여 냉동능력 증감 후 이에 대한 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

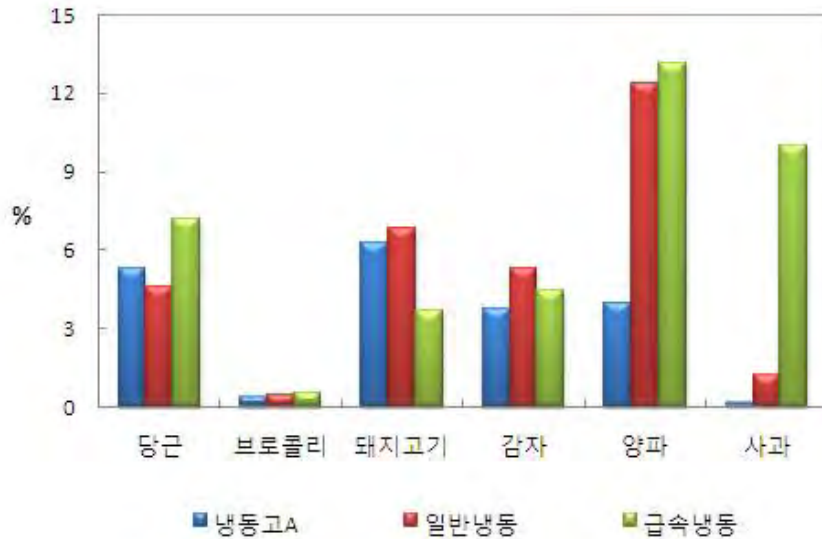
































Fig. 19. Drip loss of different samples under different freezing conditions at -15°C





































전자기장냉동고 -15°C 조건에서 냉동할 경우와 일반냉동실 및 -70°C 의 급속동결에 의한 drip loss를 비교한 결과는 Fig. 19에 나타내었다. 전반적으로 고기류인 돼지고기를 제외하고 채소류에서는 -15°C 에서 냉동시 전자기장처리에 의한 시료의 drip loss가 낮은 것으로 나타났다. 실험 시료 중 당근을 제외한 브로콜리, 감자, 양파, 사과 및 돼지고기에서 -15°C 의 일반 냉동고에서 냉동하는 것보다 drip loss가 적은 것으로 나타났다. 특히 양파와 사과의 경우 drip loss의 차이를 가장 뚜렷하게 나타내어, -70°C 급속 냉동 조건에서 13.15%, 일반냉동고에서 12.36%를 나타내었으나 전자기장냉동고에서의 냉동 및 해동에 의하여 3.97%의 drip loss를 나타내어 급속 냉동 조건에 비하여 70%, 일반냉동고에 비하여 68%의 drip loss를 감소시키는 효과를 나타내었다. 전반적으로 수분이 많은 채소나 과일을 전자기장냉동고에서 냉동할 경우 drip loss를 줄여 줄 수 있을 것으로 기대되었다.

Table 7. Drip loss of different samples under different freezing conditions at -10°C

| 시료 | 냉동 전 | | | 해동 후 | | |
|----------|---|---|---|--|---|---|
| | 냉동고A (-10°C) | 일반냉동 (-10°C) | 급속냉동 (-70°C) | 냉동고A (-10°C) | 일반냉동 (-10°C) | 급속냉동 (-70°C) |
| 당근 |  |  |  |  |  |  |
| 돼지 고기 |  |  |  |  |  |  |
| 감자 |  |  |  |  |  |  |
| 양파 |  |  |  |  |  |  |
| 사과 |  |  |  |  |  |  |

냉동 전후에 따른 시료의 drip loss에 대하여 Table 7과 8에 나타내었다. Table 7의 브로콜리의 경우 해동 후에 drip 되는 수분이 관찰되지 않아 냉동 방법에 따른 drip loss를 측정하기에는 부적합하였다. 돼지고기의 경우는 -70°C 에서 냉동 할 경우가 -15°C 에서 전자기장냉동고와 비교하였을 시 drip이 적게 일어났으며 -10°C 에서 전자기장냉동고에 의하여 냉동할 경우 급속냉동한 돼지고기보다 drip loss가 적게 발생되었다. Table 7과 8에서처럼 -10°C 와 -15°C 의 전자기장 냉동고에서 냉동 된 양파의 경우 drip된 즙액이 눈으로 관찰되지 않을 정도로 발생되지 않았다. 슬라이스 된 감자 및 사과의 경우 drip loss에서는 전자기장냉동고의 사용 유무에 따른 drip의 차이는 있었으나 모든 처리구에서 관능적인 갈변현상이 발생하였다.

Table 8. Drip loss of different samples under different freezing conditions at -15°C

| 시료 | 냉동 전 | | | 해동 후 | | |
|------|---|---|---|--|---|---|
| | 냉동고A (-15°C) | 일반냉동 (-15°C) | 급속냉동 (-70°C) | 냉동고A (-15°C) | 일반냉동 (-15°C) | 급속냉동 (-70°C) |
| 당근 |  |  |  |  |  |  |
| 브로콜리 |  |  |  |  |  |  |
| 돼지고기 |  |  |  |  |  |  |
| 감자 |  |  |  |  |  |  |
| 양파 |  |  |  |  |  |  |
| 사과 |  |  |  |  |  |  |

3. 시스템의 성능평가를 위한 내부 온도분포 및 공기 유동장 해석

냉장고는 일반적으로 냉각방식에 따라 체스트타입(직접 냉각방식)과 스탠드타입(간접 냉각방식)으로 구분된다. 체스트타입은 저온의 공기가 아래로 내려가는 특성을 이용하여 냉기의 열 유출을 최소화한 모델로서 소형 냉장고에서는 스탠드타입보다 성능이 우수하고 에너지 효율이 좋다.

새로운 모델의 냉장고를 개발하는 과정에서 모델 제작 후 실험을 통해 성능평가 및 수정을 행하는 기존의 방법으로 수치해석적인 방법을 사용할 수 있으며 이를 통해 시제품의 제작없이 성능에 대한 예측이 가능하다.

본 연구에서는 저온 냉장고를 효과적으로 설계하기 위해 자연 대류식 저장고 내부의 위치별 온도분포 및 온도변화, 공기 유통 특성을 분석하고 이에 대한 예측을 실시하고자 한다.

가. 시뮬레이션 A

1) 지배방정식

저장고 내외의 열·유체적 현상을 기술하는 지배방정식은 다음과 같다.

$$\text{연속방정식: } \frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \text{ 또는 } \left(\frac{D\rho}{Dt} = 0\right)$$

$$\begin{aligned} \text{운동량 방정식: } \rho \frac{Du}{Dt} = \\ -\nabla p + \nabla(\lambda \nabla K u) + \nabla K \mu D + \rho f \end{aligned}$$

여기서

$$D = \nabla u + (\nabla u)^T$$

$$\text{에너지 방정식: } \rho c_p \frac{DT}{Dt} = \nabla \cdot (K \nabla T) + S$$

2) 경계조건 및 초기조건

벽면에서의 경계조건은 열전달 계수 K , h_e 와 ϕ_∞ 가 주어진, 열전도와 대류가 혼합된 경계 조건이다. 벽면을 통한 열플럭스는 다음의 두 식으로 계산한다.

$$q = \alpha_i (t_i - t_{is})$$

$$q = K_{tot} (t_i - t_o)$$

이 두식으로 부터

$$t_{is} = t_i - \frac{K_{tot}}{\alpha_i} (t_i - t_o)$$

α_i : 저장고 내측 표면 열전달률

t_{is} : 저장고 내측 벽면온도

K_{tot} : 벽의 총열관류율

냉장 또는 냉동고 내부의 열플럭스도 위와 같이 구한다. 냉장 또는 냉동고내에 저장하는 산물은 공극율을 고려하는 porous 경계조건을 적용하며 여기에 산물의 호흡에 의한 호흡열을 추가한다. 이상을 정리하면 열플럭스 식으로부터 냉장 또는 냉동고 내부 벽면온도, 산물의 표면온도가 경계조건으로 주어져야 하고 또한 산물이 호흡에 의한 열량이 발생할 시에는 산물의 호흡열이 생성항으로 주어져야 한다.

3) 실험장치

실험에 사용된 저장고는 벽이 두께 10cm의 폴리우레탄과 0.5cm의 양면 철판으로 되어 있으며 크기는 590(L)×450(W)×640(H)mm, 열전도도는 0.023 W/m·°C 이다. 온도와 유동속도를 측정하기 위해 20 채널의 단자대와 신호 증폭기 및 신호 처리회로, A/D 및 D/A 변환기, 전류 신호변환 장치가 내장된 Fluka hydra 기종의 data logger를 PC에 인터페이스하여 온도 및 유동속도를 측정하였다. 측정 데이터의 처리 및 가공은 PC에 내장된 Fluka hydra logger 소프트웨어를 사용하였다.

온도센서로는 K형 열전대를 사용하였으며 15개를 저장고 내부의 천정과 측벽으로부터 5 cm 떨어진 지점에 그리고 바닥으로부터 5 cm 떨어진 지점에 설치하였다. 실험은 냉동기의 2시간 동안의 운행에 의한 냉장 및 냉동고 내부의 온도 및 유동변화를 관찰하였다. Fig. 20은 실험장치와 센서의 부착위치를 나타내었다.

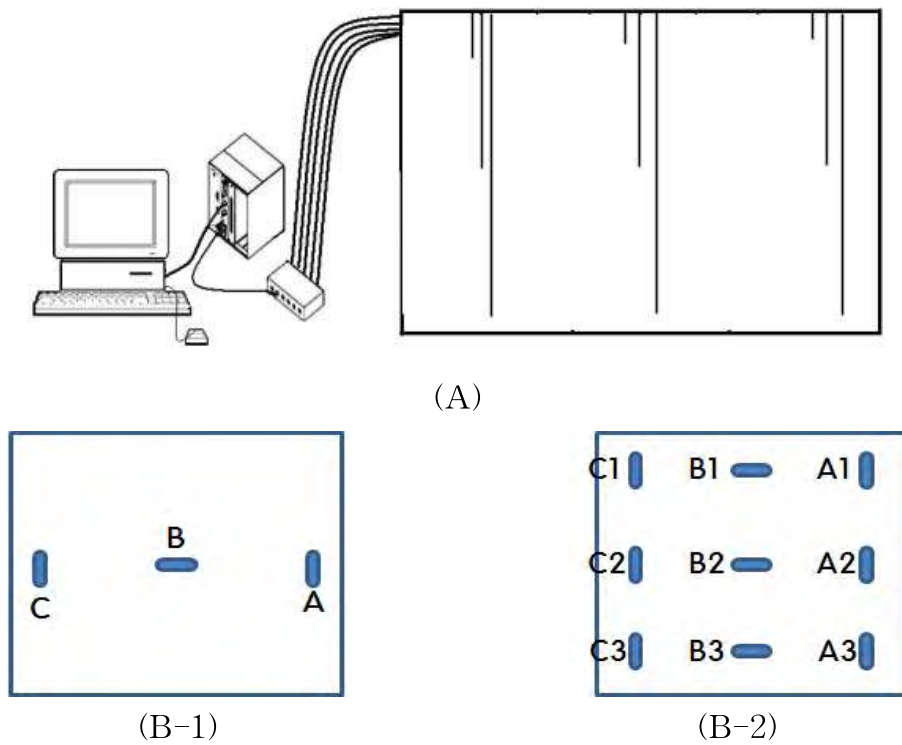
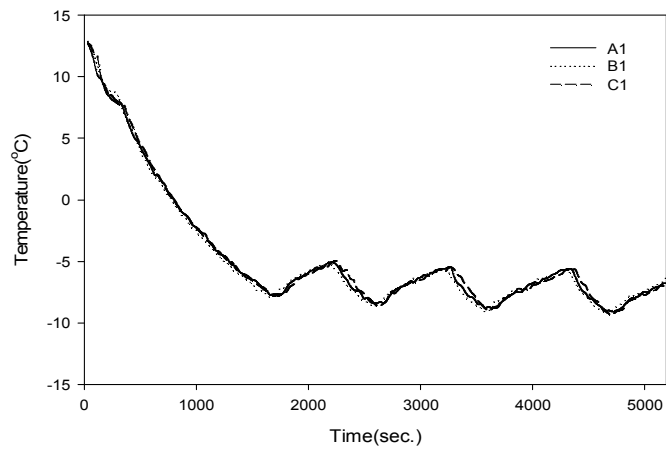


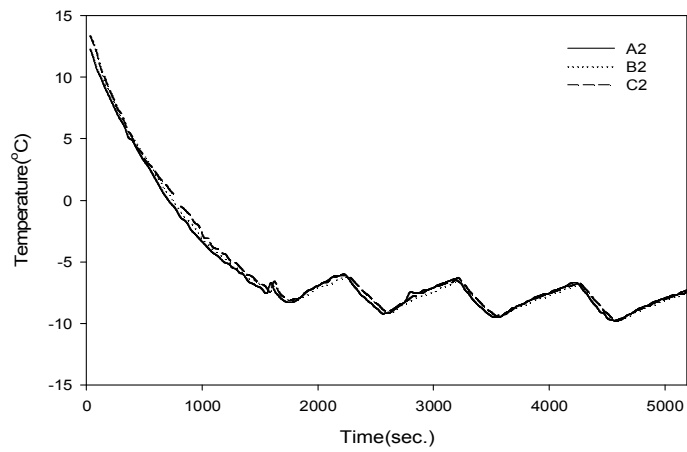
Fig. 20. Sensor schematic diagram (A) and sensor position (B-1, B-2) for temperature analysis. B-1 : top view, B-2 : a front view

4) 결과 및 고찰

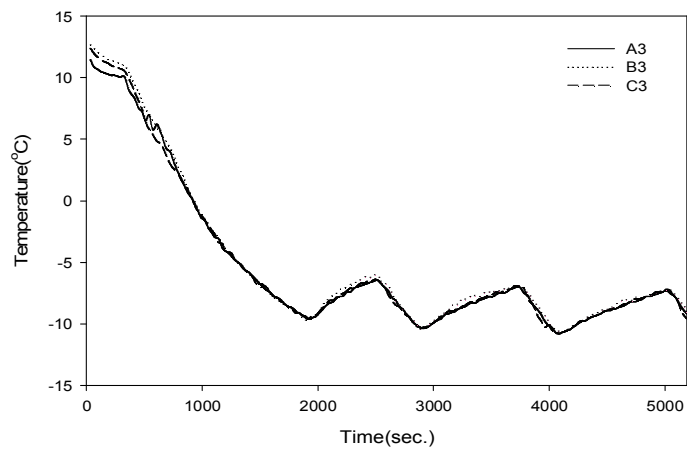
자연대류 경우의 냉장 및 냉동고의 부착위치에 대해 고내 위치에 따른 온도변화를 측정하였다. Fig. 21은 냉장 및 냉동고의 자연대류에 의해 냉장 및 냉동고내의 온도가 시간에 따라 변화하는 양상을 보여준다. 냉장 및 냉동고의 냉각능력과 관련하여 냉장고 동일 높이 위치별 냉각 시간 변화에 따른 온도구배는 나타나지 않았다. 반면 냉장 및 냉동고내의 상층부(A1 ~ C1)과 하층부(A3 ~ C3)의 위치에 따른 온도구배가 달리 나타났다. 냉장 및 냉동고의 중간지점(B1 ~ B3)에서는 측벽(좌측, 우측, 뒤측)으로부터 전달되는 냉각에너지에 의하여 바닥에 가까운 위치에서 최저온도에 도달하였으며 이 후 열손실도 가장 작은 것으로 나타났다. 각각의 위치별 냉각온도와 시간은 B3 지점에서 -8.8°C 까지 냉각되는데 1,770초가 소요되었으며, B2 지점은 -8.2°C , 1,650초가, B1 지점은 -7.4°C 까지 냉각되었으며 그때까지의 소요시간은 1,560초가 소요되었다. 각각의 위치에 따라 도달하는 냉각온도도 최고 1.4°C 의 차이가 발생하였으며, 열손실에 의한 냉각 후 최고온도는 B1, B2, B3의 각각의 지점에서 -5.5°C , -7.2°C , -6.4°C 를 나타내었으며, 최저온도에서의 시간은 각각 510초, 540초, 600초가 소요되어 하층 부위인 B3에서 가장 열손실이 낮은 것으로 나타났다.



(A)



(B)

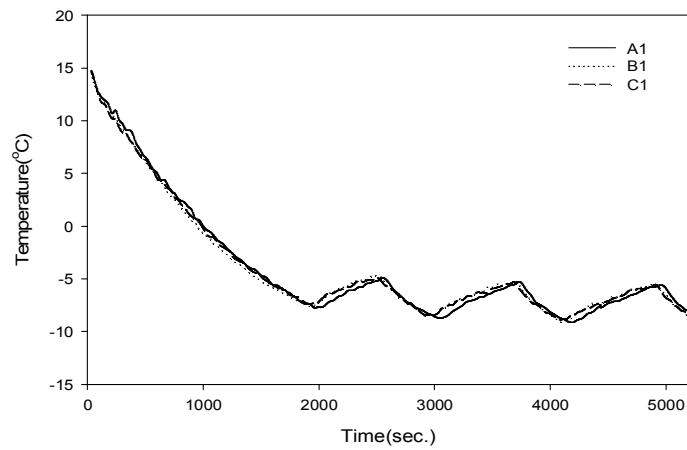


(C)

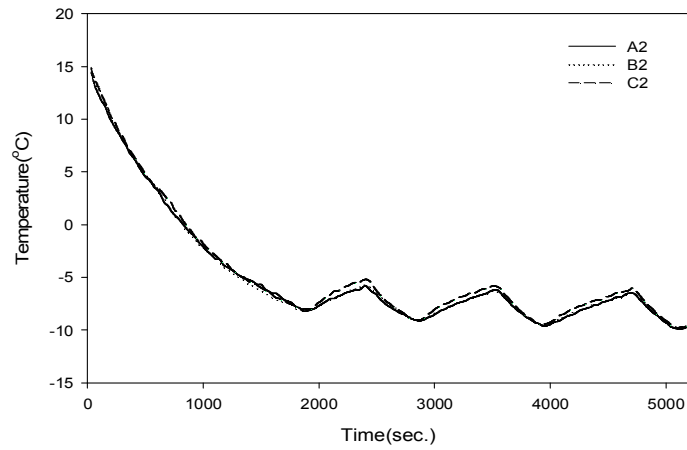
Fig. 21. Temperature and flow characteristics depending on the location and time of the freezer. A : the upper class, B : the middle class, C : the lower class

이는 공기의 밀도효과와 자연대류에 의한 현상으로 볼 수 있으며, 냉각효율이 하부위치가 가장 최적지역임을 알 수 있었다. 또한, A 지점에서 상층에 비하여 하층의 최저 온도가 -9.1°C 로 낮게 나타났으며, 상층의 최저온도와 차이가 1.6°C 로 중심부보다 크게 나타났으며, 각 지점별 최고온도에 도달 시간도 하층부위인 A3에서 가장 길게 나타나 열손실이 낮은 것으로 나타났다. C 지점에서 A 및 B 지점의 온도 변화와 유사한 경향을 나타내어 냉장 및 냉동고의 사용을 위한 최적지점은 하층지역임을 알 수 있었다.

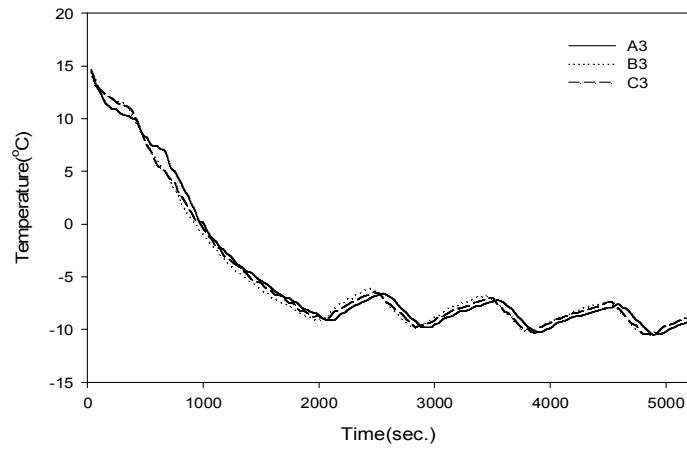
Fig. 22는 에너지 흐름에 따른 냉장 및 냉동고의 자연대류에 의해 냉장 및 냉동고내의 온도가 시간에 따라 변화하는 양상을 보여준다. 냉장 및 냉동고의 냉각능력과 관련하여 냉장고 동일 높이 위치별 냉각 시간 변화에 따른 온도구배는 나타나지 않았다. 반면 냉장 및 냉동고내의 상층부(A1 ~ C1)과 하층부(A3 ~ C3)의 위치에 따른 온도구배가 달리 나타났다. 냉장 및 냉동고의 중간지점(B1 ~ B3)에서는 측벽(좌측, 우측, 뒤측)으로부터 전달되는 냉각에너지에 의하여 바닥에 가까운 위치에서 최저온도에 도달하였으며 이 후 열손실도 가장 작은 것으로 나타났다. 각각의 위치별 냉각온도와 시간은 B3 지점에서 -9.1°C 까지 냉각되는데 1,980초가 소요되었으며, B2 지점은 -9.1°C , 2,850초가, B1 지점은 -7.6°C 까지 냉각되었으며 그때까지의 소요시간은 1,920초가 소요되었다. 각각의 위치에 따라 도달하는 냉각온도도 최고 1.5°C 의 차이가 발생하였으며, 열손실에 의한 냉각 후 최고온도는 B1, B2, B3의 각각의 지점에서 -4.7°C , -6.3°C , -6.1°C 를 나타내었으며, 최저온도에서의 시간은 각각 540초, 660초, 450초가 소요되어 하층 부위인 B2에서 가장 열손실이 낮은 것으로 나타났다. 이는 정전기장유도에너지를 적용하지 않은 냉동고와 조금은 다른 현상을 나타낸 것으로서 중심부의 처리 조건에 의해서 안정화되는 것으로 나타났다. 또한, A 지점에서는 상층에 비하여 하층으로 내려올수록 최적 온도가 -7.7°C 에서 -9.1°C 로 감소하는 것으로 나타나, 위치에 따른 온도차이가 1.4°C 로 중심부와 유사하게 나타났다. 좌측 냉각면에서 공기중으로의 대류에 의한 냉각온도와 시간은 C1 지점에서 -7.4°C 까지 냉각되는데 1,920초가 소요되었으며, C2 지점은 -8.0°C , 1,830초가, C3 지점은 -9.0°C 까지 냉각되었으며 그때까지의 소요시간은 2,040초가 소요되었다. 좌측부의 온도분포에 대하여 상층에 비하여 하층에서 열손실이 낮은 것으로 나타났으며, 이는 C3 지점에서 냉동고 사용을 위한 최적 지점임을 알 수 있었다.



(A)



(B)



(C)

Fig. 22. Temperature and flow characteristics depending on the location and time of the electro field freezer

A : the upper class, B : the middle class, C : the lower class

나. 시뮬레이션 B

냉동실 내부의 온도의 측정은 T-type의 열전대를 사용하였으며 데이터로거를 사용하여 측정된 값을 컴퓨터를 사용하여 저장하였다. Fig. 23은 냉장고 내부벽면과 시료면에서의 온도 측정 지점을 나타내었다. 냉동실 내벽을 둘러가며 3개의 측정위치를 정하고 각 위치마다 수직방향으로 각각 3군데씩 9군데의 열전대를 부착하였다. 또한 냉동실 벽면의 중심부위에 열전대를 부착했으며, 부착지점의 높이에 따라 표시를 달리 하였다. 또한, 냉동단계에서 냉동기 벽면 표면의 온도분포를 측정하기 위하여 열화상 카메라를 이용해 촬영하였다.

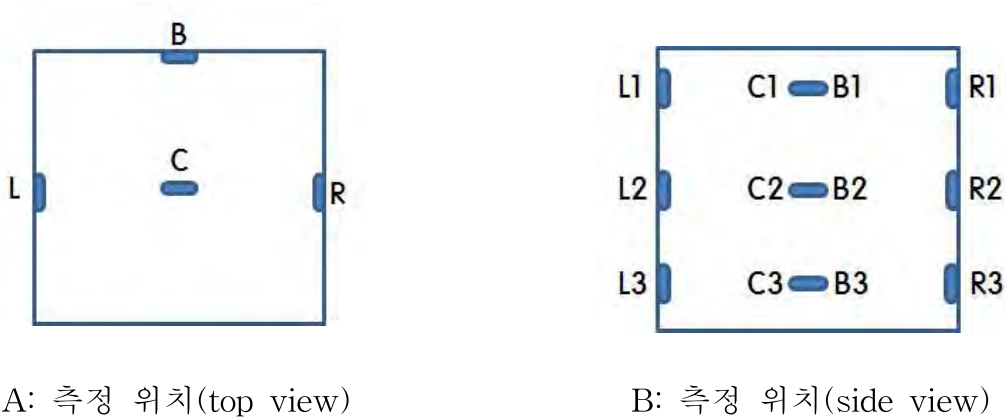


Fig. 23. Measuring the location of the temperature sensor

시료의 위치를 측정하기 위하여 C1~C3의 위치에 동일하게 시료를 위한 측정 용기를 준비하였다. 측정 포인트는 벽면과의 동일한 높이로 측정하였으며 서로 마주보는 중심에 위치하도록 하였다. 이는 마주보는 두 지점의 온도 데이터를 이용하여 상관관계식을 도출하기 위함이다.

1) 상관관계식

○ 냉장고 내벽과 시료용기 표면온도를 각각 다음의 함수로 정의하였다.

$$T_w = f_1(z, t), T_b = f_2(z, t) \quad (1)$$

시간(t)과 높이(z)를 변수로 가지는 함수로서 여기서, z는 C1~C3까지, t는 60분을 범위로 가지도록 하였다. Fig. 24는 C1~C3지점에서 T_w 와 T_b 의 시간에 따른 온도변화를 비교한 것이다. 온도 분포는 시간에 따라 그 구배가 달리 나타나기는 하지만 35분 이내에서 온도가 하강하고 그 이후의 시간에서는 천천히 온도가 상승하는 기본 형태는 차이가 없기 때문에 두 온도간의 상관관계를 함수로 나타낼 수 있을 것이다. 이에 두 지점간의 함수식을 다음과 같이 정의한다.

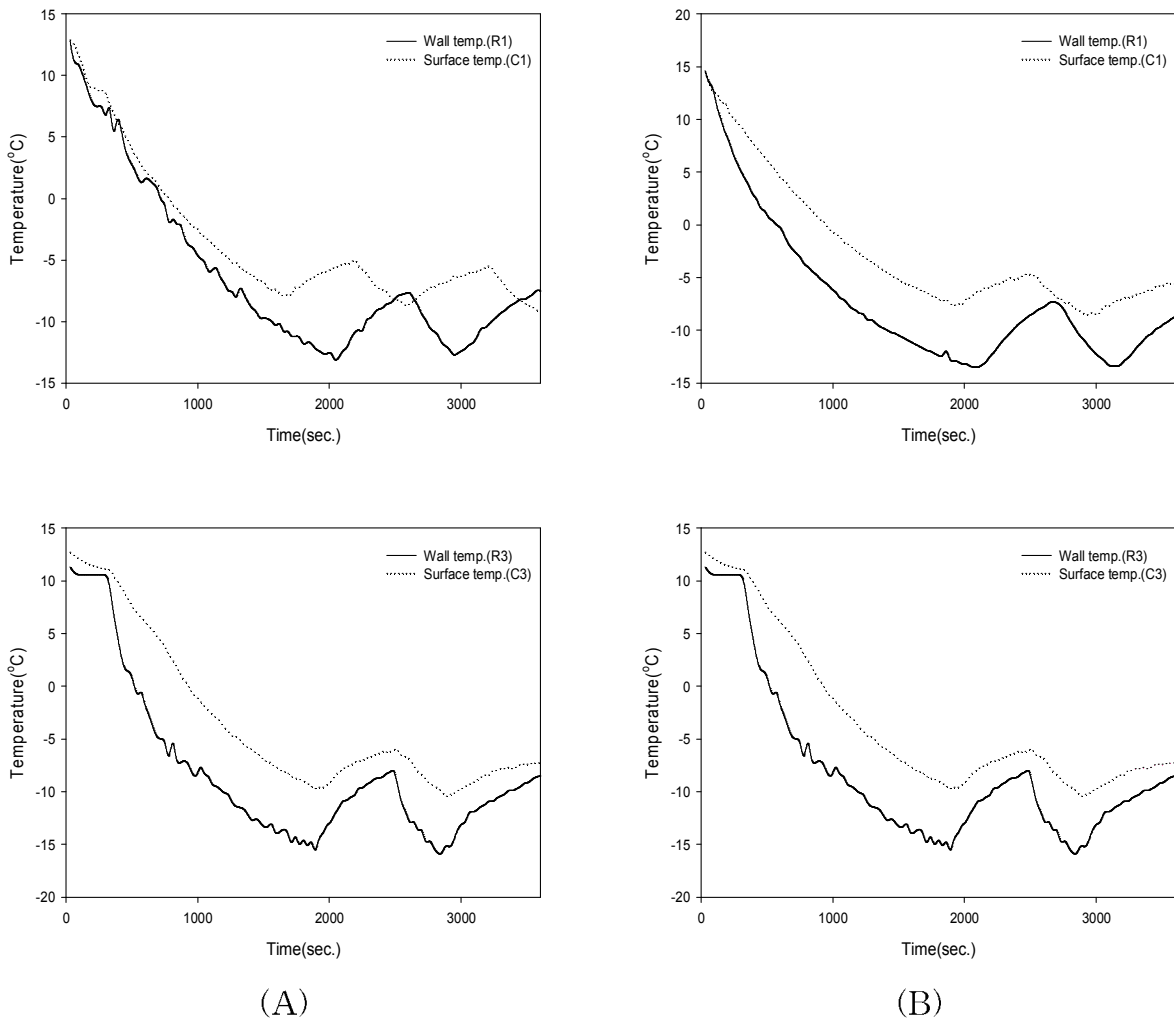


Fig. 24. Changes of temperature corresponding to the surface of the sample vessel wall and the location of a freezer. (A) commercial freezer, (B) electro field freezer

유도에너지 활용한 냉동고의 경우에도 냉장고 내벽과 시료용기 표면온도에 대한 상관관계 식은 위의 식 (1)로 정의한다. Fig. 24는 C1~C3지점에서 w 와 b 의 시간에 따른 온도변화를 비교한 것이다. 온도 분포는 시간에 따라 그 구배가 달리 나타나기는 하지만 30~33분 이내에서 온도가 하강하고 그 이후의 시간에서는 천천히 온도가 상승과 하강을 반복하는 기본 형태는 차이가 없기 때문에 식 (2)로 정의할 수 있다.

$$f_3 = f(T_w, T_b) = f_3(\varepsilon) \quad (2)$$

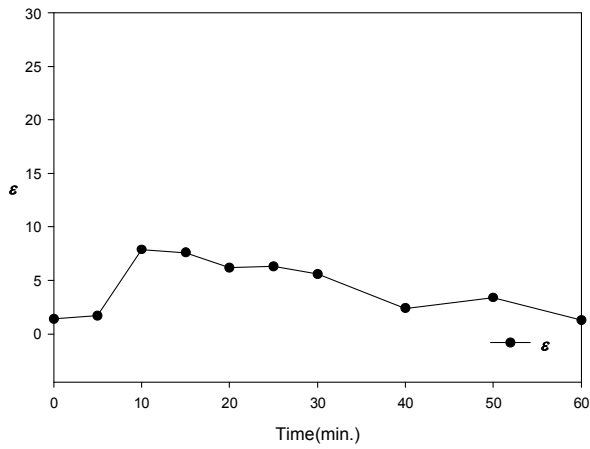
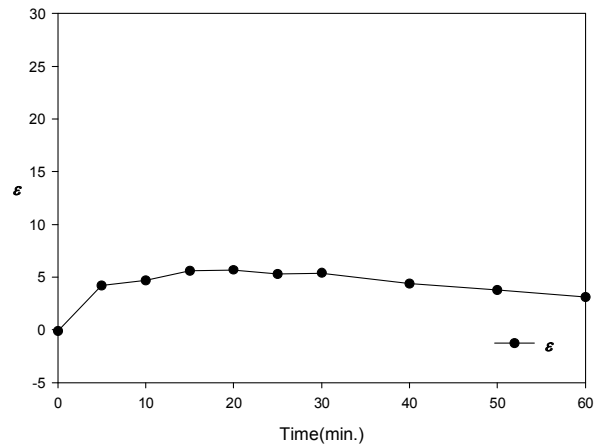
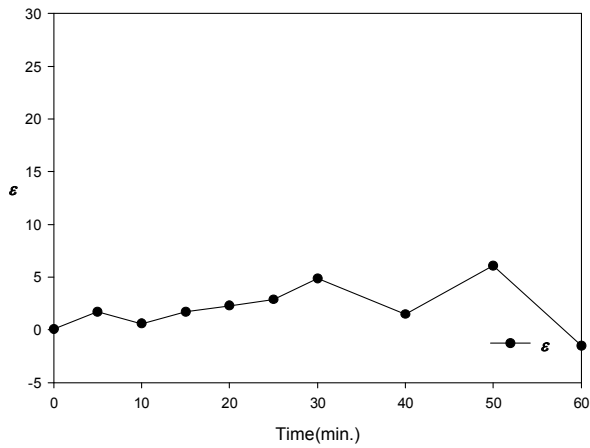
여기서 ε 는 f_3 를 구성하는 T_w 와 T_b 의 관계를 나타내는 변수로서 연구에서는 두 온도간의 관계를 간단한 사칙연산으로 표현가능하다고 가정하여 다음과 같이 나타내었다.

$$\varepsilon = T_b - T_w \quad (3)$$

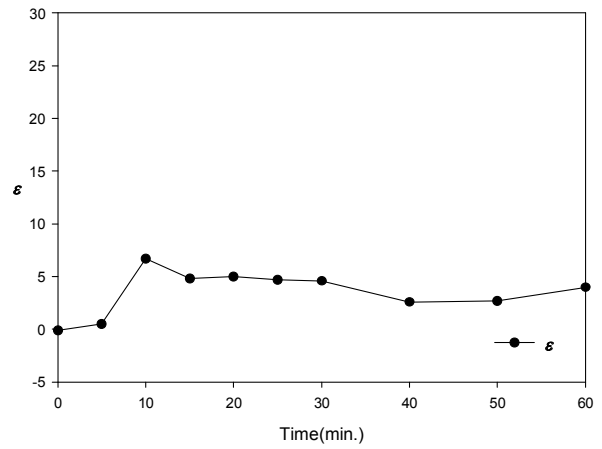
Table 9과 Fig. 25는 (3)식을 이용하여 구한 벽면의 ε 과 그래프이다.

Table. 9. ε value of the freezer according to the height of each time by the formula (3)

| Time(min) | Commercial type | | | Electro field type | | |
|-----------|-----------------|-----|------|--------------------|------|------|
| | R3 | R2 | R1 | R3 | R2 | R1 |
| 0 | 1.4 | 0.5 | 0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 |
| 5 | 1.7 | 1.0 | 1.7 | 0.5 | 1.2 | 4.2 |
| 10 | 7.9 | 1.8 | 0.6 | 6.7 | 1.9 | 4.7 |
| 15 | 7.6 | 1.7 | 1.7 | 4.8 | 1.2 | 5.6 |
| 20 | 6.2 | 1.5 | 2.3 | 5.0 | 1.4 | 5.7 |
| 25 | 6.3 | 2.0 | 2.9 | 4.7 | 1.4 | 5.3 |
| 30 | 5.6 | 2.1 | 4.9 | 4.6 | 1.6 | 5.4 |
| 40 | 2.4 | 0.9 | 1.5 | 2.6 | 1.2 | 4.4 |
| 50 | 3.4 | 1.3 | 6.1 | 2.7 | 2.2 | 3.8 |
| 60 | 1.3 | 2.3 | -1.5 | 4.0 | 0 | 3.1 |



(A)



(B)

Fig. 25. Changes of ε value of the freezer according to the height of each time
(A) commercial freezer, (B) electro field freezer

○ 상관관계식 적용

ε 은 새로운 냉동고를 설계시 T_w 와 T_b 가 변화되었을 때 이를 예측하기 위해 사용될 수 있다. 즉 ε 은 동일한 위치와 시간에서 T_b 와 T_w 의 차는 항상 일정하다는 의미를 가지고 있으므로 냉동성능변경으로 인해 값이 변하더라도 함수식 $\varepsilon = T_b - T_w$ 에 의해서 T_w 와 T_b 는 선형1차식의 관계가 이루어지므로 간단히 T_b 의 값을 구할 수 있게 된다.

○ 수치 해석

채스터타입 냉동고 내부의 열전달은 주로 고체벽면의 온도차에 의한 열이 내부 공기로 전달되어 이루어지는 자연대류이다. 따라서 냉동고 내부에 대한 열유동장 해석을 상관관계식을 이용하여 시료 표면의 온도를 예측하고 예측된 온도를 시료 표면의 온도로 설정하여 설정된 표면의 온도가 전도에 의해 내부로 전달되는 과정을 해석하고자 하였다.

초기 시료의 온도는 상온인 15°C로 설정하고, 시료의 온도가 15시간동안 변하는 것을 전도 해석을 통해 수행하였다. 시료의 설정은 증류수를 담은 용기로서 유리병을 사용하였다. 용기 안의 물질은 식품을 사용하여야 하지만 각각의 식품마다 물성치가 다르고 측정된 물성치가 없으므로 식품의 주성분으로 활용할 수 있는 증류수로 동일한 비열과 전도열전달계수 및 열용량을 가지는 유동이 발생하지 않는 특성을 이용하였다.

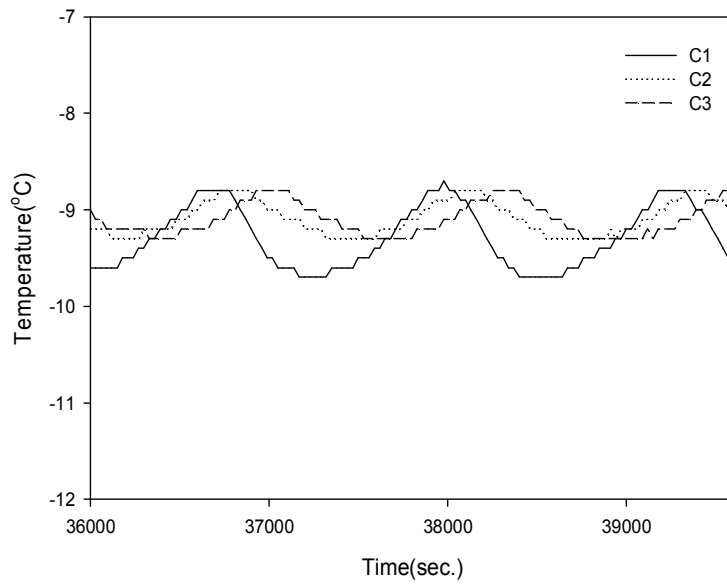
○ 경계조건

수치해석에 사용될 시료의 표면온도 T_b 는 $\varepsilon = T_b - T_w$ 을 통해서 쉽게 구해 질 수 있다. T_w 는 동일한 냉동성능을 나타내는 것으로 냉동실에 동일 조건을 적용하였다.

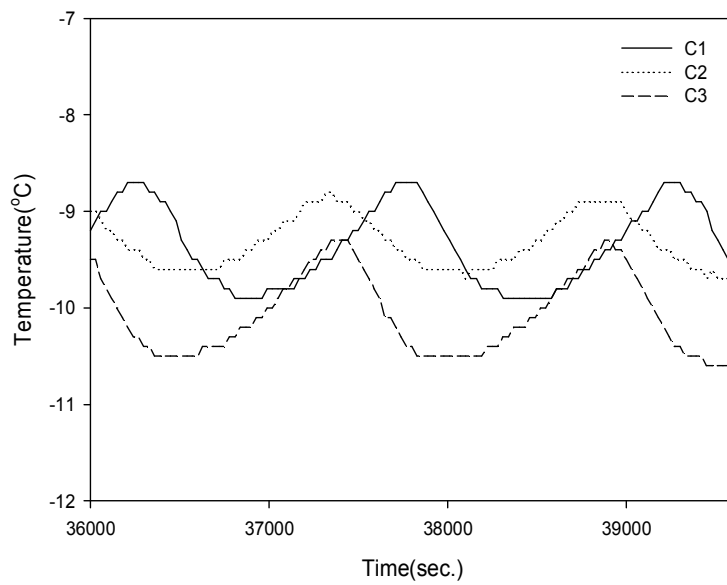
○ 해석결과

- 아래의 Fig. 26은 냉동 10시간과 11시간 사이의 시료 중심부에서의 높이에 따른 온도분포를 나타내고 있다. 냉동 10시간과 11시간 사이에서 내부 온도가 안정화 상태에 들어섰기 때문에 시료 중심온도는 거의 변하지 않음을 알 수 있다. 아래쪽 시료인 C3은 $-9.10 \pm 0.17^\circ\text{C}$ 의 온도 분포를 보이고 있는 반면 위쪽인 C1에서는 $-9.29 \pm 0.32^\circ\text{C}$, 중심부 C2에서는 $-9.08 \pm 0.18^\circ\text{C}$ 로 나타났으며, C1에서는 C2에 비하여 0.2°C 의 온도편차를 나타내었다. 유도에너지를 활용한 냉동고 시료의 C3은 $-10.07 \pm 0.41^\circ\text{C}$ 의 온도 분포를 보이고 있는 반면 위쪽인 C1에서는 $-9.34 \pm 0.42^\circ\text{C}$, 중심부 C2에서는 $-9.32 \pm 0.27^\circ\text{C}$ 로 나타났으며, C1에서는 C2에 비하여 0.02°C 의 온도 편차를 나타내었다. 냉동기의 특성으로 인하여 모든 영역에서 일정한 주기의 온도가 반복적으로 나타나는 것을 볼 수 있으며, 그 중 두가지 형식의 냉동고에서 모두 C1의 반복적 주기의 온도편차가 크게 나타나는 것은 냉동기 위쪽 위치에서가 다른 위치에서 보다 많은 열 손실이 일어나기 때문에 온도의 변화가 크다고 판단된다.

- 또한, Fig. 27은 냉장고의 벽면의 위치에 따른 온도의 변화를 나타낸 것이다. 상층부에서의 온도는 뒷벽면의 온도가 가장 먼저 내려가고, 왼쪽벽면과 오른쪽 벽면의 순으로 냉각되었다. 목적 냉동온도에 도달 시 벽면은 모두 주기적인 반복과 온도 편차가 발생하였으며, 그 반복주기는 압축기 및 증발기의 성능과 연관되는 것으로 보인다. 전반적으로 후면 벽면의 온도는 상층에서 더 낮은 구조로 되어 있으며, 하층으로 내려갈수록 온도가 증가하였다. 좌측벽면의 경우는 하층부위의 냉동 성능이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 중층부위는 상대적으로 냉동성능이 낮은 것으로 나타났다. 반면, 왼쪽 벽면의 경우는 중층부위의 냉동 성능이 가장 우수한 것으로 보였으나 그 차이는 크지 않았다.



(A)



(B)

Fig. 26. Changes of temperature between 10 hours and 11 hours, depending on the location of freezer

(A) commercial freezer, (B) electro field freezer

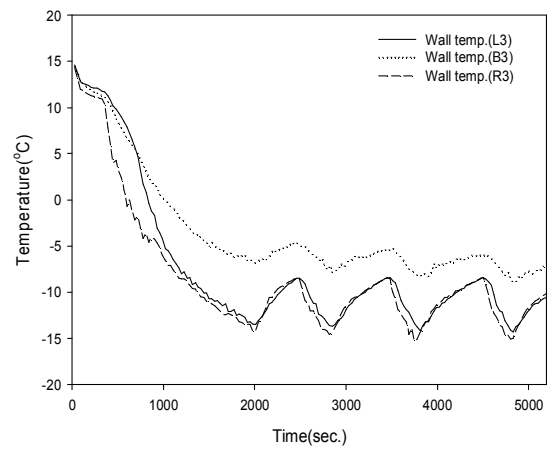
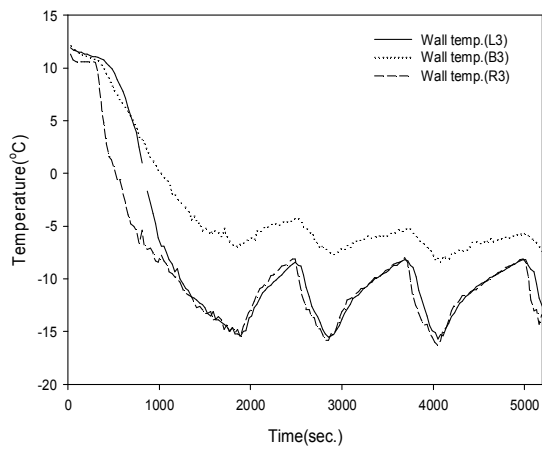
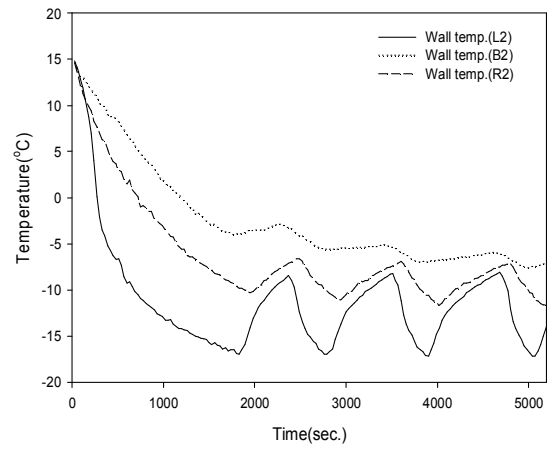
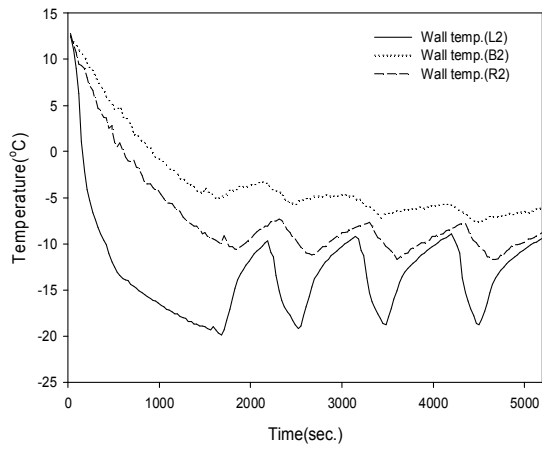
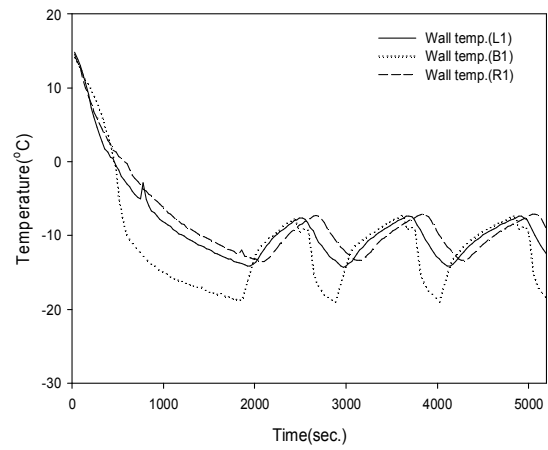
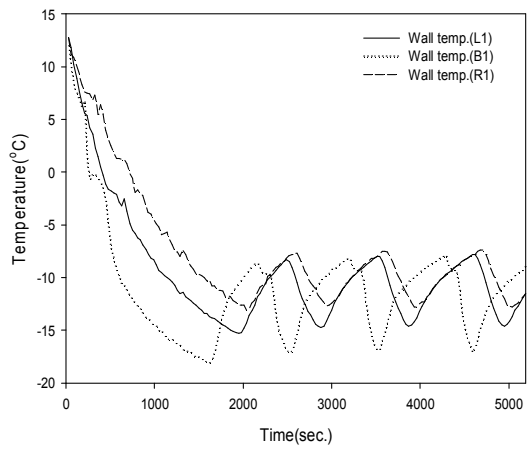
유도에너지 활용한 냉동고의 경우에도 상층부에서의 온도는 뒷벽면의 온도가 가장 먼저 내려가고, 왼쪽 벽면과 오른쪽 벽면의 순으로 냉각되었다. 목적 냉동온도에 도달 시 벽면은 모두 주기적인 반복과 온도 편차가 발생하였으며, 그 반복주기는 압축기 및 증발기의 성능

과 연관되는 것으로 보인다. 전반적으로 후면 벽면의 온도 안정성이 낮은 것으로 보이며, 상층부에서는 열손실이 상대적으로 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 특성은 전자기장의 적용과 무관하게 동등한 성능을 나타내는 것으로 보인다. 좌측벽면의 경우는 하층부위의 냉동성능이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 중층부위는 상대적으로 냉동성능이 낮은 것으로 나타났다. 반면, 왼쪽벽면의 경우는 중층부위의 냉동 성능이 가장 우수한 것으로 보였으나 그 차이는 크지 않았다.

아래의 Table 10은 열화상카메라를 이용하여 냉동기 벽면의 표면 온도분포를 촬영한 것이다. 체스터타입 냉동기의 냉동 효율에 직접적인 영향을 주는 냉동기 내부의 표면온도는 실험초기와 냉동 후 벽면의 온도를 제시하였다. 실험초기 냉동기의 내면 온도는 좌측 16.1℃, 우측 18.3℃, 후면 11.7℃를 나타내고 있었다. 냉동기 작동 후 시료가 완전히 동결된 시점에서 일반냉동고의 평균온도는 좌측면이 -16.3℃, 우측 -17.7℃ 및 후면이 -22.0℃를 나타내었으며, 전자기장을 적용한 냉동고의 경우 좌측면이 -8.0℃, 우측면이 -13.7℃ 및 후면이 -5.7℃를 나타내었다.

일반냉동고의 경우 위의 냉동고 벽면의 위치에 따른 냉동 온도 분포와 같이 후면의 경우 하면이 상면보다 온도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있었고 우측벽의 온도가 중층에이 가장 높은 온도대를 형성하는 것을 알 수 있었다. 일반냉동고의 좌측벽면의 온도는 균일한 온도대를 형성하고 있어 냉동고에서 피대상물의 냉동 위치 중 냉동 효율이 가장 높을 것으로 나타났다.

전자기장을 도입한 냉동고의 열화상카메라를 통한 냉동고의 벽면의 온도변화를 측정된 결과, 우측벽면이 가장 균일한 온도대를 나타내고 있었으며, 후면부에서 냉동 효율이 가장 저하된 것을 알 수 있었다. 정전기장을 도입한 냉동고의 경우 우측하면 부위에서 전반적으로 고른 온도 분포대를 나타냄으로서 냉동 효율 측면에서 가장 높을 것으로 판단된다.

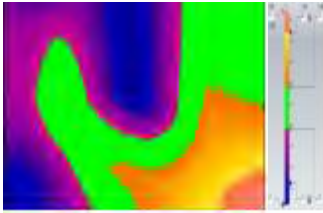
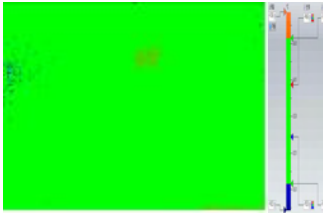
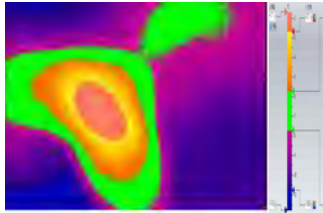

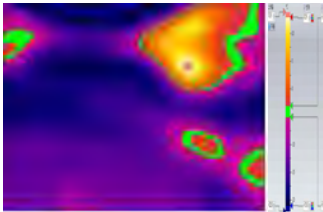
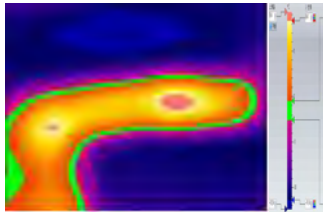
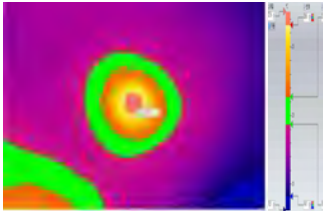
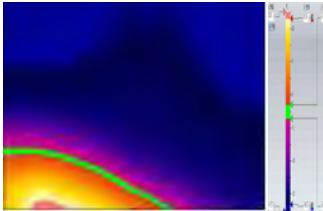
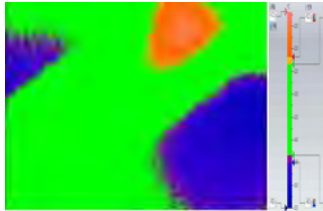


(A)

(B)

Fig. 27. Changes of freezing temperature according to the position of the wall of the freezer (A) commercial freezer, (B) electro- field freezer

Table 10. Thermal image of freezer after the initial and frozen

| | Initial | After freezing | |
|---------------|--|---|--|
| | | Commercial type | Electro- field type |
| Left wall |  |  |  |
| Backside wall |  |  |  |
| Right wall |  |  |  |

4. 고전압 정전기 방식을 이용한 냉동 장치의 제작

가. 고전압 정전기 유도 에너지를 이용한 냉동 장치 표준 설계 및 시제품 제작

1) 고전압 정전기장 유도에너지 냉동 시스템의 시제품 설계 및 제작

가) 개요 및 구상

○ 교류 전압을 이용하여 고전압의 정전기장을 발생하여 이를 농수축산물의 냉동 저장 중 활용할 수 있도록 설계를 실시하였다.

① 고전압 정전기장 유도 에너지 발생 장치 구성

- 유도 전압 조절용 가변 변압기
- 승압트랜스
- 전류 제한 저항 장치

② 주변 장치

- 냉동실 내로의 유도 전기장을 발생시키는 전극

- 냉동실 내로의 연결 장치
- 전기적 차단 장치

- 고전압을 통한 전기장의 발생을 위하여 냉동의 초기 온도 (-5~-10℃)에서 적용이 가능하고 그 이하의 온도(-20℃)에서 정전기 유도 에너지의 발생이 가능하도록 에너지 효율을 높이는 방법을 적용하고자 하였다.
- 전압 컨트롤러를 이용하여 고압의 교류 전원을 가변으로 출력할 수 있도록 설계하여 1,500V, 3,000V, 5,000V 및 7,000V로 조정이 가능하도록 시스템을 구성하여 적용하였다. 고압의 직류 전원은 직류 고전압(-900~0V)의 전압을 출력 할 수 있도록 AC/DC 변환기, 전압 조절 가변 저항, DC/DC 변환기를 설치하여 직류 전압만 출력 할 수 있도록 하는 회로를 적용하였다.

나) 주요사항

- 정전기장의 유도에너지 : 교류 하에서 0~7,000 V를 단계별 정전기 유도 에너지를 발생 가능하게 제어부를 제작 하였고 전류의 발생을 제한하는 전류 제한 저항을 적용하며 AC/DC 변환기 및 DC/DC 변환기를 적용하여 전압을 조절하는 회로를 적용하였다.
- 입력 전원은 100V, 50/60Hz 용으로, 조절은 디지털 방식으로 조절 표시가 되도록 구성하였다.
- 안전을 위하여 각 전원은 접지를 필히 진행하고 내부의 전선의 접촉을 피할 수 있도록 구성하였다. 정전기 유도 에너지 발생 장치의 주요 장치는 ① 정전기 발생 장치: 전압 조절용 가변 변압기, 승압트랜스, 전류 제한 저항 장치, 전압 조절 가변 저항, AC/DC 변환기, DC/DC 변환기 등을 구성하며 ② 냉동고: 열교환기, 송풍팬, 스텐레스용기, 전극, 절연 지지대 등으로 구성되어 있다.
- 냉동기의 구성 : 냉동기는 간접식 냉동방식을 적용하였다. 간접식 냉동방식은 직접식 냉동 방식에 비하여 냉동고 내부에 별도의 냉각 장치를 부착하고, 고내의 공기를 Fan에 의해 강제 순화시키는 방식으로 고내를 냉각함으로써 성애가 생기지 않음으로 고내 고전압 발생에 의한 누전 방지 등에 효과적임으로 간접식 냉동방식으로 구성하였다.

○ 냉동 장치의 제작 시방

(1) 제원(mm) :

- 위치 : 1,260×800×1,830(L×W×H)

- 내치 : 550×650×1,100(L×W×H)
- 재질 : 고품질 우레탄 판넬(밀도: 35 kg/m³ 이상, 열전도율 : 0.02 kcal/m·°C·hr 이하, 열저항성 : 난연성), 두께 30 mm 이상

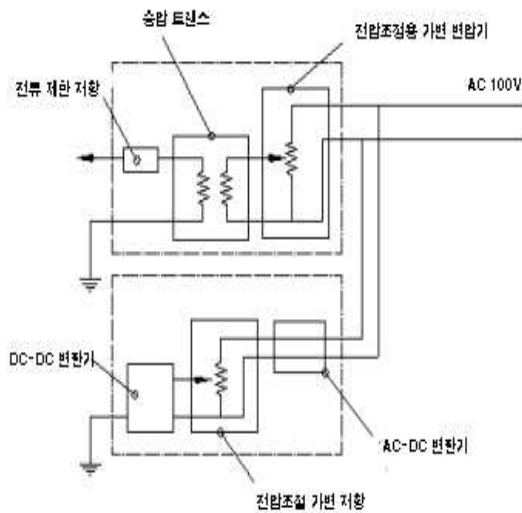
: 판넬 외장용 소재로 양면을 PVC 코팅 스테인레스 스틸 강판

- 온도 : 0°C ~ -20°C
- 전원 : 1상 AC 100V, 50/60Hz
- 소비전력 : 462W

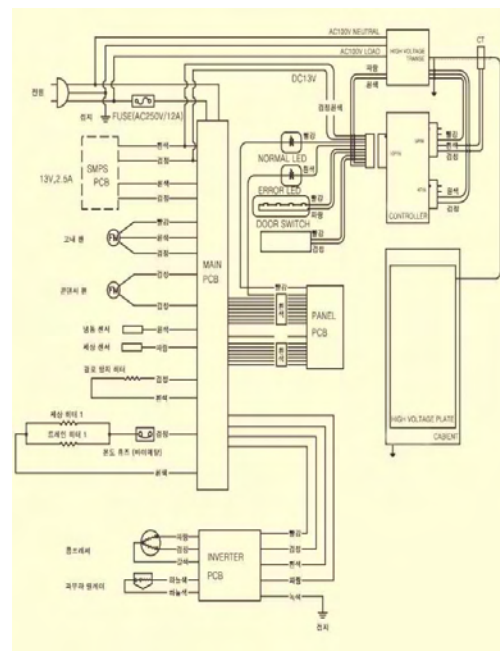
(2) 냉동장치의 주요 사양

- 온도범위; 0°C ~ -20°C
- 온도편차; ±0.5°C
- 유효면적; 550(L)×650(W)×1,100(H)mm
- 재질; SUS304
- 냉동시스템(1Hp)
- 냉매(R503)
- 간접식 냉동장치

다) 구상도 및 설계도

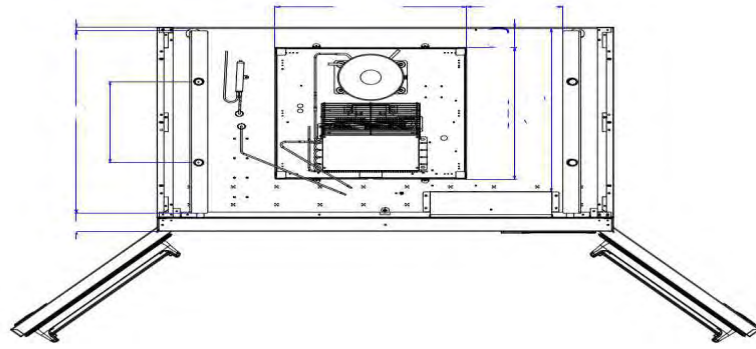


<습압용 트랜지스터 구상도>

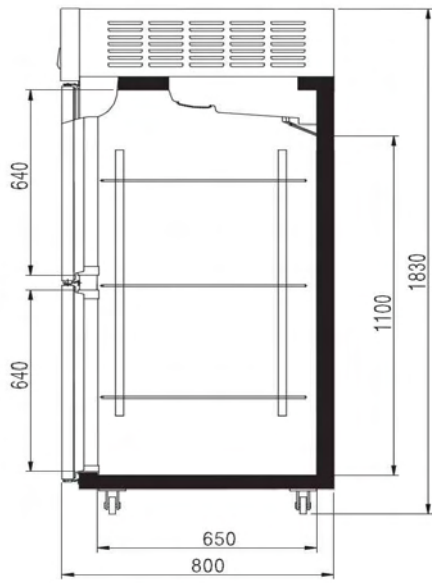


<냉동기용 전기회로도>

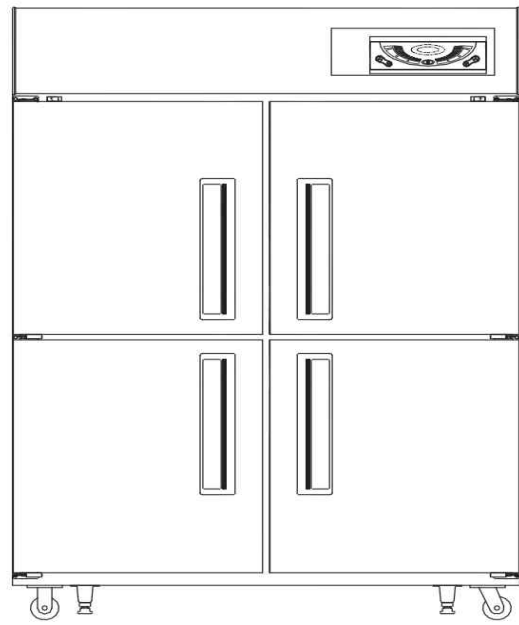
Fig. 28. General drawing of transistor and electrical network diagram



<냉동기의 상단부 구상도>

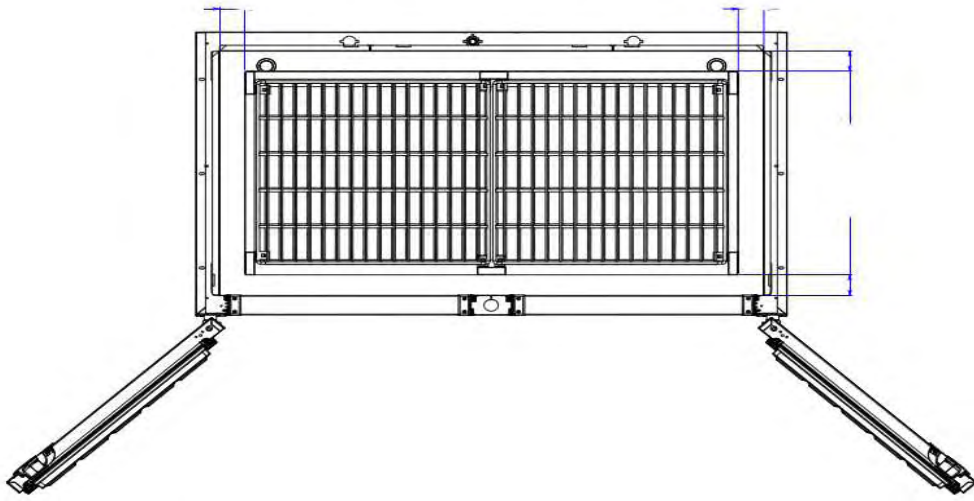


<냉동기의 측면부 구상도>

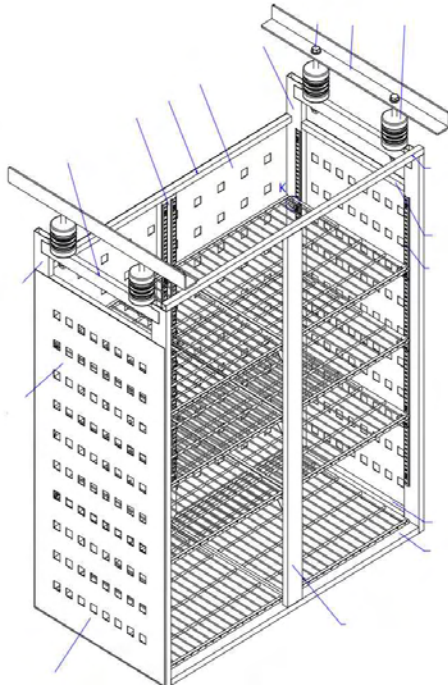


<냉동기의 정면부 구상도>

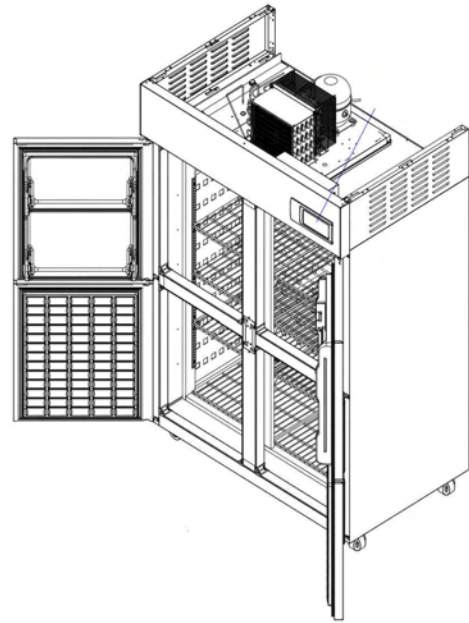
Fig. 29. General drawing in outside view of electric field freezer



<냉동기의 단면부 구상도>



<냉동기의 내부 전극 구상도>



<냉동기의 측면상단부 구상도>

Fig. 30. General drawing in inside view of electric field freezer

라) 제작도

고전압 정전기 유도 발생을 적용한 냉동고의 제작을 위하여 기존 상업용 냉장고를 개조하는 방식으로 적용하였다. 냉동고의 특성상 고내 전류의 흐름이 발생할 수 있으므로 이에 대한 안전성을 높이기 위하여 성애 방지가 필요한 것으로 검토되었고, 시중 생산 방식의 냉동고 중 직냉식이 아닌 간냉식 방식을 적용하여 성애에 의한 고내 전류 흐름의 변화를 최소화하는 방안을 구상하였다. 또한 냉동고의 외벽과의 전류 차단을 위하여 전류 흐름을 차단할 수 있도록 고내 전극판을 형성하여 전류의 흐름을 고내에서만 유지되도록 하였다. 안정장치로서는 문열림에 의한 고전압 발생장치의 자동 차단 유도가 되도록 적용하였다.

냉동 온도는 -20°C 까지 가능한 냉동고를 기준으로 설치할 하였다. 냉동 온도의 변화에 따른 효과가 달라질 수 있을 것으로 보고 있으며, High 또는 Low voltage의 변화에 따른 현상학적인 변화가 달라질 수 있을 것으로 판단되어 적절한 조정이 가능하도록 설계하여 시험용 냉동고를 제작하고자 하였다.



<습압용 트랜지스터>



<습압용 트랜지스터 및 컨트롤러>

Fig. 31. Photo of actual object to transistor and controller



<냉동기의 상단부>



<냉동기의 정면부>



<냉동기의 정면내부>

Fig. 32. Photo of actual object to electric field freezer

5. 고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동기의 품질 특성 분석

가. 냉동 중 압력 및 온도 측정

냉동 중 동결특성을 조사하기 위하여 증류수를 공시시료로 설정하여 실험에 적용하였다. 실험은 고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동기에서 실시하고자 하였다.

동결 및 해동 중 내부 온도 및 압력 변화 측정을 위하여 압력 측정용 용기를 제작하였다 (Fig. 1). 센서는 다채널 Fluke hydra 기종을 선정하여 data logger로 활용하였으며, 압력 측정 용기는 식품에 적합한 모형으로 제작하여 측정하여야 하며 신뢰도를 확보하기 위하여 지속적인 반복 측정을 실시하여 데이터에 대한 신뢰도를 높이도록 하였다. 일반적으로 식품의 냉동 압력은 15 psig의 범위를 넘지 않는 것으로 나타남으로 압력센서를 0~15 psig의 범위에서 측정될 수 있고 accuracy가 $\pm 0.04\%$ 가 되는 것으로 설정하여 냉동 및 해동 압력의 측정에 사용하였으며, 본 실험에 사용된 압력센스는 GE M & C, UNIK 5000 모델을 도입하여 실험에 적합하도록 구성하였다. 압력 센서의 특성상 영하 -40°C 이하의 온도에서 정밀 측정이 불가함으로 압력 측정 등은 -40°C 이상의 온도에서 측정하는 것을 기본으로 설계하여 실험에 사용하도록 하였다.

고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동기에서의 압력 측정은 압력센서와 연결된 전선으로 인해 전기장인가가 발생하고 이로 인한 Fluka hydra 기종의 작동 오류가 발생하였다. 이는 금속의 존재하에서 고전압 유도 에너지의 온도 측정이 열전대를 통한 강한 전류의 이행으로 온도기록 장치 및 저장 장치에 손상을 주는 것과 동일한 현상을 발생하였다.

일반적으로 순수한 물이 동결하여 0°C 의 얼음으로 될 때, 미동결시의 체적을 기준으로 약 8.75%가 팽창하므로 물이 주성분인 식품을 동결시킬 경우 체적은 팽창하게 된다. 이러한 체적의 팽창은 냉동에 의한 식품내부압력의 변화로 나타나게 되며, 이러한 변화를 압력 측정기로 측정을 함으로써 내부 압력을 측정하는 원리로 이용하게 된다. 또한, 동결에 의한 식품내부압력은 식품이 동결시 표면부가 먼저 얼어서 주위를 단단하게 덮은 후 점차적으로 수분이 빙결되며 이 때 체적팽창을 일으키면서 표면의 동결부에 막혀 팽창을 하지 못하면 식품내부에서 압력이 발생된다고 보고되고 있다. 이러한 내부압력은 식품의 동결 시 품질의 저하 즉, 냉동 파괴에 의한 세포의 원형을 보존하기 어렵고 이를 통해 드립 등 제품의 품질 저하를 발생시킨다. 이로 인해 증류수의 동결 및 해동 시 내부압력의 변화를 조사하여 식품의 냉동 품질 특성에 대한 예측을 가능할 것으로 판단된다.

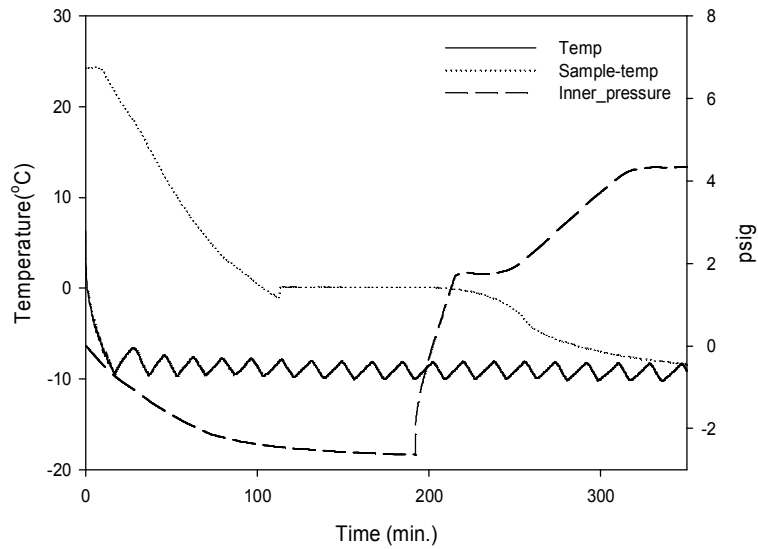


Fig. 33. Changes of inner pressure and temperature to water during freeze at -10°C

증류수를 동결하였을 때의 내부압력을 측정된 결과는 Fig. 33에 나타내었다. 초기 온도가 감소함에 피냉각물질의 부피가 감소하는 특성으로 인하여 압력이 감소하는 것으로 나타났으며, 피냉각물질이 빙결점 온도대인 0°C 부근에서 안정화될 때 압력 또한 안정화되는 것으로 나타났다. 일반적으로 0°C 의 순수한 물이 얼어서 0°C 의 얼음으로 변화할 때의 체적팽창과 이후의 온도강하에 따른 체적변화 이론과 거의 일치함을 알 수 있다. 증류수의 압력변화는 동결에 의하여 최대 6.93 psig의 압력차이를 나타내었으며, 동결전 -2.6 psig에서 동결과정에서 2.09 psig로 급격히 증가한 후 냉동온도가 안정화되는 -8.0°C 부근에서 4.33 psig의 내부압력을 나타내었다.

고전압 정전기 유도 장치를 이용하여 내부 압력을 측정하고자 하였다. 그러나, 일반적인 냉동고의 압력 측정은 고안된 시스템을 이용하여 측정이 가능하였으나, 고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동고의 내부압력 측정은 불가능하였다. 지속적인 계측 불능상태로서 기기적 오류가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 고내 전류의 흐름과 관련되는 것으로 외부 기기와의 연결에 따른 외부 장치와 고내 측정 시료의 전류 차이 및 전압차이에 의한 측정장비 내로의 전류 유입에 의한 것으로 기기 오작동이 발생하는 것으로 판단되었다.

나. 기본물질과 대상시료에 대한 동결 방식 및 속도에 따른 품질 평가

- 고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동기의 효과 실험 -

1) 기본물질을 이용한 냉동 품질의 현상학적 특성 분석

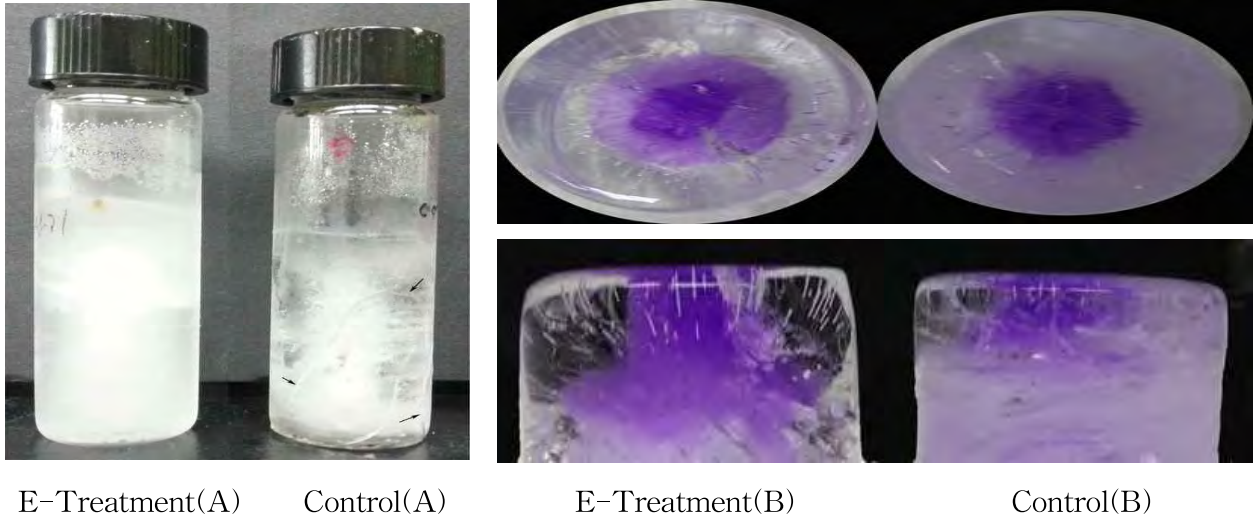


Fig. 34. Ice property to freezing condition

E-treatment; Frozen in electric field (7,000V) freezer at -20°C , Control; frozen at -20°C

고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동 특성 조사는 증류수를 기준 시료로 측정하고자 하였다. 앞에서 언급한 것과 같이 압력 측정이 불가능 하였다. 이에 증류수의 동결 현상을 비교 하였다. 동일 용기에 동일 용량의 증류수를 주입한 후 -20°C 에서 16시간동안 동결한 후 비교한 결과 Fig. 34의 (A)와 같이 대조구는 용기가 부서지는 일반적인 동결현상을 관찰할 수 있었으나, E-Treatment는 용기의 부서짐 현상이 발생되지 않았다. 이는 반복실험에서도 같은 현상이 지속되었다.

이러한 현상은 동결시 생성되는 압력의 발생 방법의 차이에서 기인하는 것으로 판단되었다. 이와 관련하여 Fig. 34의 (B)의 대조구는 얼음의 투명도가 달라지는 것을 볼 수 있었으며, E-treatment(B)에서는 얼음의 투명도가 대조구에 비하여 향상되는 것을 볼 수 있었다.

고전압 정전기 유도 장치를 적용한 냉동 특성에서 동결조건에 따른 얼음 특성을 조사하기 위하여 스테인레스용기에 동일용량의 증류수를 넣은 후 위의 조건에서 동결하였다. 유리용기에서 발생하는 용기의 부서짐 현상은 스테인레스용기에서 발생하지 않았지만, 용기내 동결 얼음의 균열현상 및 팽창 현상이 발생하는 것으로 나타났다. 이에 반하여 E-Treatment 구는 얼음의 균질화가 이루어진 것과 같은 현상이 나타나, 얼음의 균열 및 팽창 현상은 발생하지 않았다. 이러한 현상은 냉동 조건에서 시료의 내부압력 감소 또는 빙결의 균질화 등이 발생되고 있는 것으로 추론할 수 있을 것으로 판단되었다.



E-Treatment



Control

Fig. 35. Ice property II to freezing condition

E-treatment; Frozen in electric field (7,000V) freezer at -20°C , Control; frozen at -20°C

2) 동결조건에 따른 세포 파괴도 및 조직학적 품질 비교

가) 세포 파괴도 측정

Electrolyte leakage 측정은 Suvaluk 등(Journal of Food Science Vol. 76, Nr. 1, 2011)의 방법에 준하여 실시하였다. 사과, 감자 및 쇠고기를 대상 시료로 하여 대조구(-20℃ 동결)과 처리시료(정전기장 냉동, -20℃, 7,000 V)를 2 cm×2 cm×2 cm 크기로 절단하고 탈이온수에 60초간 침지하여 세척하고 티슈(Kimwiper, Kimberly-Clark Global Sales, Inc., Dallas, Texas., USA)로 물기를 외부의 물기를 흡습시켜 제거하였다. 대조구와 처리시료의 시료수를 각각 n=4로 하고 -20℃와 -20℃ 정전기장 냉동고에 12시간 동결한 후 10℃에서 해동한 것을 시료로 하였다. 대조구와 처리시료를 각각 0.2 M mannitol 40 mL가 든 media bottle에 2개씩을 넣고 25℃ 진탕기에서 교반하면서 30분 간격으로 conductivity meter(Model 316, Corning Inc., New York, USA)로 전도도와 총용존 고형물량(total dissolved solid; TDS)을 측정하고 용액의 전도도는 μ S/cm로, TDS는 mg/mL로 나타내었다. 최종 측정후 media bottle은 마개를 하고 -20℃ 냉동고에서 12시간 동결하고 다시 12시간 25℃에서 해동하였으며 이 과정을 2회 반복하였다. 2회 반복후 측정된 용액의 전도도를 총 전도도(total conductivity)로 나타내었으며 측정된 전도도에 대한 총 전도도의 값을 백분율로 환산하여 %ion leakage로 나타내었다.

(1) 동결에 따른 세포 손상

식품의 장기보존으로 사용되는 동결은 식품내 자유수의 빙결정화를 통해 보존 효과를 얻는 것이지만 식품 본래의 향미, 색, 조직감 및 영양가의 손실을 완벽히 방지하는데 기술적 한계가 있다. 특히 동결시 급속한 온도강화를 통해 발생하는 내부압력은 세포의 부피변화와 스트레스로 인한 표면 균열 등을 일으켜 상품성을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다. 이러한 상변화에 동반되는 기계적 손상은 미세조직내 빈 공간의 양적 팽창과 체적의 증가와 물의 동결에 따른 체적변화가 주된 요인으로 알려져 있다.

동식물 세포에서 중요한 전달 과정(시스템)은 cytoplasmic streaming으로 알려져 있는 보편적인 현상을 포함한다. 살아 있는 세포에서는 molecular motor proteins (including, for example, kinesin and myosin)가 bundled actin microtubules을 따라 organelles, plastids, and vesicles을 끌어당기며 cytokinesis로 알려져 있는 세포를 통한 유동현상을 포함한다. 이러한 보편적인 유동 현상은 세포내 기관의 막을 통한 분자와 단백질의 분배와 대상에 있어 중요한 역할을 수행한다. 이러한 세포내 기관의 세포내 물질의 이동은 세포액 내부로의 유동 흐름과 액포 내부로의 유동 흐름을 모두 포함한다. 특히 식물세포에 있어서 관찰되는 유동 패턴은 unidirectional streaming, fountain streaming과 spiral rotational streaming을 모두 포함한다. 이러한 세포내 유동은 세포의 생존과 깊은 관계를 가지며 세포막의 유동성과도 밀접한 관계를 가진다.

전기적 처리에 의한 세포의 손상(막의 손상 정도)를 측정하는 실험적인 방법으로 conductivity disintegration index, Electrolyte leakage determination, Percent weight loss determination 및 Viability staining 등을 이용하는 방법이 사용되고 있다. 정전기 유도 냉동이 동식물 세포의 동결에 따른 세포 손상(막의 손상)에 미치는 영향을 분석하기 위하여 일반적인 냉동과 정전기 유도 냉동 방식으로 동결한 시료의 전도도와 총용존 고형물량 및 ion leakage를 측정하였다.

(2) 전도도(conductivity)

사과, 감자 및 쇠고기를 대상 시료로 하여 동결후 등장액으로 용출되는 물질의 양을 간접적으로 전도도로 측정한 결과는 다음의 Fig. 36~38과 같았다. 사과의 경우 일반 동결 사과는 초기 $5.5\pm 0.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 30분후 $264.0\pm 23.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 증가한 반면 정전기 유도 동결 사과는 $188.0\pm 5.7 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 약 30% 정도 낮은 값을 나타내었다(Fig. 36). 이러한 경향은 용출 120분까지 지속되어 120분에서 일반 동결 사과는 $363.5\pm 6.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ 를, 정전기 유도 동결 사과는 $249.0\pm 15.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내어 32% 정도 낮은 수준이었다. 이것은 상대적으로 정전기 유도 동결 사과가 일반 동결에 비해 세포의 손상이 상대적으로 매우 낮았음을 간접적으로 시사하는 결과로 판단된다.

감자의 경우 일반 동결 사과는 초기 $5.5\pm 0.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 30분후 $983.0\pm 32.9 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 증가한 반면 정전기 유도 동결 사과는 $766.3\pm 101.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 사과와 유사하게 약 23% 정도 낮은 값을 나타내었다(Fig. 37). 최대 차이를 보인 것은 용출 90분 이었으며 일반 동결 사과는 $1,202.5\pm 91.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 를, 정전기 유도 동결 감자는 $904.3\pm 48.8 \mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내어 25% 정도 낮은 수준이었다. 사과와 동일하게 정전기 유도 동결 감자가 일반 동결에 비해 세포의 손상이 상대적으로 낮았음을 시사하는 결과로 판단된다.

동물세포인 쇠고기의 경우에는 초기 $5.5\pm 0.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 30분후 $1,071.1\pm 48.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 증가하였으며 정전기 유도 동결 사과는 $878.0\pm 135.7 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 전도도의 값이 상대적으로 낮았으나 그 차이는 식물세포 시료인 사과와 감자에 비해서는 다소 낮았다(Fig. 38). 최대 차이를 보인 것은 용출 90분 이었으며 일반 동결 사과는 $1,618.0\pm 53.7 \mu\text{S}/\text{cm}$ 를, 정전기 유도 동결 쇠고기는 $1,138.0\pm 56.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내어 30% 정도 낮은 수준이었다. 사과와 동일하게 정전기 유도 동결 감자가 일반 동결에 비해 세포의 손상이 상대적으로 낮았음을 시사하는 결과로 판단된다.

전도도의 최대 용출 시간은 용출 후 약 120-150분인 것으로 판단되지만 150분 이후 3개 시료 모두에서 두 시료간의 차이가 감소하는 현상이 관찰되었다. 이것이 용출 처리에서의 물리적 교반에 의한 시료의 세포손상이나 자가분해에 의한 것일 가능성이 있지만 세포의 상태에 대한

실험적 자료가 없기 때문에 원인을 설명하는데에는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 세포의 염색을 통한 live cell과 dead cell의 계측을 위한 실험을 계획하여 진행하고 있으며 이들의 상관관계를 구한다면 정전기 유도 냉동에 의한 세포 손상의 상대적 효과를 설명할 수 있을 것으로 판단된다.

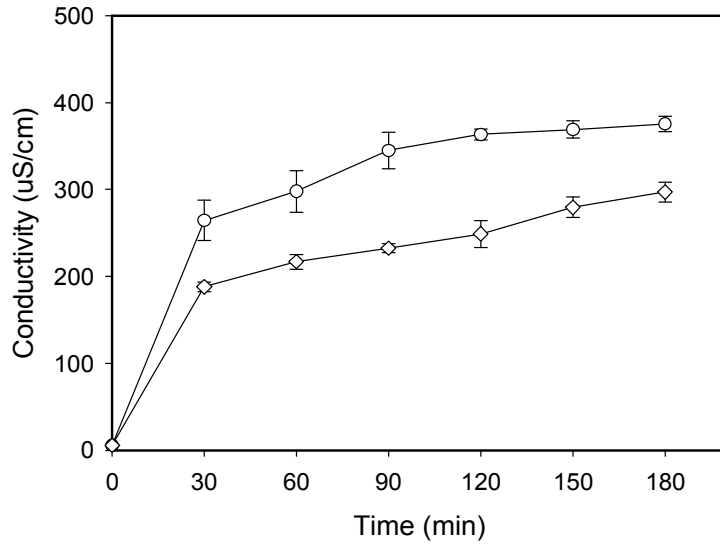


Fig. 36. Effect of electric field on conductivity disintegration of apple tissue ($E = 7000$ V).

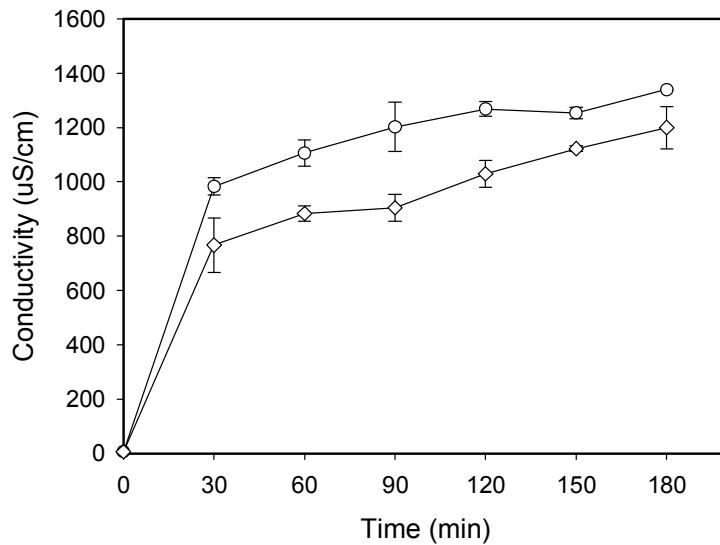


Fig. 37. Effect of electric field on conductivity disintegration of potato tissue ($E = 7000$ V).

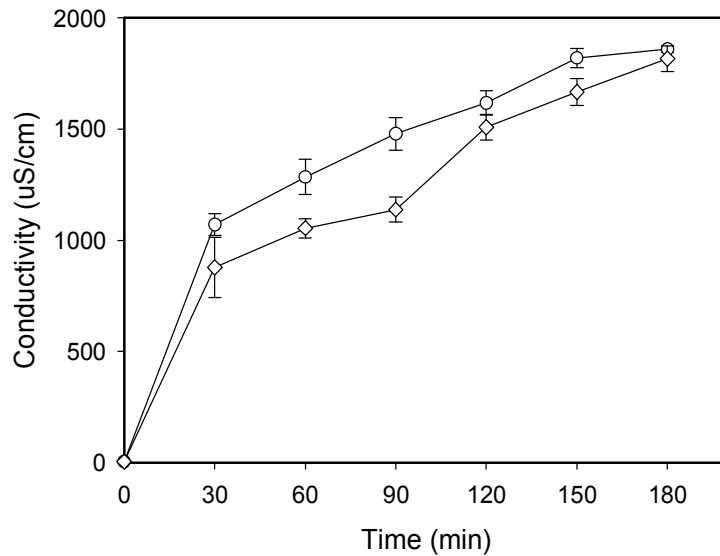


Fig. 38. Effect of electric field on conductivity disintegration of beef tissue ($E = 7000$ V).

(3) 총용존 고형물량(total dissolved solid; TDS)

사과, 감자 및 쇠고기를 대상시료로 하여 동결후 등장액으로 용출되는 물질의 양을 간접적으로 TDS 값으로 측정된 결과는 다음의 Fig. 39~41와 같았다. 사과의 경우 일반 동결 사과는 초기 2.9 ± 0.1 mg/mL에서 30분후 78.5 ± 2.9 mg/mL로 증가한 반면 정전기 유도 동결 사과는 60.3 ± 0.2 mg/mL로 약 23% 정도 낮은 값을 나타내었다(Fig. 39). 이러한 차이는 용출 180분까지 지속되었으며 전도도의 측정 결과와 유사한 패턴을 나타내었다. 이러한 TDS의 차이도 상대적으로 정전기 유도 동결 사과가 일반 동결에 비해 세포의 손상이 상대적으로 매우 낮았음을 간접적으로 시사하는 다른 결과로 생각되었다.

감자의 경우 일반 동결 사과는 초기 2.9 ± 0.1 mg/mL에서 30분후 78.8 ± 2.9 mg/mL로 증가하였고, 정전기유도 동결 사과는 60.3 ± 0.2 mg/mL로 약 23% 정도 낮은 값을 나타내었다(Fig. 40). 이러한 차이는 용출 180분까지 유사한 패턴으로 나타났으며 이 역시 정전기 유도 동결 감자가 일반 동결에 비해 세포의 손상이 상대적으로 낮았음을 시사하는 결과로 생각되었다.

쇠고기의 경우에는 사과나 감자와는 달리 두 시료간의 차이가 크지 않아 일반 동결 쇠고기의 경우 초기 2.9 ± 0.1 mg/mL에서 30분후 316.6 ± 7.7 mg/mL로 증가하였으며 정전기 유도 동결 사과는 300.8 ± 18.4 mg/mL를 나타내었다. 용출 120분부터 일반 동결 쇠고기는 754.7 ± 17.7 mg/mL를, 정전기 유도 동결 쇠고기는 675.5 ± 20.6 mg/mL를 나타내어 약 10% 정도 낮은 수준을 나타내었다(Fig. 41). 사과나 감자에 비해 전도도와 TDS 값의 차이가 적었던 것은 시료내에 포함되어 있는 혈액의 초기 용출과 막손상이 크지 않을 경우 분자량이 큰 물질의 용출이 어려웠던 것이 원인이 될 수 있을 것으로 추정되지만 원인 구명을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

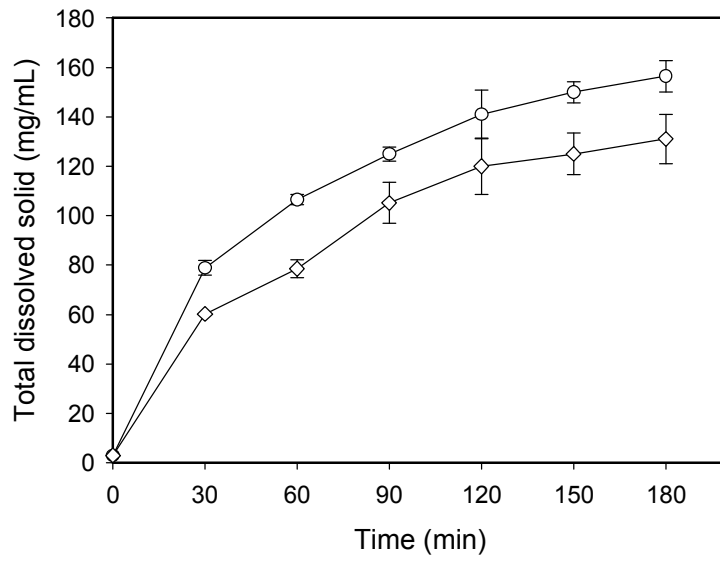


Fig. 39. Effect of electric field on total dissolve solid(TDS) disintegration of apple tissue ($E = 7000$ V).

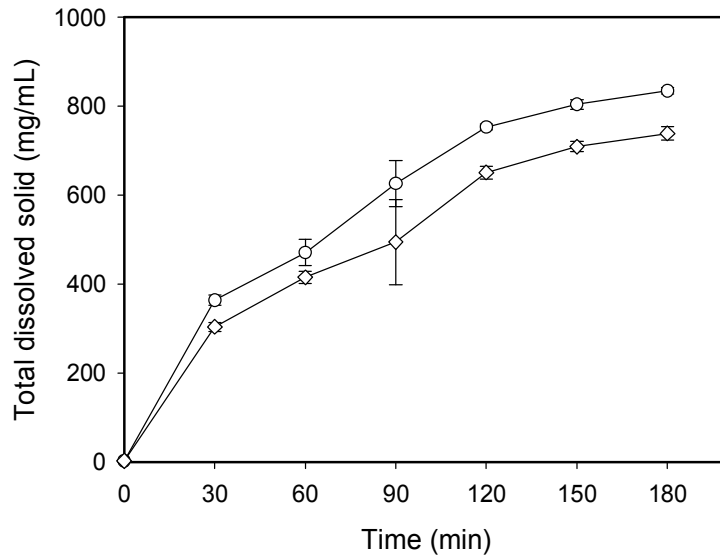


Fig. 40. Effect of electric field on total dissolve solid(TDS) disintegration of potato tissue ($E = 7000$ V).

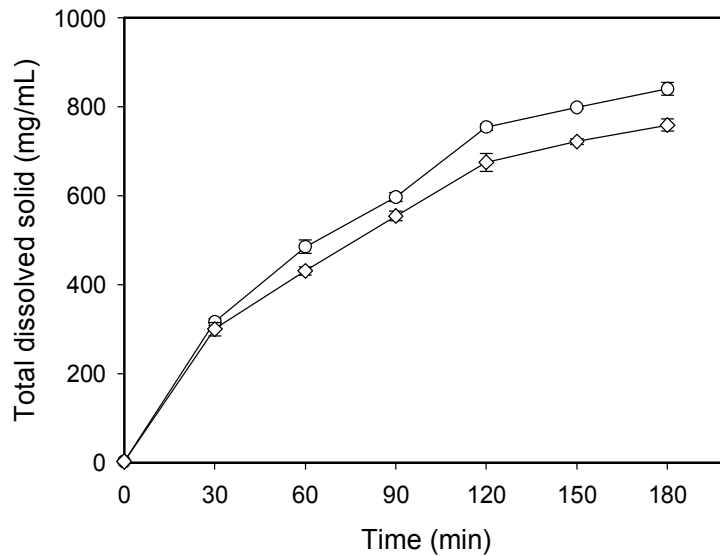


Fig. 41. Effect of electric field on total dissolved solid(TDS) disintegration of beef tissue ($E = 7000$ V).

(4) Ion leakage

Fig. 42에 전기장 유도 동결에 의한 대조구 시료와 전기장유도 동결 시료의 전도도 측정 결과에 기초한 ion leakage 값을 나타내었다. 이 측정 방법을 이용한 경우 통상 식물세포의 경우 10~20% 정도의 값은 시료 절단시 손상된 세포에서 유래한 전해질의 leakage 값을 포함하고 있기 때문에 실제 동결에 의해 손상된 세포에서 유래한 전해질 값보다 높은 값으로 측정된다. 또한 세포의 손상 정도에 대한 index를 확보하지 못했기 때문에 최종 전도도의 값을 180분으로 제한했다. 따라서 본 결과는 절대값은 아니며 일반 동결과 정전기 유도 냉동의 상대적인 세포 손상 정도를 간접적으로 확인하는 의미를 가진다고 볼 수 있다.

사과의 경우에는 ion leakage 값이 일반 -20°C 동결 시료는 85.4~88.4%였던 반면 정전기유도 동결 시료는 66.9~70.6%로 손상의 정도가 18-20% 정도 낮은 것으로 판단되었으며, 감자의 경우에는 ion leakage 값이 일반 -20°C 동결 시료는 92.6~93.7%였던 반면 정전기 유도 동결 시료는 80.1~87.8%로 약 5~12% 정도 낮은 수준이었다. 동물세포인 쇠고기의 경우에는 전술한 전도도에서 기술한 바와 같이 그 차이가 크지 않아 일반 -20°C 동결 시료는 83.4~86.3%였던 반면 정전기 유도 동결 시료는 80.3~83.9%를 나타내었다.

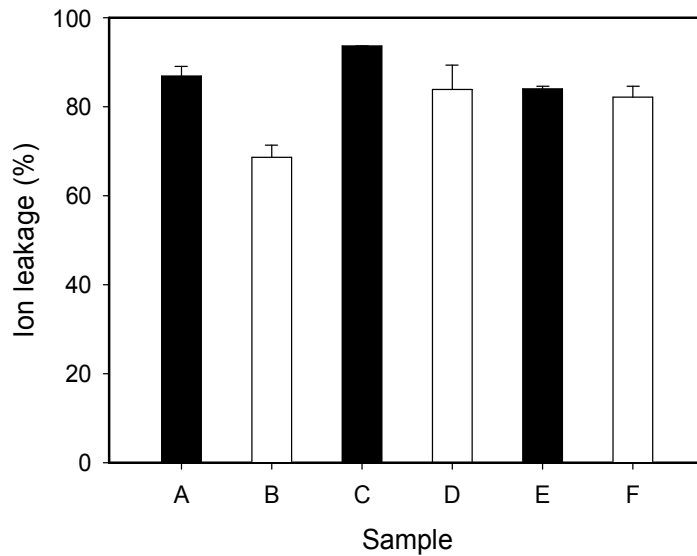


Fig. 42. Effect of electric field on percent ion leakage of apple tissue(A and B), potato tissue(C and D) and beef tissue(E and F) ($E = 7,000$ V). A; apple tissue frozen at -20°C , B; apple tissue frozen in electric field freezer at -20°C , C; potato tissue frozen at -20°C , D; potato tissue frozen in electric field freezer at -20°C , E; beef tissue frozen at -20°C , F; beef tissue frozen in electric field freezer at -20°C . Data represent means of three replications \pm standard deviations.

동결조건의 최적화와 세포 손상에 대한 index를 확보하고 시료의 처리시 유발가능한 오차를 최소화할 경우 일반 동결 시료와 정전기 유도 동결 시료간의 ion leakage 값의 차는 더욱 커질 것으로 예상된다.

나) Biological impedance analyzer를 이용한 세포 파괴도 비교

정전기장 냉동고의 세포 파괴 정도를 resistance를 이용하여 평가하고자 하였다. 시료는 $1.0\text{ cm}\times 1.0\text{ cm}\times 1.0\text{ cm}$ 의 사각형 모양으로 날카로운 칼날을 이용하여 절단한 후 -10°C 와 -20°C 에 16시간 동안 동결을 실시하였다.

동결 조건은 고전압 정전기장 유도에너지를 적용한 냉동고에서 7,000 V의 고전압을 발생시킨 상태로 동결하였으며, 일반 냉동고는 정전기장을 사용하지 않은 상태에서 냉동을 실시하였다.

Biological impedance analyzer은 NI PXIe-1073, LabVIEW Premium Suite(한국 내쇼날 인스트로먼트(주))를 이용하여 측정하였다. 측정 조건은 start Frequency [Hz] 10.00k, Stop Frequency :1.00M, Frequency steps:100으로 조정하였으며, 시료 측정 전에 ultrasound gel을 도포한 후 전극에 연결하여 측정하였다.

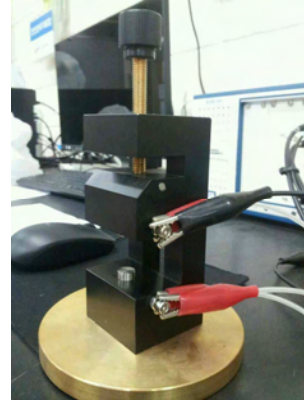


Fig. 43. NI PXIe-1073

냉동시료는 세포의 파괴 정도가 적을수록 높은 품질을 나타내는 것으로 알려져 있다. biological impedance 분석은 조직에 전류를 흘림으로서 나타나는 저항값으로서 세포의 파괴 정도를 상대적으로 비교분석할 수 있는 특징이 있다. 이는 세포의 파괴정도가 작을수록 저항값이 높아지고 세포의 파괴정도가 클수록 저항값은 낮아지는 것으로 알려지고 있다. 이는 세포내 전해질이 세포 조직의 파괴에 의해서 외부로 유출 시 발생하는 특징을 이용한 것이다.

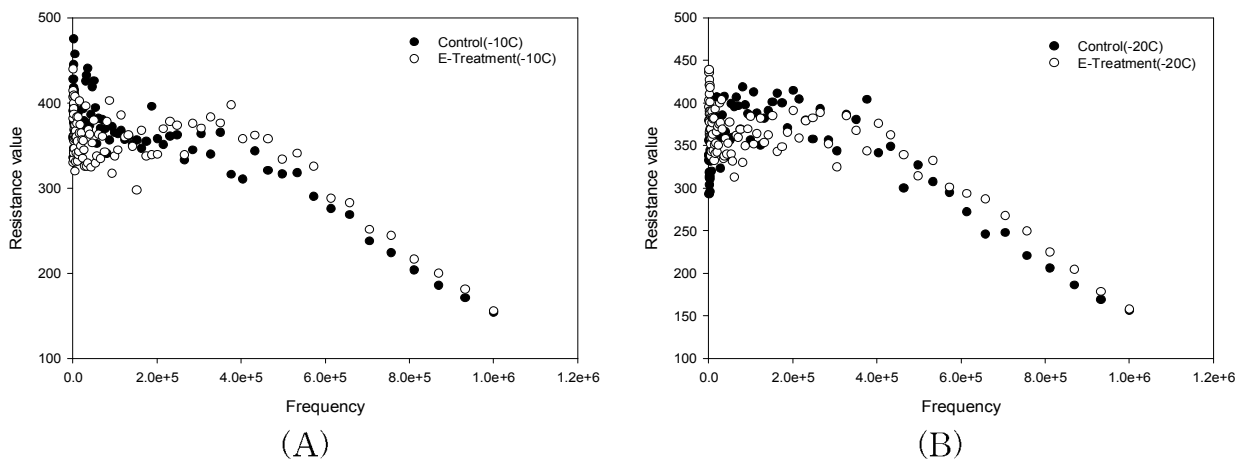


Fig. 44. Biological impedance analysis of potato tissue to freezing condition and temperature.

(A); potato tissue frozen at -10°C , (B); potato tissue frozen at -20°C , Control; air freezing, E-Treatment; freezing with electric field

냉동시료로 감자를 이용하여 BIA를 실시하였다(Fig. 44). -10°C 에서 냉동한 처리구의 경우 frequency 200k 이상에서는 고전압 전기장 유도에너지(E-Treatment)를 이용하여 냉동한 시료가 일반 냉동구(Control)에 비하여 저항값이 높게 유지되는 것으로 나타났다. 또한 -20°C 에서도 frequency 200k 이상에서 E-Treatment구가 control구에 비하여 높은 저항값을 나타내었다. 저항값은 -20°C 냉동 처리구에서 더 크게 나타났다.

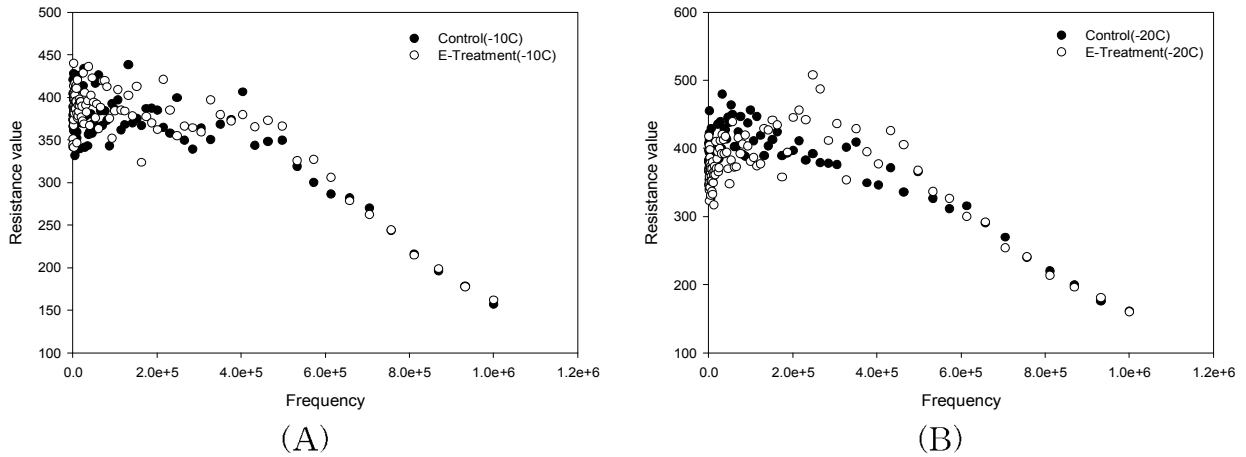


Fig. 45. Biological impedance analysis of pork tissue to freezing condition and temperature. (A); pork tissue frozen at -10°C , (B); pork tissue frozen at -20°C , Control; air freezing, E-Treatment; freezing with electric field

냉동시료로 돼지고기를 이용하여 BIA를 실시하였다(Fig. 45). -10°C 에서 냉동한 처리구의 경우 frequency 200k 이상에서는 고전압 전기장 유도에너지(E-Treatment)를 이용하여 냉동한 시료가 일반 냉동구(Control)에 비하여 저항값이 높게 유지되는 것으로 나타났다. 평균적으로 3.7%의 세포 파괴도가 낮은 것으로 계산되었다. 또한 -20°C 에서는 frequency 200k~550K 사이에서 E-Treatment구가 control구에 비하여 높은 저항값을 나타냈으나 평균적으로는 유사한 값을 나타내었다.

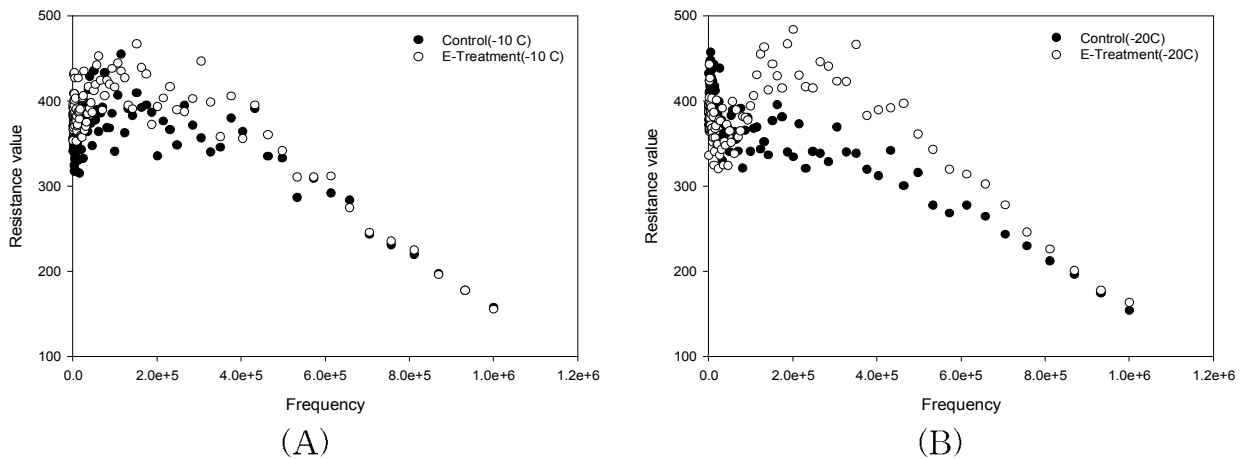


Fig. 46. Biological impedance analysis of beef tissue to freezing condition and temperature. (A); beef tissue frozen at -10°C , (B); beef tissue frozen at -20°C , Control; air freezing, E-Treatment; freezing with electric field

냉동시료로 소고기를 이용하여 BIA를 실시하였다(Fig. 46). -10°C 에서 냉동한 처리구의 경우 frequency 200k 이상에서는 고전압 전기장 유도에너지(E-Treatment)를 이용하여 냉동한 시료가 일반 냉동구(Control)에 비하여 저항값이 높게 유지되는 것으로 나타났다. 평균적으로 7.0%의 세포 파괴도가 낮은 것으로 계산되었다. 또한 -20°C 에서는 frequency 200k~800K 사이에서 E-Treatment구가 control구에 비하여 높은 저항값을 나타냈으나 평균적으로는 유사한 값을 나타내었다.

다) 조직학적 관찰을 통한 품질 분석

(1) Haematoxylin-eosin 염색법을 통한 조직학적 및 빙결정 특성 분석

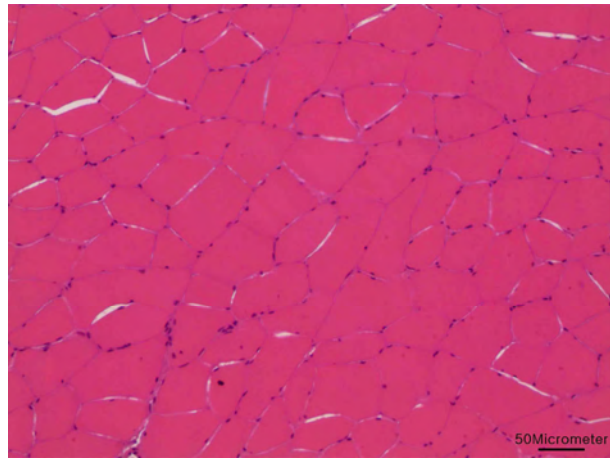
(가) 실험 방법

각각의 동결 조건에서 실험을 실시한 시편은 -20°C 의 조건에서 $1.0 \times 1.0 \times 0.5$ cm의 크기로 절단하였다. 시편은 -20°C 로 냉각된 Carnoy's 고정액(30% v/v chloroform, 60% ethanol 및 10% acetic acid)에 약 24시간 동안 -20°C 에서 고정하였다. 이 후 시편은 상온에서 온도 평형화를 시킨 후 automatic histoprocessor (TISBE tissue processor, Diapath, Martinengo, Italy)를 이용하여 파라핀을 조직에 침투시켰다. 파라핀 블록은 Microtome을 이용하여 섬유조직의 수직방향으로 $5\mu\text{m}$ 의 두께로 박절하였다. 이 조직은 haematoxylin-eosin(Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 염색을 실시하였다. 염색된 조직은 광학현미경을 이용하여 관찰하였고, 영상은 디지털 카메라를 이용하여 촬영하였다.

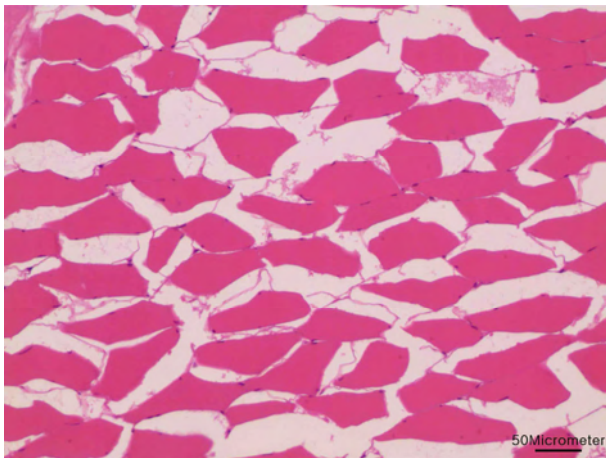
(나) 실험 결과

냉동에 의한 조직의 변화는 세포 조직의 콜로이드와 같이 빙결정구조가 형성됨으로서 세포 구조의 변형을 가져오는 것으로 알려져 있다. 이는 동결이 세포내부의 수분을 빙결정으로 구성하면서 수소결합과 같은 내부 결합이 진행되도록 하면서 빙결정의 크기를 키워나가는 것으로 알려져 있다. 이러한 구조가 작을수록 조직 파괴 등에 의한 드립 발생이 감소되며 해동시 생시료에 근접한 품질을 유지할 수 있는 것이다.

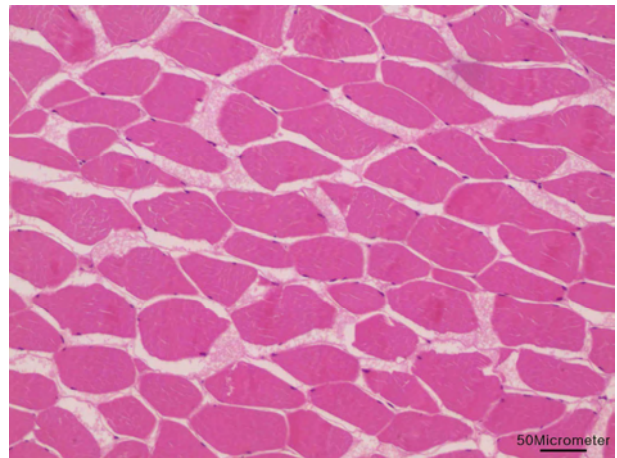
본 실험은 소고기에 대한 생 시료와 동결 방법에 따른 시료간의 조직학적 비교를 실시하였다(Fig. 47). 조직학적 조사를 통해서 세포 조직내 빙결정의 크기를 간접적으로 측정할 수 있다. 조직학적 검사 결과 생 시료(unfrozen meat)의 경우 규칙적인 모양으로 전면이 붉은색으로 고루 잘 염색이 이루어진 것으로 볼 수 있으며, 세포간의 사이의 간격만이 보였다. 반면, 냉동 시료의 경우, 세포와 세포 사이의 간격이 크지는 것을 볼 수 있으며, -10°C 냉동구에서 고전압 정전기 유도 에너지를 적용한 시료가 간격의 폭이 일반 냉동 시료구에 비하여 작은 것을 알 수 있었다. 이는 냉동에 의해서 빙결정이 세포외부로 형성이 된 것으로 판단될 수 있다. 이러한 현상이 고전압 정전기 유도에너지를 적용할 경우 세포벽 외부로의 빙결정 형성이 작아지는 것으로 판단될 수 있다. 또한, 고전압 정전기 유도 에너지를 적용한 시료의 세포 조직내부에서 얇게 형성된 빙결정을 희미하게 나타나는 것을 확인하였다.



(A)



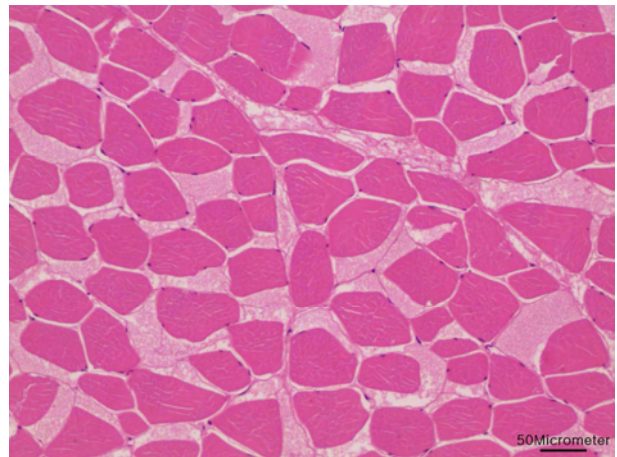
(B)



(C)



(D)



(E)

Fig. 47. Micrographs of beef frozen under different freezing conditions and temperature. (A); unfrozen beef, (B); beef tissue frozen at -10°C , (C); beef tissue frozen in electric field freezer at -10°C , (D); beef tissue frozen at -20°C , (E); beef tissue frozen in electric field freezer at -20°C

이는 세포 내부 조직에서 정전기장의 영향에 의해 생성되는 작은 빙결정 조직으로 판단된다. 이러한 조직내부의 빙결정이 세포 외부의 빙결정 조직의 형성을 억제한 것으로 판단된다.

-20℃의 동결 시료에서도 고전압 정전기 유도 에너지를 적용한 시료의 경우 세포 내부의 작은 빙결정이 형성된 흔적을 관찰 할 수 있었다. 세포외부의 빙결정 조직은 일반 -20℃의 동결 시료와 큰 차이는 나타내지 않았으나, 세포의 모양은 고전압 정전기장 유도 에너지를 적용한 시료가 일반 냉동구에 비하여 좀더 생시료의 형태와 유사한 것으로 보여졌다.

(2) 주사전자현미경(SEM) 관찰을 통한 조직학적 품질 비교

(가) 실험 방법

시료의 일정 부위를 Gold-palladium으로 Ion sputter(C1010 Hitachi, Japan)를 이용하여 Coating 하였다. 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope S2380N, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 시료의 단면 미세구조를 보기 위하여 각각의 시료에 적절한 배율로 검경하여 나타내었다.

(나) 실험 결과

일반적으로 식물조직은 동결 시 얼음 입자가 거의 모두 세포 밖으로 형성된다고 알려져 있다. 식품을 동결시켰을 때 생기는 물리적 변화로는 체적의 증가, 수분의 이동, 조직의 기계적 손상 등이 있는데 식품에 존재하는 수분이 얼음입자로 전환되면 용적이 팽창되고 이로 인한 조직의 파괴가 유도되는 것으로 알려지고 있다.

감자 시료의 동결 방법에 따른 미세구조를 관찰한 결과는 Fig. 48에 나타내었다. 고전압 정전기장 유도에너지(7,000V)를 적용한 냉동 시료의 경우 대조구의 세포벽 및 조직이 심하게 파괴되는 것과 비교하여 상대적으로 조직의 파괴정도가 약하였다. -10℃에 비하여 -20℃의 시료구의 세포의 파괴정도가 더 큰 것으로 나타났으며, -20℃에서는 고전압 정전기장 유도에너지를 적용한 냉동 시료가 대조구에 비하여 미세구조가 안정화되어 있는 것으로 나타났다. 또한, -20℃의 일반 냉동 시료는 세포 조직의 크기가 고전압 정전기장 유도에너지를 적용한 냉동 시료에 비하여 상대적으로 커지는 것을 관찰 할 수 있었다. 이러한 현상은 빙결정 조직의 크기와 연관되는 것으로 유추할 수 있을 것으로 판단되었다.

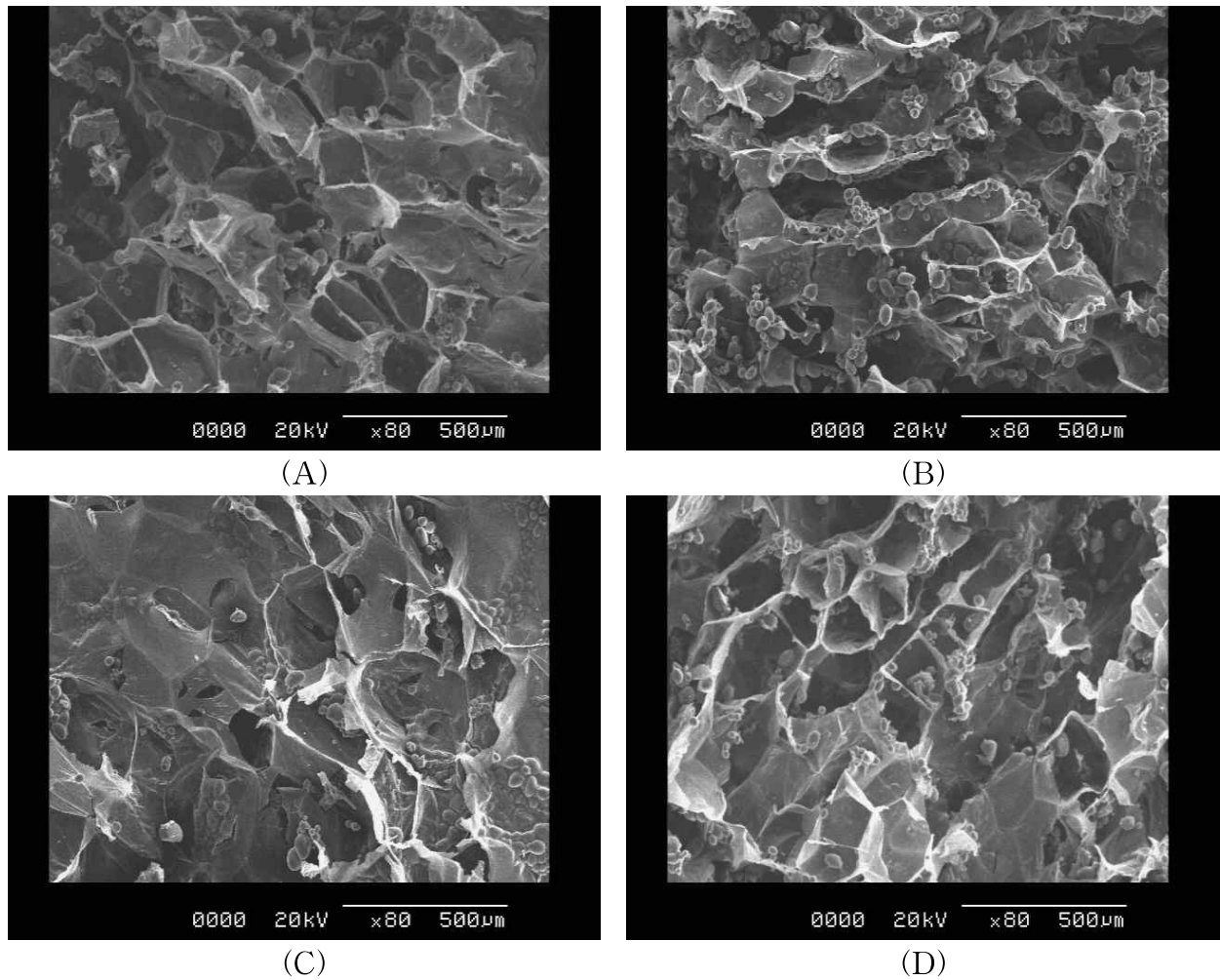


Fig. 48. Scanning electron micrographs of potato by freezing condition and temperature. (A); potato tissue frozen at -10°C ($\times 80$), (B); potato tissue frozen in electric field freezer at -10°C ($\times 80$), (C); potato tissue frozen at -20°C ($\times 80$), (D); potato tissue frozen in electric field freezer at -20°C ($\times 80$).

소고기 시료의 동결 방법에 따른 미세구조를 관찰한 결과는 Fig 49에 나타내었다. 고전압 전정기장 유도에너지(7,000V)를 적용한 냉동 시료의 경우 대조구에 비하여 세포벽 및 조직의 변화가 심하지 않은 것으로 관찰되었다. 또한, -10°C 에 비하여 -20°C 의 시료구의 세포의 파괴정도가 더 큰 것으로 나타났으며, -20°C 에서도 고전압 전정기장 유도에너지를 적용한 냉동 시료가 대조구에 비하여 미세구조의 변화가 적은 것을 관찰할 수 있었다.

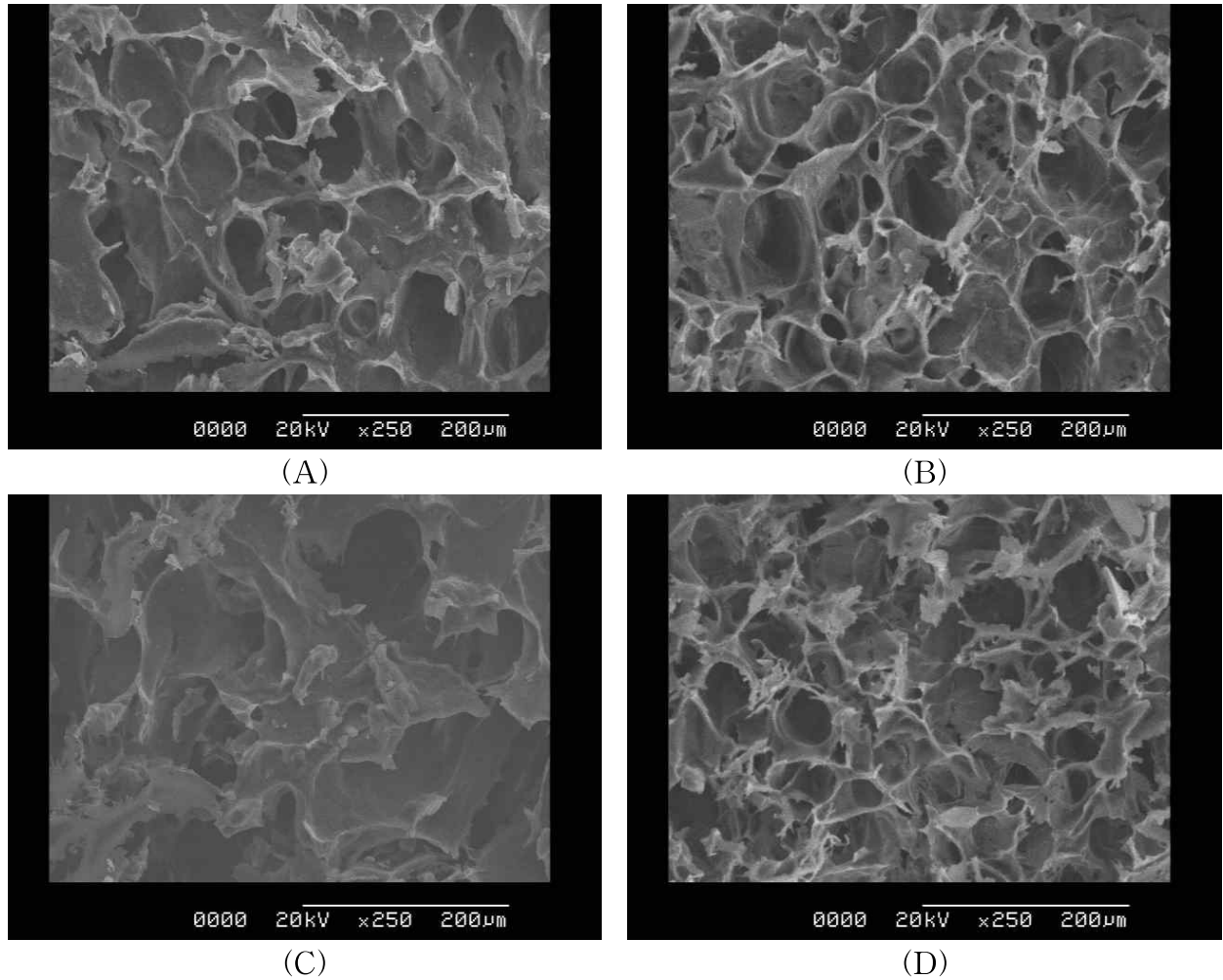


Fig. 49. Scanning electron micrographs of beef by freezing condition and temperature. (A); beef tissue frozen at -10°C ($\times 250$), (B); beef tissue frozen in electric field freezer at -10°C ($\times 250$), (C); beef tissue frozen at -20°C ($\times 250$), (D); beef tissue frozen in electric field freezer at -20°C ($\times 250$).

대구 시료의 동결 방법에 따른 미세구조를 관찰한 결과는 Fig 50에 나타내었다. 대구 시료의 경우에도 감자 및 소고기의 시료와 유사한 경향을 나타내어, 고전압 전정기장 유도에너지 (7,000V)를 적용한 냉동 시료의 경우 대조구에 비하여 세포벽 및 조직의 변화가 심하지 않은 것으로 관찰되었다. 또한, -10°C 에 비하여 -20°C 의 시료구의 세포의 파괴정도가 더 큰 것으로 나타났으며, -20°C 에서도 고전압 전정기장 유도에너지를 적용한 냉동 시료와 대조구와의 차이는 관찰되지 않았다.

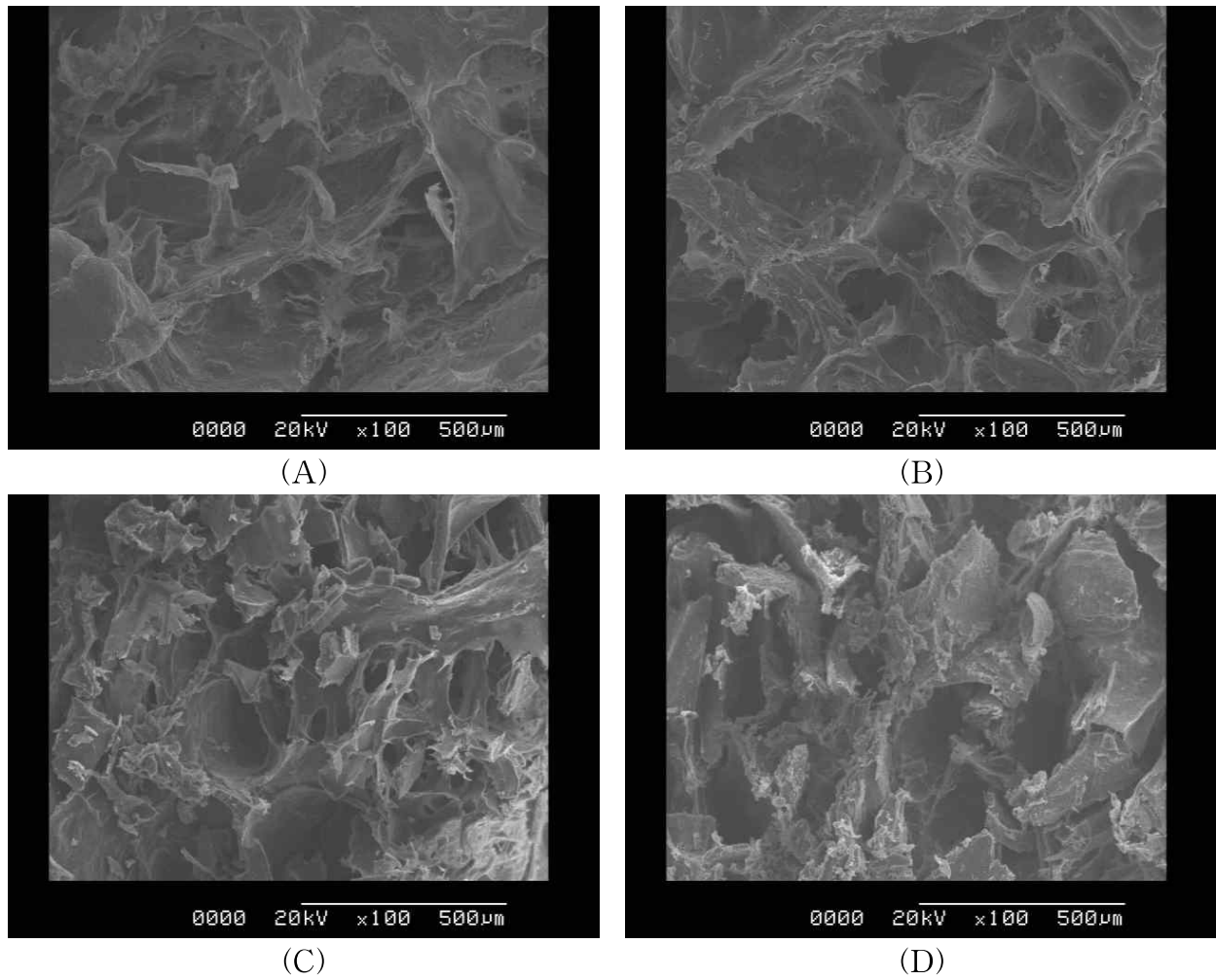


Fig. 50. Scanning electron micrographs of codfish by freezing condition and temperature. (A); codfish tissue frozen at -10°C ($\times 100$), (B); codfish tissue frozen in electric field freezer at -10°C ($\times 100$), (C); codfish tissue frozen at -20°C ($\times 100$), (D); codfish tissue frozen in electric field freezer at -20°C ($\times 100$).

(3) 현미경적 관찰을 통한 조직학적 및 빙결정 특성 분석

(가) 실험방법

각각의 동결 조건에서 실험을 실시한 시편은 -20°C 의 조건에서 $1.0 \times 1.0 \times 0.5$ cm의 크기로 절단하였다. 이러한 시료를 OCT compound에 embedding하여 block으로 만들고, -20°C 의 온도에서 section을 시행하였다. -20°C 의 조건에서 section 된 시료를 -20°C 조건에서 이동형 영상처리장치를 이용하여 시료 표면을 조사하였다.

(나) 실험결과

돼지고기 및 소고기 시료의 냉동 방법에 따른 세포구조 변화 및 빙결정에 대한 영상처리 결과는 아래의 Fig. 51에 나타내었다. 아래 그림에서 (A) 시료의 경우 시료의 조직사이에서 화살표(\rightarrow)로 표시된 바와 같이 큰 빙결정이 발견되었다. 반면 동일 돼지고기 시료인 (B)에서는 화살표에 나타난 바와 같이 얼음 구조가 작은 알갱이로 형성되어 있는 것으로 나타났다. 돼지고기 시료의 경우 염색을 하지 않은 광학현미경적 구조에서는 세포의 조직을 잘 구분하기 어려웠다.

소고기 시료의 경우 냉동 방식에 따른 세포 조직의 형태학적 차이가 발생하였다. (C)와 (D)는 cryosection을 실시한 조직에 대한 사진으로서 화살표(\rightarrow)에서 지적인 바와 같이 (C)의 것이 (D)의 것 보다 조직이 두꺼워진 것을 알 수 있었다. 이는 위의 H&E 염색에 의한 조직학적 관찰의 결과와 유사한 것을 알 수 있었다. 이는 -20°C 의 시료군에서도 고전압 정전기 유도에너지를 적용한 냉동 제품의 품질이 일반 냉동 제품에 비하여 우수할 수 있을 것으로 유추될 수 있다. 또한, (E)와 (F)의 경우에도 일반 냉동 시료에서 화살표(\rightarrow)에서 지적인 바와 같이 조직이 두꺼워지는 현상을 발견할 수 있었으며, 이는 냉동에 의한 빙결조직의 형성에 의하여 발생하는 현상으로 판단할 수 있었다.

광학적 조직 특성에서도 고전압 정전기 유도에너지를 적용할 경우 세포벽 외부로의 빙결정 형성이 작아지는 것으로 판단할 수 있었으며, 이러한 조직이 냉동 품질을 높일 수 있는 하나의 특징이 될 수 있을 것으로 판단되었다.

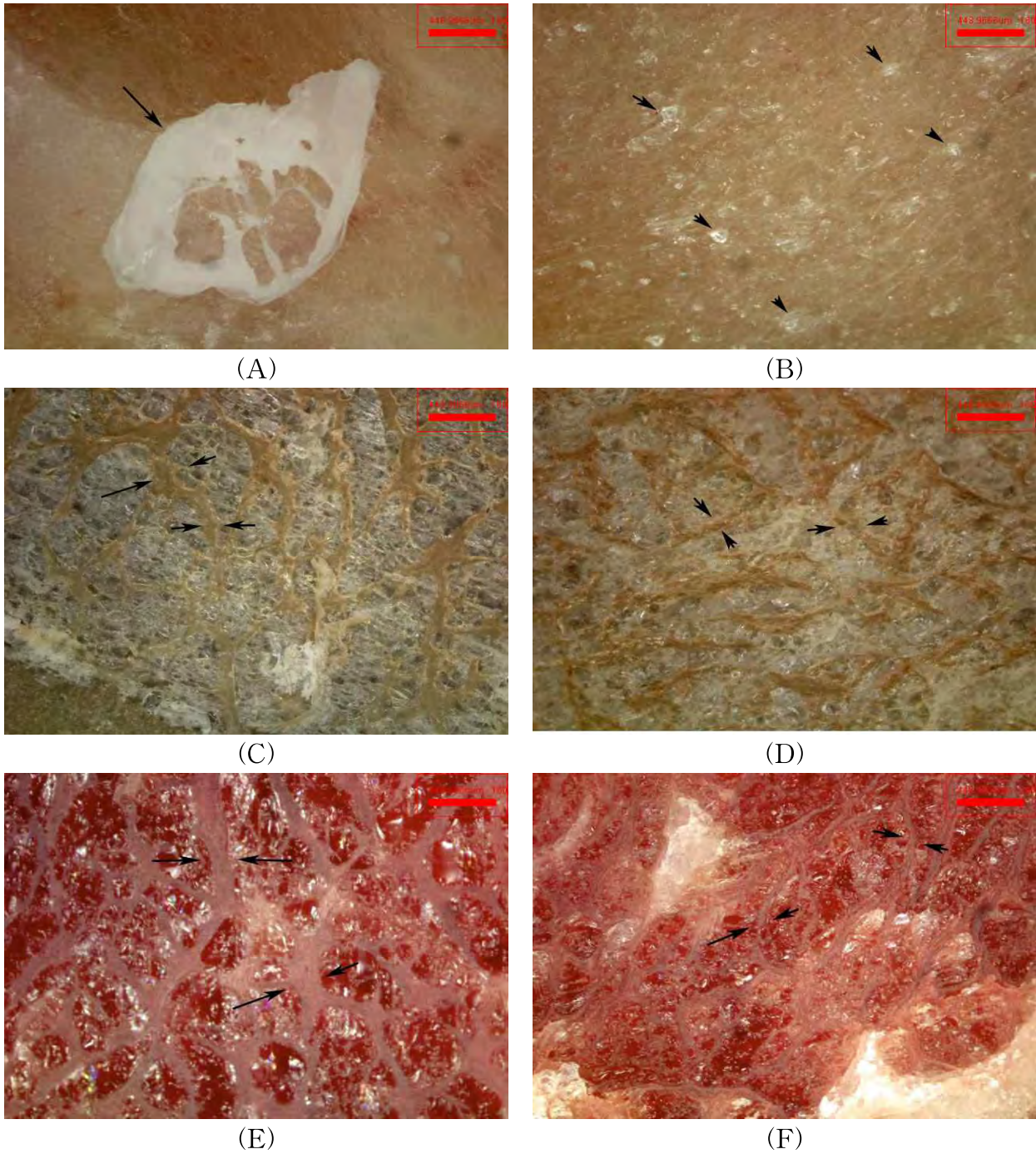


Fig. 51. Photographs of beef and pork tissue to freezing conditions
 (A); pork tissue frozen at -20°C , (B); pork tissue frozen in electric field freezer at -20°C ,
 (C); beef tissue frozen at -20°C I, (D); beef tissue frozen in electric field freezer at -20°C
 I; (E); beef tissue frozen at -20°C II, (F); beef tissue frozen in electric field freezer at
 -20°C II

3) 냉동처리조건 및 온도별 품질 변화 측정

가) 실험 방법

(1) 시료 처리

정전기장 조건에서의 냉동 중 시료의 품질변화를 관찰하기 위해 정전기장 조건을 0, 3,000, 7,000 V로 달리하였다. 냉동 온도는 -20°C 와 -10°C 도 달리하였으며 시료는 쇠고기 등심, 명태, 감자를 사용하였다. 시료는 각각 일정한 크기로 슬라이스 하여 냉동 저장하였으며 품온이 각각 -20°C 와 -10°C 에 도달할 때까지 냉동한 후 실험하였다.

(2) 일반 미생물

시료는 각각 10g 씩 취한 후 멸균된 0.85% saline 용액으로 10배 희석하여 stomacher (Bagmixer R400, interscience, Saint Nom, France)로 균질화 한 후 단계 희석하여 실험을 실시하였다. 시험용액 및 각 단계 희석액 1 mL씩을 멸균 페트리접시에 무균적으로 취하여 agar를 약 15 mL를 분주하여 pouring culture method로 접종한 다음 일반세균은 $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 24~48시간 배양하여 colony수를 측정하여 colony forming unit(CFU/g)으로 표시하였다. 실험에 사용된 배지는 일반세균의 경우 plate count agar(Difco, Detroit, MI, USA)를 사용하였다.

(3) TBA (thiobarbituric acid) value 측정

지방의 산패도를 나타내는 TBA값을 측정하였다. 즉, 10 g의 시료에 실험중의 산화방지를 위하여 BHA 50 μg 첨가 후 20% TCA용액 25 mL을 첨가하여 2분간 14000 rpm으로 균질화 하고 volumetric flask에 넣어 증류수로 50 mL이 되게 하였다. 이를 균일하도록 흔들어준 다음 여과지 (Watman No.1, Japan)로 여과시킨 후 여과액 중 3 mL을 취해 test tube에 넣고 0.005 M 2-thiobarbituric acid 3 mL을 넣고 잘 혼합한 후 실온암소에서 15시간 동안 활성화시킨 후 530 nm의 흡광도에서 측정하였다.

(4) VBN (volatile basic nitrogen) value 측정

단백질 부패도를 나타내는 VBN값은 Conway unit로 측정하였다. 즉, 시료를 블렌드로 간 다음 5 g을 증류수 45 mL을 가하여 14,000 rpm에서 5분간 균질화한 후 균질액을 여과지 (Watman No.1)로 여과 시킨 후 여액 중 1 mL을 취해 Conway unit의 외실에 넣고 내실에 0.005 N H_2SO_4 1 mL을 넣은 후 빨리 뚜껑을 닫은 후 외실에 포화 K_2CO_3 1 mL을 넣고 바로 밀폐하였다. 용기를 수평으로 회전하여 외실의 sample과 K_2CO_3 가 섞이게 한 후 25°C 의 incubator에서 60 분간 활성화 시켰다. 뚜껑을 조심스럽게 열고 H_2SO_4 에 0.01 N NaOH로 신속히 적정하였다.

나) 실험 결과

대구 냉동온도에 따른 품질을 비교하기 위해 온도를 -20°C 와 -10°C 에서 품온이 각각 -18°C 와 -10°C 까지 떨어질 때까지 동결한 다음 품질을 비교하였다. 드립률의 결과는 Fig. 52와 같다. 드립률은 5°C 에서 15시간 방치한 후 측정하였다. -20°C 냉동 후 드립률을 측정한 결과 대조구는 1.09%였으며 전기장 처리구는 0.74%로 나타났다. -10°C 냉동 후 드립률은 각각 1.71% 및 1.41%였다. 대조구 및 처리구 모두 -20°C 저장시 -10°C 에 비해 드립률이 0.4%수준 낮게 나타났다. 생선의 저장 온도를 달리하여 냉동한 생선의 VBN의 결과는 Fig. 53에 나타나 있다. 단백질의 부패도를 나타내는 VBN 값은 단백질이 albumose, peptone, peptide, amino acid 등으로 분해된 후 세균의 환원작용으로 생성된 것으로 저장 중 VBN 함량 증가는 단백질의 분해를 나타내는 것으로 보여지며 -20°C 냉동의 경우 대조구의 VBN이 15.87 mg%이며 처리구의 VBN은 13.49 mg%로 나타나 2.4 mg% 수준 차이를 보였다. 온도에 따른 변화는 대조구의 경우 -20°C 냉동의 경우 15.87 mg%이며 -10°C 의 경우 17.27 mg%로 차이를 나타내었으며 처리구의 경우에는 큰 차이를 보이지 않았다.

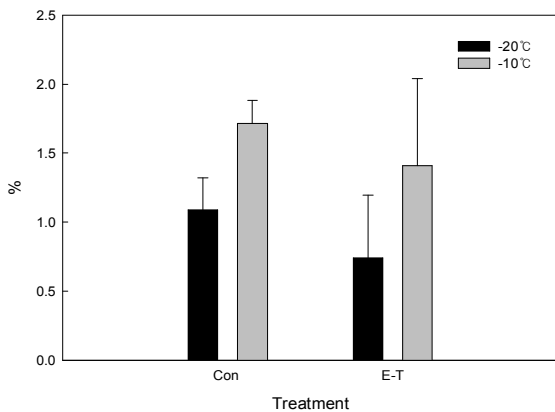


Fig. 52. Drip loss of frozen fish with different freezing condition.

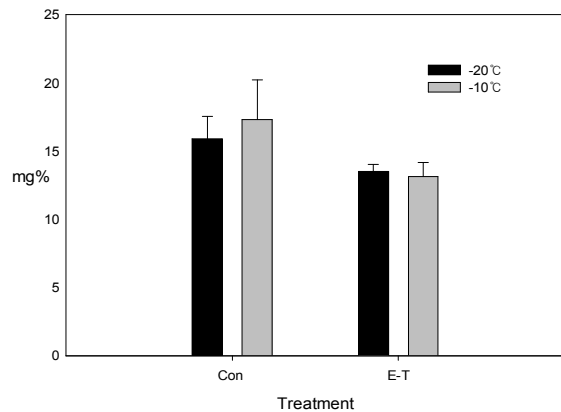


Fig. 53. VBN of frozen fish with different freezing condition.

소고기의 냉동온도에 따른 품질을 비교하기 위해 온도를 -20°C 와 -10°C 에서 품온이 각각 -20°C 와 -10°C 까지 떨어질 때까지 동결한 다음 품질을 비교하였다. -20°C 에서 냉동 후 대조구의 드립률은 2.32%로 -10°C 냉동 후 드립률 4.22%보다 낮은 수준을 나타내었다. 처리구의 드립률을 냉동에 따른 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 54). 소고기의 VBN의 결과는 Fig. 55에 나타내었다. -20°C 냉동시 대조구의 VBN은 6.83 mg%수준이었으며 처리구도 6.54 mg%으로 비슷한 수준을 나타내었다. -10°C 냉동시 대조구와 처리구의 경우 8.56 mg%와 7.27 mg%로 -20°C 냉동에 비해 조금 높은 수준을 나타내었다.

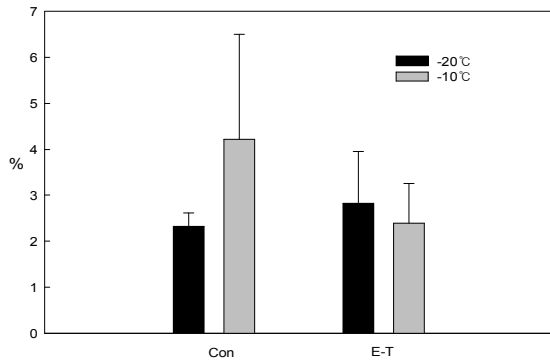


Fig. 54. Drip loss of frozen beef with different freezing condition.

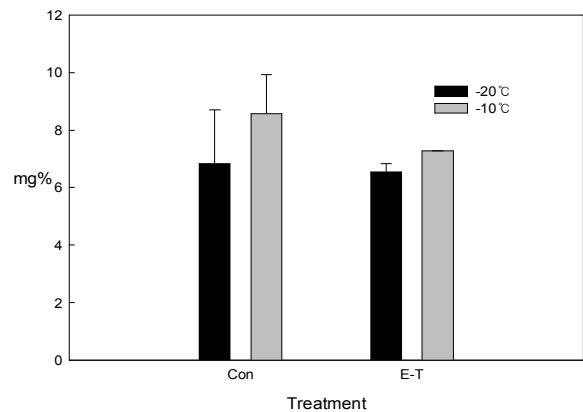


Fig. 55. VBN of frozen beef with different freezing condition.

감자의 냉동온도에 따른 품질을 비교하기 위해 온도를 -20°C 와 -10°C 에서 품온이 각각 -20°C 와 -10°C 까지 떨어질 때까지 동결한 다음 품질을 비교하였다. 감자의 드립률은 -20°C 냉동의 경우 12.65% 수준이었으며 -10°C 냉동의 경우 18.41%로 -20°C 냉동 시 드립률이 낮았으며 처리구와 대조구와는 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 56). Vit C의 경우도 드립률이 많은 -10°C 처리구에서 낮은 수준으로 나타내었다(Fig. 57)..

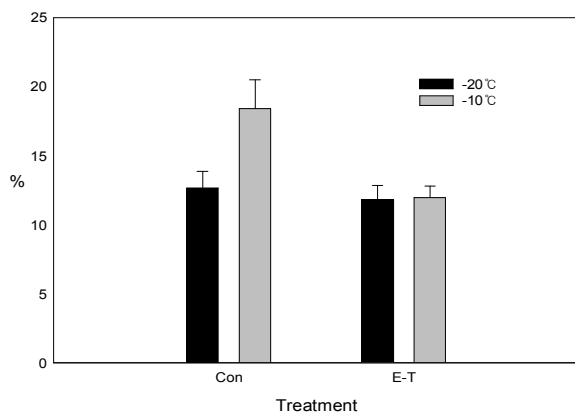


Fig. 56. Drip loss of frozen Potato with different freezing condition.

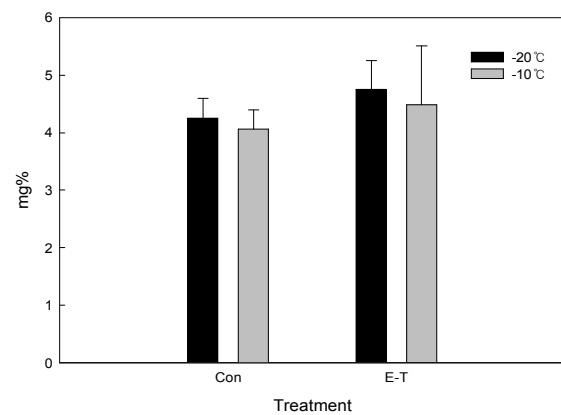


Fig. 57. Vit C of frozen Potato with different freezing condition.

정전기장 세기에 따른 동결 변화를 관찰하기 위해 감자를 냉동온도 -20°C 와 -10°C 에서 정전기장의 세기를 0, 3,000, 7,000 V로 달리하여 냉동한 후 드립률을 측정된 결과는 Fig. 58과 같다. -20°C 냉동의 경우 대조구의 드립률은 12.65% 수준이었으며 정전기장 세기 3,000 V 처리구의 경우 12.84% 및 7,000 V 처리구는 11.83%로 대조구에 비해 처리구의 드립률이 낮은 수준을 나타내었다. -10°C 처리구의 경우도 마찬가지로 대조구 18.41%에 비해 처리구 11.25~11.96%의 드립률이 낮았다. 비타민 C함량은 생시료의 경우 4.60 mg% 수준이었으며 냉동후 대조구는 4.06~4.25 mg% 수준으로 다소 감소하였으나 정전기장 처리구는 온도에 관계없이 4.49

~4.75 mg%수준을 유지하였다(Fig. 59).

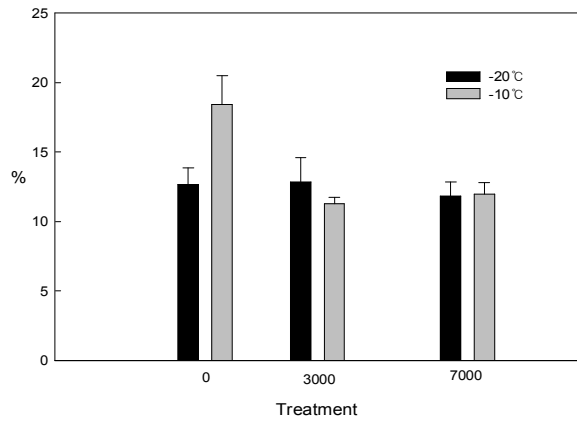


Fig. 58. Drip loss of frozen potato with different freezing condition.

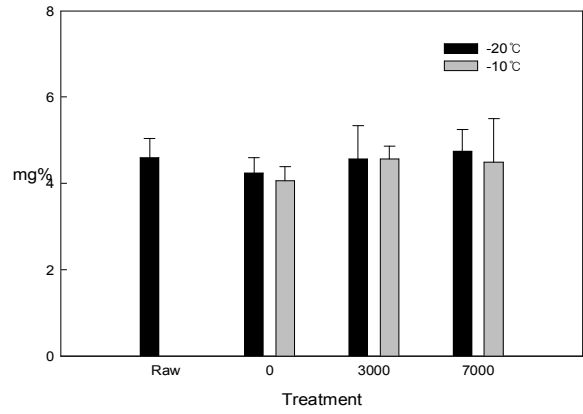


Fig. 59. Vit C of frozen potato with different freezing condition.

6. 마이너스 해동에 따른 효과 분석

가. 마이너스 해동 조건 설정

마이너스 해동은 고전압 정전기장 유도에너지 발생장치 및 생성에너지를 이용하여 해동하는 것을 기반으로 설정하였다. 일반적으로 해동은 빙결정대 온도 이상의 온도에서 해동이 가능한 것으로 알려져 있다.

본 실험에서는 고전압 정전기장 유도에너지를 이용하여 $-1\sim 5^{\circ}\text{C}$ 사이에서 해동을 실시하였다. 고전압 정전기장 유도에너지를 적용한 냉동고의 온도를 0°C 로 설정하고 온도를 측정하였다. 각각의 해동기에 대한 내부 온도 분포는 Fig. 60에 나타내었다.

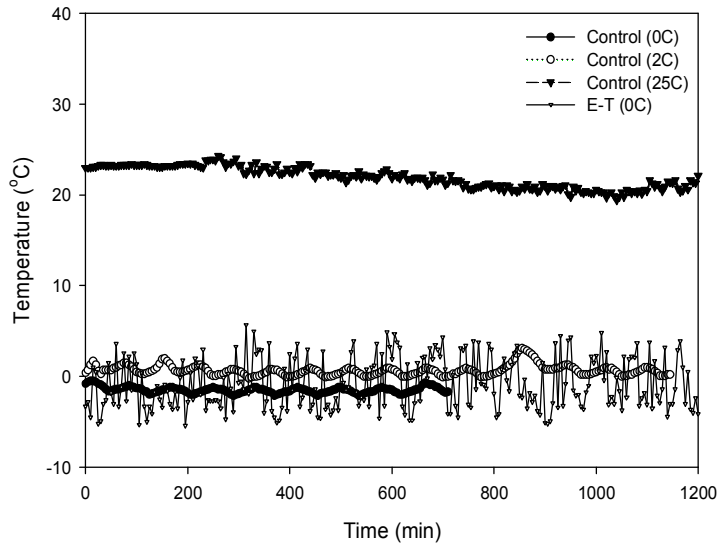


Fig. 60. Changes in temperature of thawing system

일반 냉장고 0°C 의 평균 온도는 $-1.5\pm 0.34^{\circ}\text{C}$ 로 나타났으며, 2°C 해동기의 평균온도는 $0.657\pm 0.584^{\circ}\text{C}$, 25°C 해동기는 $22.085\pm 1.268^{\circ}\text{C}$ 로 나타내었다. 반면 고전압 정전기 유도에너지를 적용한 해동기(E-T)의 경우 $-0.45\pm 2.871^{\circ}\text{C}$ 로 정확한 온도는 측정이 되지 않았다. 일반 냉장고와 동일한 기기를 사용함으로써 일반 냉장고 0°C 의 해동 온도와 동일한 것으로 판단하고 실험에 사용하였다.

1) 고전압 정전기 유도 방식을 적용한 해동기의 마이너스 해동 효과 조사

- 해동속도 및 방법에 따른 비교 분석 -

가) 시료 제조

(1) 냉동 조건

해동기의 효과를 조사하기 위하여 본 실험은 1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm 크기의 시편을 제작한 후 일반 냉동실에서 16시간동안 -20℃에서 동결을 실시하였다. 동결시 온도 측정을 위하여 각각의 시편에 data logger를 삽입한 후 동결 조건에서 온도를 연속적으로 측정하였다.

(2) 해동 조건

해동기의 효과를 조사하기 위하여 동결된 시편은 각각의 해동 조건에서 해동을 실시하였다. 해동은 동일한 조건으로 동결된 시편을 -0℃ 일반 냉장고, -0℃ 고전압 유도장치가 부착된 냉장고, 2℃ 일반 냉장고 및 25℃ 일반 냉장고에서 해동을 실시하였다.

나) 결과 및 고찰

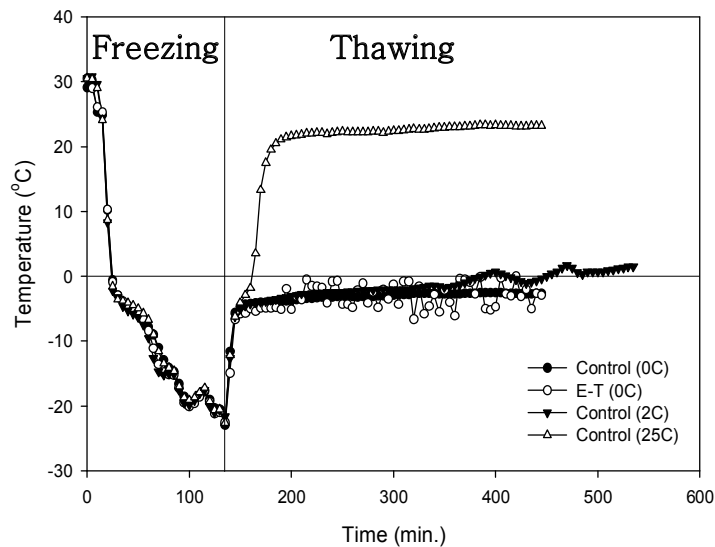


Fig. 61. Changes of potato tissue temperature under different thawing conditions and temperature

Control; air thawing, E-T; electric field thawing,

감자 시편의 경우 -20℃ 조건에서 동결 시 30℃에서 -20℃로 동결되는 시간은 약 135분이 소요되었다. 이 후 각각의 해동 조건에서 해동을 실시한 결과, 25℃ 해동조건에서는 해동기의 평균온도인 22℃까지 도달 시간은 약 75분이 소요되었으며, 2℃의 해동조건에서는 해동기의 평균온도인 0.6℃까지 도달 시간이 약 325분이 소요되었다. 반면 0℃의 해동조건에서는 해동기의

평균온도인 -1.5°C 까지의 도달 시간이 약 800분이 소요되었다. 이에 반하여 고전압 정전기 유도 에너지를 적용한 0°C 해동기의 경우 정확한 온도 측정이 불가능하여 해동 소요 시간을 계산하지는 못하였다.

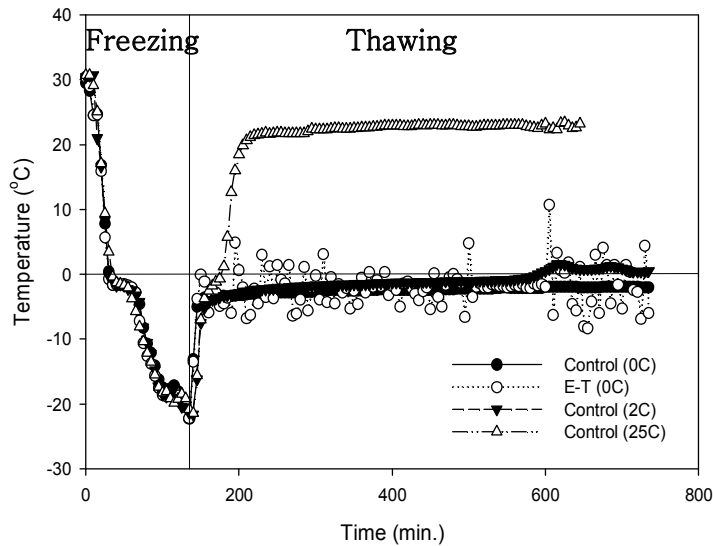


Fig. 62. Changes of beef tissue temperature under different thawing conditions and temperature

Control; air thawing, E-T; electric field thawing,

소고기 시편의 경우 -20°C 조건에서 동결 시 30°C 에서 -20°C 로 동결되는 시간은 약 125분~135분이 소요되었다. 이 후 각각의 해동 조건에서 해동을 실시한 결과, 25°C 해동조건에서는 해동기의 평균온도인 22°C 까지 도달 시간은 약 155분이 소요되었으며, 2°C 의 해동조건에서는 해동기의 평균온도인 0.6°C 까지 도달 시간이 약 465분이 소요되었다. 반면 0°C 의 해동조건에서는 해동기의 평균온도인 -1.5°C 까지의 도달 시간이 약 650분이 소요되었다. 이에 반하여 고전압 정전기 유도 에너지를 적용한 0°C 해동기의 경우 정확한 온도 측정이 불가능하여 해동 소요 시간을 계산하지는 못하였다(Fig. 62).

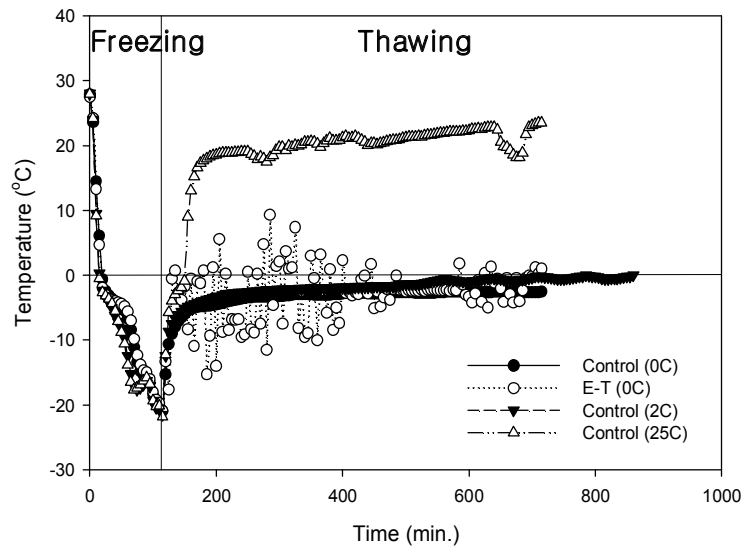


Fig. 63. Changes of tomato tissue temperature under different thawing conditions and temperature

Control; air thawing, E-T; electric field thawing,

방울토마토 시료의 경우 -20°C 조건에서 동결 시 30°C 에서 -20°C 로 동결되는 시간은 약 115분이 소요되었다. 이 후 각각의 해동 조건에서 해동을 실시한 결과, 25°C 해동조건에서는 해동기의 평균온도인 22°C 까지 도달 시간은 약 450분이 소요되었으며, 2°C 의 해동조건에서는 해동기의 평균온도인 0.6°C 까지 도달 시간이 약 510분이 소요되었다. 반면 0°C 의 해동조건에서는 해동기의 평균온도인 -1.5°C 까지의 도달 시간이 약 1,285분이 소요되었다. 이에 반하여 고전압 정전기 유도 에너지를 적용한 0°C 해동기의 경우 정확한 온도 측정이 불가능하여 해동 소요 시간을 계산하지는 못하였다(Fig. 63).

냉동 시료에 대한 해동 방식별 드립률 측정 결과는 Fig. 64에 나타내었다. 감자 시료의 경우 고전압 정전기 유도에너지를 적용한 0°C 해동기(E-T 해동기)에서 해동한 시료가 해동 후 $25.82 \pm 3.02\%$ 의 드립률을 나타내어 감자 시료 중 가장 낮은 드립률을 나타내었다. 반면, 0°C 일 반냉장고에서 해동한 시료의 경우 $35.56 \pm 5.42\%$ 의 드립률을 나타내어 E-T 해동 효과가 약 27% 이상 증가되는 것으로 나타났다. 또한 2°C 에서 해동한 시료는 $41.31 \pm 1.23\%$ 의 드립률을 나타내었으며, 25°C 에서는 $44.05 \pm 2.27\%$ 의 드립률을 나타내었다.

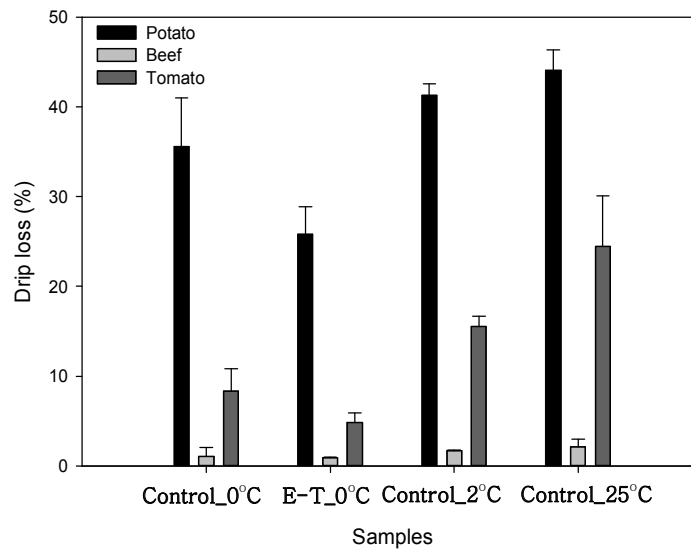











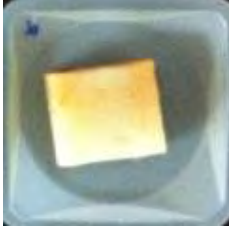






Fig. 64. Changes of drip loss rate under different thawing conditions and temperature
Control; air thawing, E-T; electric field thawing,

소고기 시료의 경우 고전압 정전기 유도에너지를 적용한 0°C 해동기(E-T 해동기)에서 해동한 시료가 해동 후 $0.89 \pm 0.07\%$ 의 드립률을 나타내어 소고기 시료 중 가장 낮은 드립률을 나타내었다. 반면, 0°C 일반냉장고에서 해동한 시료의 경우 $1.08 \pm 0.97\%$ 의 드립률을 나타내어 E-T 해동 효과가 약 17% 이상 증가되는 것으로 나타났다. 또한 2°C에서 해동한 시료는 $1.69 \pm 0.09\%$ 의 드립률을 나타내었으며, 25°C에서는 $2.09 \pm 0.90\%$ 의 드립률을 나타내었다. 소고기의 경우 드립률의 차이가 크게 발생하지는 않았다.

방울토마토 시료의 경우 고전압 정전기 유도에너지를 적용한 0°C 해동기(E-T 해동기)에서 해동한 시료가 해동 후 $4.83 \pm 1.11\%$ 의 드립률을 나타내어 방울토마토 시료 중 가장 낮은 드립률을 나타내었다. 반면, 0°C 일반냉장고에서 해동한 시료의 경우 $8.35 \pm 2.48\%$ 의 드립률을 나타내어 E-T 해동 효과가 약 42% 이상 증가되는 것으로 나타났다. 또한 2°C에서 해동한 시료는 $15.54 \pm 1.14\%$ 의 드립률을 나타내었으며, 25°C에서는 $24.45 \pm 5.64\%$ 의 드립률을 나타내었다.

전반적으로 해동에 대한 효과를 온도변화, 드립률 및 사진으로 확인해 본 결과(Table 11), 해동 온도가 낮을수록 품질에 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 해동 온도가 영하의 온도(-1~-5°C)일 때 해동 효과가 더욱 좋아 질수 있을 것으로 판단되었다. 또한, 고전압 정전기 유도방식을 적용한 해동기의 경우, 감자의 색상 변화를 감소시킬 수 있는 것으로 보였다.

Table. 11. Photo of sample tissue under different thawing conditions and temperature

| | Control_0°C | E_T 0°C | Control_2°C | Control_25°C |
|--------|---|---|--|---|
| Apple |  |  |  |  |
| Beef |  |  |  |  |
| Potato |  |  |  |  |
| Tomato |  |  |  |  |

Control; air thawing, E-T; electric field thawing

나. 고전압 정전기 유도 방식을 적용한 냉동 및 일반 냉동 시편의 해동 품질 변화 조사

1) 실험 조건

가) 동결 조건

1.5 cm×1.5 cm×2 cm 크기의 시편을 제작한 후 고전압 정전기 유도 방식을 적용한 냉동기 (E-T) 및 일반 냉동실(Control)에서 16시간 동안 -20℃에서 동결한 후 해동에 사용하였다. 고전압 정전기 유도 장치가 부착된 냉동고의 조건은 7,000 V의 고전압을 발생시키면서 16시간 동안 -20℃에서 동결 하였다.

나) 해동 조건

해동은 각각의 동결방법으로 동결된 시편을 25℃의 냉장고에서 해동을 실시하였다.

다) 색상 측정

색상의 분석은 Colorimeter CR-300 (Chromameter-2, reflectance, Minolta, Osaka, Japan)으로 실시하였다. 색도계는 측정전에 보정을 실시하였으며, L*, a* 및 b* 로 나타내었다. 총 색상의 변화(ΔE)는 초기값의 시료에서 해동 중 L*, a* 및 b* 값의 변화를 아래의 식으로 계산하여 나타내었다.

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

여기에서, L₀, a₀ 및 b₀는 시료의 초기 색도값을 나타낸 것이며, L, a, 및 b값은 시료의 측정 시간에 따른 색도값을 나타내었다.

2) 실험 결과

고전압 정전기 유도를 통한 냉동 장치에 대한 해동 효과를 조사하였다. 해동 효과는 -20℃에서 16시간 동안 냉동 후 25℃에서 해동하면서 2시간 및 4시간에서 조사를 실시하였다. 시료에 대한 초기 총 페놀함량은 0.0255 mg/g 이었으나 해동 4시간 후 정전기 유도 냉동 시료의 총 페놀함량은 0.0141 mg/g , 대조 시료는 0.0129 mg/g의 함량을 나타내었다. 냉동 조건에 따라서 25℃에서 해동 4시간에 있어서 총 페놀함량은 약 10% 정도 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

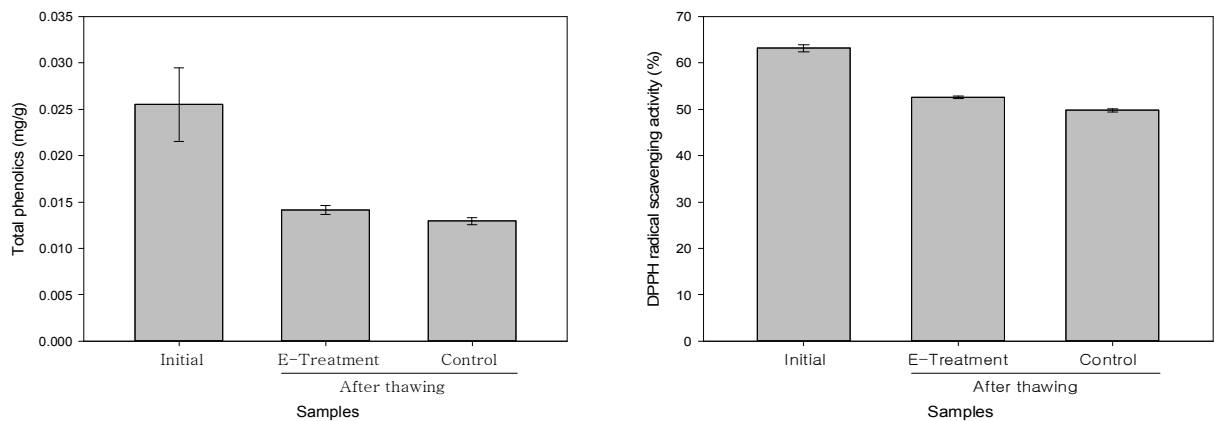


Fig. 65. Total phenolic and DPPH radical scavenging activity (%) after thaw at 25°C to frozen potato with different freezing condition

Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

해동 중 시료의 항산화 활성에 대한 변화를 조사하였다. 시료의 초기 항산화활성도는 63.1457%를 나타내었으나, 해동 4시간 후에는 고전압 정전기 유도 처리한 시료는 약 52.5969%를 나타내었으며, 대조구는 49.7685%를 나타내었다. 냉동 조건에 따라서 25°C에서 해동 4시간에 있어서 항산화활성의 차이는 약 2.8% 정도 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 65).

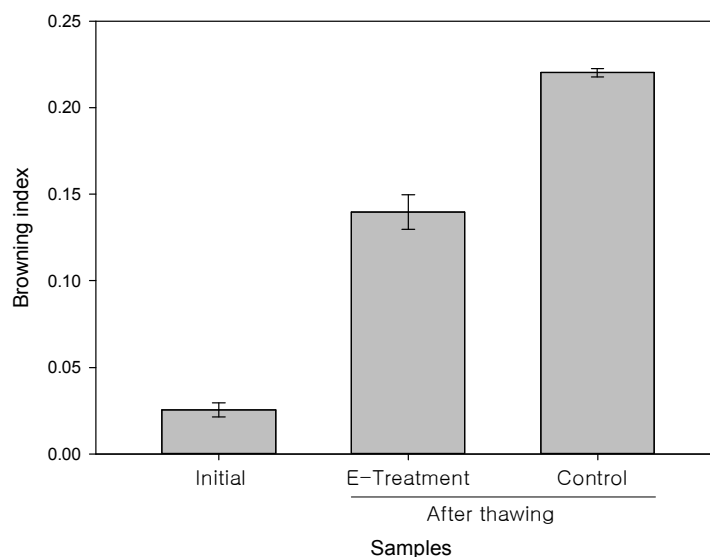


Fig. 66. Browning index after thaw at 25°C to frozen potato with different freezing condition

Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

해동 중 시료의 갈변 현상에 대하여 조사하였다. 시료의 초기 갈변도는 0.0255를 나타내었으나, 해동 4시간 후에는 고전압 정전기 유도 처리한 시료는 약 0.1398을 나타내었으며, 대조구는 0.2203의 값을 나타내었다. 냉동 조건에 따라서 25℃에서 해동 4시간에 있어서 갈변도는 약 36% 이상 갈변도가 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 66).

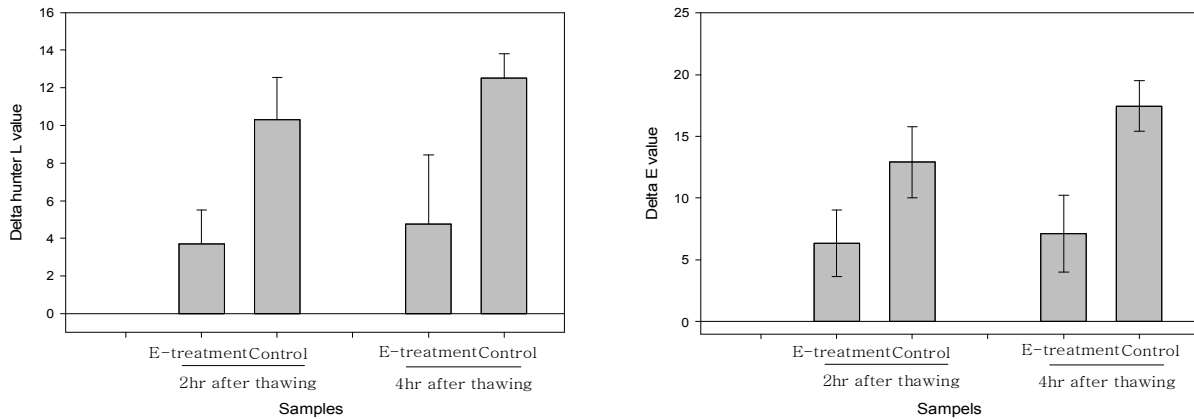


Fig. 67. Changes of delta L and E value after thaw at 25℃ to frozen potato with different freezing condition

Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

해동 중 시료의 갈변 현상을 표면색도의 변화로 측정하였다. 표면색도는 delta L 값과 delta E 값으로 나타내었다(Fig. 67). delta L 값과 delta E 값은 각각 해동 2시간 후와 4시간 후에 측정하였다. 고전압 정전기 유도 발생장치를 활용한 냉동 시료의 해동은 해동 2시간 후 delta L 값과 delta E 값이 각각 3.6933와 6.3387이었으며, 대조구는 10.3233과 12.9008을 나타내었다. 해동 2시간 후 시료간의 delta L 값과 delta E 값의 차이는 각각 약 2.79배 및 2.03배 이상 색도의 변화가 적은 것으로 나타났다. 또한 해동 4시간에 있어서 고전압 정전기 유도 발생장치를 활용한 해동 시료는 delta L 값과 delta E 값이 각각 4.7500과 7.1243이었으며, 대조구는 12.5267과 17.4568을 나타내었다. 해동 4시간 후 시료간의 delta L 값과 delta E 값의 차이는 각각 약 2.63 배 및 2.45배 이상 색도의 변화가 적은 것으로 나타났다. 냉동 조건에 따라서 25℃에서 해동 4시간 동안의 색도의 변화는 고전압 정전기 유도 장치를 활용한 냉동시료에서 색상의 변화가 적은 것으로 나타났다(Fig. 68).

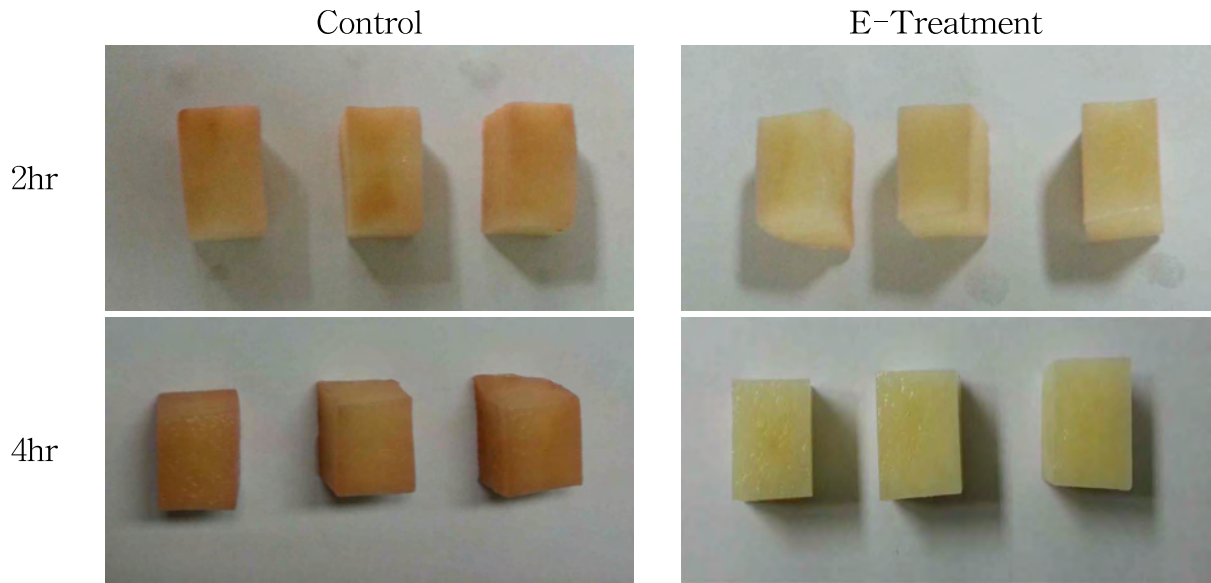


Fig. 68. Photo of potato tissue after thaw at 25°C to frozen potato with different freezing conditions.

Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

다. 냉동 및 해동 조건에 따른 품질 변화 조사

1) 실험 조건

가) 동결 조건

1.5 cm×1.5 cm×2 cm 크기의 시편을 제작한 후 일반 냉동실에서 16시간동안 -20℃에서 동결한 후 해동에 사용하였다. 동일한 크기로 제작한 시편은 고전압 정전기 유도 장치가 부착된 냉동고에서 7,000 V의 고전압으로 처리하여 16시간 동안 -20℃에서 동결한 후 해동에 사용하였다.

나) 해동 조건

해동은 각각의 동결방법으로 동결된 시편을 0℃ 일반 냉장고(평균온도 -1.5±0.34℃), 0℃ 고전압유도 장치가 부착된 냉장고(온도 측정이 불가능하나 0℃ 일반 냉장고도 동일한 성능의 냉동고 사용 : 평균온도 -1.5±0.34℃) 및 10℃ 일반 냉장고에서 해동을 실시하였다.

다) 드립울 측정

시료의 해동을 위하여 두께가 있는 10 cm×10 cm×4 cm의 PE 용기 포장 상태로 해동을 실시하였다. 온도 측정을 위하여 DATA Logger는 시편에 꽂아 두었다. 그 용기는 20℃로 고정된 온도 유지 챔버에서 온도가 유지될 때 까지 약 4시간 동안 놓아두었다. 드립울은 시편의 무게의 변화를 측정하였으며, 아래의 식에 의하여 계산을 실시하였다.

$$\text{Driploss (\%)} = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100$$

여기서, $W_o - W_t$ 는 시편의 측정시간으로서 초기 측정시간의 무게(W_o)와 해동 중 측정시간의 무게(W_t)로 나타내었다.

라) 시료의 내부 온도 변화 측정

Testo thermal imager (testo 882, Testo Inc, NJ, USA)를 이용하여 시료의 해동 후 5시간 및 24시간에서 시료의 내부의 온도변화 및 온도 분포도의 변화를 측정하였다.

2) 실험 결과

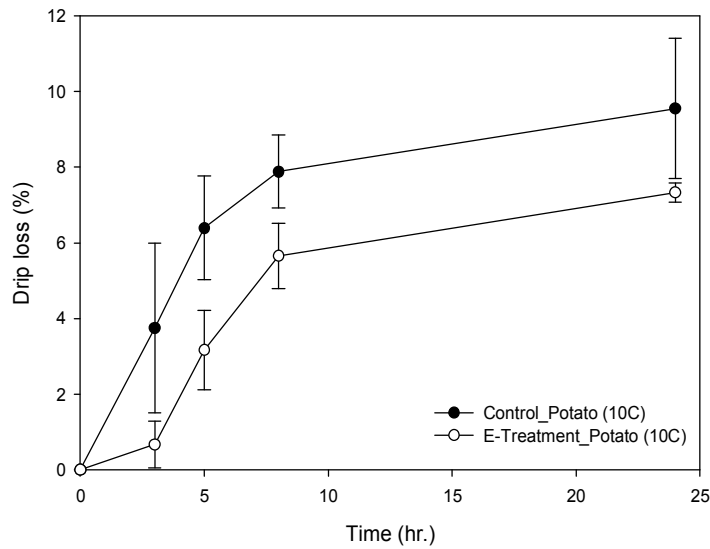


Fig. 69. Changes of drip loss rate of thaw at 10°C to frozen potato with different freezing conditions

Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

고전압 정전기 유도에너지를 적용하여 냉동한 시료(E-T)와 비적용 일반 냉동 시료(Control)에 대하여 10°C 해동 온도에서 해동 시간에 따른 드립율을 측정하였다(Fig. 69). 감자의 드립율은 전반적으로 E-T 처리구가 대조구에 비하여 낮은 드립율을 나타내었다. 24시간 해동 시간동안 E-T 처리구는 7.33%의 드립율을 나타내었으며, 대조구는 9.55%의 드립율을 나타내었다. E-T 처리구는 해동 24시간 동안 대조구에 비하여 드립율이 평균 2.69%의 감소효과를 나타내었으며 대조구 대비 약 39%의 드립율 발생 감소효과를 나타내었다.

소고기 시료에 대한 드립율 발생에서도 전반적으로 E-T 처리구가 대조구에 비하여 낮은 드립율을 나타내었다. 24시간 해동 시간동안 E-T 처리구는 1.18%의 드립율을 나타내었으며, 대조구는 1.71%의 드립율을 나타내었다. E-T 처리구는 해동 48시간 동안 대조구에 비하여 드립율이 평균 0.33%의 감소효과를 나타내었으며 대조구 대비 약 35%의 드립율 발생 감소효과를 나타내었다(Fig. 70).

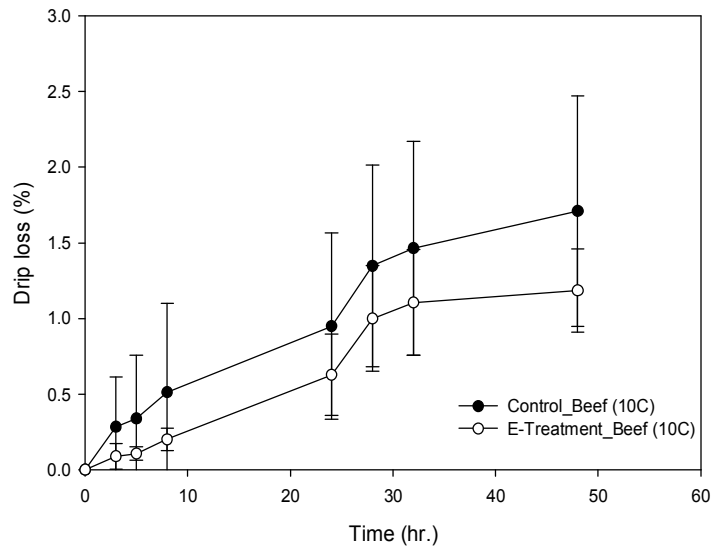


Fig. 70. Changes of driploss rate of thaw at 10°C to frozen beef with different freezing conditions

Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

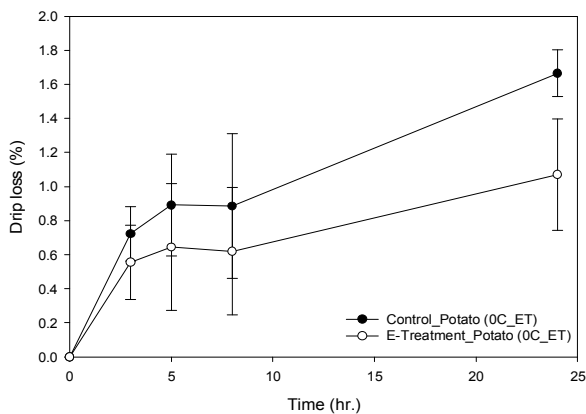


Fig. 71. Changes of driploss rate of electric field thaw at 0°C to frozen potato with different freezing conditions

Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

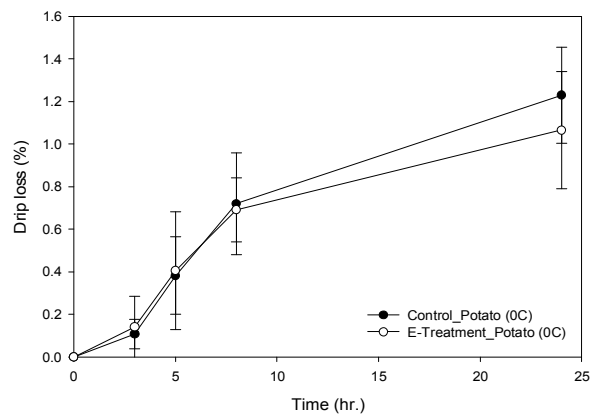


Fig. 72. Changes of driploss rate of thaw at 0°C to frozen potato with different freezing conditions

Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

고전압 정전기 유도에너지를 적용하여 냉동한 시료(E-T)와 비적용 일반 냉동 시료(Control)에 대하여 0°C 해동 온도에서 고전압 정전기 유도에너지 적용 해동기 (E-Thawing)와 0°C 일반 냉장고에서 해동하면서 해동 시간에 따른 드립율을 측정하였다(Fig. 71 및 72). 전반적으로 E-Thawing 해동과 일반 해동의 드립율은 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 전반적으로 24시간 해동 시간동안 약 1% 내외의 드립율이 발생하였다. 또한 E-T 처리구는 일반 냉동 처리

구에 비하여 해동시간동안 낮은 드립율을 나타내었다. 이는 E-T 처리구의 해동 조건에서 지속적으로 발생하는 현상으로서 드립율의 감소효과가 온도에 상관없이 발생하는 것을 알 수 있었다.

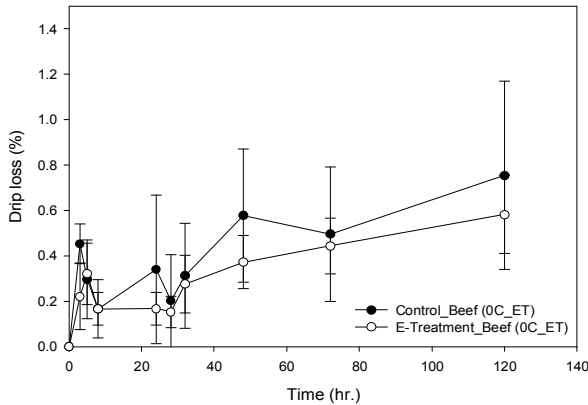


Fig. 73. Changes of driploss rate of electric field thaw at 0°C to frozen beef with different freezing conditions
Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

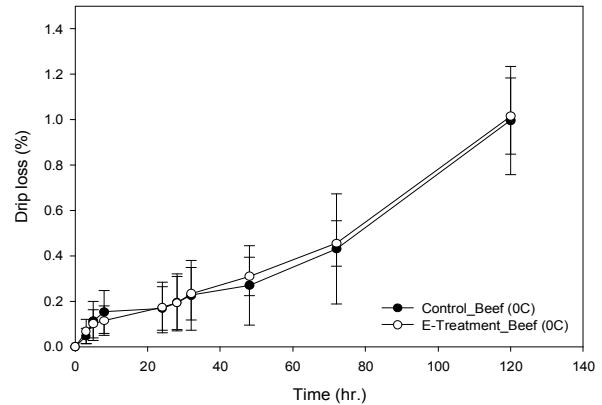


Fig. 74. Changes of driploss rate of thaw at 0°C to frozen beef with different freezing conditions
Control; air freezing, E-Treatment; electric field freezing

소고기 시료에 대한 냉동 및 해동 효과를 조사하였다(Fig. 73 및 74). 소고기 시료는 E-T 냉동 및 E-Thawing 해동구에서 가장 낮은 드립율이 발생하였다. 그러나, 소고기 시료의 경우 1% 미만의 낮은 드립율이 발생하였으며, 0°C 일반해동기에서도 1% 내외의 낮은 드립율을 나타내었다. 0°C 일반해동기에서는 시료의 냉동 조건에 따른 드립율의 차이는 발생하지 않았으며, E-Thawing 해동기에서는 처리구의 유의적인 차이는 발생하지 않았지만, 다소 E-T 냉동 처리구가 가장 낮은 드립율을 나타내었다.

고전압 정전기 유도에너지를 적용하여 냉동한 시료(E-T)와 비적용 일반 냉동 시료(Control)에 대하여 0°C 해동 온도에서 고전압 정전기 유도에너지 적용 해동기 (E-Thawing)와 0°C 일반 냉장고에서 해동하면서 해동 후 미생물의 함량을 조사하였다. 감자 시료의 경우 일반 냉동 후 10°C 해동 시료의 경우 총균수가 2.03 log cfu/g으로서 감자시료 중 가장 높은 값을 나타내었으며, 다른 감자 시료에서는 약 1.59~1.89 log cfu/g의 범위를 나타내었다.

Table. 12. Total bacterial counts of potato and beef tissue to different freezing and thawing conditions.

(Unit: log cfu/g)

| Freezing condition | Thawing condition | Samples | |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|
| | | Potato | Beef |
| Control | 10°C | 2.03 ± 1.02 | 6.06 ± 0.02 |
| | 0°C ET ¹⁾ | 1.66 ± 0.87 | 4.38 ± 0.04 |
| | 0°C | 1.72 ± 0.86 | 5.27 ± 0.04 |
| E-Treatment | 10°C | 1.82 ± 1.00 | 4.95 ± 0.05 |
| | 0°C ET | 1.59 ± 0.45 | 4.17 ± 0.05 |
| | 0°C | 1.89 ± 0.96 | 4.13 ± 0.11 |

¹⁾ET : 고전압 정전기 유도 에너지를 이용한 해동기에서 해동한 것

미생물에 있어서 냉동 조건의 E-T 처리구는 10°C 해동에 있어서도 미생물의 수를 다소 감소시키는 것을 확인할 수 있었다(Table 12). 또한, 소고기 시료의 경우 일반 냉동 10°C 해동구가 6.06 log cfu/g의 총균수를 나타내어 가장 높은 값을 나타내어 E-T 냉동구에 비하여 22% 이상의 높은 값을 나타내었으며, 일반 냉동 0°C 해동구가 5.27 log cfu/g으로 다음을 나타내었다. 냉동 전처리로서 E-T 냉동구는 해동 시 미생물이 감소되는 것으로 나타났으며, 해동 조건에서도 E-Thawing 해동구는 상대적으로 낮은 미생물 총량을 나타내었다. 전반적으로 총균수의 함량을 측정된 결과, 고전압 정전기 유도에너지의 적용이 냉동 및 해동시에 총균수를 일부 감소시킬 수 있을 것으로 판단되었다 (10°C 해동에서 약 22% 감소, 0°C 해동에서 약 20.8% 감소).

냉동시료의 해동 중 시료의 온도분포를 확인하기 위하여 Testo thermal imager(testo 882, Testo Inc, NJ, USA)를 이용하여 측정하였다. 해동시료는 해동 중 각각의 설정된 시간에서 측정되었으며, 시료를 채취한 후 슬라이스 커터를 이용하여 2등분한 후 열화상 측정기로서 측정하였다. 열화상영상측정기는 시료 표면의 온도분포와 각 지점의 온도에 대한 정보를 다량 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 이를 통해 시료 표면의 온도 흐름 및 분포 등에 대한 조사를 실시하였다.

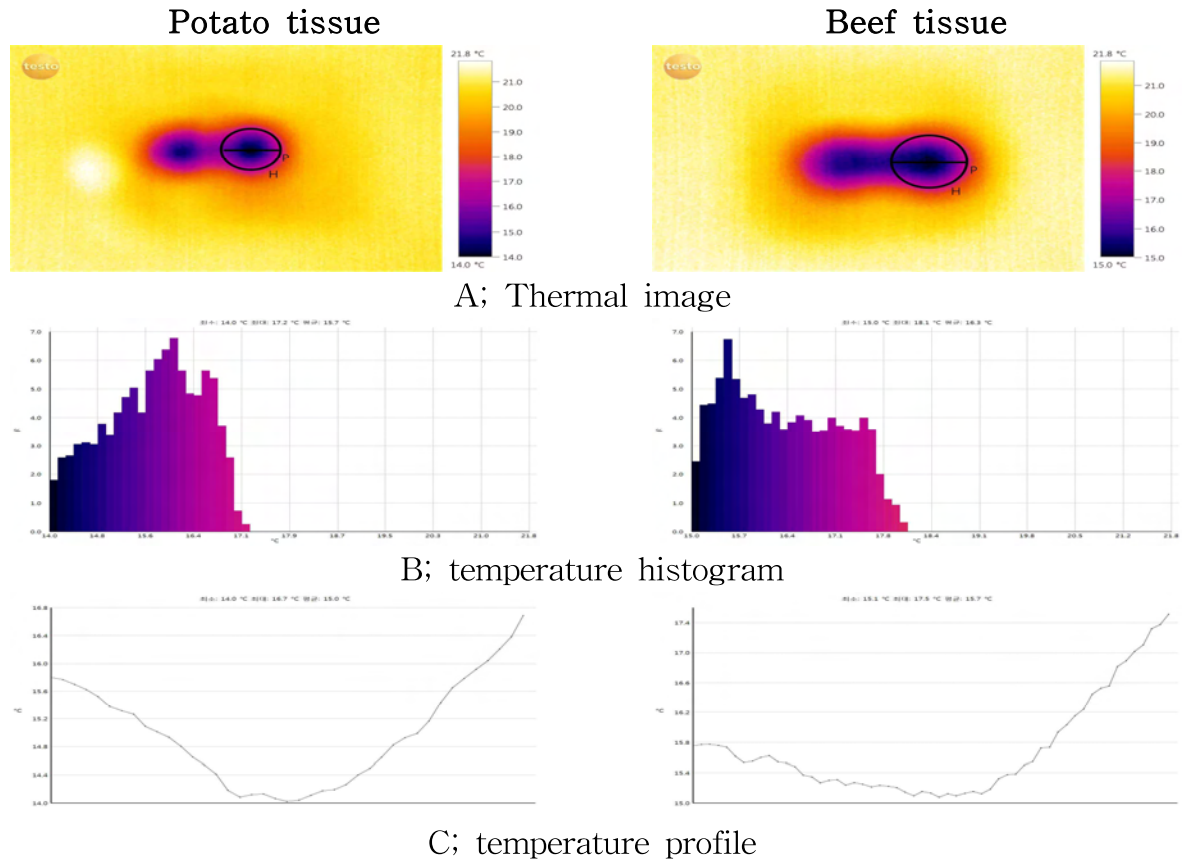


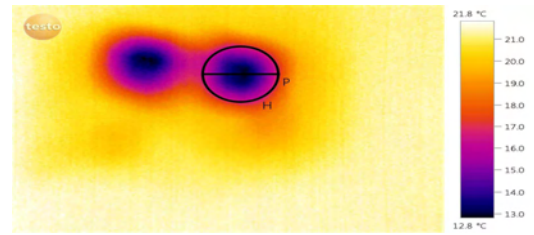
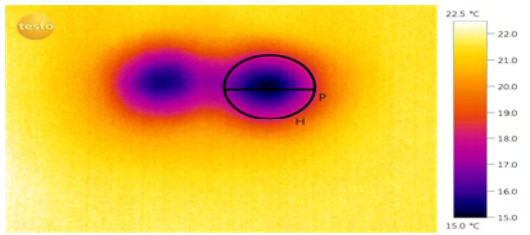
Fig. 75. Thermographics of potato and beef tissue with thawing at 10°C for 5 hours after freezing at -20°C

Frozen condition; air freezing at -20°C, Thawing condition; air thawing at 10°C, Thawing time; 5hr

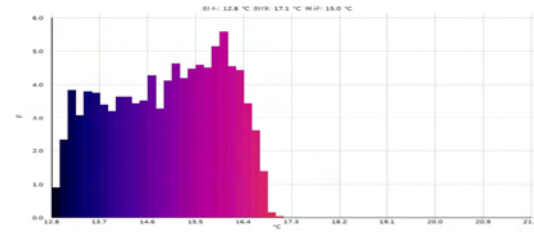
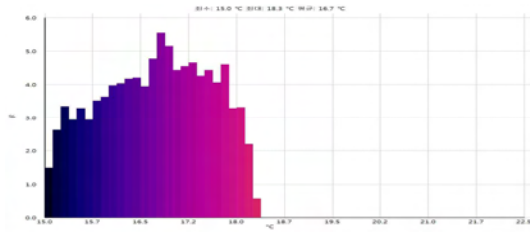
감자 최소 14.1°C, 최대 16.9°C, 평균 15.1°C 평균이하의 범위는 20.6%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 56.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다. 소고기 최소 15.1°C, 최대 17.3°C, 평균 15.6°C 평균이하의 범위는 26.9%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 75.3% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다.

Potato tissue

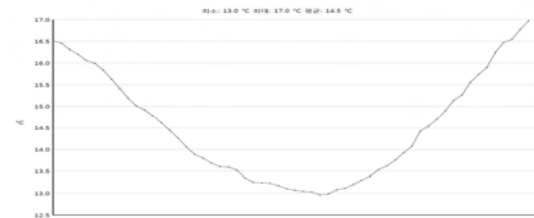
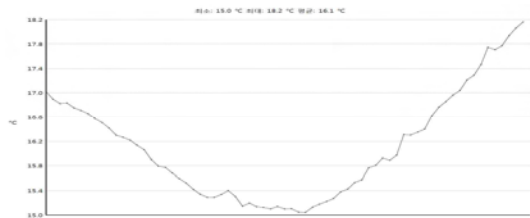
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

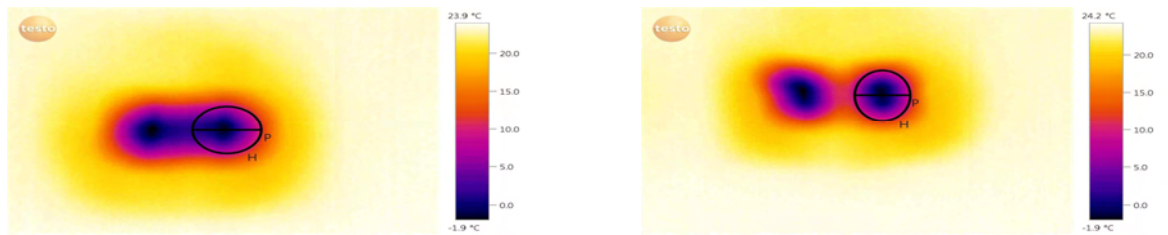
Fig. 76. Thermographics of potato and beef tissue with thawing at 10°C for 5 hours after electric field freezing at -20°C

Frozen condition; electric field(7000V) freezing at -20°C, Thawing condition; air thawing at 10°C, Thawing time; 5hr

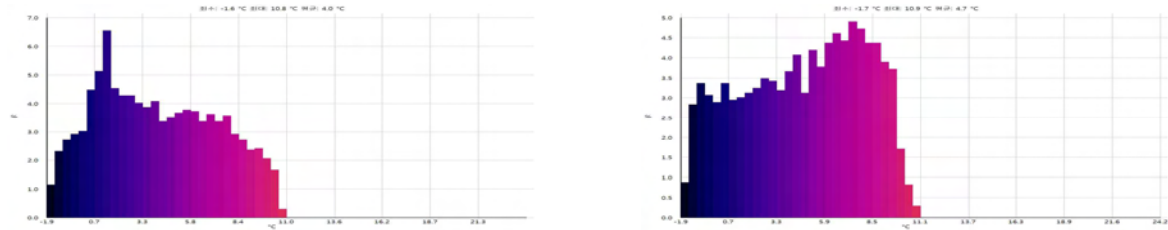
감자 최소 15.0°C, 최대 17.5°C, 평균 15.9°C 평균이하의 범위는 22.8%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 61.3% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다. 소고기 최소 13.0°C, 최대 17.0°C, 평균 14.5°C 평균이하의 범위는 34.9%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 54.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다.

Potato tissue

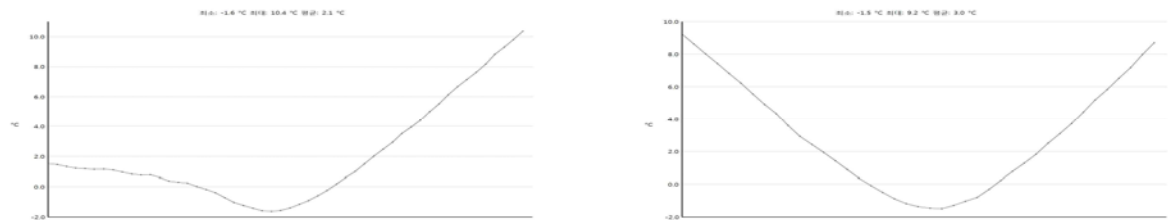
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

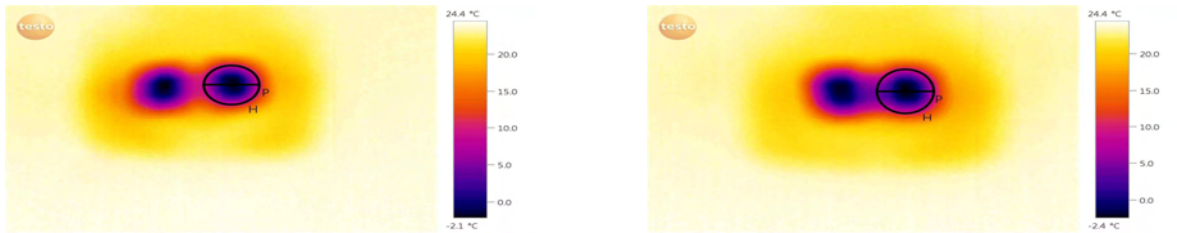
Fig. 77. Thermographics of potato and beef tissue with electric field thawing at 0°C for 5 hours after freezing at -20°C

Frozen condition; air freezing at -20°C, Thawing condition; electric field thawing at 0°C, Thawing time; 5hr

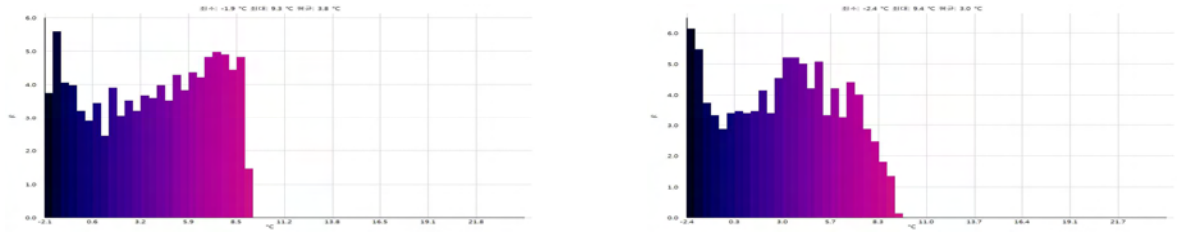
감자 최소 -1.6°C, 최대 10.4°C, 평균 2.1°C 평균이하의 범위는 32.8%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 71.3% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. 프로파일은 중심부에서 V자형을 이루고 있는 것으로 나타내었다. 소고기 최소 -1.5°C, 최대 9.2°C, 평균 3.0°C 평균이하의 범위는 32.4%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 54.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. 프로파일은 중심부에서 V자형을 이루고 있었다. 중심부의 온도가 해동기의 평균 온도인 -1.6°C를 유지하고 있고 V자형의 온도 분포를 가지는 것은 시료의 해동이 완료된 것으로 판단될 수 있다. 따라서, 일반 0°C 해동기에 비하여 해동 속도가 증가된 것으로 판단되어 진다.

Potato tissue

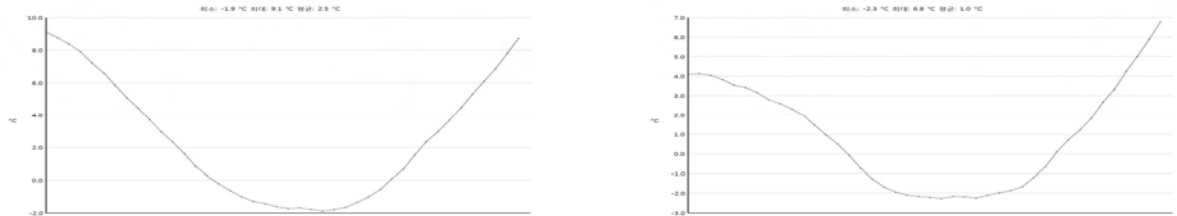
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

Fig. 78. Thermographics of potato and beef tissue with electric field thawing at 0°C for 5 hours after electric field freezing at -20°C

Frozen condition; electric field(7000V) freezing at -20°C, Thawing condition; electric field thawing at 0°C, Thawing time; 5hr

감자 최소 -1.9°C, 최대 9.1°C, 평균 2.5°C 평균이하의 범위는 36.5%의 면적, 0°C이하의 면적은 20.7%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 54.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다. 소고기 최소 -2.3°C, 최대 6.8°C, 평균 1.0°C 평균이하의 범위는 31.8%의 면적, 0°C이하의 면적은 21.5%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 52.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다. 전반적으로 고전압 정전기장 해동기에 비하여 온도가 낮게 유지되고 있으며, 온도 프로파일도 최저온도 범위가 넓게 형성되고 있어 해동이 완전히 이루어지지 않은 것으로 판단되었다.

Potato tissue

Beef tissue

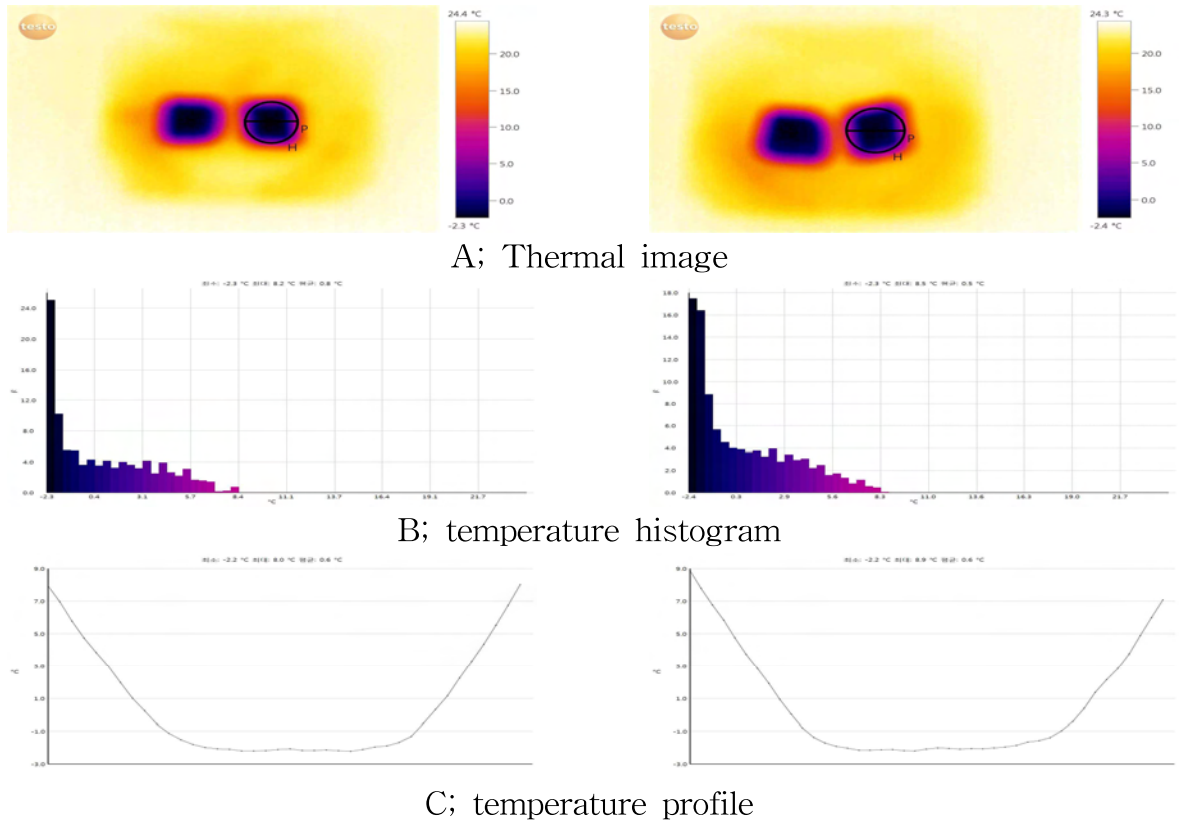


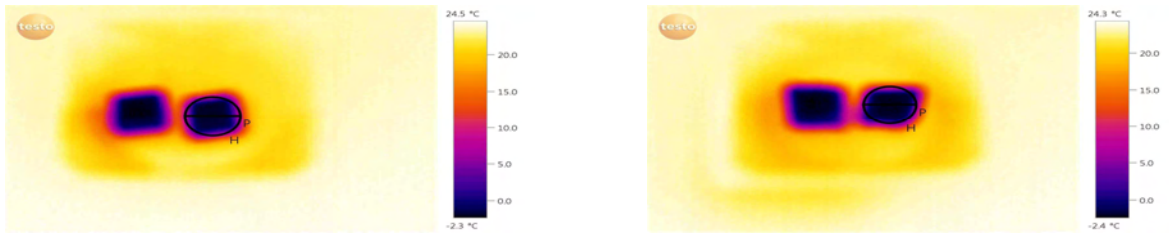
Fig. 79. Thermographics of potato and beef tissue with thawing at 0°C for 5 hours after freezing at -20°C

Frozen condition; air freezing at -20°C, Thawing condition; air thawing at 0°C, Thawing time; 5hr

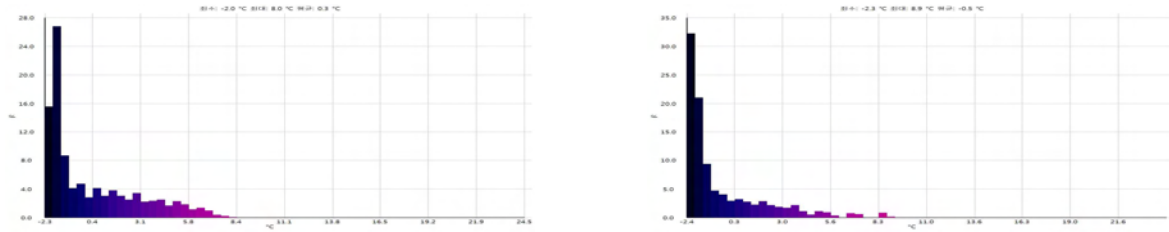
감자 최소 -2.2°C, 최대 8.0°C, 평균 0.6°C 평균이하의 범위는 54.1%의 면적, 0°C이하의 면적은 49.8%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 62.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -2.2°C ~ -1.9°C 범위에서 평형을 나타냄 25.1% 정도를 나타내었다. 소고기 최소 -2.2°C, 최대 8.9°C, 평균 0.6°C 평균이하의 범위는 60.8%의 면적, 0°C이하의 면적은 52.9%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 68.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -2.2°C ~ -1.4°C 범위에서 평형을 나타냄 33.9% 정도를 나타내었다.

Potato tissue

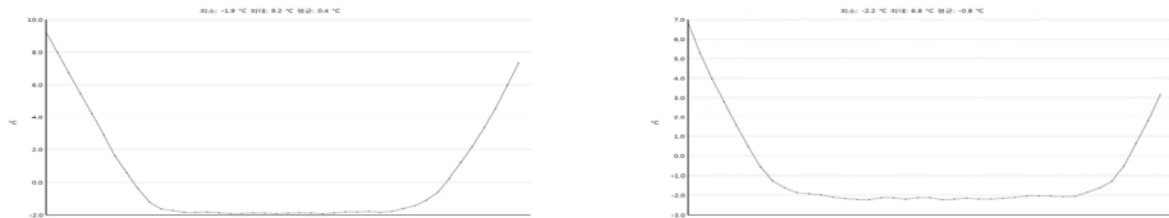
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

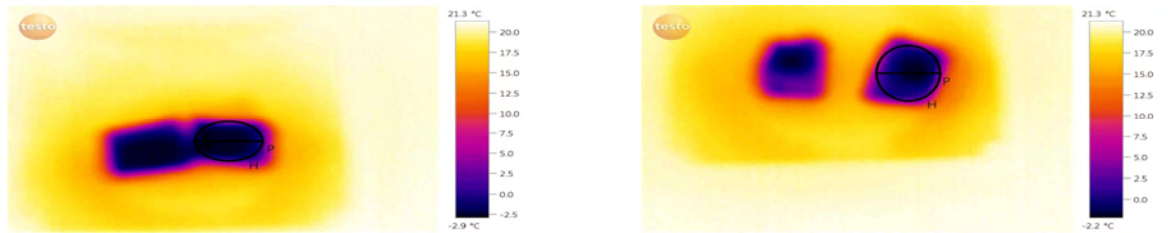
Fig. 80. Thermographics of potato and beef tissue with thawing at 0°C for 5 hours after electric field freezing at -20°C

Frozen condition; electric field(7000V) freezing at -20°C, Thawing condition; air thawing at 0°C, Thawing time; 5hr

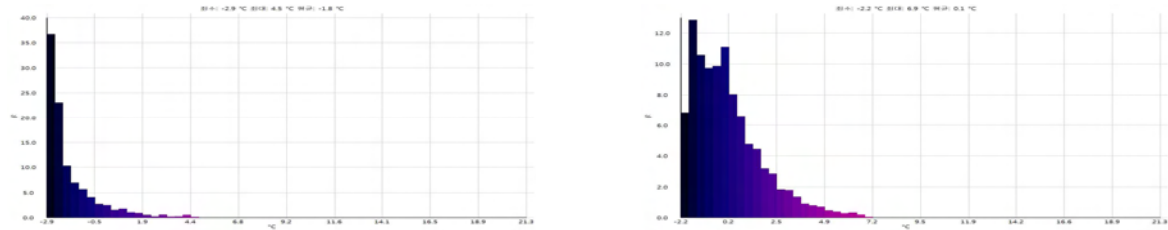
감자 최소 -1.9°C, 최대 9.2°C, 평균 0.4°C 평균이하의 범위는 62.7%의 면적, 0°C이하의 면적은 59.9%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 68.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -2.3°C ~ -1.6°C 범위에서 평형을 나타냄 42.4% 정도였다. 소고기 최소 -2.2°C, 최대 6.8°C, 평균 -0.8°C 평균이하의 범위는 67.5%의 면적, 0°C이하의 면적은 71.6%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 77.3% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -2.2°C ~ -1.9°C 범위에서 평형을 나타냄 32.3% 정도였다.

Potato tissue

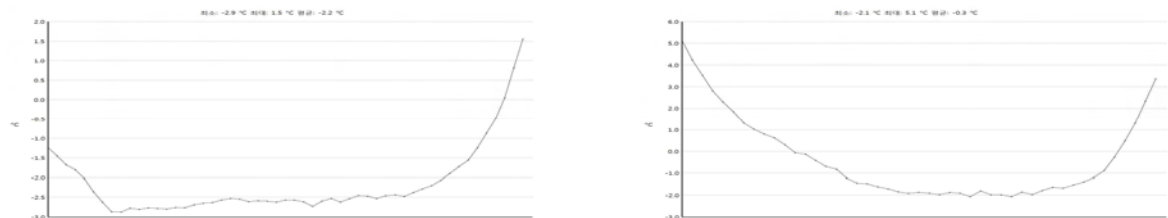
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

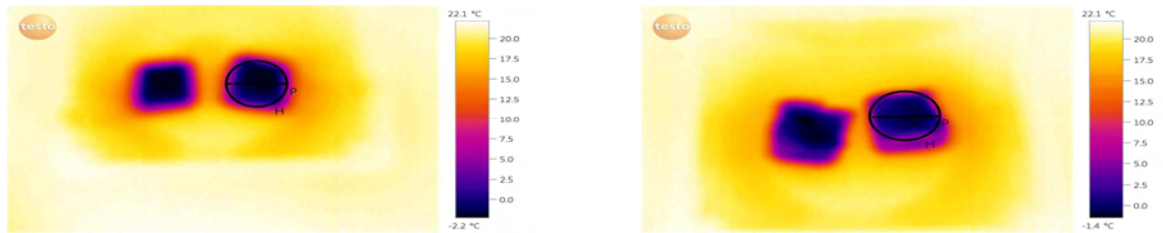
Fig. 81. Thermographics of potato and beef tissue with electric field thawing at 0°C for 24 hours after freezing at -20°C

Frozen condition; air freezing at -20°C, Thawing condition; electric field thawing at 0°C, Thawing time; 24hr

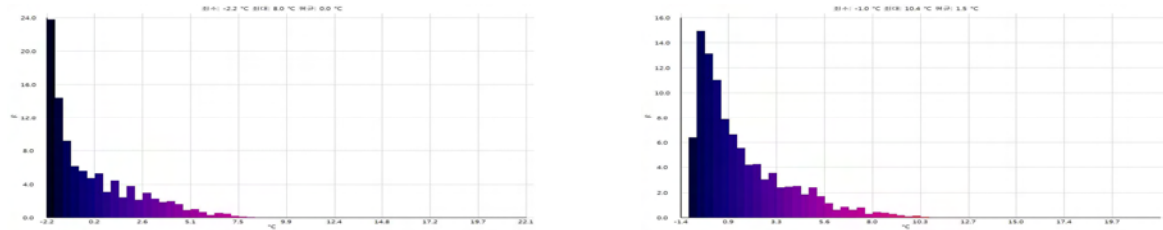
감자 최소 -2.9°C, 최대 1.5°C, 평균 -2.2°C 평균이하의 범위는 59.8%의 면적, 0°C이하의 면적은 89.7%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 73.3% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -2.9°C~-2.3°C 범위에서 평형을 나타냄 36.7% 정도를 나타내었다. 소고기 최소 -2.1°C, 최대 5.1°C, 평균 -0.3°C 평균이하의 범위는 50.0%의 면적, 0°C이하의 면적은 61.1%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 64.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -2.1°C~-1.4°C 범위에서 평형을 나타냄 19.8% 정도를 나타내었다.

Potato tissue

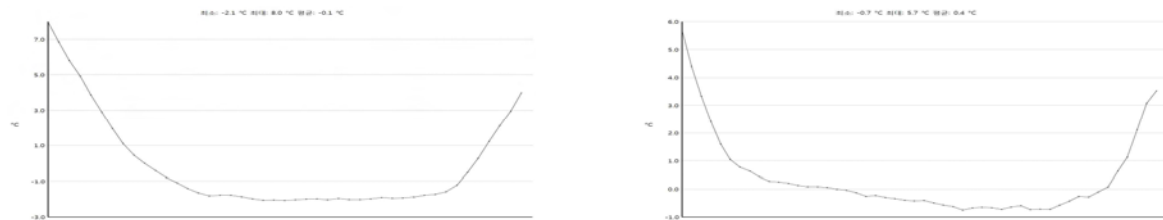
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

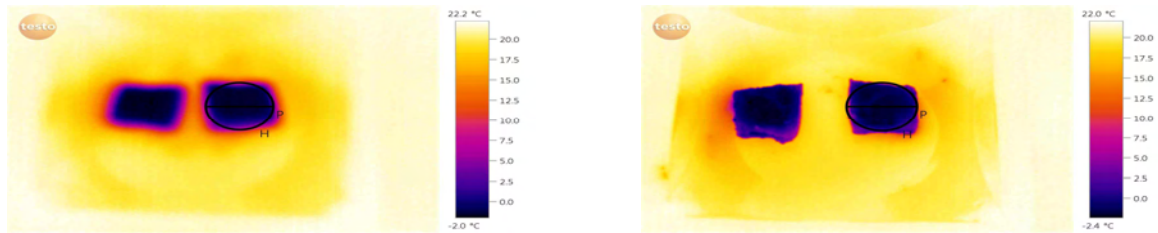
Fig. 82. Thermographics of potato and beef tissue with electric field thawing at 0°C for 24 hours after electric field freezing at -20°C

Frozen condition; electric field(7000V) freezing at -20°C, Thawing condition; electric field thawing at 0°C, Thawing time; 24hr

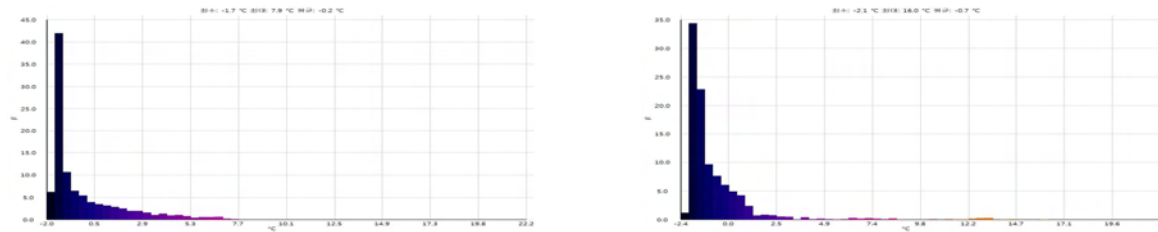
감자 최소 -2.1°C, 최대 8.0°C, 평균 -0.1°C 평균이하의 범위는 59.0%의 면적, 0°C이하의 면적은 63.8%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 78.0% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -2.1°C ~ -1.6°C 범위에서 평형을 나타냄 38.2% 정도를 나타내었다. 소고기 최소 -0.7°C, 최대 5.7°C, 평균 0.4°C 평균이하의 범위는 45.4%의 면적, 0°C이하의 면적은 34.4%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 79.3% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -0.7°C ~ -0.4°C 범위에서 평형을 나타냄 21.3% 정도를 나타내었다.

Potato tissue

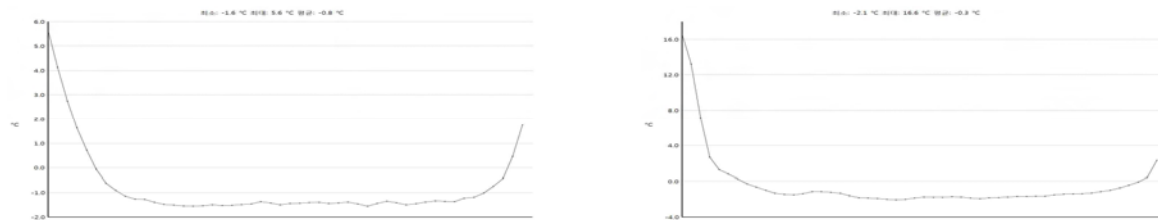
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

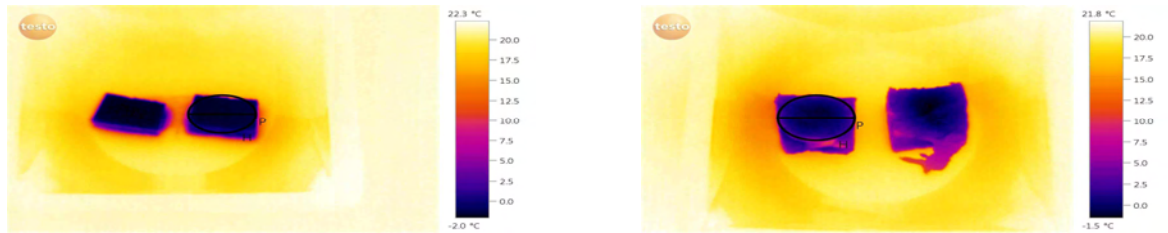
Fig. 83. Thermographics of potato and beef tissue with thawing at 0°C for 24 hours after freezing at -20°C

Frozen condition; air freezing at -20°C, Thawing condition; air thawing at 0°C, Thawing time; 24hr

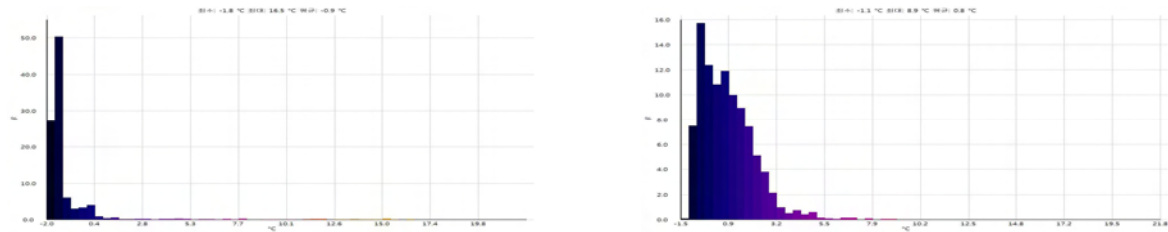
감자 최소 -1.6°C, 최대 5.6°C, 평균 -0.8°C 평균이하의 범위는 58.8%의 면적, 0°C 이하는 70.8%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 68.6% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -1.6°C ~ -1.0°C 범위에서 평형을 나타냄 48.2% 정도를 나타내었다. 소고기 최소 -2.1°C, 최대 16.6°C, 평균 -0.3°C 평균이하의 범위는 75.7%의 면적, 0°C 이하는 81.8%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 81.4% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -1.8°C ~ -1.3°C 범위에서 평형을 나타냄 58.5%를 나타내었다.

Potato tissue

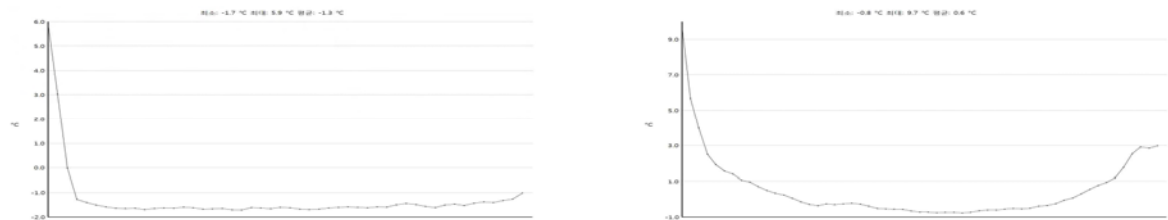
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

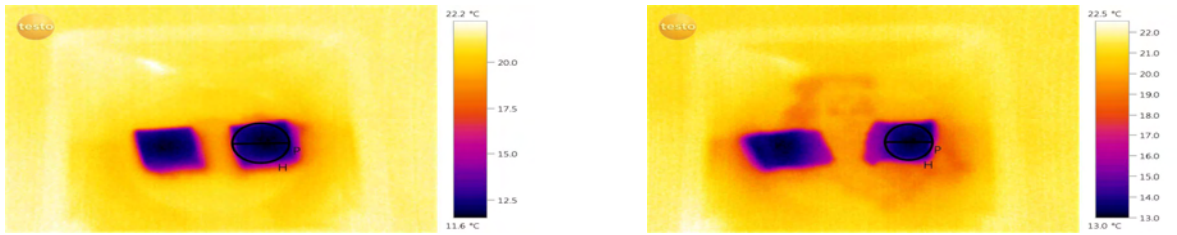
Fig. 84. Thermographics of potato and beef tissue with thawing at 0°C for 24 hours after electric field freezing at -20°C

Frozen condition; electric field(7000V) freezing at -20°C, Thawing condition; air thawing at 0°C, Thawing time; 24hr

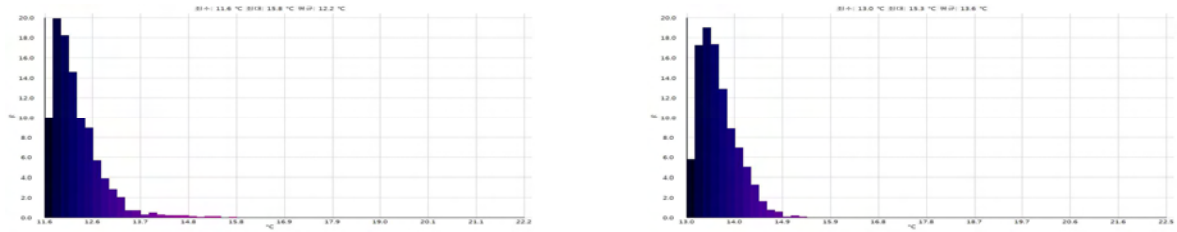
감자 최소 -1.7°C, 최대 5.9°C, 평균 -1.3°C 평균이하의 범위는 77.6%의 면적, 0°C 이하는 90.0%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 95.4% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -1.7°C ~ -1.3°C 범위에서 평형을 나타냄 77.7% 정도를 나타내었다. 소고기 최소 -0.8°C, 최대 9.7°C, 평균 0.6°C 평균이하의 범위는 46.5%의 면적, 0°C 이하는 35.6%, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 76.4% 정도가 평균이하의 온도를 나타냄. -0.8°C ~ -0.4°C 범위에서 평형을 나타냄 23.2% 정도 해동이 된 것으로 보임. 저장 온도에 의한 것, 또는 소고기의 해동 온도로 볼 수 있었다.

Potato tissue

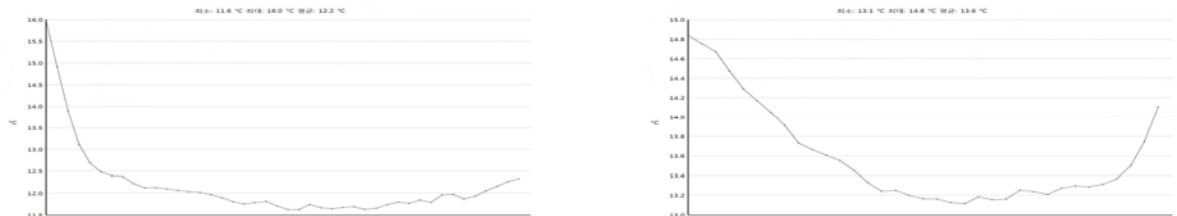
Beef tissue



A; Thermal image



B; temperature histogram



C; temperature profile

Fig. 85. Thermographics of potato and beef tissue with thawing at 10°C for 24 hours after freezing at -20°C

Frozen condition; air freezing at -20°C, Thawing condition; air thawing at 10°C, Thawing time; 24hr

감자 최소 11.6°C, 최대 16.0°C, 평균 12.2°C 평균이하의 범위는 62.7%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 79.5% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다. 소고기 최소 13.1°C, 최대 14.8°C, 평균 13.6°C 평균이하의 범위는 42.1%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 65.4% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다.

Potato tissue

Beef tissue

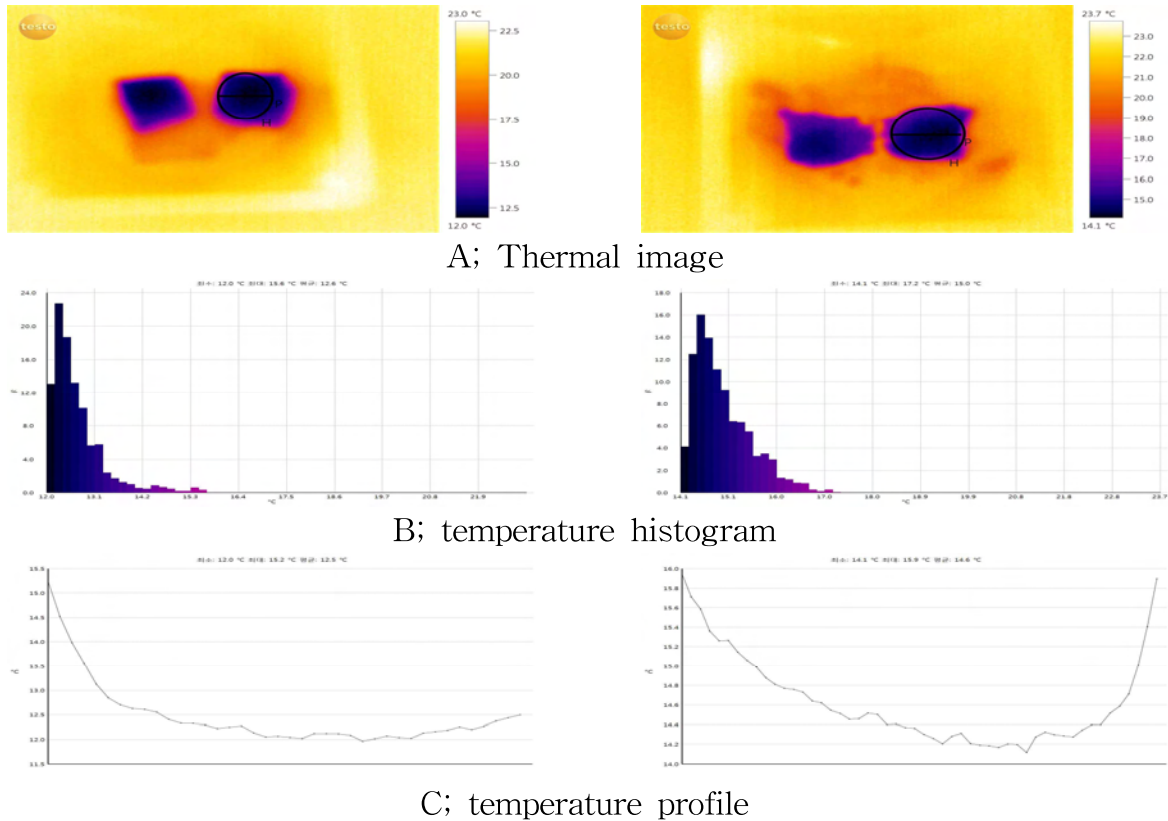


Fig. 86. Thermographics of potato and beef tissue with thawing at 10°C for 24 hours after electric field freezing at -20°C

Frozen condition; electric field(7000V) freezing at -20°C, Thawing condition; air thawing at 10°C, Thawing time; 24hr

감자는 최소 12.0°C, 최대 15.2°C, 평균 12.5°C 평균이하의 범위는 54.5%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 77.3% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다. 소고기 최소 14.1°C, 최대 15.9°C, 평균 14.6°C 평균이하의 범위는 32.6%의 면적, 프로파일로서는 중심부를 중앙으로 하여 약 62% 정도가 평균이하의 온도를 나타내었다.

7. 저장온도별 및 방법에 따른 품질 비교

가. 재료 및 방법

1) 재료

시료는 냉동 저장 후 시료의 품질을 비교하기 위하여 -20°C , -10°C 에서 냉동(일반 냉동과 정전기장 냉동)을 한 후 각각 -40°C 에 저장하여 한달 간격으로 2개월간 품질을 비교하였다.

2) Drip loss

시료를 $15\times 15\times 15$ mm로 잘라서 polyethylene bag에 넣어 밀봉한 후 각각의 저장온도에서 저장한 시료를 저장기간에 따라 꺼내어 설정 온도에서 설정시간 동안 보관하여 표준화 한 후 무게를 측정하였다. Drip loss는 원료육 중량에 대한 감량으로 하여 백분율로 산출하였다.

3) TBA

지방의 산패도를 나타내는 TBA값을 측정하였다. 즉, 10 g의 시료에 실험중의 산화방지를 위하여 BHA 50 μg 첨가 후 20% TCA용액 25 mL을 첨가하여 2분간 14000 rpm으로 균질화하고 volumetric flask에 넣어 증류수로 50 mL이 되게 하였다. 이를 균일하도록 흔들어준 다음 여과지 (Watman No.1, Japan)로 여과시킨 후 여과액 중 3 mL을 취해 test tube에 넣고 0.005 M 2-thiobarbituric acid 3 mL을 넣고 잘 혼합한 후 실온암소에서 15시간 동안 활성화시킨 후 530 nm의 흡광도에서 측정하였다.

4) VBN

단백질 부패도를 나타내는 VBN값은 Conway unit로 측정하였다. 즉, 시료를 블렌드로 간 다음 5 g을 증류수 45 mL을 가하여 14,000 rpm에서 5분간 균질화한 후 균질액을 여과지 (Watman No.1)로 여과 시킨 후 여액 중 1 mL을 취해 Conway unit의 외실에 넣고 내실에 0.005 N H_2SO_4 1 mL을 넣은 후 빨리 뚜껑을 닫은 후 외실에 포화 K_2CO_3 1 mL을 넣고 바로 밀폐하였다. 용기를 수평으로 회전하여 외실의 sample과 K_2CO_3 가 섞이게 한 후 25°C 의 incubator에서 60 분간 활성화 시켰다. 뚜껑을 조심스럽게 열고 H_2SO_4 에 0.01 N NaOH로 신속히 적정하였다.

5) 미생물

시료는 각각 10 g씩 취한 후 멸균된 0.85% saline 용액으로 10배 희석하여 stomacher (Bag mixer R400, interscience, Saint Nom, France)로 균질화 한 후 단계 희석하여 실험을 실시하였다. 시험용액 및 각 단계 희석액 1 mL씩을 멸균 페트리접시에 무균적으로 취하여 agar를 약 15 mL를 분주하여 pouring culture method로 접종한 다음 일반세균은 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 24~48시

간 배양하여 colony수를 측정하여 colony forming unit(CFU/g)으로 표시하였다. 실험에 사용된 배지는 일반세균의 경우 plate count agar(Difco, Detroit, MI, USA)를 사용하였다.

6) 색도

색상의 분석은 Colorimeter CR-300 (Chromameter-2, reflectance, Minolta, Osaka, Japan)으로 실시하였다. 색도계는 측정전에 보정을 실시하였으며, L*, a* 및 b* 로 나타내었다.

나. 결과 및 고찰

1) 생선 (대구)의 냉동 저장 품질 비교

생선 냉동 저장 후 생선의 품질을 비교하기 위해 온도 -20℃, -10℃에서 냉동(일반 냉동과 전전기장 냉동)을 한 후 각각 -40℃에 저장하여 한달 간격으로 품질을 비교하였다.

저장 중 냉동 조건별 생선의 드립률을 측정된 결과는 Table 13와 같다. 초기 대조구의 드립률은 -20℃ -10℃ 냉동 조건에서 각각 1.71 및 1.09% 수준으로 나타났으며 저장기간에 길어질 수록 드립률 또한 증가하는 것으로 나타났다. -10℃ 의 경우 저장 1달 후 대조구 및 처리구의 드립률이 2.13% 및 2.01% 수준으로 각각 0.4%와 0.7% 수준 증가하였다. -20℃ 저장은 -10℃에 비해 드립률이 낮았으며 저장 1달 후 1.45% 및 1.16% 수준으로 대조구가 처리구에 비해 0.4% 수준 높았다.

Table 13. Drip loss of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 1.71±0.17 | 2.13±0.25 | 2.40±0.23 |
| | E-T | 1.41±0.63 | 2.01±0.12 | 2.04±0.34 |
| -20 | Con | 1.09±0.23 | 1.45±0.38 | 1.88±0.35 |
| | E-T | 0.74±0.45 | 1.16±0.34 | 1.52±0.25 |

-20℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 생선의 드립률의 변화는 Table 14과 같다. -40도 저장과 비슷한 수준을 나타내었으며 저장기간이 증가할수록 드립률 또한 증가하였다. -10℃ 냉동 처리시 대조구는 초기 1.71% 수준에서 2달 후 3.49% 수준으로 증가하였으며 처리구 또한 1.41%에서 2.88% 수준으로 증가하였으며 대조구에 비해 낮은 수준이었다. -20℃ 처리구 또한

-20℃ 저장시 -10℃ 처리구와 비슷하였다.

Table 15. Drip loss of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 1.71±0.17 | 2.91±0.53 | 3.49±0.34 |
| | E-T | 1.41±0.63 | 1.77±0.97 | 2.88±0.95 |
| -20 | Con | 1.09±0.23 | 1.67±0.79 | 2.53±0.36 |
| | E-T | 1.45±0.38 | 1.03±0.55 | 1.63±0.33 |

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 생선의 pH 변화는 Table 15과 같다. 냉동 직후 생선의 pH는 6.64~7.05 수준으로 나타났다. 저장기간이 길어짐에 따라 pH가 증가하는 경향을 보였으며 이는 단백질의 분해 작용에 인한 것으로 생각된다. -10도 저장한 대조구의 pH 변화가 가장 높았으며 -20℃에 비해 -10℃에 저장한 생선의 pH가 높았다. -20℃ 저장시 또한 저장기간이 증가할수록 pH 수준이 높아졌다. 저장 두달째 -40도 저장시 pH 수준이 6.66~7.07으로 -20℃ 저장시 6.89~7.14 수준보다 낮게 나타내었다.

Table 15. pH of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 6.87±0.06 | 7.04±0.01 | 7.07±0.23 |
| | E-T | 7.05±0.06 | 7.03±0.01 | 7.05±0.23 |
| -20 | Con | 6.64±0.04 | 6.64±0.03 | 6.67±0.05 |
| | E-T | 6.74±0.04 | 6.65±0.02 | 6.66±0.23 |

Table 16. TBA of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature (°C) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| | | Unit: mgMA/kg | | |
| -10 | Con | 0.12±0.03 | 0.19±0.02 | 0.21±0.06 |
| | E-T | 0.19±0.01 | 0.13±0.00 | 0.15±0.05 |
| -20 | Con | 0.19±0.01 | 0.22±0.01 | 0.23±0.12 |
| | E-T | 0.06±0.00 | 0.15±0.05 | 0.19±0.32 |

-40°C에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 생선의 TBA 변화는 Table 16과 같다. TBA는 식품 중에 함유된 지방질, 특히 불포화 지방산의 산패가 진행됨에 따라 peroxide와 carbonyl 화합물을 생성하게 되는데, 이때 생성되는 malondialdehyde(MDA)의 양을 나타내는 유지의 산패도를 측정하는 척도로 이용되고 있다. 초기 생선의 TBA는 0.08 mgMA/kg 수준이었으며 냉동 직후에는 0.06~0.19 mgMA/kg 수준을 나타내었다. 저장 기간이 증가할수록 TBA 수준은 증가하는 것으로 나타났다.

Table 17. TBA of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20°C

| Freezing temperature (°C) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| | | Unit: mgMA/kg | | |
| -10 | Con | 0.12±0.03 | 0.26±0.02 | 0.27±0.05 |
| | E-T | 0.19±0.01 | 0.22±0.02 | 0.23±0.02 |
| -20 | Con | 0.19±0.01 | 0.23±0.02 | 0.25±0.03 |
| | E-T | 0.06±0.00 | 0.11±0.01 | 0.12±0.04 |

-20°C 저장의 경우 저장동안 대조구가 처리구에 비해 TBA 값이 높은 수준을 나타내었다. -10°C의 경우 초기에는 대조구가 0.12 mgMA/kg 수준으로 처리구 0.19 mgMA/kg 수준보다 낮았으나 저장 1개월 이후부터는 대조구 0.19~0.21 mgMA/kg으로 처리구 0.13~0.15 mgMA/kg 보다 높았다. -20°C 저장시 생선의 TBA 변화는 Table 17과 같다. 저장 1개월째 -20°C에서 저장한 생선의 TBA 함량은 대조구가 0.23 mgMA/kg 수준으로 처리구 0.11 mgMA/kg 수준에 비해 높은 수준을 나타내었으며 저장 2개월째 -40도에서 저장한 생선의 TBA가 0.15~0.23 mgMA/kg 수준임에 비해 -20°C 저장시 0.12~0.27 mgMA/kg 수준으로 낮

은 온도에서 저장할 경우 생선의 TBA 증가율이 다소 낮게 나타났다.

Table 18. VBN of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---|-----------|---------------------|------------|------------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| | | | | |
| -10 | Con | 17.27±2.95 | 25.22±5.89 | 31.80±0.56 |
| | E-T | 13.12±1.02 | 19.91±0.92 | 20.75±5.68 |
| -20 | Con | 15.87±1.63 | 15.47±0.56 | 15.89±0.56 |
| | E-T | 13.49±0.49 | 13.08±0.67 | 13.71±0.02 |

-40°C 에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 생선의 휘발성 염기태 질소 함량의 변화는 Table 18와 같다. VBN은 어패류의 선도 판정을 위한 지표 중 하나이며 향기와 깊은 관련이 있고 암모니아, trimethylamine, dimethylamine 등의 복합물로 구성되어 있을 뿐 아니라 함량은 신선도의 저하 및 진행될 때 증가한다. 초기 VBN의 함량은 13.12~17.27 mg% 수준으로 나타났으며 저장 기간 동안 증가하였다. -10°C 저장시 대조구의 VBN 함량은 17.27 mg%에서 저장 2개월째 31.80 수준으로 까지 증가하였으며 이에반해 처리구는 저장 2개월째 20.75 mg% 수준으로 나타나 냉동 방법에 영향이 있는 것으로 나타났다. -20°C 저장시 1개월 후 대조구는 27.55 mgMA/kg수준으로 초기에 비해 10 mgMA/kg 수준 증가하였으며 대조구의 경우에도 20.69 mgMA/kg으로 초기에 비해 약 7 mgMA/kg 수준 증가하는 경향을 나타내었다. VBN 또한 TBA와 비슷한 경향을 보였으며 저장기간 동안 -40°C 저장이 -20°C 저장에 비해 VBN 증가율이 다소 낮았다.

Table 19. VBN of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---|-----------|---------------------|------------|------------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| | | | | |
| -10 | Con | 17.27±2.95 | 27.55±4.53 | 32.76±9.56 |
| | E-T | 13.12±1.02 | 20.69±1.20 | 22.07±5.62 |
| -20 | Con | 15.87±1.63 | 16.71±3.63 | 20.64±5.56 |
| | E-T | 13.49±0.49 | 19.03±0.77 | 19.65±8.68 |

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 생선의 총균수의 변화는 Table 20과 같다. 초기 생선의 균수는 4.27~4.89 log CFU/g 수준으로 나타났으며 냉동기간동안 큰 변화를 나타내지 않았다. -10℃ 저장시 처리에 관계없이 4.25~4.86 log CFU/g 수준으로 나타내었으며 -20℃ 저장시도 비슷한 수준을 나타내었다. -20℃ 저장시 생선의 총균수는 4.27~5.09 log CFU/g 수준으로 초기와 비슷한 수준을 나타내었다.

Table 20. Total cell count of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| | | Unit: log CFU/g | | |
| -10 | Con | 4.49±0.26 | 4.43±0.02 | 4.86±0.55 |
| | E-T | 4.27±0.02 | 4.25±0.15 | 4.55±0.66 |
| -20 | Con | 4.33±0.26 | 4.80±0.07 | 4.33±0.23 |
| | E-T | 4.89±0.04 | 5.04±0.08 | 4.88±0.56 |

Table 21. Total cell count of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| | | Unit: log CFU/g | | |
| -10 | Con | 4.49±0.26 | 4.91±0.11 | 4.59±0.26 |
| | E-T | 4.27±0.02 | 4.46±0.09 | 4.35±0.23 |
| -20 | Con | 4.33±0.26 | 5.09±0.03 | 4.56±0.66 |
| | E-T | 4.89±0.04 | 4.59±0.21 | 4.95±0.23 |

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 생선의 색도 변화는 Table 22과 같다. 생선의 초기 색도는 L, a 및 b 값은 각각 53.42, -0.19 및 -1.30 수준이었다. 냉동 직후 L 값은 감소하였으며 a, 및 b 값은 증가하였다. 냉동처리 조건에 따른 변화는 나타나지 않았다. 저장기간동안에도 냉동 직후와 비슷한 수준을 유지하였다. -20℃ 저장시에서 -40℃ 저장과 비슷한 수준을 나타내었다.

Table 22. Color value of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Color value | Storage time(month) | | |
|---|-----------|-------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | L | 49.49 \pm 0.45 | 49.92 \pm 0.55 | 53.00 \pm 0.40 |
| | | a | 0.93 \pm 0.44 | 1.41 \pm 0.63 | -0.74 \pm 0.63 |
| | | b | 3.80 \pm 0.20 | 4.00 \pm 0.52 | 5.46 \pm 1.15 |
| | E-T | L | 49.62 \pm 2.78 | 53.46 \pm 0.99 | 52.35 \pm 0.56 |
| | | a | 0.34 \pm 0.24 | -0.63 \pm 0.27 | -0.93 \pm 0.05 |
| | | b | 3.64 \pm 0.16 | 4.96 \pm 0.95 | 4.80 \pm 0.03 |
| -20 | Con | L | 44.45 \pm 2.74 | 50.44 \pm 0.70 | 51.17 \pm 0.55 |
| | | a | -0.63 \pm 0.54 | 0.64 \pm 0.11 | 0.78 \pm 0.11 |
| | | b | 4.58 \pm 0.87 | 3.48 \pm 0.02 | 3.48 \pm 0.23 |
| | E-T | L | 47.87 \pm 1.40 | 51.31 \pm 4.61 | 53.46 \pm 0.99 |
| | | a | -0.40 \pm 0.21 | 0.25 \pm 0.48 | -0.63 \pm 0.27 |
| | | b | 3.61 \pm 0.48 | 4.01 \pm 1.40 | 4.96 \pm 0.95 |

Table 23. Color value of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Color value | Storage time(month) | | |
|---|-----------|-------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | L | 49.49 \pm 0.45 | 52.37 \pm 3.37 | 55.92 \pm 0.66 |
| | | a | 0.93 \pm 0.44 | -0.40 \pm 0.24 | -0.26 \pm 0.22 |
| | | b | 3.80 \pm 0.20 | 3.84 \pm 0.65 | 3.37 \pm 0.25 |
| | E-T | L | 49.62 \pm 2.78 | 53.58 \pm 3.59 | 57.32 \pm 9.56 |
| | | a | 0.34 \pm 0.24 | -0.21 \pm 0.16 | -0.40 \pm 0.23 |
| | | b | 3.64 \pm 0.16 | 4.82 \pm 0.83 | 5.69 \pm 0.35 |
| -20 | Con | L | 44.45 \pm 2.74 | 50.63 \pm 0.45 | 51.12 \pm 0.11 |
| | | a | -0.63 \pm 0.54 | 0.04 \pm 0.34 | 0.13 \pm 0.23 |
| | | b | 4.58 \pm 0.87 | 3.75 \pm 0.81 | 4.46 \pm 0.53 |
| | E-T | L | 47.87 \pm 1.40 | 50.60 \pm 1.02 | 49.49 \pm 9.23 |
| | | a | -0.40 \pm 0.21 | 0.40 \pm 0.13 | 0.54 \pm 0.23 |
| | | b | 3.61 \pm 0.48 | 5.45 \pm 0.57 | 4.80 \pm 0.32 |

2) 소고기의 냉동 저장 품질 비교

소고기 냉동 시료는 냉동 저장 후 소고기의 품질을 비교하기 위해 온도 -20°C , -10°C 에서 냉동(일반 냉동과 정전기장 냉동)을 한 후 각각 -40°C 에 저장하여 한달 간격으로 품질을 비교하였다.

-40°C 저장 중 냉동 조건별 생선의 드립률을 측정된 결과는 Table 24와 같다. 초기 드립률은 $2.32\sim 4.22\%$ 수준이었으며 -10°C 대조구가 4.22% 로 가장 높게 나타났다. -10°C 경우 -20°C 냉동에 비해 드립률이 높았으며 -20°C 처리의 경우 대조구와 처리구간의 큰 변화를 보이지 않았다. 하지만 저장기간 동안 증가하는 경향을 나타냈으며 저장 1개월후 대조구는 4.18% 수준이었으며 처리구는 3.76% 으로 대조구의 드립률이 높게 나타났다. -20°C 저장시 생선의 드립률 측정된 결과는 Table 25와 같다. -10°C 저장시 대조구의 드립률은 처리구에 비해 높았으며 저장 한 달 쯤 대조구는 5.26% 수준인 것에 반해 처리구의 드립률은 3.38% 수준이었다.

Table 24. Drip loss of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 4.22±2.29 | 6.04±0.92 | 6.55±0.56 |
| | E-T | 3.22±1.56 | 5.26±0.80 | 5.10±0.64 |
| -20 | Con | 2.32±0.30 | 4.18±1.00 | 4.68±0.63 |
| | E-T | 2.82±1.13 | 3.76±0.07 | 4.23±0.26 |

Table 25. Drip loss of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 4.22±2.29 | 5.26±0.26 | 4.23±0.65 |
| | E-T | 3.22±1.56 | 3.38±0.51 | 3.66±0.65 |
| -20 | Con | 2.32±0.30 | 4.51±0.85 | 5.41±0.95 |
| | E-T | 2.82±1.13 | 4.21±0.78 | 5.11±0.56 |

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 소고기의 pH 변화는 Table 26과 같다. 초기 소고기의 pH는 5.78이었으며 냉동 직후 소고기의 pH는 5.59~5.66 수준으로 나타났다. 저장동안 pH가 다소 증가하는 경향을 보였으며 이는 단백질의 분해 작용에 인한 것으로 생각된다. -10℃ 저장한 대조구의 pH의 경우 5.64이었으며 처리구는 5.57 수준으로 대조구의 pH가 다소 높았으나 큰 차이는 보이지 않았다. 저장동안 5.56~5.58 수준으로 저장에 따른 변화도 크지 않았다. -20℃ 저장의 경우에도 -40℃ 저장과 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 26. pH of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 5.64±0.04 | 5.56±0.02 | 5.58±0.05 |
| | E-T | 5.57±0.01 | 5.57±0.01 | 5.58±0.03 |
| -20 | Con | 5.59±0.01 | 5.51±0.01 | 5.65±0.02 |
| | E-T | 5.66±0.04 | 5.58±0.01 | 5.59±0.03 |

Table 27. pH of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 5.64±0.04 | 5.53±0.01 | 5.55±0.06 |
| | E-T | 5.57±0.01 | 5.62±0.03 | 5.61±0.02 |
| -20 | Con | 5.59±0.01 | 5.64±0.01 | 5.64±0.05 |
| | E-T | 5.66±0.04 | 5.59±0.01 | 5.60±0.06 |

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 소고기의 TBA 변화는 Table 28와 같다. 지방 산패도를 나타내는 척도이며 초기 소고기의 TBA는 0.08 mgMA/kg 수준이었으며 냉동직후에는 0.05 mgMA/kg 수준을 나타내었다. 저장 기간이 증가할수록 TBA 수준이 다소 증가하는 것으로 나타났다. -20℃ 저장의 경우 저장동안 대조구가 처리구에 비해 TBA 값이 높은 수준을 나타내었다. -10℃의 경우 초기에는 대조구가 0.10 mgMA/kg 수준으로 처리구 0.08 mgMA/kg

수준에 비해 다소 높았다. 저장 두달째 대조구 0.12 mgMA/kg으로 처리구 0.11 mgMA/kg 보다 높았다. -20℃ 저장시에도 -10℃ 저장과 비슷한 경향을 나타내었다. 저장 2개월째 초기에 비해 0.02 mgMA/kg 수준 증가하는 경향을 나타내었으나 냉동처리에 따른 차이는 보이지 않았다.

-20℃ 저장시 소고기의 TBA 변화는 Table 29과 같다. 저장 1개월째 -20℃에서 저장한 생선의 TBA 함량은 대조구가 0.12 mgMA/kg 수준으로 처리구 0.08 mgMA/kg 수준에 비해 높은 수준을 나타내었으며 -40℃ 저장과 비교할 때 다소 높은 수준을 나타내었다.

Table 28. TBA of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | Unit: mgMA/kg | | |
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 0.10±0.00 | 0.10±0.01 | 0.12±0.02 |
| | E-T | 0.08±0.02 | 0.09±0.03 | 0.11±0.23 |
| -20 | Con | 0.05±0.01 | 0.04±0.01 | 0.07±0.02 |
| | E-T | 0.05±0.01 | 0.04±0.00 | 0.07±0.01 |

Table 29. TBA of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | unit: mgMA/kg | | |
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 0.10±0.00 | 0.12±0.01 | 0.13±0.03 |
| | E-T | 0.08±0.02 | 0.08±0.00 | 0.10±0.02 |
| -20 | Con | 0.05±0.01 | 0.06±0.01 | 0.07±0.02 |
| | E-T | 0.05±0.01 | 0.06±0.01 | 0.06±0.02 |

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 소고기의 휘발성염기태질소 함량의 변화는 Table 30과 같다. VBN 값은 단백질이 albumose, peptone, peptide, amino acid 등으로 분해된 후 세균의 환원작용으로 생성된 것으로 신선도의 저하 및 진행될 때 증가한다. 초기 VBN의 함량은 6.54~8.56 mg% 수준으로 나타났으며 저장기간 동안 큰 변화가 나타나지 않았다. -20℃ 저장의 경우도 비슷하였다.

Table 30. VBN of frozen fish in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature (°C) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 8.56±1.37 | 8.36±0.86 | 9.87±0.56 |
| | E-T | 7.28±0.00 | 7.28±0.00 | 7.27±0.05 |
| -20 | Con | 6.83±1.88 | 4.92±1.46 | 6.43±2.22 |
| | E-T | 6.54±0.30 | 4.95±0.89 | 5.97±0.56 |

Unit: mg%

Table 31. VBN of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20°C

| Freezing temperature (°C) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 8.56±1.37 | 8.44±1.06 | 8.07±2.30 |
| | E-T | 7.28±0.00 | 5.80±0.87 | 6.34±0.35 |
| -20 | Con | 6.83±1.88 | 5.83±0.95 | 6.80±0.56 |
| | E-T | 6.54±0.30 | 4.36±0.81 | 5.30±0.65 |

Unit: mg%

Table 32. Total cell count of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature (°C) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 4.35±0.03 | 5.08±0.08 | 5.23±0.65 |
| | E-T | 4.80±0.06 | 5.04±0.08 | 5.02±0.56 |
| -20 | Con | 4.35±0.03 | 5.06±0.01 | 5.95±0.06 |
| | E-T | 4.80±0.06 | 4.93±0.02 | 5.32±0.56 |

Unit: log CFU/g

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 소고기의 미생물 함량의 변화는 Table 32과 같다. 초기 소고기의 미생물 함량은 4.35~4.8 log CFU/g 수준이었으며 저장기간 동안 다소 증가하여 5.23~5.95 log CFU/g을 나타내었다. 처리구와 대조구간의 미생물적 차이는 보이지 않았다. -20℃ 저장의 경우도 마찬가지로 저장기간동안 다소 증가하였으나 처리구들 간에 차이는 나타나지 않았다.

Table 33. Total cell count of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 4.35±0.03 | 5.03±0.04 | 5.55±0.67 |
| | E-T | 4.80±0.06 | 5.31±0.01 | 5.47±0.68 |
| -20 | Con | 4.35±0.03 | 4.58±0.03 | 5.20±0.35 |
| | E-T | 4.80±0.06 | 4.59±0.02 | 5.10±0.56 |

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 소고기의 색도 변화는 Table 34와 같다. 소고기의 초기 색도는 L, a 및 b 값은 각각 44.37, 17.66 및 10.65 수준이었다. 냉동 직후 명도를 나타내는 L 값 붉은 정도를 나타내는 a값 및 황색도를 나타내는 b 값 모두 다소 감소하였다. 냉동처리 조건에 따른 변화는 나타나지 않았다. 저장기간 동안에도 냉동 직후와 비슷한 수준을 유지하였다. -20℃ 저장시에서 -40℃ 저장과 비슷한 수준을 나타내었다.

Table 34. Color value of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Color value | Storage time(month) | | |
|---|-----------|-------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | L | 37.19 \pm 4.00 | 39.44 \pm 2.91 | 38.05 \pm 0.56 |
| | | a | 12.94 \pm 1.87 | 14.53 \pm 1.21 | 13.14 \pm 2.65 |
| | | b | 6.60 \pm 1.89 | 9.07 \pm 0.59 | 8.43 \pm 0.35 |
| | E-T | L | 39.01 \pm 0.54 | 37.21 \pm 4.22 | 35.19 \pm 5.62 |
| | | a | 14.76 \pm 0.90 | 15.28 \pm 0.60 | 14.68 \pm 0.65 |
| | | b | 5.42 \pm 0.82 | 7.97 \pm 1.99 | 7.04 \pm 2.33 |
| -20 | Con | L | 42.89 \pm 1.63 | 39.94 \pm 1.86 | 41.87 \pm 0.64 |
| | | a | 15.62 \pm 1.16 | 14.53 \pm 0.23 | 14.79 \pm 3.65 |
| | | b | 8.20 \pm 1.27 | 8.79 \pm 0.87 | 9.79 \pm 6.56 |
| | E-T | L | 41.64 \pm 0.12 | 42.72 \pm 0.36 | 42.67 \pm 2.31 |
| | | a | 14.81 \pm 1.27 | 12.40 \pm 2.07 | 13.02 \pm 1.65 |
| | | b | 5.14 \pm 0.93 | 6.97 \pm 0.98 | 7.57 \pm 0.23 |

Table 35. Color value of frozen beef in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Color value | Storage time(month) | | |
|---|-----------|-------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | L | 37.19 \pm 4.00 | 40.30 \pm 3.50 | 44.34 \pm 5.66 |
| | | a | 12.94 \pm 1.87 | 14.02 \pm 3.44 | 17.99 \pm 5.61 |
| | | b | 6.60 \pm 1.89 | 7.71 \pm 1.72 | 8.56 \pm 0.23 |
| | E-T | L | 39.01 \pm 0.54 | 37.74 \pm 1.69 | 39.36 \pm 5.16 |
| | | a | 14.76 \pm 0.90 | 13.78 \pm 1.77 | 15.72 \pm 2.31 |
| | | b | 5.42 \pm 0.82 | 6.17 \pm 1.52 | 7.34 \pm 2.31 |
| -20 | Con | L | 42.89 \pm 1.63 | 42.65 \pm 2.83 | 45.25 \pm 2.31 |
| | | a | 15.62 \pm 1.16 | 13.67 \pm 1.91 | 15.87 \pm 1.20 |
| | | b | 8.20 \pm 1.27 | 7.89 \pm 1.26 | 8.75 \pm 0.15 |
| | E-T | L | 41.64 \pm 0.12 | 43.45 \pm 2.56 | 46.39 \pm 3.50 |
| | | a | 14.81 \pm 1.27 | 13.40 \pm 0.63 | 13.95 \pm 2.51 |
| | | b | 5.14 \pm 0.93 | 7.61 \pm 0.50 | 8.04 \pm 0.13 |

3) 감자의 냉동 저장 품질 비교

감자시료의 경우, 냉동 저장 후 감자의 품질을 비교하기 위해 온도 -20°C , -10°C 에서 냉동 (일반 냉동과 정전기장 냉동)을 한 후 각각 -40°C 및 -20°C 에 저장하여 한 달 간격으로 품질을 비교하였다.

Table 36. Drip loss of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---|-----------|---------------------|------------|------------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 17.84±2.08 | 16.66±4.49 | 15.82±2.32 |
| | E-T | 11.96±0.83 | 13.96±1.19 | 15.12±0.54 |
| -20 | Con | 12.65±1.20 | 14.63±1.03 | 17.26±0.52 |
| | E-T | 11.83±1.02 | 12.13±0.27 | 15.12±2.53 |

저장 중 냉동 조건별 감자의 드립률을 측정된 결과는 Table 36과 같다. 초기 대조구의 드립률은 -20°C 도 -10°C 도 냉동 조건에서 각각 17.84% 및 12.65% 수준으로 나타났으며 저장기간에 길어질수록 드립률은 증가하는 것으로 나타났다. -10°C 의 경우 저장 1개월후 대조구 및 처리구의 드립률이 16.66% 및 13.96% 수준으로 처리구가 대조구에 비해 3% 수준 낮게 나타났다. 처리구의 경우 -20°C 저장 및 -10°C 저장은 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 37. Drip loss of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20°C

| Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---|-----------|---------------------|------------|------------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 17.84±2.08 | 17.42±2.53 | 18.84±2.65 |
| | E-T | 11.96±0.83 | 12.91±1.26 | 15.65±2.65 |
| -20 | Con | 12.65±1.20 | 17.78±2.17 | 19.81±5.63 |
| | E-T | 11.83±1.02 | 12.36±0.88 | 15.90±2.66 |

-20℃ 저장시 감자의 드립률은 Table 37에 나타나있다. -40℃ 저장과 유사하게 저장동안 드립률은 증가하였으며 -20℃ 처리시 처리구의 초기 드립률은 14.63%로 2개월후 15.90%로 다소 증가하는 경향을 보였다. -20℃ 저장시 2개월후 대조구의 드립률이 18.84~19.81%, -40℃ 저장 15.82~17.26% 수준에 비해 높게 나타났으나 처리구의 경우 큰 변화를 보이지 않았다.

-40℃에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 감자의 pH 변화는 Table 38과 같다. 감자의 pH는 감자를 갈아 5배의 증류수로 희석하여 pH를 측정하였다. 초기 감자의 pH는 5.81 이었으며 냉동 직후 감자의 pH는 5.74~5.98 수준으로 나타났다. 저장동안도 초기와 비슷한 수준을 나타내었다. 감자의 pH는 냉동 온도와 냉동 조건에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 38. pH of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 5.90±0.03 | 5.96±0.02 | 5.97±0.64 |
| | E-T | 5.98±0.03 | 6.00±0.04 | 5.96±0.23 |
| -20 | Con | 5.74±0.01 | 5.91±0.02 | 5.93±0.02 |
| | E-T | 5.88±0.01 | 5.91±0.01 | 5.92±0.03 |

Table 39. pH of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 5.90±0.03 | 5.96±0.02 | 5.83±0.03 |
| | E-T | 5.98±0.03 | 6.00±0.04 | 5.85±0.05 |
| -20 | Con | 5.74±0.01 | 5.94±0.02 | 5.90±0.05 |
| | E-T | 5.88±0.01 | 5.90±0.02 | 5.88±0.06 |

-40℃ 및 -20℃ 에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 감자의 비타민 C 함량의 변화는 Table 40와 41과 같다. 생시료의 비타민 C 함량은 4.6 mg% 수준이었으며 냉동 직후 비타민 C 함량은 4.06~4.75 mg%로 나타났다. 저장기간동안 감소하였으며 대조구의 감소율이 높게 나타났다. 저장 한달 후 대조구는 0.6 mg% 수준 감소하였으며 처리구는 큰 변화를 나타내지 않았다.

Table 40. Vit C of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| | | unit: mg% | | |
| -10 | Con | 4.06±0.33 | 3.40±0.17 | 3.30±0.23 |
| | E-T | 4.49±1.02 | 4.53±0.19 | 4.33±0.23 |
| -20 | Con | 4.25±0.35 | 3.45±0.39 | 3.39±0.65 |
| | E-T | 4.75±0.51 | 4.68±0.51 | 4.29±0.55 |

Table 41. Vit C of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| | | unit: mg% | | |
| -10 | Con | 4.06±0.33 | 4.19±0.05 | 4.16±0.23 |
| | E-T | 5.05±0.47 | 4.51±0.30 | 4.16±0.65 |
| -20 | Con | 4.25±0.35 | 4.77±0.11 | 4.68±0.65 |
| | E-T | 4.75±0.51 | 4.73±0.20 | 4.66±0.23 |

-40℃ 및 -20℃ 에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 감자의 총당 함량의 변화는 Table 42와 43과 같다. 감자의 총당은 43.38 mg% 수준이었으며 냉동 직후 43.7~46.0 mg% 수준을 나타내었다. 저장시 다소 감소하였으며 이는 드립률과 냉동 건조와 상관관계가 있는 것으로 생각된다. 저장 한달 후 35.18~39.68 mg% 수준으로 감소하였으며 그 이후에도 비슷한 경향을 나타내었다. 저장온도에 따른 경향은 나타나지 않았다.

Table 42. Total sugar of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature (°C) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|------------|------------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 41.95±2.19 | 39.68±1.28 | 38.25±3.65 |
| | E-T | 45.65±3.18 | 36.03±2.00 | 38.01±0.12 |
| -20 | Con | 43.70±0.39 | 35.18±2.15 | 33.39±3.56 |
| | E-T | 46.06±0.60 | 38.67±3.16 | 35.28±2.55 |

Unit: mg%

Table 43. Total sugar of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20°C

| Freezing temperature (°C) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|------------|------------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 41.95±2.19 | 38.79±0.20 | 38.77±2.66 |
| | E-T | 45.65±3.18 | 39.76±1.63 | 37.88±1.32 |
| -20 | Con | 43.70±0.39 | 31.78±8.75 | 31.81±2.66 |
| | E-T | 46.06±0.60 | 39.46±6.29 | 35.66±2.65 |

Unit: mg%

Table 44. Total cell count of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40°C

| Freezing temperature (°C) | Treatment | Storage time(month) | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 3.08±0.05 | 3.48±0.02 | 3.49±0.22 |
| | E-T | 2.80±0.08 | 4.22±0.05 | 3.66±0.56 |
| -20 | Con | 3.37±0.09 | 3.66±0.05 | 3.55±0.56 |
| | E-T | 3.13±0.07 | 3.10±0.00 | 3.47±0.35 |

Unit: log CFU/g

-40℃ 및 -20℃ 에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 감자의 총균수 변화는 Table 44와 45과 같다. 감자의 총균수는 냉동 후 2.80~3.08 log CFU/g 수준이었으며 저장기간 동안 3.48~4.22 log CFU/g 수준이었다. 냉동 감자의 미생물도 저장 온도 및 냉동 조건에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

Table 45. Total cell count of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| | | Unit: log CFU/g | | |
| | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | 3.08±0.05 | 3.87±0.17 | 3.48±0.23 |
| | E-T | 2.80±0.08 | 3.83±0.07 | 3.32±0.23 |
| -20 | Con | 3.37±0.09 | 3.58±0.06 | 3.55±0.23 |
| | E-T | 3.13±0.07 | 3.65±0.09 | 3.23±0.65 |

Table 46. Color value of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -40℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Color value | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|-------------|---------------------|------------|------------|
| | | | | | |
| | | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | L | 67.89±1.23 | 66.33±2.08 | 64.94±0.65 |
| | | a | 1.22±0.21 | 1.24±0.23 | 1.42±0.22 |
| | | b | 12.63±1.50 | 14.50±2.39 | 16.17±0.23 |
| | E-T | L | 69.03±1.31 | 73.45±1.31 | 72.04±5.22 |
| | | a | 0.68±0.45 | -0.07±0.19 | 0.05±0.00 |
| | | b | 15.53±0.49 | 13.53±0.52 | 14.04±0.56 |
| -20 | Con | L | 67.89±1.23 | 73.65±1.94 | 72.04±5.64 |
| | | a | 1.22±0.21 | -0.26±0.20 | -0.07±0.05 |
| | | b | 12.63±1.50 | 12.94±2.49 | 13.93±2.65 |
| | E-T | L | 70.37±0.41 | 70.24±1.70 | 68.55±3.55 |
| | | a | 0.92±0.51 | -0.69±0.33 | -0.85±0.23 |
| | | b | 13.69±0.94 | 14.98±1.11 | 13.96±2.65 |

-40℃ 및 -20℃ 에 저장하면서 냉동 처리를 달리한 감자의 색도의 변화는 Table 46 및 47과 같다. 감자의 초기 L, a 및 b 값은 70.00, -1.83 및 14.76이며 냉동 직후 67.89~70.37, 0.68~1.22 및 12.63~15.53으로 L 값은 다소 감소하였으며 a 및 b값은 다소 증가하였다. a값은 적색을 나타내는 값으로 감자의 경우 갈변이 진행될수록 a값은 증가하며 생시료에 비해 냉동 직후 a값은 증가하며 b값 또한 증가하는 경향을 나타내었다. 냉동직후 대조구의 ΔE 값은 4.57로 처리구의 2.95보다 높은 수준을 나타내었다.

Table 47. Color value of frozen potato in various freezing temperature and freezing conditions during storage -20℃

| Freezing temperature (℃) | Treatment | Color value | Storage time(month) | | |
|--------------------------|-----------|-------------|---------------------|------------|------------|
| | | | 0 | 1 | 2 |
| -10 | Con | L | 67.89±1.23 | 70.01±0.59 | 70.69±0.66 |
| | | a | 1.22±0.21 | 0.25±0.47 | 0.50±0.13 |
| | | b | 12.63±1.50 | 14.93±1.52 | 16.25±3.23 |
| | E-T | L | 69.03±1.31 | 74.11±2.08 | 71.71±5.69 |
| | | a | 0.68±0.45 | 0.26±0.26 | 0.55±0.23 |
| | | b | 15.53±0.49 | 15.07±0.72 | 15.56±0.32 |
| -20 | Con | L | 67.89±1.23 | 74.83±3.24 | 72.53±0.23 |
| | | a | 1.22±0.21 | 0.97±1.18 | 2.31±0.11 |
| | | b | 12.63±1.50 | 16.90±5.83 | 21.12±3.25 |
| | E-T | L | 70.37±0.41 | 70.38±0.88 | 75.82±0.99 |
| | | a | 0.92±0.51 | 1.39±0.23 | -0.33±0.22 |
| | | b | 13.69±0.94 | 14.77±0.55 | 17.98±2.24 |

8. 단위 시스템 적용에 따른 냉·해동 품질평가

가. 실험 방법

1) 재료

감자와 소고기는 성남시 소재 마켓에서 구입하여 사용하였다. 처리는 -20도에서 하루 동안 냉동하여 5℃에서 15시간 해동하여 성분 분석하였다. 처리조건은 일반냉동 후 일반 해동 (GF-GT), 정전기장 냉동 후 일반 해동(EF-GT), 일반 냉동 후 정전기장 해동(GF-ET) 및 정전기장냉동 후 정전기장 해동(EF-ET) 처리를 하였으며 24시간 냉동 후 15시간 해동하여 분석하였다.

2) 드립률

시료를 15×15×15 mm로 잘라서 polyethylene bag에 넣어 밀봉한 후 각각의 저장온도에서 저장한 시료를 저장기간에 따라 꺼내어 4℃에서 12시간 동안 보관하여 표준화 한 후 무게를 측정하였다. Drip loss는 시료 중량에 대한 감량으로 하여 백분율로 산출하였다.

$$\text{Drip loss (\%)} = \{A - (B + C)\} / (A - C) \times 100$$

A : 포장된 상태의 시료 총 중량 (g)

B : 포장 개봉 후 유출액을 제거한 후의 시료중량 (g)

C : 포장재의 중량 (g)

3) 일반 미생물

시료는 각각 10g 씩 취한 후 멸균된 0.85% saline 용액으로 10배 희석하여 stomacher (Bagmixer R400, interscience, Saint Nom, France)로 균질화 한 후 단계 희석하여 실험을 실시하였다. 시험용액 및 각 단계 희석액 1 mL씩을 멸균 페트리접시에 무균적으로 취하여 agar 를 약 15 mL를 분주하여 pouring culture method로 접종한 다음 일반세균은 35 ± 1℃에서 24~48시간 배양하여 colony수를 측정하여 colony forming unit(CFU/g)으로 표시하였다. 실험에 사용된 배지는 일반세균의 경우 plate count agar(Difco, Detroit, MI, USA)를 사용하였다.

4) TBA (thiobarbituric acid) value 측정

지방의 산패도를 나타내는 TBA값을 측정하였다. 즉, 10 g의 시료에 실험중의 산화방지를 위하여 BHA 50 µg 첨가 후 20% TCA용액 25 mL을 첨가하여 2분간 14,000 rpm으로 균질화 하고 volumetric flask에 넣어 증류수로 50 mL이 되게 하였다. 이를 균일하도록 흔들어준 다음 여과지 (Watman No.1, Japan)로 여과시킨 후 여과액 중 3 mL을 취해 test tube에 넣고 0.005 M 2-thiobarbituric acid 3 mL을 넣고 잘 혼합한 후 실온암소에서 15시간 동안 활성화시킨 후

530 nm의 흡광도에서 측정하였다.

5) VBN (volatile basic nitrogen) value 측정

단백질 부패도를 나타내는 VBN값은 Conway unit로 측정하였다. 즉, 시료를 블렌드로 간 다음 5 g을 증류수 45 mL을 가하여 14,000 rpm에서 5분간 균질화한 후 균질액을 여과지 (Watman No.1)로 여과 시킨 후 여액 중 1 mL을 취해 Conway unit의 외실에 넣고 내실에 0.005 N H₂SO₄ 1 mL을 넣은 후 빨리 뚜껑을 닫은 후 외실에 포화 K₂CO₃ 1 mL을 넣고 바로 밀폐하였다. 용기를 수평으로 회전하여 외실의 sample과 K₂CO₃가 섞이게 한 후 25°C의 incubator에서 60 분간 활성화 시켰다. 뚜껑을 조심스럽게 열고 H₂SO₄에 0.01 N NaOH로 신속히 적정하였다.

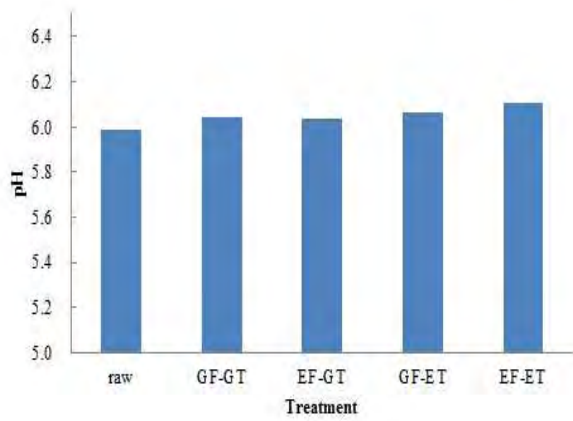
6) 색도측정

색도의 측정은 색차계(Chromameter, CR20, Minolta Co.,Tokyo, Japan)를 사용하여 전처리 조건에 따라 L값(lightness),a값(redness) 및 b값(yellowness)을 측정하였다. 이때 standard plate의 L, a, b값은 각각 97.22, -0.02, 1.95이었다.

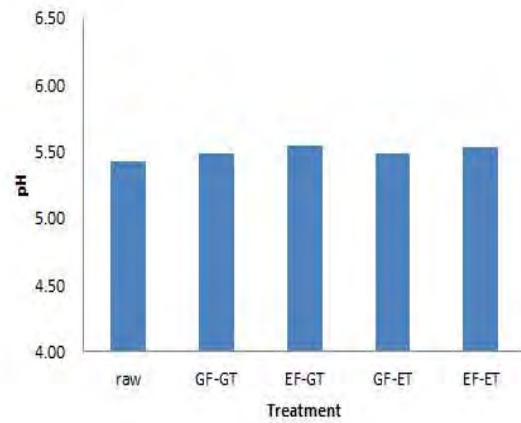
나. 결과 및 고찰

감자의 pH는 초기 5.99였으며 처리 후에도 6.04~6.11 수준으로 시료 처리에 따른 변화를 보이지 않았다. 소고기 또한 처리 후 5.49~5.55 수준으로 처리구간의 큰 변화를 나타내지 않았다 (Fig. 87).

5°C에서 해동하는 동안 3시간 간격으로 드립률을 측정한 결과를 Fig. 88에 나타내었다. 드립률 결과 3시간 후 4.07~11.09% 수준이었으며 해동시간이 경과함에 따라 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 해동 18시간 후 18.57~24.16% 수준까지 증가하였으며 해동에 관계없이 정전기장에서 냉동한 시료들의 드립률이 낮게 나타났다. 소고기의 드립률은 3시간 해동 후 0.45~0.91% 수준이었으며 저장기간 동안 증가하는 경향을 나타내었다. 6시간 해동 후 GF-GT 처리구가 1.05%로 가장 높은 수준을 보였으며 해동 18시간 까지 냉동에 관계없이 정전기장을 이용하여 해동한 처리구 GF-ET와 EF-ET처리구의 드립률이 1.09~1.28% 수준으로 낮게 나타났다.



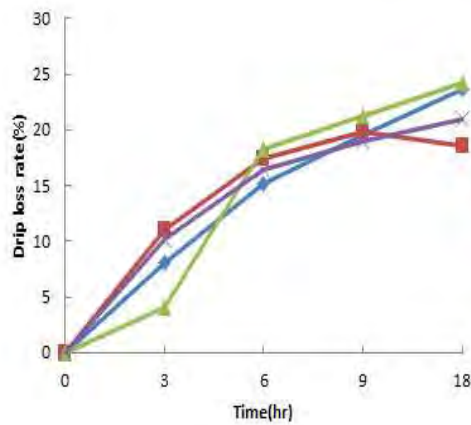
Potato



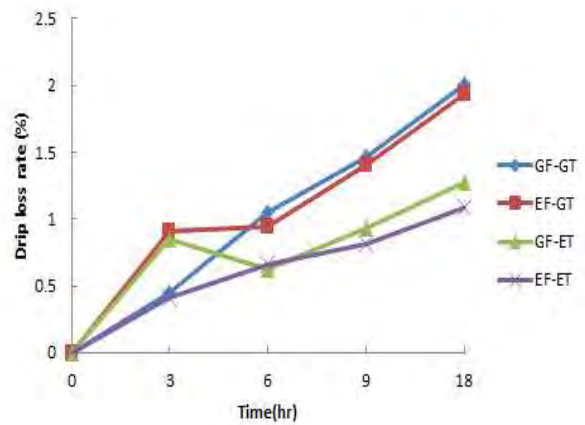
Beef

Fig. 87. pH of potato and beef with different freezing and thawing.

GF-GT: general thawing after general freezing, EF-GT: general thawing after electrostatic freezing, GF-ET: electrostatic thawing after general freezing, EF-ET: electrostatic thawing after electrostatic freezing.



Potato



Beef

Fig. 88. Drip loss rate of potato and beef with different freezing and thawing.

GF-GT: general thawing after general freezing, EF-GT: general thawing after electrostatic freezing, GF-ET: electrostatic thawing after general freezing, EF-ET: electrostatic thawing after electrostatic freezing.

해동 및 냉동 조건에 따른 감자와 쇠고기의 색도 결과는 Table 48에 나타나 있다. 감자의 초기 L, a, b값은 68.07, 3.77, 12.93으로 나타났다. 냉동 후 15시간 해동한 후 색도를 측정한 결과 L 값의 경우 GF-GT가 44.03으로 처리구들 가운데 가장 낮은 값을 나타내었다. a값은 초기 3.77에서 해동 후 15.47~21.77수준으로 가장 높은 증가률을 나타내었다. ΔE 값이 가장 높은 것은 GF-GT처리구로 EF-ET 처리구 16.82에 비해 10이상의 차이를 나타내었다.

Table 48. Color value of potato with different freezing and thawing

| Treatment | Color value | | | |
|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| | L | a | b | ΔE |
| Raw | 68.07±1.10 | 3.77±1.51 | 12.93±0.15 | - |
| GF-GT | 44.03±1.62 | 16.40±2.62 | 13.00±4.62 | 27.15 |
| EF-GT | 56.83±0.81 | 15.47±0.40 | 17.37±2.00 | 16.81 |
| GF-ET | 52.83±3.66 | 21.77±1.02 | 13.87±2.78 | 23.60 |
| EF-ET | 58.30±2.00 | 17.40±0.71 | 11.63±0.55 | 16.82 |

소고기의 색도 L, a, b 값은 39.33, 28.27 및 9.23이며 해동 후 L값은 37.63~43.33, a값은 28.10~32.40 및 b값은 8.57~11.50 수준을 나타내었다. ΔE 값은 GF-GT처리구가 가장 높은 값을 나타내었으며 정전기장 해동을 한 GF-ET 및 EF-ET처리구가 2.03~2.37 수준으로 비교적 낮은 수준을 나타내었다.

Table 49. Color value of beef with different freezing and thawing

| Treatment | Color value | | | |
|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| | L | a | b | ΔE |
| Raw | 39.33±2.41 | 28.27±2.37 | 9.23±1.39 | - |
| GF-GT | 40.83±3.18 | 32.40±1.20 | 8.63±1.16 | 4.44 |
| EF-GT | 43.33±3.61 | 29.27±3.76 | 8.57±1.06 | 4.18 |
| GF-ET | 37.63±1.31 | 28.37±1.20 | 10.33±1.45 | 2.03 |
| EF-ET | 40.00±4.94 | 28.10±0.30 | 11.50±0.36 | 2.37 |

소고기의 VBN 값은 Fig. 89에 나타내었다. 소고기 초기의 TBA 값은 0.17 mg% 수준이었으며 GF-GT는 5.23 mg%으로 가장 높은값을 나타내었다. 냉동방법에 관계없이 정전기장을 이용하여 해동 처리한 처리구들의 VBN 값은 1.89 mg%로 처리구들 가운데 낮은 수준을 나타내었다.

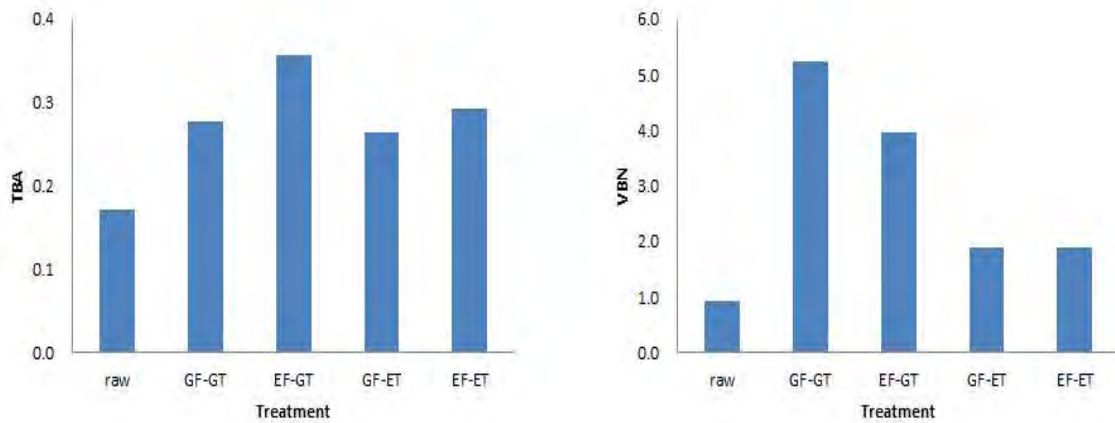


Fig. 89. TBA and VBN of beef with different freezing and thawing.

소고기의 TBA값은 초기 0.17 mgMA/kg 수준이었으며 일반 해동시 소고기의 TBA값은 0.28 ~0.36 mgMA/kg 수준으로 정전기장 해동시 0.26~0.29 mgMA/kg 수준에 비해 다소 높은값을 나타내었다(Fig. 89).

감자의 초기 미생물수는 3.81 log CFU/g수준이었으며 해동후의 미생물은 3.08~4.20 log CFU/g 수준을 나타내었다. 일반적인 해동법 처리구가 4.20~4.45 log CFU/g 수준으로 정전기장 해동법 처리구 3.08~4.12 log CFU/g 수준에 비해 다소 높은 수준을 나타내었지만 큰 변화를 나타내지 않았다. 소고기의 경우 초기 미생물수는 5.06 log CFU/g 수준으로 일반 해동 처리구 5.17~5.71 log CFU/g 수준에 비해 정전기장 처리구 4.78~5.08 log CFU/g수준에 비해 다소 높은 수준을 나타내었다(Fig. 90).

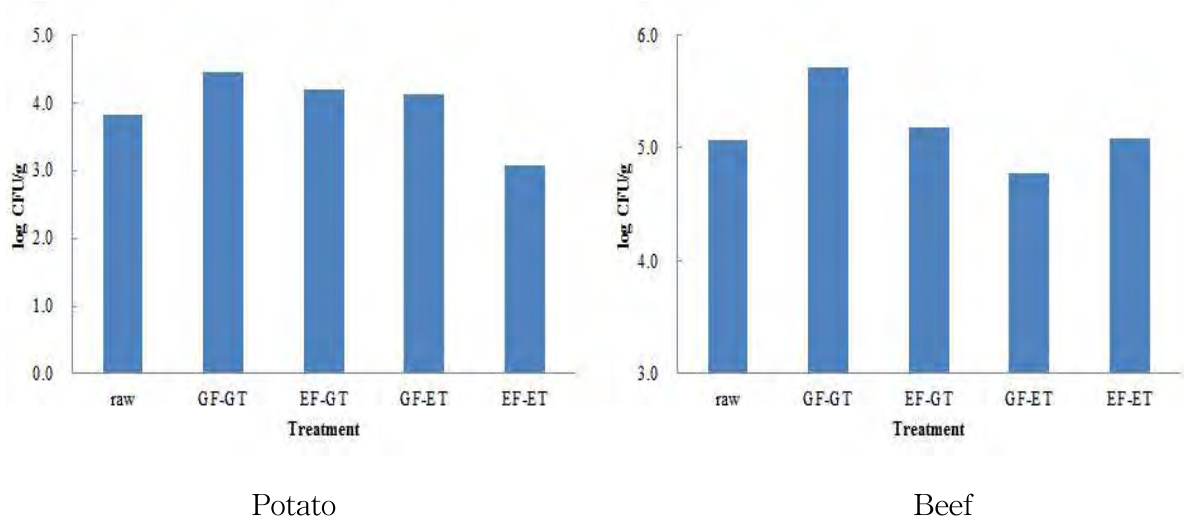


Fig. 90. Microbiology of beef and potato with different freezing and thawing.

9. 정전기 유도에너지의 에너지 강도에 따른 품질 변화

가. 실험방법

감자는 성남시 소재 마켓에서 구입하여 사용하였다. 처리는 -10도에서 하룻동안 냉동하여 5℃에서 15시간 해동하여 성분 분석하였다. 냉동시 처리조건은 에너지 강도 0V, 1,500V, 3,000V, 5,000V 및 7,000V로 달리하여 24시간 냉동한 후 일반 저장고와 정전기장 저장고에서 15시간동안 해동처리 후 품질을 비교 평가하였다.

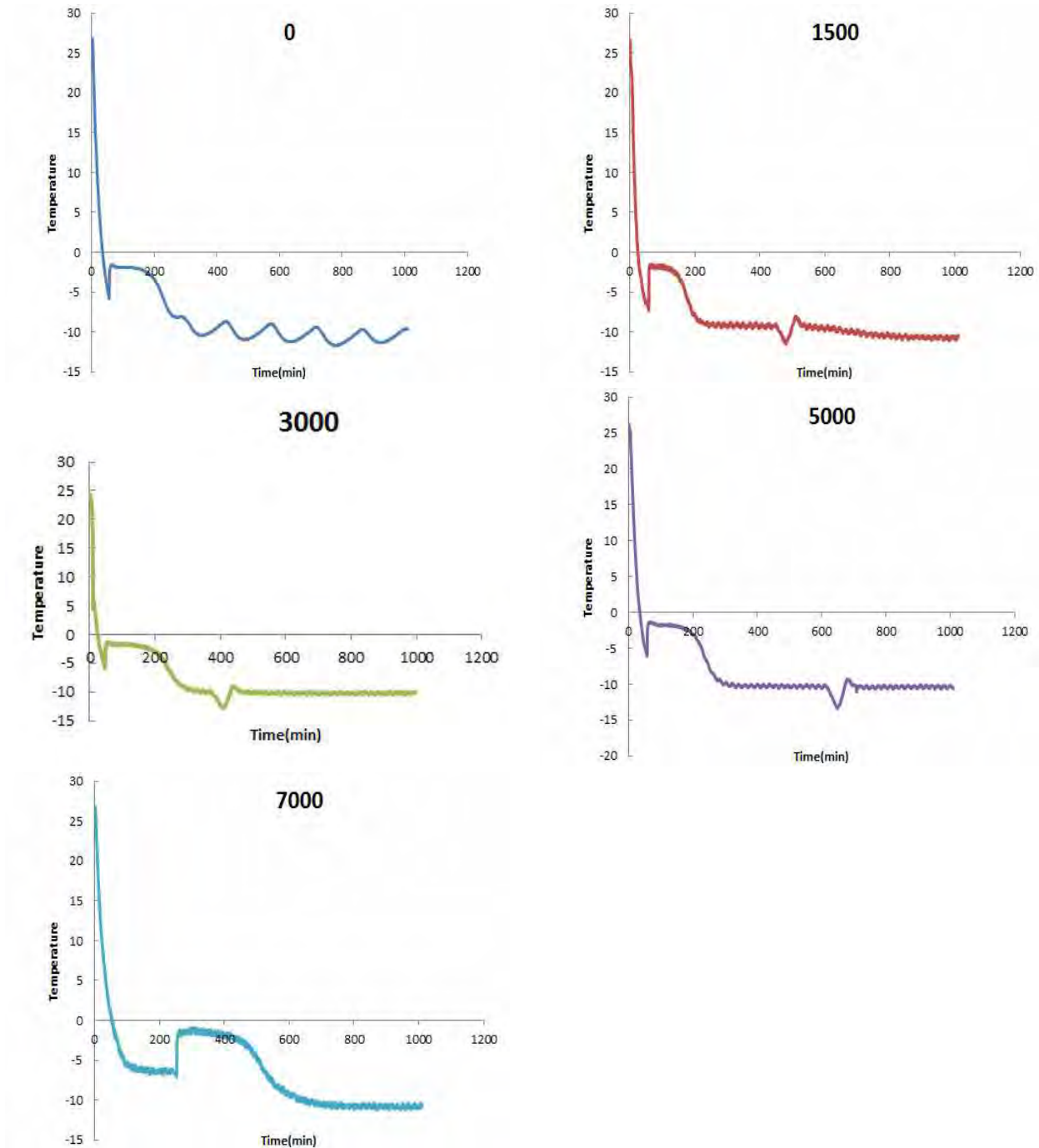


Fig. 91. Freezing temperature in potato according to freezing conditions.

나. 실험 결과

냉동시 에너지 강도에 따른 냉동 곡선은 Fig. 91에 나타내었다. 냉동시 감자의 초기빙결정 생성 온도는 대조구가 -5.8°C 였으며 정전기장 처리시 $-6.4\sim-6.0^{\circ}\text{C}$ 로 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 0°C 이하에서도 고체화되지 않고 액체를 유지하는 상태를 과냉각 상태라고 하는데 대조구에 비해 7,000V 처리시 과냉각 상태를 오랫동안 유지함을 알 수 있었다. 해동곡선에서는 해동시 일반해동에 비해 정전기장 해동시 해동시간이 길게 나타났다.

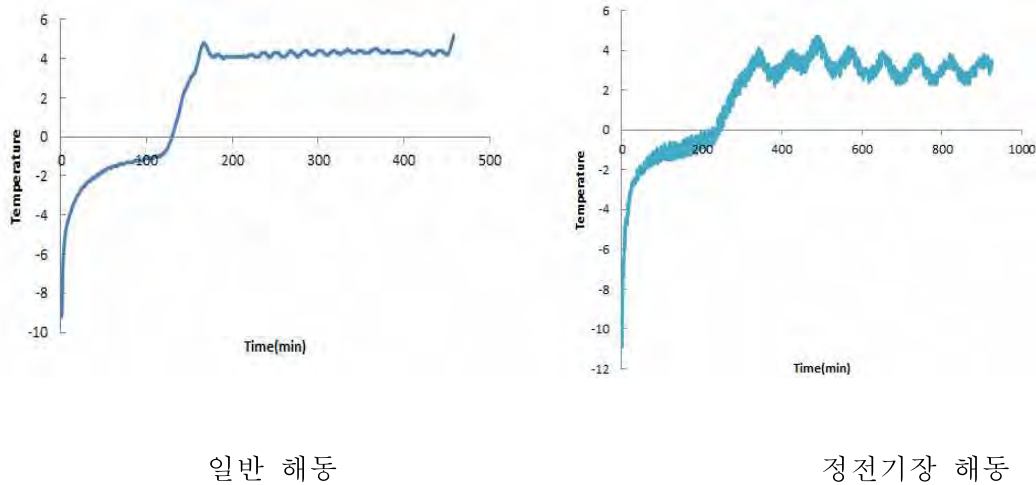


Fig. 92. Freezing temperature in potato according to thawing conditions.

정전기장 에너지 강도를 달리하여 냉동한 감자를 일반해동(GT)와 정전기장해동(ET)로 15시간동안 해동하면서 드립률을 측정 한 결과 1시간 경과 후 드립률은 1.15~3.91%수준이었으며 15시간 경과 후 10.12~17.69%로 증가하였다. 냉동방법에 관계없이 정전기장 해동법이 일반 해동법에 비해 드립률이 낮게 나타났다. 3,000V 및 5,000V 냉동 처리의 경우 일반 해동법은 6시간 경과 후 드립률이 10.04%인데 반해 정전기장 해동법의 경우 7.22%이었다. 5,000V 냉동 처리구에도 마찬가지로 일반 해동의 경우 6시간 경과 후 11.88%이데 반해 정전기장 해동의 경우 9.01% 수준이었다. 에너지 강도별로는 3,000V에서 냉동처리하여 해동한 처리구가 비교적 낮은 드립률을 나타내었다(Fig. 93).

조건을 달리하여 냉동 해동한 감자의 색도의 변화는 Table 50과 같다. 초기 감자의 L, a, 및 b 값은 66.9, 16.0 및 13.5이었다. 해동 시간이 경과함에 따라 L값은 감소하는 경향을 나타냈으며 b값은 증가하는 경향을 보였다.

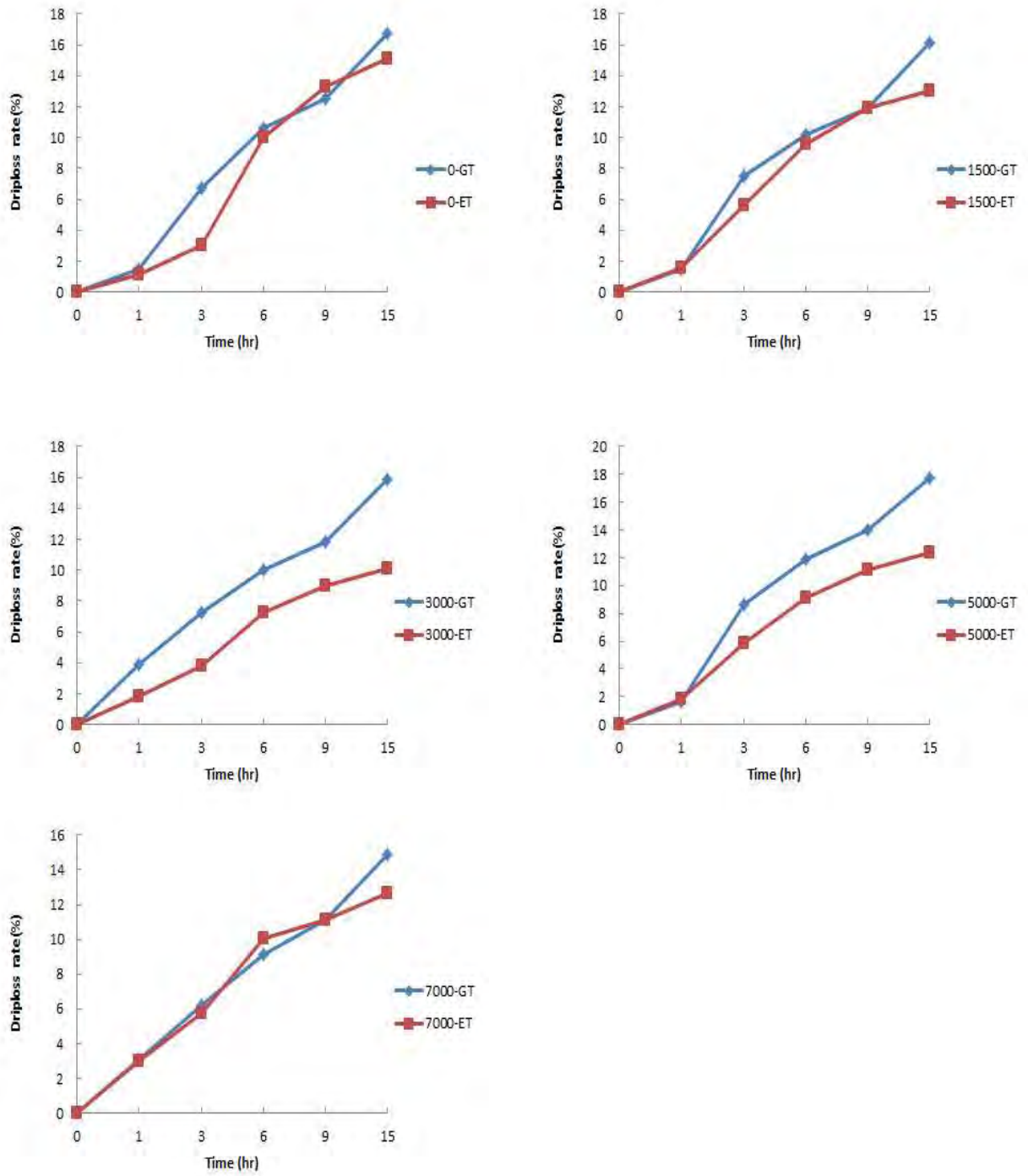


Fig. 93. Drip loss of potato with different freezing and thawing.

Table 50. Color value of potato with different freezing and thawing.

| Treatments | Time | GT | | | ET | | |
|------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | L | a | b | L | a | b |
| initial | 0 | 66.9±0.8 | 16.0±0.4 | 13.5±1.8 | | | |
| 0 | 3 | 62.2±0.8 | 7.9±0.1 | 16.6±0.0 | 61.8±0.6 | 14.8±0.7 | 6.8±1.8 |
| | 6 | 63.3±4.2 | 7.3±0.1 | 17.7±0.9 | 64.3±2.5 | 14.1±0.4 | 12.0±0.1 |
| | 9 | 62.3±1.8 | 11.2±0.0 | 18.8±1.2 | 61.8±3.0 | 12.6±4.5 | 18.5±5.4 |
| | 15 | 55.0±2.8 | 13.3±0.4 | 15.5±0.5 | 64.9±1.1 | 8.8±0.1 | 17.4±0.1 |
| 1500V | 3 | 63.0±3.4 | 7.4±1.8 | 15.8±1.1 | 63.7±0.8 | 13.0±1.3 | 11.5±0.4 |
| | 6 | 62.3±1.8 | 7.8±1.6 | 16.8±3.1 | 66.4±2.0 | 6.4±0.0 | 13.7±1.4 |
| | 9 | 56.8±3.7 | 13.0±1.3 | 17.7±2.1 | 65.2±3.3 | 6.5±1.2 | 11.6±0.8 |
| | 15 | 53.2±1.7 | 17.5±0.4 | 19.0±1.3 | 53.4±0.5 | 14.9±0.2 | 22.1±1.4 |
| 3000V | 3 | 58.5±4.7 | 13.4±0.7 | 12.7±3.0 | 64.6±1.8 | 12.5±0.4 | 13.8±1.0 |
| | 6 | 65.8±1.7 | 8.9±0.7 | 18.1±0.4 | 65.2±4.3 | 10.4±1.2 | 9.3±1.6 |
| | 9 | 58.2±1.2 | 14.2±0.4 | 19.2±0.8 | 62.9±1.3 | 8.5±1.1 | 17.0±0.7 |
| | 15 | 46.9±0.6 | 20.7±1.2 | 20.4±1.6 | 59.6±0.2 | 13.5±0.7 | 16.8±0.6 |
| 5000V | 3 | 60.4±5.8 | 20.8±5.4 | 10.9±1.9 | 61.9±2.3 | 14.7±0.1 | 14.5±0.3 |
| | 6 | 63.6±1.8 | 10.7±0.2 | 15.0±0.8 | 62.4±2.8 | 12.8±2.2 | 16.8±2.5 |
| | 9 | 56.7±0.2 | 16.7±0.8 | 21.4±1.6 | 60.0±1.0 | 10.4±0.6 | 17.4±0.1 |
| | 15 | 49.7±2.0 | 15.2±2.4 | 14.4±5.6 | 53.3±0.8 | 12.6±1.9 | 20.8±1.4 |
| 7000V | 3 | 58.2±2.1 | 13.1±0.1 | 9.55±0.4 | 61.3±0.0 | 12.7±0.4 | 9.7±2.6 |
| | 6 | 64.6±1.8 | 6.8±3.3 | 13.9±4.5 | 57.4±2.1 | 9.7±0.1 | 12.2±1.8 |
| | 9 | 63.2±1.8 | 9.2±0.8 | 14.2±2.1 | 57.2±0.1 | 10.4±0.7 | 15.5±0.7 |
| | 15 | 58.0±3.0 | 13.9±4.5 | 14.4±2.5 | 51.8±0.3 | 21.4±0.5 | 20.9±0.7 |

10. 최적 시스템 조건 설정을 위한 냉동 조건별 품질 변화

가. 실험 방법

1) 일반 미생물

시료는 각각 10 g 씩 취한 후 멸균된 0.85% saline 용액으로 10배 희석하여 stomacher (Bagmixer R400, interscience, Saint Nom, France)로 균질화 한 후 단계 희석하여 실험을 실시하였다. 시험용액 및 각 단계 희석액 1 mL씩을 멸균 페트리접시에 무균적으로 취하여 agar 를 약 15 mL를 분주하여 pouring culture method로 접종한 다음 일반세균은 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 24~48시간 배양하여 colony수를 측정하여 colony forming unit(CFU/g)으로 표시하였다. 실험에 사용된 배지는 일반세균의 경우 plate count agar(Difco, Detroit, MI, USA)를 사용하였다.

2) TBA (thiobarbituric acid) value 측정

지방의 산패도를 나타내는 TBA값을 측정하였다. 즉, 10 g의 시료에 실험중의 산화방지를 위하여 BHA 50 μg 첨가 후 20% TCA용액 25 mL을 첨가하여 2분간 14000 rpm으로 균질화 하고 volumetric flask에 넣어 증류수로 50 mL이 되게 하였다. 이를 균일하도록 흔들어준 다음 여과지 (Watman No.1, Japan)로 여과시킨 후 여과액 중 3 mL을 취해 test tube에 넣고 0.005 M 2-thiobarbituric acid 3 mL을 넣고 잘 혼합한 후 실온암소에서 15시간 동안 활성화시킨 후 530 nm의 흡광도에서 측정하였다.

3) VBN (volatile basic nitrogen) value 측정

단백질 부패도를 나타내는 VBN값은 Conway unit로 측정하였다. 즉, 시료를 블렌드로 간 다음 5 g을 증류수 45 mL을 가하여 14,000 rpm에서 5분간 균질화한 후 균질액을 여과지 (Watman No.1)로 여과 시킨 후 여액 중 1 mL을 취해 Conway unit의 외실에 넣고 내실에 0.005 N H_2SO_4 1 mL을 넣은 후 빨리 뚜껑을 닫은 후 외실에 포화 K_2CO_3 1 mL을 넣고 바로 밀폐하였다. 용기를 수평으로 회전하여 외실의 sample과 K_2CO_3 가 섞이게 한 후 25°C 의 incubator에서 60 분간 활성화 시켰다. 뚜껑을 조심스럽게 열고 H_2SO_4 에 0.01 N NaOH로 신속히 적정하였다.

4) 드립률

시료를 15×15×15 mm로 잘라서 polyethylene bag에 넣어 밀봉한 후 각각의 저장온도에서 저장한 시료를 저장기간에 따라 꺼내어 4°C 에서 12시간 동안 보관하여 표준화 한 후 무게를 측정하였다. Drip loss는 원료육 중량에 대한 감량으로 하여 백분율로 산출하였다.

$$\text{Drip loss (\%)} = \{A \cdot (B + C)\} / (A \cdot C) \times 100$$

A : 포장된 상태의 시료 총 중량 (g)

B : 포장 개봉 후 유출액을 제거한 후의 시료중량 (g)

C : 포장재의 중량 (g)

5) 보수력

세절육 5 g을 원심분리관에 넣어 70℃ water bath에서 30분간 가열하고 방냉한 후 1,000 rpm, 20℃에서 10분간 원심분리 후 분리된 육즙량을 측정하고, 총수분량을 측정하여 아래 공식에 대입하여 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)} = \{1 - (\text{분리된 수분량(ml)} \times 0.951 / \text{총 수분량(g)})\} \times 100$$

6) 총당

총당 측정은 Eom 등(12)의 phenol-sulfuric acid법을 이용하여 측정하였다. 분석시료를 농도 별로 제조한 후 시료 1 g을 10 mL 증류수를 가하여 희석시킨 후, 희석된 용액 0.5 mL를 test tube에 넣고 5% 페놀용액 1 mL 및 95% 황산 5 mL를 첨가하여 상온에서 30분간 방치하고 microplate reader (Bio-rad, Hercules, CA, USA)를 이용해 470 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 glucose를 사용하였고 glucose 표준 곡선($y=3.5773x+0.0023$, $R^2=0.9984$)을 이용하여 총당 함량을 구하였다. 총당 함량은 mg/g으로 나타내었다.

7) 색도측정

색도의 측정은 색차계(Chromameter, CR20, Minolta Co.,Tokyo, Japan)를 사용하여 전처리 조건에 따라 L값(lightness), a값(red ness) 및 b값(yellowness)을 측정하였고, 전반적인 색차 ΔE 는 아래 식으로 나타내었다. 이때 standard plate의 L, a, b값은 각각 97.22, -0.02, 1.95이었다. 아래식을 이용하여 갈변도(browning index, BI)를 계산하였다.

$$\text{BI} = \frac{100(x-0.31)}{0.17}$$
$$x = \frac{a+1.75L}{5.645L+a-3.012b}$$

8) 갈색도

Hendel 등(10)의 방법에 따라 5 g의 시료를 채취하고 10 mL 증류수와 10% Tri-chloro acetic acid 용액 2.5 mL를 가하여 실온에서 2시간 추출한 다음 원심분리(4,000×g, 10 min)하여 상등액을 분광계(CM-3600d, Minolta Co.)로 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

9) PPO(polyphenol oxidase) 활성

감자 5 g에 0.1 M의 인산염 완충용액(pH 6.5) 10 mL를 가하고 브렌더로 1분간 마쇄한 후 10분간 원심분리(8,000×g)하여 그 상등액을 PPO 조효소액으로 하였다. PPO 정량은 Oszmianski와 Lee에 의한 실험방법에 준하였으며, 기질용액(1 mM chlorogenic acid) 8 mL에 0.1 M 인산염 완충용액(pH 6.5) 2.5 mL와 시료군의 조효소액 0.5 mL를 가하고 30°C의 항온수조에서 2분간 반응시켰다. 1 N HCl 용액 0.5 mL로 반응을 중지시킨 후 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

10) 주사전자현미경(SEM) 관찰을 통한 조직학적 품질

시료의 일정 부위를 Gold-polladium으로 Ion sputter(C1010 Hitachi, Japan)를 이용하여 Coating 하였다. 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope S2380N, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 시료의 단면 미세구조를 보기 위하여 각각의 시료에 적절한 배율로 검경하여 나타내었다.

나. 정전기 유도 에너지 냉동 처리 조건에 따른 쇠고기의 품질 변화

1) 실험 조건

소고기는 우둔살을 성남 소재 마트에서 구입하여 냉동 실험을 실시하였다. 이때 정전기장의 에너지 강도를 달리하였으며 이때 에너지 강도는 0, 3,000V, 7,000V으로 하였다. 이 조건으로 -20°C에서 24시간동안 저장 후 일반 저장고로 옮겨 -20°C에서 6개월 저장하면서 pH, 미생물, 보수력, 색도, VBN 및 TBA값의 변화를 측정하였다.

2) 실험 결과

초기 소고기의 pH 값은 5.49였으며 에너지 강도를 달리하여 처리한 직후에도 5.32~5.49로 큰 변화를 보이지 않았다. 저장기간 동안 증가하는 경향을 나타내었으며 저장 4개월째 5.71~5.81 수준을 나타내었다(Table 51).

에너지 강도를 달리한 냉동 쇠고기의 드립률은 냉동 직후 2.93~3.56%였으며 저장기간이 지남에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 저장 6개월째 드립률은 5.05~7.80%로 증가하는 경향을 보였다. 에너지 강도에 따른 드립률은 저장 4개월까지 큰 변화를 보이지 않다가 저장 6개월째 7,000V 처리구가 다른 처리구에 비해 낮은 수준임을 확인할 수 있었다. 냉동시에는 냉동속도, 저장온도에 따라 품질의 손실이 많이 생기며, 저장온도의 편차가 클 경우 냉동과 해동의 반복으로 조직의 손상은 물론 드립의 발생으로 인한 수분의 감소로 육류의 식미와 조직감을 떨어뜨리게 된다(Fig. 94).

Table 51. Changes of pH in beef treated with different wavelength during storage at -20°C .

| Treatments | Storage time (month) | | | |
|------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| raw | 5.49±0.02 | | | |
| Con | 5.45±0.29 | 5.50±0.05 | 5.76±0.00 | 5.81±0.01 |
| 3000V | 5.32±0.10 | 5.50±0.04 | 5.76±0.01 | 5.71±0.01 |
| 7000V | 5.49±0.03 | 5.51±0.00 | 5.73±0.04 | 5.80±0.00 |

raw: initial beef, Con: -20°C storage after general freezer, 3000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3000V length wave, 7000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7000V length wave.

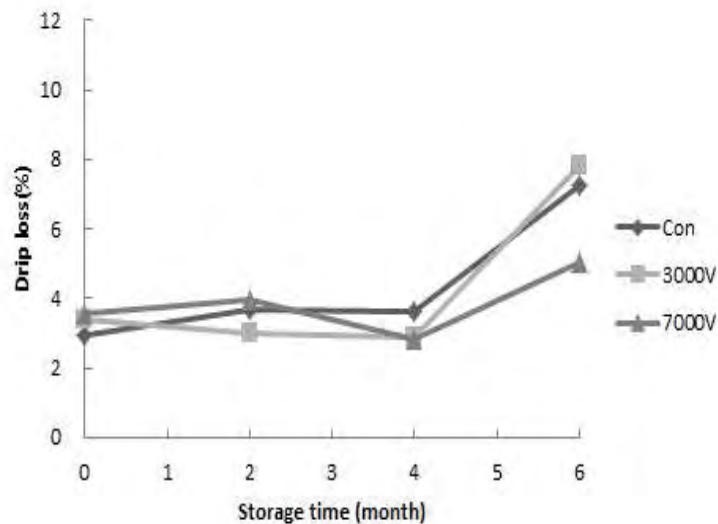


Fig. 94. Changes of drip loss in beef treated with different wavelength during storage at -20°C . Con: -20°C storage after general freezer, 3000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3000V length wave, 7000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7000V length wave.

에너지 강도를 달리하여 냉동 후 저장한 쇠고기의 수분함량 냉동직후 67.21~71.16% 수준을 보였으며 저장 4개월째 67.99~70.11% 수준으로 감소 경향을 나타내었다. 하지만 처리구들간의 차이는 나타나지 않았다(Fig. 95).

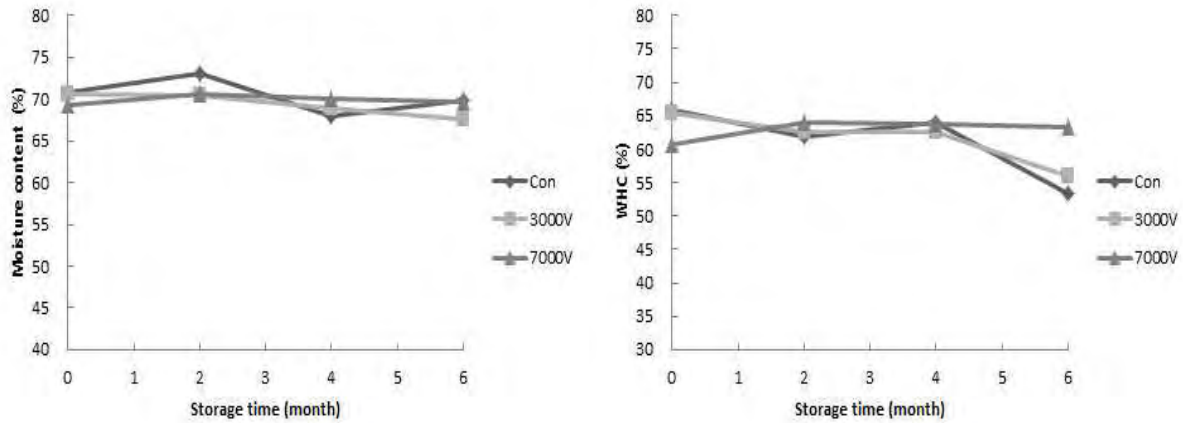


Fig. 95. Changes of moisture content and water holding capacity in beef treated with different wavelength during storage at -20°C . Con: -20°C storage after general freezer, 3000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3000V length wave, 7000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7000V length wave.

처리구들 간에 보수력의 차이는 Fig. 95에서 보는바와같이 초기의 보수력은 62.68~68.58% 수준으로 저장기간이 지날수록 감소하는 경향을 나타내었다. 동결육은 근원섬유 내에 빙결정이 형성되어 미오신 구조가 파괴되고, 단백질 변성에 의해 보수력의 감소는 물론 다즙성에도 영향을 미치게 된다. 해동 후에 발생하는 보수력의 변화는 단백질의 분해, 근원섬유의 소화율 향상 및 pH 값의 상승에 기인한 것으로 보이며 본 연구에서도 pH가 급증하는 6개월째 보수력이 감소하는 것으로 나타났다.

소고기의 VBN 함량은 Fig. 96에 나타내었다. 처리직후 VBN 함량은 4.46~6.19 mg% 수준으로 나타났다. Han 등에 의하면 쇠고기의 VBN 값이 5~10 mg%일 때 신선한 상태라고 보고하여 본 실험에서 대조구를 제외하고 저장 4개월까지 이 수준을 유지하여 신선 상태를 유지하는 것으로 판단 할 수 있었다. 저장 4개월째 대조구의 VBN 함량은 10.51 mg%수준이었으며 7,000V 처리구의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 저장기간이 경과함에 따라 VBN 함량이 증가하였는데 이는 쇠고기 내 효소와 미생물에 의하여 근육 단백질이 아미노산으로 분해되고 저장기간이 증가함에 따라 아미노산 저 분자의 무기질소 화합물로 분해되어 나타나는 현상으로 보여진다. 이와같이 VBN은 쇠고기의 품질 판정 기준에 있어 중요한 지표이며 식품 공전에서는 식육 및 포장육에 한하여 VBN의 값을 20 mg%로 규정하고 있다.

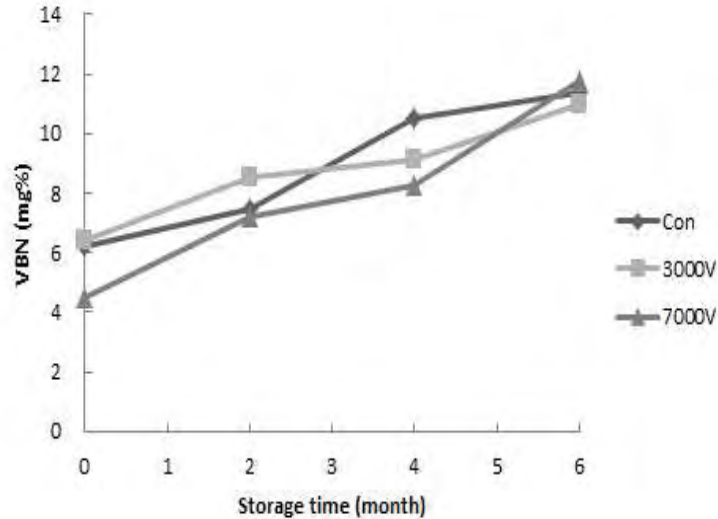


Fig. 96. Changes of VBN in beef treated with different wavelength during storage at -20°C . Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

에너지 강도를 달리 냉동한 쇠고기의 초기 TBA는 0.12 mgMA/kg 수준이었으며 냉동 직후 $0.17\sim 0.24\text{ mgMA/kg}$ 으로 나타났다. 저장기간이 지날수록 증가하는 경향을 보였으며 저장 2개월째 대조구는 0.25 mgMA/kg 수준을 나타낸 반면 7,000V 처리구는 0.16 mgMA/kg 으로 나타났다. TBA값은 지방산이 분해되어 생긴 peroxide hydroperoxide 복합체가 지방 산화에 따라 alcohol, ketones, aldehydes 등의 carbonyl compounds 중의 하나인 MDA가 생성되어 TBA와 반응하여 형성된 복합체의 양을 측정하는 것으로 MDA는 산패취를 형성하여 쇠고기의 신선도를 판정하는 지표로 사용되고 있다. 저장 6개월째 $0.40\sim 0.46\text{ mgMA/kg}$ 수준으로 초기에 비해 0.2 mgMA/kg 이상의 증가 수준을 나타내었으며 대조구에 비해 처리구들의 TBA값이 낮게 나타났다(Fig. 97).

에너지 강도를 달리하여 냉동 처리한 처리구들의 냉동 중 미생물 함량의 변화는 Table 52에 나타나 있다. 초기의 쇠고기 총균수는 2.41 log CFU/g 수준이었으며 냉동 처리 직후 $2.02\sim 2.80\text{ log CFU/g}$ 수준으로 7000 V 처리구가 가장 낮은 수준을 나타내었다. 저장기간 동안 큰 변화를 나타내지 않았다.

에너지 강도를 달리하여 냉동 처리한 처리구들의 얼음 결정크기는 Table 53에 나타나 있다. 냉동 처리 직후 얼음 결정 크기는 $47.15\sim 50.61\text{ }\mu\text{m}$ 로 대조구가 큰 것으로 나타났으며 처리구들 간에 큰 차이를 보이지 않았으며 저장기간이 경과할수록 크기도 증가하는 것으로 나타났다. 저

장 2개월째 이후 대조구와 처리구들간에 유의적인 차이를 보였으며 저장 6개월째 대조구는 108.93 μm 수준으로 가장 큰 수준을 보였으며 7,000V 처리구는 76.05 μm 로 가장 작은 결과를 보였다.

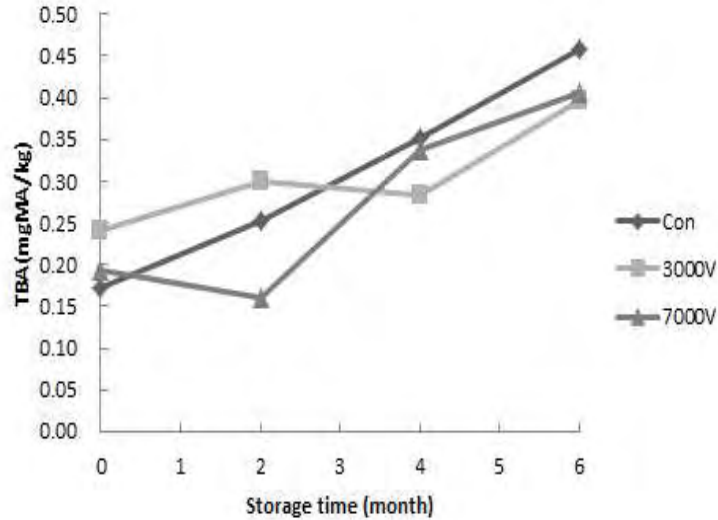


Fig. 97. Changes of TBA in beef treated with different wavelength during storage at -20°C . Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

Table 52. Changes of microbial count in beef treated with different wavelength during storage at -20°C .

(Unit: Log CFU/g)

| Treatments | Storage time (month) | | | |
|------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| raw | 2.41±0.09 | | | |
| Con | 2.80±0.09 | 2.85±0.00 | 2.85±0.03 | 2.81±0.14 |
| 3000V | 2.65±0.01 | 2.82±0.05 | 2.84±0.03 | 2.70±0.08 |
| 7000V | 2.02±0.03 | 2.41±0.41 | 2.47±0.18 | 2.64±0.01 |

Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

Table 53. Ice crystal size of beef treated with different wavelength during storage at -20°C.

(Unit: μm)

| Treatments | Storage time (month) | | | |
|------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| Con | 50.61±11.57 | 74.22±15.65 | 90.43±9.31 | 108.93±13.48 |
| 3000V | 47.39±10.23 | 66.14±8.27 | 70.22±11.75 | 85.20±13.77 |
| 7000V | 47.15±8.22 | 67.20±4.33 | 73.15±14.44 | 76.05±11.82 |

Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

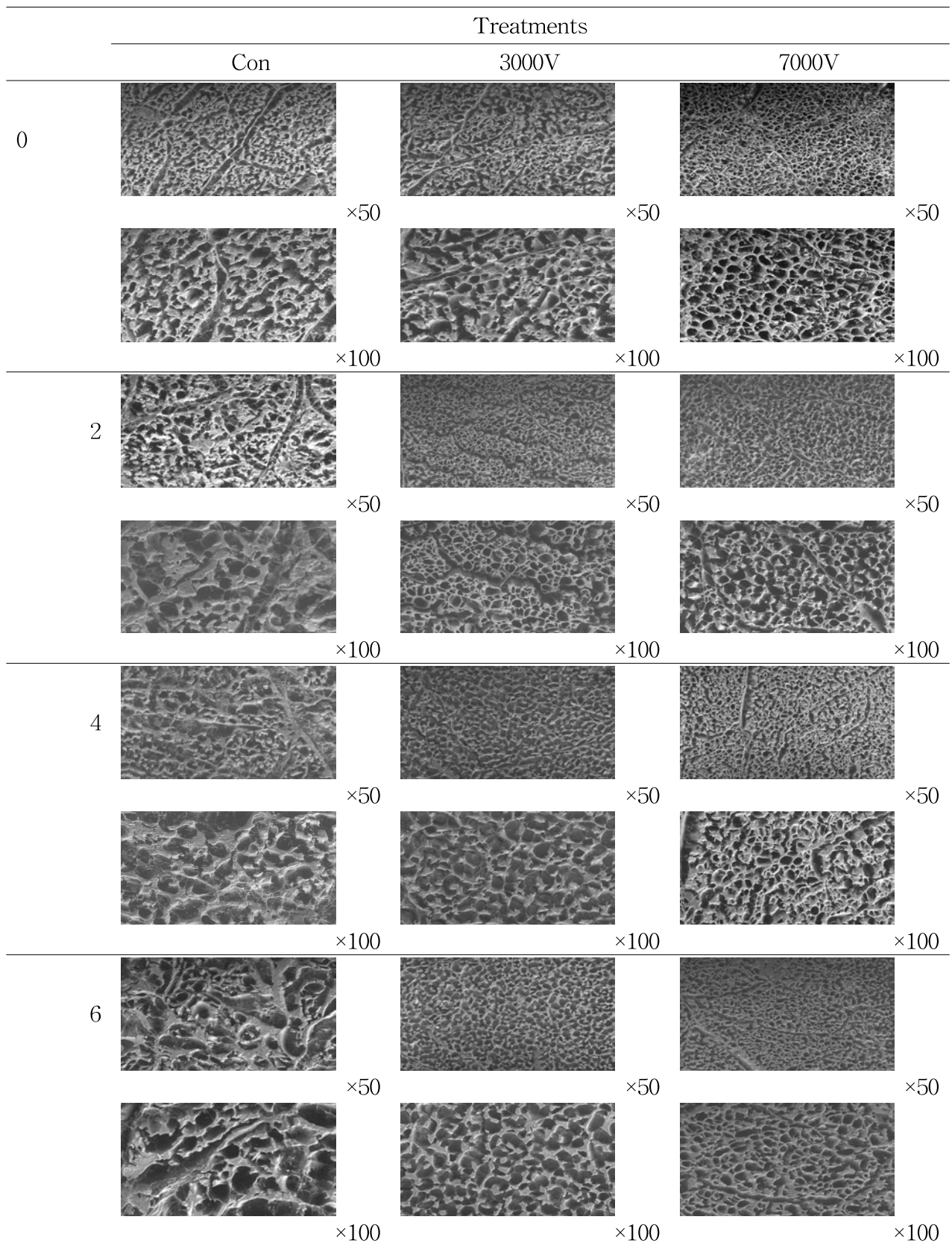


Fig. 95. SEM(Scanning electron microscope) analysis of beef treated with different wavelength during storage at -20°C . Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

에너지 강도를 달리하여 냉동 처리한 쇠고기의 색도변화는 Table 54에 나타내었다. 초기 색도는 L, a, b값이 각각 35.57, 36.10와 3.13으로 나타났다. 냉동처리 직후 a값은 큰 폭으로 감소하였으며 b 값은 큰 폭으로 증가하였다. 저장기간 동안에도 L값은 큰 변화를 나타내지 않았으며 a값은 감소하는 경향을 b값은 증가하는 경향을 나타내었다. 초기에 비해 냉동처리 직후 ΔE 값은 13.79~14.89 수준으로 나타났다. 저장기간이 지날수록 ΔE 값 또한 증가하여 저장 6개월째 18.56~21.49 수준을 나타내었다. 저장 4개월째 대조구의 ΔE 값은 22.36인데 반해 처리구의 ΔE 값은 16.62, 17.49로 나타났다.

Table 54. Changes of color value in beef treated with different wavelength during storage at -20°C .

| Storage time (month) | Treatments | Color value | | | |
|----------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | L | a | b | ΔE |
| | raw | 35.57±1.57 | 36.10±5.19 | 3.13±1.86 | - |
| 0 | Con | 34.30±2.43 | 22.77±1.07 | 9.63±±0.3 | 14.89 |
| | 3,000V | 31.83±0.68 | 24.90±1.11 | 11.87±0.49 | 14.68 |
| | 7,000V | 34.30±1.10 | 25.40±2.20 | 11.73±0.95 | 13.79 |
| | Con | 32.33±1.54 | 21.43±0.83 | 9.17±0.85 | 16.19 |
| 2 | 3,000V | 30.20±0.69 | 20.47±1.19 | 8.87±±0.5 | 17.49 |
| | 7,000V | 29.83±0.60 | 23.47±1.77 | 9.43±0.40 | 15.24 |
| | Con | 31.17±1.72 | 14.57±6.33 | 8.77±1.66 | 22.69 |
| 4 | 3,000V | 30.20±2.76 | 21.80±2.30 | 8.70±2.12 | 16.26 |
| | 7,000V | 31.27±1.84 | 20.43±1.66 | 9.60±1.22 | 17.49 |
| | Con | 35.90±1.30 | 20.10±0.30 | 12.53±1.08 | 18.56 |
| 6 | 3,000V | 41.73±1.18 | 17.53±1.57 | 12.03±1.46 | 21.49 |
| | 7,000V | 35.53±2.48 | 19.57±0.23 | 12.37±0.98 | 18.94 |

Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

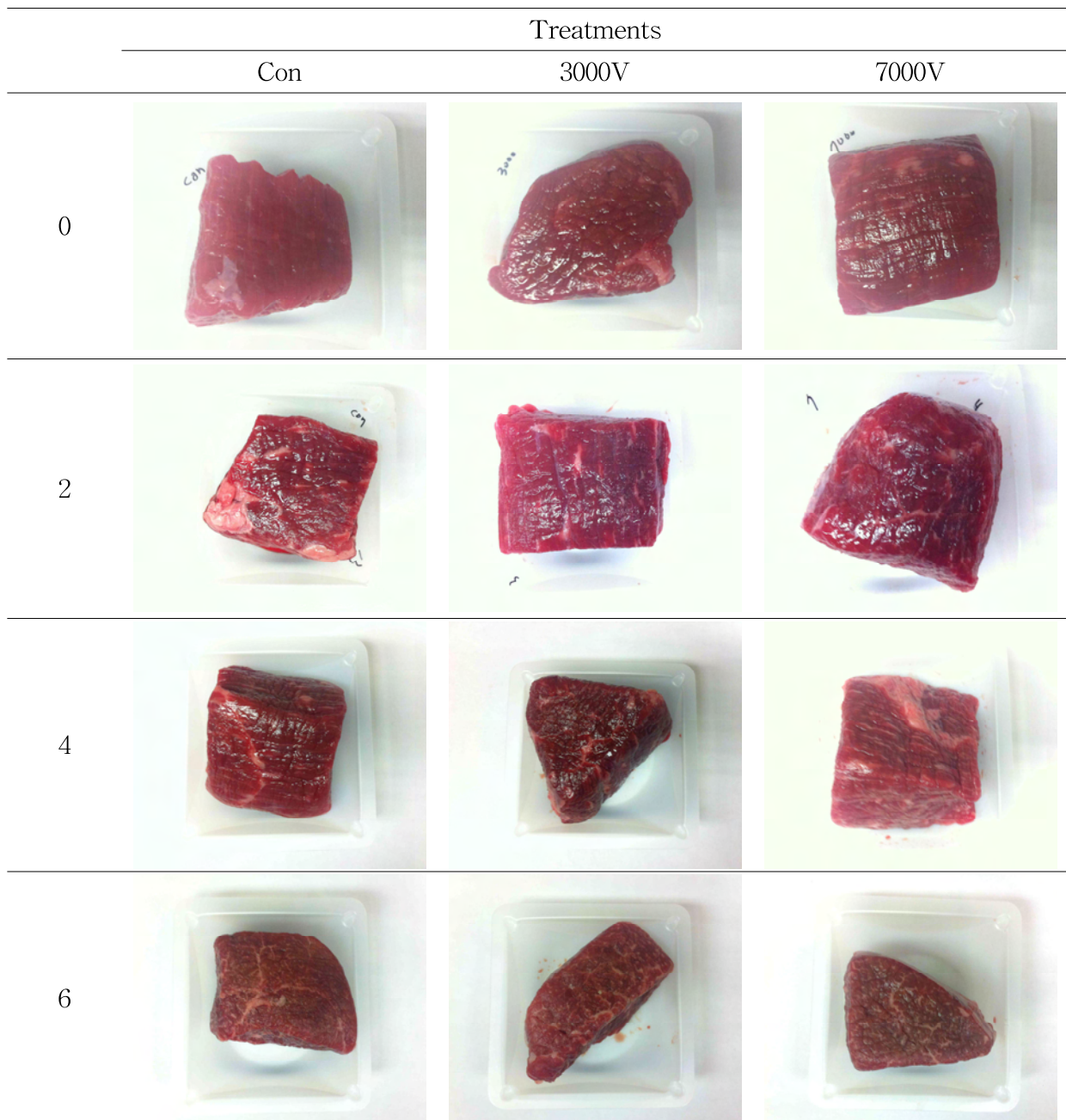


Fig. 96. Picture of beef treated with different wavelength during storage at -20°C . Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

다. 정전기 유도 에너지 냉동 처리 조건에 따른 감자의 품질 변화

1) 실험 조건

감자는 성남 소재 마트에서 구입하여 -20℃로 냉동하였다. 이때 정전기장의 에너지 강도는 0, 3,000V, 7,000V 조건으로 24시간동안 냉동한 후 -20℃에 저장하면서 품질변화를 관찰하였다. 또한 갈변을 억제하기 위해 60℃에서 30초간 열처리를 한 후 냉동조건에 따라 처리하였다. 처리구들은 저장기간 동안 pH, 미생물, 색도, 갈변도, 총당 및 PPO 값을 측정하였다.

2) 실험 결과

감자의 초기 pH는 6.12 수준이었으며 냉동 처리 직후 6.08~6.16 수준으로 열처리 한 그룹에 다소 높았으나 큰 차이는 보이지 않았다. 저장기간동안 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 저장 6개월째 pH는 처리에 관계없이 5.82~5.93 수준을 나타내었다(Table 55).

Table 55. Changes of pH in potato treated with different condition during storage at -20℃

| Treatments | Storage time (month) | | | | |
|--------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | |
| raw | 6.12±0.04 | | | | |
| Nonpreheated | Con | 6.16±0.04 | 6.15±0.04 | 6.28±0.04 | 5.94±0.03 |
| | 3,000V | 6.08±0.01 | 6.07±0.05 | 6.17±0.02 | 5.82±0.07 |
| | 7,000V | 6.13±0.02 | 6.21±0.06 | 6.22±0.00 | 5.93±0.02 |
| Preheated | Con | 6.11±0.08 | 6.04±0.01 | 6.23±0.05 | 5.90±0.02 |
| | 3,000V | 6.16±0.01 | 6.03±0.04 | 6.24±0.01 | 5.83±0.11 |
| | 7,000V | 6.15±0.04 | 6.14±0.04 | 6.26±0.01 | 5.82±0.04 |

Con: -20℃ storage after general freezer, 3,000V: -20℃ storage after electrostatic freezer in 3000V length wave, 7,000V: -20℃ storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

냉동 감자의 드립률은 15×15×15 mm의 시료를 4℃에서 15시간 해동한 후 측정하였으며 열처리를 하지 않은 그룹은 10.07~13.16% 수준을 보였으며 열처리한 그룹은 6.66~7.29% 수준을 나타내어 열처리가 드립률 감소에 효과가 있는 것으로 나타났다. 저장기간동안 처리 조건에 관계없이 증가하는 경향을 나타내었다. 정전기장에 의한 영향은 저장 4개월째 대조구가 12.63% 수준인데 반해 처리구는 10.94~11.51% 수준으로 나타나 정전기장에서의 처리구가 대조구에 비해 드립률이 낮음을 알 수 있었다.

Table 56. Changes of drip loss in potato treated with different condition during storage at -20℃

(Unit:%)

| Treatments | Storage time (month) | | | | |
|--------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | |
| Nonpreheated | Con | 10.07±3.16 | 13.81±0.29 | 12.63±1.37 | 19.79±0.09 |
| | 3,000V | 13.16±0.33 | 12.33±3.09 | 11.51±0.82 | 17.89±0.44 |
| | 7,000V | 11.22±1.96 | 12.84±2.71 | 10.94±2.03 | 14.94±0.80 |
| Preheated | Con | 6.66±0.79 | 9.29±2.81 | 9.24±0.52 | 9.53±1.39 |
| | 3,000V | 7.29±1.25 | 8.92±1.40 | 8.78±1.89 | 8.61±0.65 |
| | 7,000V | 7.12±0.92 | 9.99±1.23 | 8.71±1.41 | 7.81±0.02 |

Con: -20℃ storage after general freezer, 3,000V: -20℃ storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20℃ storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

냉동 처리에 따른 감자의 갈변도는 Table 57과 같다. 냉동처리 직후 감자의 갈변도는 0.061~0.072 unit/g 수준을 나타내었다. 열처리 후의 처리구들의 갈변도는 0.034~0.044 수준으로 열처리하지 않은 그룹에 비해 낮은 수준을 나타내었다. 갈변도는 저장기간이 진행되면서 증가하는 경향을 나타내었다. 열처리하지 않은 그룹의 갈변도는 저장 6개월째 0~0.052 수준으로 증가하였다. 또한 대조구에서 가장 높은 증가율을 나타내었다. 7,000V 처리구의 경우 저장기간동안 큰 변화를 보이지 않았으나 대조구는 저장 6개월째 초기에 비해 약 2배정도 증가하는 경향을 나타내었다. 열처리한 그룹 또한 저장기간이 경과할수록 갈변도가 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 시료들 간에 큰 차이를 나타내지 않았다.

Table 57. Changes of browning index in potato treated with different condition during storage at -20°C

| Treatments | Storage time (month) | | | | |
|--------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | |
| Nonpreheated | Con | 0.061±0.002 | 0.079±0.002 | 0.096±0.024 | 0.113±0.005 |
| | 3,000V | 0.066±0.014 | 0.076±0.013 | 0.070±0.002 | 0.071±0.006 |
| | 7,000V | 0.072±0.002 | 0.064±0.010 | 0.063±0.018 | 0.069±0.005 |
| Preheated | Con | 0.044±0.003 | 0.053±0.004 | 0.050±0.004 | 0.054±0.002 |
| | 3,000V | 0.034±0.001 | 0.051±0.013 | 0.050±0.001 | 0.056±0.008 |
| | 7,000V | 0.034±0.000 | 0.049±0.000 | 0.044±0.004 | 0.055±0.004 |

Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

냉동 처리에 따른 감자의 PPO(polyphenol oxidase) 활성은 Table 58과 같다. 초기 감자의 PPO 활성은 초기에 0.02 unit/g 수준이었으며 냉동처리 직후 감자의 PPO 활성은 0.06~0.11 unit/g 수준으로 열처리를 한 그룹(0.06~0.08)이 열처리를 하지 않은 그룹(0.10~0.11)에 비해 낮은 수준을 나타내었다. PPO 활성은 처리구에 관계없이 저장기간이 경과할수록 증가하는 경향을 보였으며 열처리하지 않은 그룹의 대조구는 저장 4개월째 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였고 3,000V와 7,000V 처리구의 경우 저장 6개월째 큰 폭으로 증가하는 경향을 나타내었다. 저장 4개월째 대조구의 PPO 활성은 0.30 unit/g 수준이었으며 처리구의 PPO 활성은 0.14~0.15 unit/g 수준으로 나타났다. PPO는 PAL(phenylalanin ammonia lyase)와 더불어 효소적 갈변현상을 유도하여 감자의 품질에 영향을 줄 수 있는 요인이다. PPO는 구리를 함유하고 있는 효소로써 식물의 갈변과 동물의 멜라닌화 반응을 유도한다. 갈변에서 첫 번째로 일어나는 대사 작용은 PAL의 효소작용으로 페놀화합물이 생성되고, 생성된 페놀 화합물이 PPO의 기질로 작용하여 절단면이나 박피 표면을 중심으로 갈변현상을 일으킨다.

Table 58. Changes of PPO in potato treated with different condition during storage at -20°C

| Treatments | Storage time (month) | | | | |
|--------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | |
| raw | 0.02±0.00 | | | | |
| Nonpreheated | Con | 0.11±0.00 | 0.13±0.04 | 0.30±0.04 | 0.34±0.13 |
| | 3,000V | 0.10±0.00 | 0.19±0.08 | 0.15±0.01 | 0.44±0.05 |
| | 7,000V | 0.10±0.00 | 0.10±0.05 | 0.14±0.01 | 0.23±0.03 |
| Preheated | Con | 0.08±0.00 | 0.09±0.02 | 0.11±0.04 | 0.19±0.00 |
| | 3,000V | 0.07±0.00 | 0.09±0.01 | 0.17±0.07 | 0.16±0.05 |
| | 7,000V | 0.06±0.00 | 0.06±0.00 | 0.10±0.02 | 0.10±0.03 |

Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

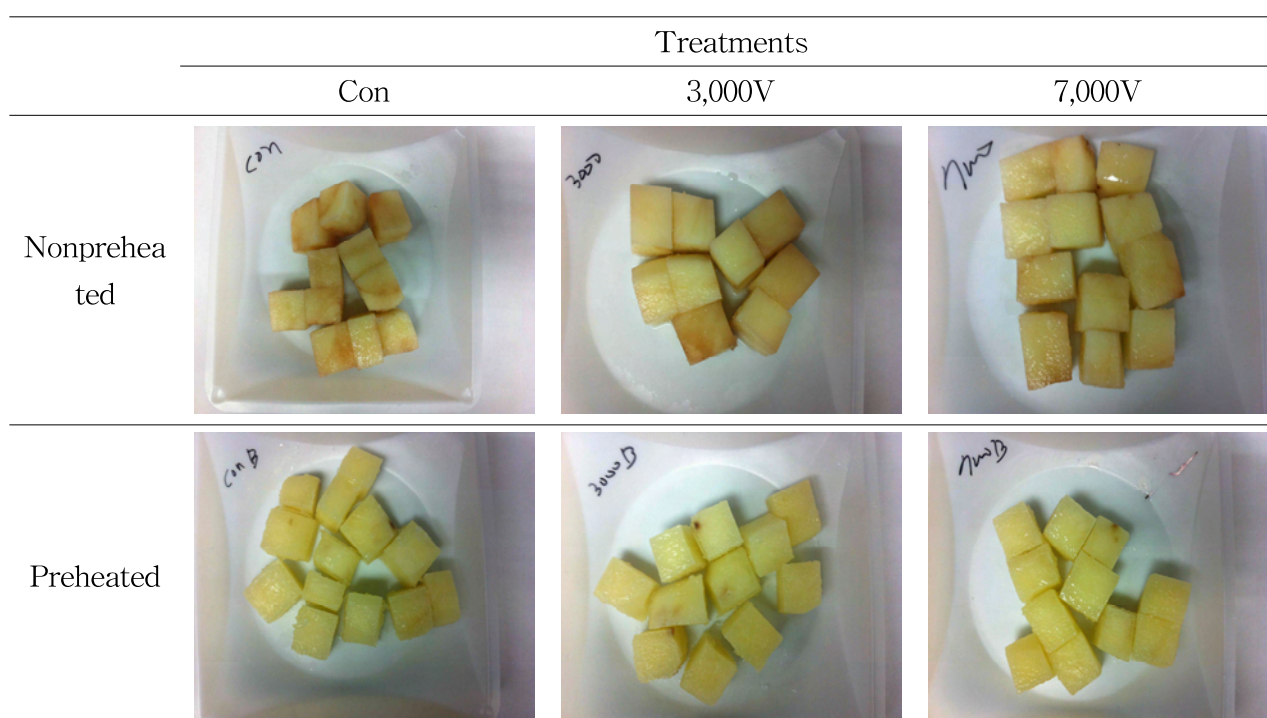


Fig. 97. Picture of potato treated with different condition. Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

감자의 초기 총당 함량은 71.01 mg/g 수준으로 나타났다. 냉동 처리 직후 38.22~47.06 mg/g 수준으로 초기에 비해 감소하였다. 또한 저장기간이 경과할수록 총당 함량은 감소하는 것으로 나타났다. 냉동 전 가열처리를 한 그룹의 총당이 가열처리를 하지 않은 그룹에 비해 낮은 감소를 나타내었다.

Table 59. Changes of total sugars in potato treated with different condition during storage at -20°C

(Unit: mg/g)

| Treatments | Storage time (month) | | | | |
|--------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | |
| raw | 71.01±0.16 | | | | |
| Nonpreheated | Con | 39.37±2.74 | 32.48±1.78 | 25.96±1.18 | 23.85±1.14 |
| | 3,000V | 39.03±3.42 | 29.89±1.20 | 33.01±0.56 | 24.41±4.16 |
| | 7,000V | 42.45±4.15 | 45.84±3.52 | 28.08±7.44 | 19.81±0.20 |
| Preheated | Con | 38.22±2.36 | 29.29±0.17 | 30.40±4.44 | 20.89±0.17 |
| | 3,000V | 44.05±4.40 | 33.07±4.98 | 34.07±3.70 | 24.02±0.52 |
| | 7,000V | 47.06±0.93 | 33.38±0.67 | 33.22±2.96 | 36.93±1.90 |

Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

감자의 초기 미생물 함량은 2.08 log CFU/g 수준인 것으로 나타났다. 냉동처리 직후 1.3~2.68 log CFU/g 수준으로 처리구들 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 저장기간 동안 변화 또한 큰 변화를 보이지 않았다.

Table 60. Changes of microbial counts in potato treated with different condition during storage at -20°C

(Unit: Log cfu/g)

| Treatments | Storage time (month) | | | | |
|--------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | |
| raw | 2.08±0.31 | | | | |
| Nonpreheated | Con | 2.38±0.09 | 2.45±0.02 | 2.38±0.09 | 2.04±0.00 |
| | 3,000V | 1.90±0.00 | 2.41±0.00 | 2.68±0.01 | 2.15±0.11 |
| | 7,000V | 2.68±0.01 | 1.28±0.03 | 1.30±0.00 | 1.84±0.09 |
| Preheated | Con | 1.15±0.21 | 1.15±0.21 | 1.84±0.09 | 2.21±0.13 |
| | 3,000V | 1.30±0.00 | 1.54±0.09 | 1.15±0.21 | 2.00±0.06 |
| | 7,000V | 1.60±0.00 | 1.39±0.12 | 1.60±0.00 | 1.87±0.04 |

Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

감자의 초기 색도는 L, a 및 b 값이 각각 69.33, 1.92 및 16.58로 나타났다. 가열 처리한 후의 감자의 L, a 및 b 값은 65.06, 1.36, 17.38 수준으로 나타났다. 저장기간이 경과할수록 L 값은 감소하였으며 a와 b값은 증가하였다. 가열처리하지 않은 그룹에서는 냉동처리 직후 a값과 b값이 3.90~8.30과 16.07~20.20수준으로 증가하였으며 ΔE 값 또한 증가하였다. 저장기간에 관계없이 ΔE 값은 대조구가 처리구에 비해 높은 수준을 나타내었다. 감자는 가공과정에서의 박피 또는 절단으로 쉽게 갈변이 발생하여 상품성을 잃어버리는 대표적인 농산물로서 변색은 주요한 품질 지표이다. 가열 처리한 그룹은 저장기간 동안에도 초기와 큰 변화를 보이지 않아 가열처리가 색의 변화를 억제할 수 있는 방법인 것을 확인하였다.

Table 61. Changes of color value in potato treated with different condition during storage at -20°C

| | Storage time (month) | Treatments | Color value | | | |
|--------------|----------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | | L | a | b | ΔE |
| Nonpreheated | 0 | raw | 69.33±1.94 | 1.92±0.34 | 16.58±0.95 | |
| | | Con | 67.73±2.71 | 8.30±0.87 | 20.20±0.85 | 7.51 |
| | | 3,000V | 67.89±3.68 | 7.87±1.10 | 18.30±0.10 | 6.35 |
| | | 7,000V | 69.47±5.75 | 3.90±1.93 | 16.07±0.57 | 2.05 |
| | 2 | Con | 54.17±1.53 | 19.57±0.76 | 25.53±0.84 | 24.93 |
| | | 3,000V | 65.55±4.30 | 10.60±2.39 | 20.20±1.54 | 10.13 |
| | | 7,000V | 57.83±1.01 | 9.67±0.51 | 16.70±3.33 | 13.87 |
| | 4 | Con | 53.70±1.97 | 15.57±2.16 | 23.20±1.92 | 21.78 |
| | | 3,000V | 55.47±0.90 | 13.13±2.12 | 21.07±1.76 | 18.39 |
| | | 7,000V | 63.53±3.95 | 12.47±3.35 | 21.87±2.20 | 13.15 |
| | 6 | Con | 43.67±0.38 | 7.37±0.32 | 12.57±0.31 | 26.54 |
| | | 3,000V | 50.93±6.81 | 9.07±1.63 | 17.03±4.21 | 19.74 |
| 7,000V | | 59.83±6.49 | 7.50±0.36 | 17.30±1.20 | 11.04 | |
| Preheated | 0 | raw | 65.06±1.12 | 1.36±0.47 | 17.38±1.47 | |
| | | Con | 70.83±0.93 | 1.40±0.44 | 14.73±3.76 | 6.35 |
| | | 3,000V | 68.13±2.72 | 1.07±0.32 | 14.70±1.73 | 4.09 |
| | | 7,000V | 69.97±3.59 | 1.43±0.15 | 15.87±0.90 | 5.14 |
| | 2 | Con | 68.80±0.26 | 1.20±0.26 | 15.29±0.55 | 4.29 |
| | | 3,000V | 66.10±4.88 | 1.13±0.25 | 14.43±1.15 | 3.13 |
| | | 7,000V | 70.40±1.40 | 1.03±0.23 | 13.13±2.69 | 6.83 |
| | 4 | Con | 64.87±6.61 | 2.60±3.61 | 19.03±2.01 | 2.08 |
| | | 3,000V | 71.00±1.15 | 0.97±1.16 | 14.13±0.47 | 6.78 |
| | | 7,000V | 62.87±2.00 | 0.33±0.51 | 10.50±0.95 | 7.29 |
| | 6 | Con | 69.10±3.91 | 2.73±1.55 | 16.33±2.71 | 4.40 |
| | | 3,000V | 63.97±2.10 | 2.73±1.55 | 16.33±2.71 | 2.04 |
| 7,000V | | 67.97±2.49 | 0.73±0.12 | 16.37±2.17 | 3.14 | |

Con: -20°C storage after general freezer, 3,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 3,000V length wave, 7,000V: -20°C storage after electrostatic freezer in 7,000V length wave.

11. 정전기 유도 에너지 냉동 시스템에서 장기저장 중 쇠고기의 품질변화

가. 재료 및 방법

1) 실험 조건

쇠고기는 우둔살을 성남 소재 마트에서 구입하여 냉동 실험을 실시하였다. 쇠고기는 정전기장의 에너지 강도가 7,000V 조건하의 -20℃ 냉동고와 일반 냉동고에 각각 저장하면서 품질을 비교 평가하였다.

2) TBA (thiobarbituric acid) value 측정

지방의 산패도를 나타내는 TBA값을 측정하였다. 즉, 10 g의 시료에 실험중의 산화방지를 위하여 BHA 50 µg 첨가 후 20% TCA용액 25 mL을 첨가하여 2분간 14000 rpm으로 균질화하고 volumetric flask에 넣어 증류수로 50 mL이 되게 하였다. 이를 균일하도록 흔들어준 다음 여과지 (Watman No.1, Japan)로 여과시킨 후 여과액 중 3 mL을 취해 test tube에 넣고 0.005 M 2-thiobarbituric acid 3 mL을 넣고 잘 혼합한 후 실온암소에서 15시간 동안 활성화시킨 후 530 nm의 흡광도에서 측정하였다.

3) VBN (volatile basic nitrogen) value 측정

단백질 부패도를 나타내는 VBN값은 Conway unit로 측정하였다. 즉, 시료를 블렌드로 간 다음 5 g을 증류수 45 mL을 가하여 14,000 rpm에서 5분간 균질화한 후 균질액을 여과지 (Watman No.1)로 여과 시킨 후 여액 중 1 mL을 취해 Conway unit의 외실에 넣고 내실에 0.005 N H₂SO₄ 1 mL을 넣은 후 빨리 뚜껑을 닫은 후 외실에 포화 K₂CO₃ 1 mL을 넣고 바로 밀폐하였다. 용기를 수평으로 회전하여 외실의 sample과 K₂CO₃가 섞이게 한 후 25℃의 incubator에서 60 분간 활성화 시켰다. 뚜껑을 조심스럽게 열고 H₂SO₄에 0.01 N NaOH로 신속히 적정하였다.

4) 드립률

시료를 15×15×15 mm로 잘라서 polyethylene bag에 넣어 밀봉한 후 각각의 저장온도에서 저장한 시료를 저장기간에 따라 꺼내어 4℃에서 12시간 동안 보관하여 표준화 한 후 무게를 측정하였다. Drip loss는 원료육 중량에 대한 감량으로 하여 백분율로 산출하였다.

$$\text{Drip loss (\%)} = \{A - (B + C)\} / (A - C) \times 100$$

A : 포장된 상태의 시료 총 중량 (g)

B : 포장 개봉 후 유출액을 제거한 후의 시료중량 (g)

C : 포장재의 중량 (g)

5) 보수력

세절육 5 g을 원심분리관에 넣어 70℃ water bath에서 30분간 가열하고 방냉한 후 1,000 rpm, 20℃에서 10분간 원심분리 후 분리된 육즙량을 측정하고, 총수분량을 측정하여 아래 공식에 대입하여 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)} = \{1 - (\text{분리된 수분량(ml)} \times 0.951 / \text{총 수분량(g)})\} \times 100$$

6) 주사전자현미경(SEM) 관찰을 통한 조직학적 품질

시료의 일정 부위를 Gold-polladium으로 Ion sputter(C1010 Hitachi, Japan)를 이용하여 Coating 하였다. 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope S2380N, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 시료의 단면 미세구조를 보기 위하여 각각의 시료에 적절한 배율로 검경하여 나타내었다.

나. 실험 결과

일반 냉동저장고와 정전기장 냉동 저장고에 저장된 쇠고기의 수분함량은 70.71~71.16% 수준으로 처리구간에 큰 변화를 보이지 않았으며 저장기간 동안에도 비슷한 수준을 유지하였다 (Fig. 100).

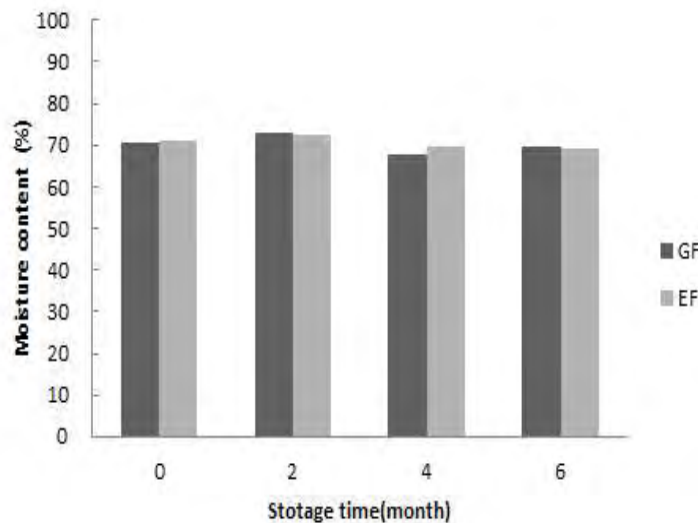


Fig. 100. Changes of moisture content in beef with different storage condition.

GF: general freezer storage, EF: electrostatic freezer storage.

처리직후 보수력은 일반 저장 샘플과 정전기장 저장 샘플은 각각 65.93%와 67.74%로 초기 샘플의 정전기장 저장 샘플이 높은 경향을 보였다. 저장기간 동안 대조구는 감소하는 경향을 보였으며 정전기장 저장 처리구는 초기와 비슷한 수준을 유지하였다(Fig. 101).

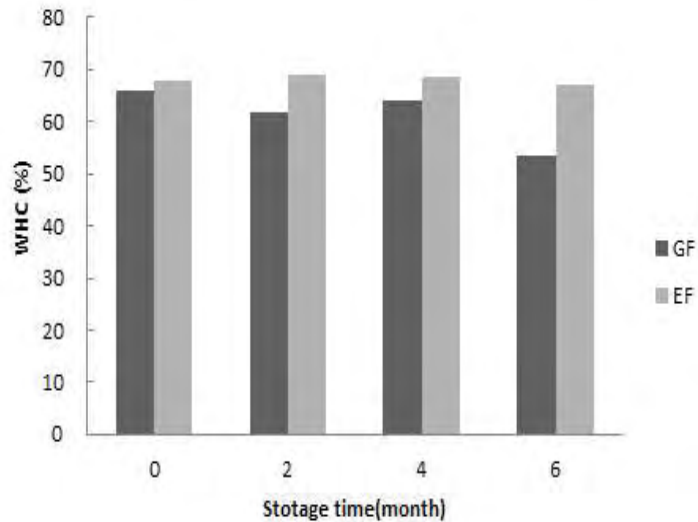


Fig. 101. Changes of WHC in beef with different storage condition.

GF: general freezer storage, EF: electrostatic freezer storage.

처리구간의 드립률은 Fig. 100에 나타나 있으며 처리직후의 드립률은 2.93~3.07%수준으로 나타났다. 저장기간 동안 드립률은 다소 증가하는 경향을 보였으며 정전기장 저장 샘플의 드립률이 일반 저장에 비해 다소 낮은 경향을 보였다.

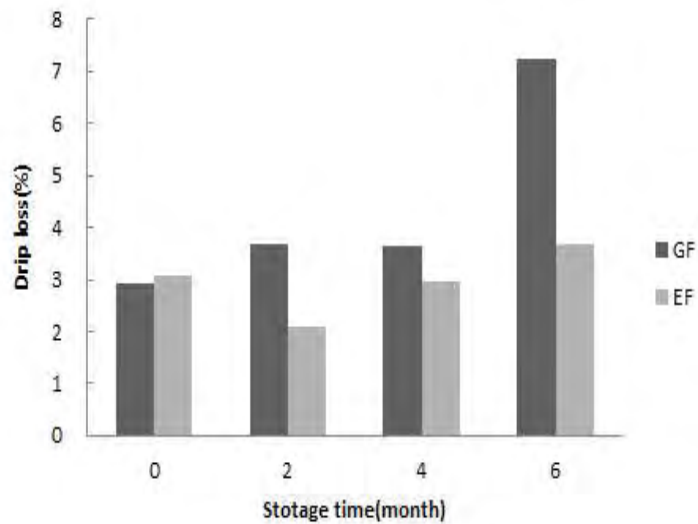


Fig. 102. Changes of Drip loss in beef with different storage condition.

GF: general freezer storage, EF: electrostatic freezer storage.

냉동 처리직후 VBN 함량은 3.65~4.46 mg% 수준으로 나타났으며 저장기간동안 증가하여 저장 6개월째 GF 처리구는 11.75 mg%수준을 보였으며 EF 처리구는 9.40 mg% 수준으로 초기에 비해 1.83~2.63배 증가하였다. 저장기간 동안 GF 처리구가 EF 처리구에 비해 높은 수준

을 유지하였다(Fig. 103).

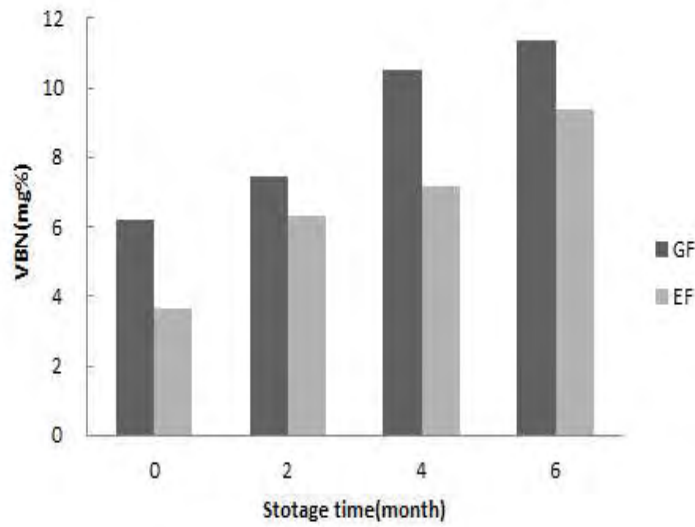


Fig. 103. Changes of VBN in beef with different storage condition.

GF: general freezer storage, EF: electrostatic freezer storage

냉동 처리직후 쇠고기의 TBA 값은 0.19~0.26 mgMA/kg으로 EF 처리구의 TBA 값이 GF 처리구에 비해 낮은 수준을 보였다. 저장기간 동안 증가하였으며 저장 6개월째에도 EF 처리구와 GF 처리구는 각각 0.43, 0.46 mgMA/kg 수준으로 EF 처리구가 낮은 수준을 유지하였다 (Fig. 104).

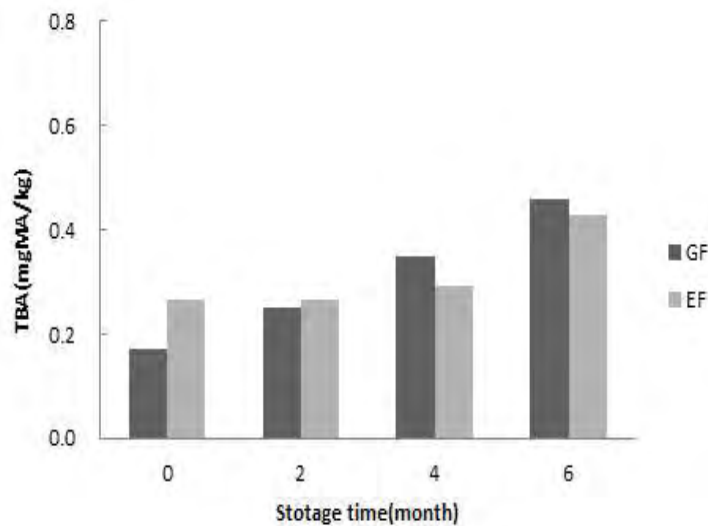


Fig. 104. Changes of TBA in beef with different storage condition.

GF: general freezer storage, EF: electrostatic freezer storage.

일반 냉동 저장과 전기장 냉동 저장 시료의 저장기간별 얼음결정 크기는 Table 62에 나타내

었다. 초기 47.15~50.61 μm 수준으로 약간의 차이를 나타내었으며 저장기간이 경과할수록 GF 처리구의 얼음결정 크기가 크게 증가하는 경향을 보였다. 저장 6개월째 GF 저장 쇠고기의 얼음결정 크기는 108.93 μm 수준인데 반해 EF 저장 쇠고기의 얼음 결정 크기는 77.52 μm 으로 큰 차이를 나타내었다. 저장기간에 따른 SEM 사진을 통해서도 얼음결정 크기가 저장기간이 경과할수록 커지면서 세포 조직의 크기가 확대되는 것을 확인할 수 있으며 GF 저장 처리구의 경우 얼음 결정 크기가 증가할 뿐만아니라 조직의 파괴도가 높아짐으로서 정전기장 유도에너지를 이용한 냉동고에서 장기 저장 시 품질적 우수성을 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

Table 62. Ice crystal size of beef treated with different wavelength during storage at -20°C .

(Unit: μm)

| Treatments | Storage time (month) | | | |
|------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| GF | 50.61±11.57 | 74.22±15.65 | 90.43±9.31 | 108.93±13.48 |
| EF | 47.15±8.22 | 64.93±8.10 | 69.78±12.45 | 77.52±8.24 |

GF: general freezer storage, EF: electrostatic freezer storage.

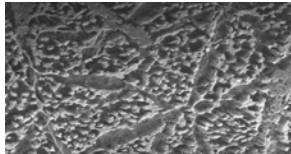
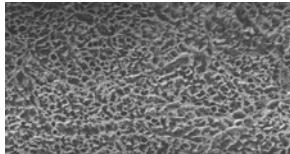
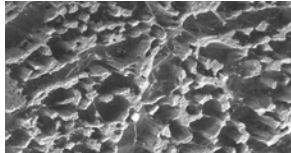
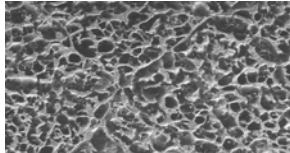
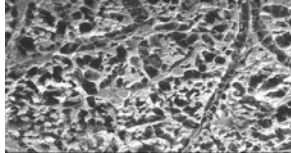
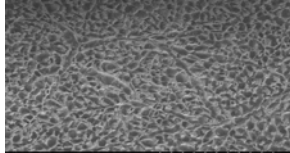
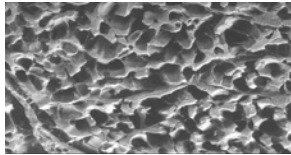
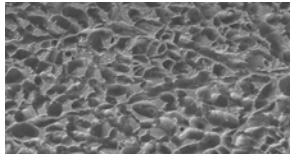
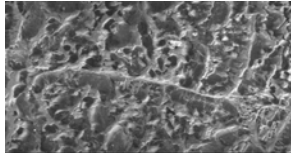
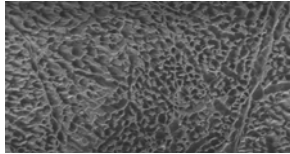
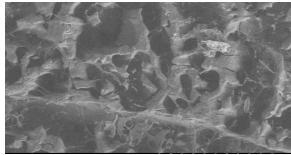
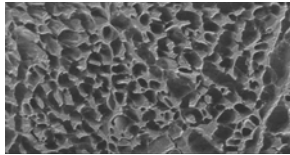
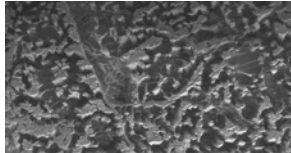
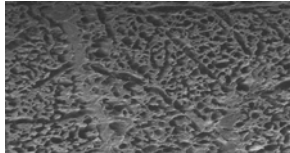
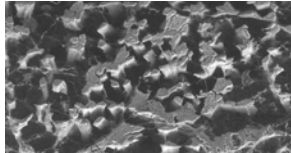
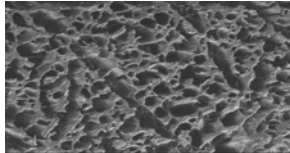
| Storage period (Month) | Treatments | |
|---------------------------|---|---|
| | GF | EF |
| 0 |  |  |
| | ×50 | ×50 |
| |  |  |
| | ×100 | ×100 |
| 2 |  |  |
| | ×50 | ×50 |
| |  |  |
| | ×100 | ×100 |
| 4 |  |  |
| | ×50 | ×50 |
| |  |  |
| | ×100 | ×100 |
| 6 |  |  |
| | ×50 | ×50 |
| |  |  |
| | ×100 | ×100 |

Fig. 105. SEM(Scanning electron microscope) analysis of beef treated with different wavelength during storage at -20°C . GF: general freezer storage, EF: electrostatic freezer storage.

12. 정전기 유도 에너지 냉동 시스템의 경제성 분석

가. 제조원가 추정

제조업의 생산설비는 고정적으로 소요되는 경비를 유발하기 때문에 생산계획에 따라 최적의 생산설비 규모를 정한 다음에 제조원가를 산정하는 것이 일반적이지만, 생산공장이 이미 건설된 상황에서는 생산설비규모에 맞는 생산계획을 정해 제조원가를 추정하는 방법을 사용할 수 밖에 없다.

고전압 정전기장을 장치한 냉동고는 기존 일반냉동고를 부착한 냉장고의 문제점인 신선 농축산물을 냉동 냉장하는 과정에서 발생하는 조직파괴, 중량손실 및 영양소 소실 등의 품질저하를 방지하고, 초기의 품질수준을 유지하기 위하여 고안된 것이다. 그러한 이유로 고전압 정전기장을 장치한 냉동고만을 생산하는 공장을 별도로 지어서 생산하기보다는 기존 냉장고는 계속해서 생산하되 추가적으로 고품질의 냉동냉장장치를 부착한 제품을 원하는 수요자의 요구를 충족시켜준다는 관점에서 고전압 정전기장 냉장냉동고를 생산하는 경우를 가정하여 경제성 분석을 하는 것이 현실적이라고 판단된다. 따라서 경제성 분석은 새로운 제품의 판매상황을 고려하여 최대 연간 100대의 고전압 정전기장 냉동고를 생산하는 것을 기준으로 하되 기존 냉장냉동고를 생산하는 업체가 고전압 정전기장 장치를 부착한 냉동고를 추가적으로 생산하는 경우를 가정하여 수익성 분석을 실시하였으며 이들 비목의 추정은 아래와 같다.

고전압 정전기장 유도에너지 발생장치를 이용한 냉동고 생산에 투입되는 주요 부품은 일반 냉동고와 고전압 정전기장 냉동고에 공통으로 들어가는 냉동장치인 콤프레셔, 우레탄을 충전한 냉동고 본체, 온도컨트롤러와 고전압 정전기장 냉동고에만 들어가는 고압전원장치, 전극박스 등이 있는데 생산계획에 따른 연간 소요량을 추정하였다. 구입단가는 대영 E&B에서 제공한 가격을 기준으로 부품을 대량으로 구입할 경우 가격할인이 있다는 점을 감안하여 공통부품은 50%, 고전압 정전기장 냉동고에만 소요되는 부품은 80% 수준의 가격을 적용하였다. 냉동장치인 콤프레셔는 외부에서 제작하여 사용하는 것으로 가정하였으며 제작비는 제조경비에 포함하여 계상하였다.

고전압 정전기장 유도장치를 부착한 냉동고 1대를 생산하기 위해서는 냉동장치인 콤프레셔, 우레탄을 충전한 냉동고 본체, 온도컨트롤러, 고압전원장치, 전극박스 등이 부품별로 각각 1개씩 소요되어 냉동고 100대를 생산하는데 각각의 부품이 100개 필요하여 부품구입비로 연간 244,000천원이 소요되는 것으로 나타났다. 부품별로 보면 고전압전원장치 구입에 전체 재료비의 32.8%인 80,000천원이 소요되어 가장 높은 비중을 차지하고 있고 다음으로 냉동고본체 구입에 전체 재료비의 26.6%인 65,000천원이 들어가고 있음을 알 수 있다.

표 63. 재료비 연간소요액 산정내역(연간 100대 생산 기준)

| 비 목 | 품 목 | 구입단가(천원/kg) | 소요액(천원) | 구성비(%) |
|-----|--------|-------------|---------|--------|
| 재료비 | 냉동고본체 | 650 | 65,000 | 26.6 |
| | 온도컨트롤러 | 200 | 20,000 | 8.2 |
| | 전극박스 | 640 | 64,000 | 26.2 |
| | 고압전원장치 | 800 | 80,000 | 32.8 |
| | 기타부품 | 150 | 15,000 | 6.2 |
| | 계 | | 244,000 | 100.0 |

노무비는 제품의 제조에 직간접적으로 종사하는 종업원들에게 지급하는 임금뿐만 아니라 상여금, 퇴직금 등을 포함하여 추정하였으며 제품판매와 관리에 종사하는 종업원들에게 지급하는 급여 등은 판매 및 일반관리비 항목에 계상되기 때문에 제조원가 산정에는 포함시키지 않았다.

고전압 정전기장을 유도하는 장치를 부착한 냉동고를 생산하기 위하여 공장을 가동하는데 필요한 인원은 대졸자 8명과 고졸자 7명을 포함한 총 15명이 고전압 냉동고를 생산하는 업무를 담당하는 것으로 가정하여 인건비를 산출하였다.

보수수준은 기본급 기준 대학교 졸업자에게 월 2,000천원, 고등학교 졸업자에게 월 1,400천원이 각각 지불되는 것으로 가정하였으며, 여기에 1년에 월 기본급 400%의 수당과 1개월분의 임금이 해당하는 퇴직충당금이 소요되는 것으로 가정하였다. 직접노무비가 제조원가에서 차지하는 비중은 0.04%로 현 단계에서 인건비의 비중은 크지 않은 것으로 나타났는데 이는 기존 일반냉동고를 생산하는 공장에서 고전압 정전기 유도장치를 부착한 냉동고를 추가적으로 생산하는 것으로 가정을 하여 그 비중만큼만 인건비를 반영했기 때문이다.

고전압 정전기 유도장치를 부착한 냉동고 제품을 생산하는 공장을 가동하기 위해서는 재료비와 직접노무비 이외에 공장에서 근무하는 노무자의 복리후생을 위한 지출을 비롯하여 여비, 통신비, 전기료 등 다양한 가공경비의 지출이 필요하게 된다.

복리후생비는 급식비 등 직원의 복리후생증진을 위해 소요된 경비를 말하며 여기에 소요되는 복리후생비는 54원으로 인건비와 마찬가지로 고전압 정전기 유도장치를 부착한 냉동고 생산에 들어가는 비율만큼만 반영하여 산출하였다.

외주가공비는 냉동장치인 콤프레셔를 외부에서 제작하는데 소요되는 비용으로서 1대당 A기업에서 제공한 800,000원을 적용하였는데 제조원가에서 차지하는 비중이 16.98%로 상당히 높은 것으로 나타났다.

실제 지불되지 않는 설비의 가치 하락분을 반영하는 감가상각비는 연간 228,096천원으로 나타났으며 감가상각 방법은 상각기간동안 매년 동일한 금액만큼 상각시키는 정액법을 사용하였다. 투자한 설비에 대한 상각연한은 건물 및 기계설비, 차량, 부대설비 등 품목에 따라 다양

한데 본 분석에서는 일반기계류 10년을 적용하여 정액법으로 감가상각비를 계산하였다.

표 64. 고전압 정전기장 냉동고 제조원가 추정(연간 100대 생산 기준)

| 비 목 | 총소요액(원) | 1대(원) | 구성비(%) |
|-------|-------------|-----------|--------|
| 주재료비 | 244,000,000 | 2,440,000 | 82.89 |
| 직접노무비 | 122,980 | 1,230 | 0.04 |
| | 복리후생비 | 54 | 0.00 |
| | 수선비 | 81 | 0.00 |
| | 전기료 | 35 | 0.00 |
| | 감가상각비 | 2,281 | 0.08 |
| | 가스수도비 | 1 | 0.00 |
| 가공경비 | 보험료 | 32 | 0.00 |
| | 경상개발비 | 150 | 0.01 |
| | 운반하역포장비 | 141 | 0.00 |
| | 외주가공비 | 500,000 | 16.98 |
| | 기 타 | 56 | 0.00 |
| | 소 계 | 502,831 | 17.08 |
| 제조원가 | 294,405,939 | 2,944,059 | 100 |

고전압 정전기 유도장치를 부착한 냉동고 제품 100대를 생산하는데 소요되는 연간 제조원가는 앞에서 살펴본 것처럼 주재료비 329,000천원, 직접노무비 122,980천원, 가공경비 50,283천원을 더하여 약 294,406천원이 된다. 이를 고전압 정전기장을 유도하는 장치를 부착한 냉동고 1대당 원가로 환산하면 제조원가는 주재료비 2,440,000원, 직접노무비 1,230원, 가공경비 502,831원으로 합계 2,944,059원에 달한다.

생산규모를 200대로 증가시킬 경우 제조원가는 주재료비 329,000,000원, 직접노무비 122,980원, 가공경비 100,283,024원을 더하여 429,406,004이 되며 이를 냉동고 1대당 원가로 환산하면 제조원가는 2,147,030원이 되는 것으로 나타났는데 이와 같이 제조원가가 낮아진 것은 대규모 생산에 따른 가공경비가 떨어지기 때문으로 판단된다.

표 65. 고전압 정전기장 냉동고 제조원가 추정(연간 200대 생산 기준)

| 비 목 | 총소요액(원) | 1대(원) | 구성비(%) | |
|-------|-------------|-------------|---------|-------|
| 주재료비 | 329,000,000 | 1,645,000 | 76.63 | |
| 직접노무비 | 122,980 | 615 | 0.03 | |
| 가공경비 | 복리후생비 | 5,400 | 27 | 0.00 |
| | 수선비 | 8,064 | 40 | 0.00 |
| | 전기료 | 3,456 | 17 | 0.00 |
| | 감가상각비 | 228,096 | 1,140 | 0.05 |
| | 가스수도비 | 112 | 1 | 0.00 |
| | 보험료 | 3,174 | 16 | 0.00 |
| | 경상개발비 | 15,017 | 75 | 0.00 |
| | 운반하역포장비 | 14,073 | 70 | 0.00 |
| | 외주가공비 | 100,000,000 | 500,000 | 23.29 |
| | 기 타 | 5,632 | 28 | 0.00 |
| 소 계 | 100,283,024 | 501,414 | 23.34 | |
| 제조원가 | 429,406,004 | 2,147,030 | 100 | |

나. 손익계산서 추정

손익계산서를 추정함에 있어 임가공 등 수탁수수료는 고려치 않고 제품판매에 따른 수입만을 고려하였으며 제품 판매가격은 공장 출하가격을 기준으로 100대 생산시는 1대당 3,240천원을 적용하였으며, 200대를 생산할 경우 가공경비가 100대 생산할 때보다 적게 소요되어 제조원가는 2,362천원을 적용하였으며 법인세는 고려하지 않았다.

판매 및 일반관리비는 생산된 제품의 판매를 위한 제 경비와 사무실 운영을 위한 일반관리비를 일컫는데 매출원가에 포함되지 않는 모든 영업비용을 말하며 급여, 복리후생비, 수도광열비, 광고선전비, 제세공과금 등이 이에 속하는데 고전압 정전기장 유도장치를 장착한 냉동고를 1대를 생산하는데 178원이 소요되는 것으로 나타났다. 판매 및 일반관리비가 적게 소요되는 것으로 나타난 것은 현재 냉동고를 생산하는 기업에서 고전압 정전기장 유도장치를 부착한 냉동고를 추가적으로 생산하는 것으로 가정을 하여 그 비율만큼만 반영을 하였기 때문에 판매 및 일반관리비가 고전압 정전기장 유도장치를 부착한 냉동고만을 생산하는 경우보다 분산되기 때문이다.

판매 및 일반관리비 항목에서 노무비는 판매직 2명을 정규직으로 고용한다고 가정하고 판매 및 일반관리비 종사자 급여를 대학교 졸업자 기준 월 기본급 2,000천원, 상여금 지급률 40%

로 하고 퇴직적립금을 포함하여 연간 지급액을 추정하되 고전압 정전기장 유도장치를 부착한 냉동고의 비율만큼만 계상하였다. 또한 판매 및 일반관리 업무를 하는 직원은 영업뿐만 아니라 차량운전도 동시에 수행하는 것으로 가정하였다.

감가상각비는 주요 기계설비에 대해서만 10년의 상각기간에 잔존가치 10%를 적용하였으며 이같이 계상된 감가상각액은 연간 228천원에 이르는 것으로 나타났다.

광고선전비, 판매촉진비, 보험료 등 이들 항목의 비용산정시 한국은행에서 발간한 「기업경영 분석」의 ‘식료품’부문의 제세공과금, 기타비용 각 항목이 전체 판매 및 일반관리비에서 차지하는 비중을 각각 참고하여 해당항목의 비용을 계산하였다.

공장을 완전히 가동하게 될 때의 생산물량은 고전압 정전기장 유도장치를 부착한 냉동고 100대 또는 200대를 생산하는 두 가지 경우를 가정하였으며 생산직 고용인원은 대학교 졸업자 8명, 고등학교 졸업자 7명을 포함하여 총 15명을 생산현장에 투입하는 것으로 하였다.

이윤의 결정에 가장 중요한 요인이라고 생각되는 출고가격은 소비자 조사를 통하여 적정 출고가격을 산출하고 이 가격에 기초하여 수익성 분석을 실시해야 하는데 본 분석에서는 연구예산의 제약 등으로 인하여 소비자조사의 생략이 불가피하였으며 세전 출고가격의 결정은 제조원가와 판매 및 일반관리비를 더한 것에 이윤 10%를 추가하여 결정하는 것으로 가정하였다.

표 66. 생산규모별 고전압 정전기장 냉동고 제품 추정 손익계산서

단위: 천원

| 비 목 | 금 액 | |
|------------------|---------|---------|
| | 100대 생산 | 200대 생산 |
| 1. 매출액(A) | 324,042 | 472,542 |
| 2. 제조원가(B) | 294,406 | 429,406 |
| 재료비 | 244,000 | 329,000 |
| 노무비 | 123 | 123 |
| 경 비 | 50,283 | 100,283 |
| 3. 판매 및 일반관리비(C) | 178 | 178 |
| 4. 비용(D=B+C) | 294,584 | 429,584 |
| 5. 영업손익(E=D-A) | +29,458 | +42,958 |
| 6. 경상이윤 | | |
| 7. 법인세 | +29,458 | +42,958 |
| 8. 당기순이익 | +29,458 | +42,958 |

이상의 방법으로 추정한 고전압 정전기장 유도장치를 부착한 냉동고 제품 생산의 수익구조를 살펴보면 첫째, 현존 설비에서 100대를 생산하여 전량 판매할 경우 수입은 324,042천원이며

비용은 294,584천원으로서 29,458천원의 이익이 발생하는 것으로 추정되었다. 두 번째로 고전압 정전기장 유도장치를 부착한 냉동고 제품의 생산규모를 200대로 증가시켰을 경우의 수익구조를 보면 전량 판매할 경우 수입은 472,542천원이며 비용은 429,406천원으로서 42,958천원이 이익이 발생하는 것으로 분석되었다.

현재 A기업에서 판매하고 있는 1,000L 냉장고의 출하가격이 2,000천원인 것으로 고려한다면 고전압 정전기장 유도장치를 부착한 냉동고의 출하가격은 200대를 생산하여 판매하는 경우를 가정하는 것이 제조원가 측면에서는 바람직한 것으로 판단된다.

그러나 추정 손익계산서는 실제 발생한 자료를 토대로 한 손익계산서가 아니라 앞으로 발생하게 될 예상비용과 예상수입의 흐름을 통하여 손익의 여부를 분석하는 것이기 때문에 손익계산서상의 비용과 수익은 일정한 가정하에서 산출한 것이며 가정이 변하게 되면 손익의 결과가 달라질 수 있다는 사실을 염두에 두어야 한다.

또한 고전압 정전기장 냉동고의 수익구조는 일정불변이 아니라 냉동고 제품시장상황이나 기업의 마케팅 전략에 따라 변화될 수 있다는 점도 고려해야 할 것으로 사료된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표 달성도

본 연구는 국내산 신선 농축산물의 장기 유통 방안인 냉동냉장하에서 초래되는 조직파괴, 중량손실 및 영양소 소실 등의 품질저하를 방지하고, 초기 품질유지 및 안전적 수급에 이바지할 수 있도록 정전기장 유도에너지 발생장치를 이용한 급속동결, 해동 및 선도유지 저장 처리 기술을 개발·보급함으로써 수확 후 관리기술의 선진 유통체계의 확립과 에너지 절약에 이바지하고자하였다. 이를 위하여 고전압 정전기장 유도에너지 발생장치를 적용한 냉동고를 시제품 형태로 제작하고 이를 이용하여 신선식품을 냉동처리함으로써 기존 냉동제품에 비하여 조직과 괴울, 드립을 등 품질개선 효과를 확인함과 아울러, 냉동제품의 장기 저장 중 품질연장효과에 대한 평가를 실시하고자 하였다. 본 연구의 효율적 수행을 위하여

○ 1차 년도에서는 냉동냉장 저장 및 해동 시스템과 관련된 다양한 요소기술에 대한 시제품을 제작하여 냉동냉장 저장 중 제품의 사용 가능성을 검토함과 아울러 시스템의 성능평가를 위한 내부 온도 분포 등에 대한 해석을 실시하였다.

○ 2차년도에서는 1차년도의 연구결과를 바탕으로 고전압 정전기 유도 냉동고 시스템을 설계 및 설정하여 이에 대한 시제품을 개발하고, 개발된 시제품에 대한 냉동 처리 및 냉동 온도변화에 따른 냉동식품의 품질 변화를 기존 냉동 제품과 비교·조사하였다. 또한, 마이너스 해동에 따른 drip 및 영양성분 등의 변화와 기타 이화학적 품질 평가를 실시함으로써 해동 시스템으로서 정전기장 유도에너지의 활용 가능성을 확인하였다.

○ 3차년도에서는 개발 시제품에 대한 상세 설계 도면을 제시하고자 하였으며, 고전압 정전기장 유도에너지를 적용한 냉동시스템의 냉동품질에 대한 신뢰성을 높이고 냉동 제품의 장기 저장 중 품질 평가를 통한 기존 제품에 대한 품질 개선 효과를 비교·조사하였다. 이와 더불어 고전압 정전기장 유도에너지를 이용한 냉동고제작의 생산 가능성에 대한 경제성 분석을 평가하였다.

○ 더 자세히 1차년도의 냉동유닛 설계 조건 설정 및 시스템별 pilot 제작 및 시험 운전은 정전기장 유도에너지 장치, 전자기장에너지발생장치 및 초음파에너지발생장치에 대한 구상을 실시하여 각각의 제품에 대한 실험용 장치를 구현하여 -10°C 및 -20°C 의 온도에서 대조물질 및 신선식품에 대한 냉동 품질 개선효과를 조사하였다. 냉동유닛의 적용을 위한 대상 시료의

냉동 품질 비교는 냉동유닛별 냉동특성을 조사하여 냉동유닛의 적용방안과 시제품에 대한 요소 데이터를 확보하고자 냉동장치별 동결속도에 따른 열물성치를 측정된 결과, 전자기장에너지를 적용한 냉동유닛은 최대 -8.9°C 까지 과냉각현상이 발생하였고 최대 유지시간이 10,170 sec로 나타내었으며, 냉동압력은 최대 45% 감소하였고 해동압력은 27%(약 1.8 psig) 감소하는 것으로 나타내었다. 전자기장에너지를 적용한 냉동유닛은 위치 및 강도에 따라 결과값이 달리 나타났고, 빙결정온도대 유지시간은 증가했으나 3200 G의 전자기장에너지 발생 조건에서는 빙결정대 이하로 시료가 냉각되지 않는 것으로 나타내었다. 초음파에너지 적용 냉동유닛에서 출력 변화에 따른 냉동특성의 변화를 조사한 결과 10 W의 출력조건에서 시료의 온도가 빙결점이하의 온도로 내려가지 않았으며, 온도 상승효과를 나타내었다. 대상시료에 대한 냉동유닛의 적용 시험을 위하여 육류(1종), 채소류(2종), 과일류(1종)에 대하여 냉동유닛 적용 비교 분석을 실시하였고, 돼지고기, 당근, 양파, 사과에 대한 냉동곡선, 냉동압력, 해동곡선, 해동압력 및 drip loss 등을 비교한 결과, 정자기장에너지를 활용한 냉동고의 시료가 대조구에 비하여 냉동내압은 2.9~25%가 감소하였고, 냉각속도는 0~6.1% 증가하였으며, drip loss는 14~73% 감소하는 것으로 나타내었다.

○ 2차년도와 3차년도에서는 고전압 정전기 유도 냉동고의 시스템 설정 및 표준설계도면을 작성함과 아울러 이를 이용한 시제품을 제작하는데 주력하였다. 이 시제품을 기반으로 고전압 유도에너지를 적용한 냉동 시스템이 기존 냉동 시스템과 비교하여 식품 냉동 및 저장에 효과적인 품질변화를 발생시킬 수 있는지에 대하여 검증하고자 하였다. 기본물질 및 대상시료에 대하여 동결 방식에 따른 품질 비교를 실시하였고, 동결방식은 고전압 정전기 유도 방식의 냉동고(7,000 V)와 일반 냉동고로 구분하였으며, 시료는 기본물질로서 증류수를 시료로서 감자, 소고기, 사과를, 처리 온도는 -20°C 로 냉동하여 비교하였다. 고전압 정전기 유도 방식의 냉동고는 일반냉동고에 비하여 전도도가 감자는 25%, 소고기는 30%, 사과는 32%가 감소하는 것으로 나타났으며, TDS에서는 감자는 23%, 소고기는 10%, 사과는 23% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, Ion leakage측정에서는 감자는 5~12%, 소고기는 3%, 사과는 18~20% 감소하는 것으로 나타났으며, BIA 분석은 감자, 소고기, 돼지고기의 정전기유도 방식을 적용한 냉동시료에서 resistance value 값이 증가하여 세포손상도가 낮아지는 것을 나타내었다. 조직학적 분석에서도 세포손상도와 유사한 결과값을 나타내어 H&E 염색 분석에서 정전기장 유도 방식을 적용한 냉동시료에서 빙결정 생성으로 인한 세포외벽 부분의 두께감소가 뚜렷이 나타나며, 세포의 형태에서도 생시료에 더 가까운 형태로 관찰되었다. SEM 분석에서도 감자, 소고기, 대구 시료의 정전기장 유통 방식을 적용한 동결시료의 미세구조가 상대적으로 규칙적인 것으로 나타내었다.

마이너스 해동 조건에 따른 효과 분석을 위하여 고전압 정전기장 유도에너지를 적용한 해동 장치를 해동 조건에 적용하였으며, 해동 평균온도는 -1.5°C 로 설정하였다. 드립율은 감자시료가 25°C 의 해동 조건에 비하여 41.38%, 2°C 에 비하여 37.49%, -1.5°C 일반해동기에 비하여 27.39%의 감소 효과를 나타내었고, 소고기 시료에서도 25°C 에 비하여 57.41%, 2°C 에 비하여 47.33%, -1.5°C 에 비하여 17.59%의 감소 효과를 나타내었으며, 방울토마토에서는 25°C 대비

80.24%, 2°C 대비 68.91%, -1.5°C 대비 42.15%의 감소 효과를 나타내었다.

저장온도별 및 방법 등에 따른 기존 제품과의 비교를 위하여 감자, 소고기, 대구에 대하여 고전압 정전기 유도 에너지를 적용 후 2개월간의 단기 저장 중 효과를 분석하였다. 대구의 경우 고전압 정전기 유도 에너지를 적용한 시료에서 드립률은 15.0~27.5%, TBA는 7.0~47.8%, VBN은 32.63~47.9%가 감소하였으며, 소고기에서는 드립률은 5.5~22.13%, TBA는 8.3~23.07%, VBN은 7.15~26.34%의 감소를 나타내었다. 감자에서도 드립률이 4.4~19.73% 감소하였고, Vit C 함량은 0~23.4% 증가하는 것으로 나타났다.

냉동 및 해동 조건을 달리한 쇠고기 및 감자에 대한 품질을 평가하였다. 처리조건은 일반냉동 후 일반해동(GF-GT), 전기장냉동 후 일반해동(EF-GT), 일반냉동 후 전기장해동(GF-ET) 및 전기장냉동 후 전기장해동(EF-ET) 처리를 하였으며 24시간 냉동 후 15시간 해동하여 분석하였다. 처리구들의 pH는 쇠고기는 5.49~5.55 수준, 감자는 6.04~6.11 수준으로 처리구들간에 차이를 나타내지 않았으며, 드립률은 전자기장 해동 처리구인 GF-ET와 EF-ET 처리구가 낮게 나타내었다. 감자의 색도 결과는 GF-GT처리구의 ΔE 값은 27.15로 가장 높게 나타났으며 EF-ET(16.82)와 큰 차이를 보였다. 소고기의 TBA 값과 VBN 값의 경우 전기장에서의 해동 처리구가 낮은 수준을 나타내었다.

정전기 유도 에너지의 에너지 강도에 따른 품질 변화는 감자시료를 이용하여 냉동 처리 조건 0, 1,500, 3,000, 5,000 및 7000 V로 냉동한 후 일반냉장고와 정전기장 냉장고에서 해동 후 품질을 비교하였다. 냉동시 감자의 최초 빙결정 형성 온도는 대조구가 -5.8°C였으며 정전기장 처리시 -6.4~-6.0°C로 냉동온도가 떨어지는 것을 확인 할 수 있었으며, 해동곡선에서는 해동시 일반해동에 비해 정전기장 해동 시 해동시간이 길게 나타내었다. 드립률은 냉동방법에 관계없이 정전기장 해동법이 일반 해동법에 비해 낮게 나타났으며, 3,000V 및 5,000V 냉동처리 조건에서 7.22%로 일반 해동법에 비하여 약 28% 이상 감소하는 것을 나타내었다.

냉동처리 조건에 따른 소고기의 품질 변화는 에너지 강도는 0, 3,000V, 7,000V로 달리하여 저장한 쇠고기의 품질로 평가한 결과, pH는 시료들간에 큰 변화를 보이지 않았으며 저장기간동안 증가하는 경향을 나타내었다. 드립률은 냉동 처리 직후 2.93~3.56% 수준이었으며 저장기간동안 증가하여 저장 6개월째 대조구 7.23%, 7,000V 처리구 5.05%로 증가하였다. 처리구별 보수력 결과는 저장 6개월째 대조구는 53.32%수준을 보인 반면 7,000 V 처리구는 63.26%수준으로 정전기장 처리구의 보수력이 높게 나타내었다. 저장기간동안 대조구의 VBN, TBA 함량은 처리구에 비해 높은 증가를 나타내었고, 처리구들의 얼음 결정 크기는 초기 대조구 50.61 μ m와 처리구 47.15~47.38 μ m로 측정되었으며 저장 6개월째 처리구는 초기에 비해 1.6~1.8배 증가한 반면 대조구는 2배 이상의 증가를 나타내었다.

정전기 유도 에너지를 적용한 냉동 시스템에서 냉동 및 저장은 소고기를 7,000V, -20°C의 조건에서 냉동 한 후 동일 조건하에서 6개월간 저장한 결과, 보수력은 초기의 일반냉동고의 처리구는 65.93%, 정전기장의 67.74%로 정전기장 냉동고의 처리구가 다소 높은 수준을 보였으며 저장 6개월째 대조구는 53.32%로 큰 수준으로 감소한 반면 정전기장 저장 처리구는 67.07%

수준을 나타내었다. 드립률은 초기에는 2.93~3.07% 수준이었으나, 저장기간이 경과할수록 일반냉동고 저장 처리구의 드립 손실률이 7% 이상으로 높아진 반면 정전기장 유도 에너지 냉동고에 저장한 처리구는 4%를 넘지 않은 것으로 나타나 정전기장 처리가 드립률의 발생을 억제하는 것으로 나타났다. SEM에 의한 미세구조 분석에서 정전기장 처리 및 저장구가 일반냉동고의 냉동 및 저장구에 비하여 균일한 미세구조와 ice crystal size가 작은 것으로 나타난 것과 상관성이 있는 것으로 판단되었으며, VBN 및 TBA 함량이 일반 냉동 처리구에 비해 정전기장 냉동 처리구에서 낮게 나타나 정전기장 냉동 처리구의 품질이 일반냉동 처리구에 비하여 우수한 것으로 나타났다.

○ 이상의 결과들은 본 연구에서 개발된 고전압 정전기장 유도에너지를 이용한 냉동고가 기존 냉동고에 비하여 ice crystal size가 냉동 후 및 저장 중 작아진 것을 확인할 수 있었으며, 미세구조에서도 더욱 균일한 세포 구조를 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 drip량에 있어서도 6개월 저장 중 4% 미만으로 기존 냉동 제품의 drip량을 50% 이상 감소시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 고전압 정전기장 유도에너지의 냉동 제품에 대한 활용은 신선식품의 냉동 장기 보관에 있어서 효과적인 기술이 될 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

제 2 절 관련 분야에의 기여도

본 연구는 국내산 신선 농축산물의 장기 유통 방안인 냉동냉장하에서 초래되는 조직파괴, 중량손실 및 영양소 소실 등의 품질저하를 방지하고, 초기 품질유지 및 안전적 수급에 이바지할 수 있도록 정전기장 유도에너지 발생장치를 이용한 급속동결, 해동 및 선도유지 저장 처리 기술을 개발·보급함으로써 수확 후 관리기술의 선진 유통체계의 확립과 에너지 절약에 이바지하고자하였다.

○ 국내외적으로 웰빙과 편의성에 대한 관심이 높아지면서 외식, 급식산업 및 소비 식품에서도 신선 냉동식품에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만, 통상적으로 이러한 냉동 농수산물 및 냉동 조리식품은 냉동 중 빙결정의 생성으로 인한 조직파괴와 이로 인한 품질저하가 수반됨으로 신선식품과 같은 품질을 유지하기 어려움이 있다. 이에 냉·해동 중 또는 장기 저장 중 발생될 수 있는 냉동 품질 저하를 억제 시킬 수 있는 방법으로 고전압 유도에너지를 냉동제품의 생산 및 저장에 이용함으로써 ice crystal size를 감소시키고 조직 미세구조의 안정화를 가져와 드립률의 감소 및 영양학적 품질을 개선시킬 수 있는 가능성을 확인하였다. 따라서, 고전압 정전기장 유도에너지를 이용한 냉동 시스템 활용 가치는 냉동식품분야뿐만 아니라 냉동기기산업에도 다양한 기술 개발을 촉진 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

그 밖에도 본 연구에 의한 관련 분야의 기대효과를 정리하면 다음과 같다.

- 고전압 정전기장 유도에너지의 활용 방안에 대한 기초자료로 제공
- 냉동시스템에 고전압 정전기장 유도에너지 활용 기술 개발을 위한 기초자료 제공
- 냉동제품의 ice crystal size 저감화 및 미세조직구조 균일화를 위한 기초 기술 제공
- 냉동제품의 품질 개선을 통한 저장 연장 기술에 대한 가능성을 확보함으로써 냉동제품의 저장 기간 연장 및 유통 능력 증대 기대
- 현행 유통 시스템에 응용하여 품질개선 및 안전성 보증능력 향상을 위한 수단으로 제공 가능
- 냉동식품 및 냉동기술의 향상을 도모하여 식품의 수급 안정화에 기여
- 소비자 기호에 적합한 냉동식품 개발 및 이를 이용한 냉동 유통 기술의 보급 활성화 기대
- 국내산 농수축산물의 연중 수출가능성을 높임으로서 수출물량 증대 및 지역 다변화에 기여
- 국내 냉동식품업계의 경비절감 및 에너지 절감효과에 기여

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 실용화·산업화 계획(기술실시 등)

- 연구성과에 대한 논의를 통하여 기술이전을 실시함
 - 유상 기술이전명 : 정전기장을 이용한 고품질 냉동식품 제조기술
 - 기술이전일 : 2015. 2.
 - 기술이전업체 : (주)옵토캠
 - 기술이전 내용
 - : 고전압 정전기장 냉동 시스템에서 고품질의 냉동 축육 제품의 생산 기술에 대한 기술적인 노하우

2. 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획 등

- 홍보 : 1건 계획
 - 냉동 제품의 품질개선을 위한 고전압 정전기장 유도에너지 활용한 냉동법에 대하여 홍보 계획 중

3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등

- 특허 : 1건 출원 준비 중 (4월 중 제출)

| 출원된 특허의 경우 | | | | | 등록된 특허의 경우 | | | | |
|------------|--|-------|------|------|------------|-----|-----|-----|------|
| 출원연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원번호 | 등록연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 | 등록번호 |
| 2015 | 고전압 정전기장 유도 냉동 장치 및 이를 이용한 고품질 냉동식품 제조기술 | 정진웅 외 | 대한민국 | | | | | | |

- 논문 게재 및 계획

| 게재연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|------|---|-----|------|---------------|----------|------------|--------|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | | | |
| 2012 | 식품냉동시 내부압력에 의한 조직 파괴에 관한 조사 연구 | 정진웅 | | | 식품기술 | 25(2) | 국내 | 비SCI |
| 2013 | Characteristic of frozen food by the high voltage electrostatic field | 정진웅 | | 성정민, 임정호, 박기재 | 한국냉동공학회지 | 7 | 국내 | 비SCI |

| | | | | | | | | |
|------|--|-----|--|----------|---|-------|----|--------|
| 2014 | EFFECTS OF THE THERMAL EQUALIZED TREATMENTS BY FREEZING SYSTEM IN THE PORK | 정진웅 | | 박기재, 임정호 | Journal of international Scientific Publication: Agriculture & Food | 1(1) | 국외 | 비SCI |
| 2015 | 냉동 방식에 따른 감자 및 소고기의 냉동 품질 변화 | 성정민 | | 정진웅 등 | 한국식품저장유통학회지 | 투고 예정 | 국내 | 비SCI |
| 2015 | Effect of High Voltage Electric Field on Frozen Beef | 성정민 | | 정진웅 등 | 축산 식품과학회 | 투고 예정 | 국내 | SCI(E) |

○ 학술 대회 발표 성과 및 계획

| 발표연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | 국내외 구분 |
|------|--|-----|------|------------|--|--------|
| | | 주저자 | 교신저자 | 공동저자 | | |
| 2012 | Effects By The Thermal equalized Treatments of Freezing System In the beef | 정진웅 | | 임정호, 박기재 | 2012 EFFoST Annual Meeting | 국외 |
| 2012 | 균온처리 냉동에 의한 식품의 내부압력 억제에 관한 연구 | 정진웅 | | | 한국식품저장유통학회 | 국내 |
| 2013 | EFFECTS OF THE THERMAL EQUALIZED TREATMENTS BY FREEZING SYSTEM IN THE PORK | 정진웅 | | | Agriculture & Food 1st international symposium | 국외 |
| 2014 | Effects of electrostatic field freezing in the thawing quality of potatoes | 정진웅 | | | 17th World Congress of Food Science and Technology & Expo (IUFoST) | 국외 |
| 2015 | 고전압 정전기장을 이용한 냉동식품의 특성에 관한 연구 | 임정호 | | 정진웅, 박기재 등 | 제7회 한국냉동공학학술대회 | 국내 |

제 2 절 연구개발 결과 활용 계획

본 연구과제에서는 고전압 정전기장 유도에너지를 이용하여 신선식품의 냉동식품 제조 시 발생하는 조직파괴로 인한 드립률 발생 및 영양성분 손실을 효과적으로 감소시킬 수 있는 가능성을 확인하였다. 냉동식품은 편의 식품으로서 냉동하에서 장기 보관하면서 사용됨으로써 장기 저장 중 냉동 변성 및 조직적 파괴에 의한 식품 본연의 맛을 잘 나타내지 못하는 경우가 많으며, 또한 장기 보관 시 빙결정의 크기 확산으로 인한 품질 저하가 발생하는 문제점이 발생함으로 본 연구성과를 활용하여 냉동제품의 저장 및 유통 중에 발생될 수 있는 ice crystal의 크기에 의한 품질 저하를 억제할 수 있는 수단으로 사용이 가능할 것이다.

위의 내용을 바탕으로 동결 식품에서 ice crystal 미세화 및 조직 균일화를 위한 냉동 방법 등에 대한 특허를 출원할 것이며, 식품 냉도시 내부압력에 의한 조직 파괴에 관한 조사 연구, 고전압 정전기장에 의한 냉동 식품의 특성 등 논문 3편을 투고하였으며, 냉동 소고기의 장기 저장에 고전압 정전기장 유도에너지가 미치는 영향 등 논문 2편을 투고 계획 중에 있다. 또한, 감자 해동 품질에 정전기장 유도에너지가 미치는 영향 등 이들 효과에 대하여 포스터 발표 및 구두 발표를 5건을 실시하였다.

본 연구를 통해서 냉동식품 산업에 관련 연구에 대한 관심이 발생될 수 있을 것으로 기대되며 이들 기술을 활용한 고품질 개인 맞춤형 냉동제품에 대한 연구 또한 가능할 것이라 여겨진다. 이에 본 연구에서 제시된 결과를 적용한 응용하거나 발전시킬 수 있는 후속 연구에 대한 연계 방안에 구상하고, 관련 기업과의 기술 이전 및 산업화를 위한 완성도 높은 제품으로 개발하여 국내 냉동식품 및 냉동시스템 산업의 발전에 활용하고자 한다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

I. 출장개요

1. 출장목적 : 17th World Congress of Food Science and Technology & Expo (IUFoST)에 참석하여 심포지엄 참관, 포스터 발표(제목: 'Effects of electrostatic field freezing in the thawing quality of potatoes') 등을 수행하며, 본 연구와 관련한 식품 최신 기술현황을 조사·수집함
2. 출장기간 : 2014. 8. 16 (토) ~ 2014. 8. 23 (토) (6박8일)
3. 출장지 : Palais des congres de Montreal, 몬트리올, 캐나다
4. 출장자 : 정진웅

II. 주요 활동 사항

1. 학회개요

1) IUFoST 2014

IUFoST 2014는 Montreal에서 개최되는 17th world congress of food science and technology and EXPO로서 식품관련 연구자, 산업체 종사자, 정부 관원 및 NGO 단체 회원 등에서 참석하는 행사임. IUFoST 2014는 8월 17일부터 8월 21일까지 5일간 70개의 sessions, 39개의 포스터 sessions, 13개의 기조강연, 11개의 workshops 행사가 있었음. 주요 테마는 food processing, food chemistry, convergent innovation for affordable food, health and healthcare, food and health, food safety, industrially-relevant products and Issues, sustainability, consumer behaviour and sensory evaluation, food nanotechnology, potential regulatory issues, innovation through collaboration 이었음.

2) 주요내용

- IUFoST 2014는 식품의 전반적인 연구 분야의 발표뿐만 아니라 다양한 영양과 관련된 정책 연구 등에 이르는 주제 발표 및 포스터로 인하여 자료수집 및 아이디어 획득 측면에서 유용한 것으로 판단됨.
- 본 학회에서는 전반적으로 다양한 분야의 연구내용을 발표하였으나, Food processing을 중심으로 연구동향을 살펴보았으며, 전체적인 연구동향은 'Thermal processing, minimal processing and hurdle technology', 'food process/package modeling', 'Emerging technologies', 'Microbial modeling' 등을 중심으로 진행되었으며, 기타 영양학적인 관점에서 영양성분의 표시기준과 섭취에 대한 다양한 연구 및 각국의 정책에 대한 연구주제가

발표되었음.

- Food processing에 대한 다양한 연구 주제 중 minimal processing and hurdle technology에 대한 주제에서는 십자화과 채소의 냉동 식품으로서의 개발 가능성과 냉동 중 열변화 특성을 조사하기 위한 수치 모델 해석 및 영상학적 측정방법 등을 제시하였고, 이들의 정보를 이용한 냉동 품질 개선에 대한 연구결과 등도 발표되었음. 건조 공정의 변수에 따른 기능적 성분의 안정화 방안에 대한 다양한 시도와 건조공정의 다양한 융합적 건조 방법 등에 대한 연구들도 발표되었음.
- 융합적 연구에서도 고품질의 식품에 대한 위생적 품질적 고급화를 위하여 PEF 등 puls를 이용한 다양한 연구들이 소개되었으며, 그 중 PEF를 이용한 식품의 불필요 효소 등의 비활성화, 미생물의 저감화와 품질적인 요소의 안정화를 동시에 개선하는 방법에 대한 개요와 산업현장에서 사용되는 현황에 대하여 소개하였음. 이들의 연구는 현행 공정개선, 가공물성 및 품질 개선에 대한 다양한 연구에 적절히 사용될 수 있을 것으로 판단되었음.
- 또한, 소비자가 식품의 선택 시 연관되는 특성에 대한 다양한 연구에서는, 민족적 문화의 특성, 식품의 선택 시 감정과 욕구 등에 따라 다양한 결과를 나타낼 수 있음을 지적하였고, 소비자의 수요에 대한 충족감을 높이기 위해서는 영양성분의 가치를 높이고, 맛에 대한 새로운 정보 제공, 문화적 배경과 개인적 소비 행동에 대한 통찰을 통해서 제시될 수 있음을 강조하였음. 다양한 요소에 대한 종합적 연구를 통해 보다 발전된 소비자 선택의 만족감을 줄 수 있음을 발표하였음.
- 산업과 관련된 다양한 연구 중에서는 다양한 산업적 활용이 가능한 연구들이 발표되었으며, 그 중 브로콜리에 elicitors 적용효과에 대한 연구는 수확 후 관리 부분에서 영양성을 유지하면서 부패 및 손실을 방지할 수 있는 방안에 대하여 발표하였음. 단순한 elicitors의 처리 (UV 처리, MEJ, EtOH 등)으로 인한 품질 유지 효과에 대한 연구 결과는 농산물 저장 분야에서도 충분히 활용이 가능할 것으로 판단되었음.
- 전반적으로 연구동향을 관심분야를 중심으로 살펴보았을 때, 융합적 연구와 기능적 특성에 대한 안정화, 미생물적인 안전성 확보 방안 등의 연구와 영양학적인 관점에서의 다양한 소비 패턴 분석 및 제도 등의 연구 등이 다양하게 발표되었음.

3) 발표한 포스터 내용

· Abstract Board Number: UP324

· Abstract Title: EFFECTS OF ELECTROSTATIC FIELD FREEZING IN THE

THAWING QUALITY OF POTATOES

- Author: Jin-Woong Jeong 외 2인
- Poster Session Title: Food Processing

Abstract

Freezing is one of the most widely used storage technologies. During thawing, a freezing method has a significant impact on the quality. In order to improve the quality of frozen potato products, the potatoes were frozen using two methods, 7,000V high-voltage electrostatic field freezing (EFT) and air blast freezing (Control), and then they were thawed at room temperature using a thermostat. Changes in the physicochemical properties of the potatoes were investigated in terms of drip loss, surface color, antioxidant activity, browning index and total bacteria counts. The drip loss of the potatoes which had undergone EFT was significantly lower than the other group. Also, total amount of phenolics and antioxidant activities were the highest at 10% and 2.8%, respectively for the control group. Also, EFT revealed a browning index of 0.1398, decreased by about 36% as compared to the control. Delta L and E values of thawing potatoes were 4.75 and 7.12, respectively, showing about 2.63 and 2.45 times lower than those of the control. The microbial counts ranged from 1.82 Log cfu/g to 2.03 Log cfu/g. These results suggested that the electrostatic field freezing treatment in the freezing system was more effective to improve the quality of frozen products for consumers.

- IUFoST 2014 참가를 통해 선진외국의 식품관련 연구주제와 최신의 관심사항을 파악하고 기술정보를 확보함으로써 미래식품기술 전망을 위한 식품분야 최신의 키워드 도출에 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 참가한 외국 역시 식품안전, 영양, 가공 및 공학적 기술 등의 융합적 연구분야에 대한 관심이 계속 확대되고 있으며, 우리나라에 비해 정보기술의 활용에 있어서는 그다지 뛰어난 성과를 보이고 있지는 않은 것으로 보임
- 냉동공학 관련 신규 과제 도출 및 수행 연구에의 활용
 - 식품 냉동공학에서 전산 모델링 설계는 공정과 장비를 개선하기 위한 엔지니어의 유용한 도구로 활용되고 있음. 식품의 냉장 및 동결 저장에서 유체 역학 모델, 위상 변경 및 유체 흐름과 관련된 복잡한 문제를 초기 개발 단계에서부터 예측하고, 문제점을 찾아 해결함으로써 고품질의 냉장 및 냉동식품을 얻는데 유용할 것임
 - 그 밖에도 본 연구과 관련한 전기 펄스 분야(PEF)에 대한 자료와 이를 이용한 냉동냉장에 관련 연구결과도 소개되고 있으므로 향후 농림기술개발사업 등의 신규 사업 테마로 활용 가능성이 높음

제 7 장 연구시설·장비 현황

○ 해당 사항 없음

제 8 장 참고문헌

1. Ogawa, Y.: Studies on rupture of fish body during freezing. Trans. of the JAR., 13(1), 37~47(1996)
2. A.O.A.C.: Official Methods of Analysis, 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., p.876 (1980)
3. Bevilacqua, A.E. and Zaritzky, N.E.: Ice morphology in frozen beef. J. Food Technol., 15, 589-597 (1980)
4. Carrol, R.J., Cavanaugh, J.R. and Rorer, F.P.: Effects of frozen storage on the ultrastructure of bovine muscle. J. Food Sci., 46, 1091-1094 (1981)
5. Chung HM, Lee GC. 1996. Effects of dipping and preheating treatments on susceptibility to browning on potato slices during cold storage. Korean J, Soc. Food Sci. 12:535-540
6. Creed, P.G. and James, S.J.: Heat transfer during the freezing of liver in a plate freezer. J. Food Sci., 50, 285~288 (1985)
7. Fuster, C., Prestamo, G. and Espinisa, J.: Influence of treatments prior to freezing on the quality and stability of fruits and vegetables during frozen storage. In Thermal Processing and Quality of Foods. European Cooperation in Scientific & Technical Research(Thermal Processing Symposium), p 671 (1984)
8. Grujic, R., Petrovic, L., Pikula, B. and Amidzic, L.: Definition of the optimum freezing rate. Meat Science, 33, 301~318(1993)
9. Ha JH, Ha SD, Kang YS, Hong KP, Bae DH. 2007. Microbiological, Nutritional, and Rheological quality changes in frozen potatoes during storage. Korean J. Food Sci. Technol. 39:663-668
10. Hahlbrock K, Scheel D. 1989 Physiology and molecular. biology of phenylpropanoid metabolism. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Bio, 40, 347-369
11. Han, GJ, Shin, DS, Kim, JS, Cho YS, Jeong, KS. 2006. Effects of propolis addition on quality characteristics of oriental medicinal seasoning pork. Korean J. Food Sci. Technol. 38, 75-81
12. Henningson, R.W.: Thermister cryoscopy in the food industry. Food Technol., 21, 28~31 (1967)
13. Hung, Y.C. and Thompson, D.R.: Freezing time prediction for slab shape foodstuffs by an improved analytical method. J. Food Sci., 48, 555~560 (1983)
14. Jeong, J.W., Jo, J.H., Lim, S.D. and Kang, T.S.: Change in quality of frozen breaded raw shrimp by storage temperature fluctuation (in Korean). Korean J. Food Sci. Technol., 23, 532-537 (1991)
15. Jeong, J.W.: Freezing time prediction of slab shape foodstuffs by modification of plank's

- equation. Ph. D. Thesis, National Fisheries Univ. of Pusan, Korea (1989)
16. KFDA. 2002. Food code. Korea Food and Drug Administration, Seoul. Korea. pp. 222-223.
 17. Kim BY, Lee KH. 2009. Effect of freezing on the physicochemical properties of semi-dried red pepper. *Korean J, Food Preserv.* 13:362-370
 18. Kim DH, Kim HB, Chung HS, Moon KD. 2014. Browning control of fresh-cut lettuce by phytoncide treatment. *Food Chem.* 159:118-192
 19. Kim MJ, Shin HS. 2011. Effect of treatment with ozonated water on shelf of refrigerated meat. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 31:617-623
 20. Kim YB, Woo SM, Jeong JY, Ku SK, Jeong JW, Kum JS, Kim EM. 2013. Temperature changes during freezing and effect of physicochemical properties after thawing on meat by air blast and magnetic resonance quick freezing. *Korean J. Food Sci. An.* 33:763-771
 21. Kim, Y.B., Kim, Y.S., Rho, J.H., Sung, K.S., Yoo, C.S., and Lee, N.H.: A study on the shelf-life of vacuum packaged imported chilled beef (in Korean). *Korean J. Anim. Sci.*, 38, 411-422 (1996)
 22. Kim, Y.H., Yang, S.Y. and Lee, M.H.: The effect of freezing rates on the physico-chemical changes of beef during frozen storage at -20°C (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, 20, 447-452 (1988)
 23. Lim JH, Choi JH, Hong SI, Jeong MC, Kim DM. 2005. Mild heat treatments for quality improvement of fresh-cut potatoes. *Korean J. Food Preserv.* 12:552-557
 24. Miles, C.A. and Morley, M.J.: Measurement of internal pressures and tensions in meat during freezing, frozen storage and thawing. *J. Food Technol.*, 12, 387-402 (1977)
 25. Munro, P.A.: The tensile properties of frozen and thawed lean beef. *Meat Science*, 8, 43-61(1983)
 26. Ogawa, Y. and Hagura, Y.: Measurement of young's modulus and poisson's ratio of tuna fish. *Trans. of the JAR.*, 9(3), 283-290(1992)
 27. Ogawa, Y.: Studies on gape and heave of foodstuffs due to internal pressure during freezing. *Trans. of the JAR.*, 4(2), 81-92(1987)
 28. Ogawa, Y.: Studies on gape and heave of foodstuffs due to internal pressure during freezing. *Trans. of the JAR.*, 4(3), 81-88(1987)
 29. Ogawa, Y.: Studies on gape and heave of foodstuffs due to internal pressure during freezing. *Trans. of the JAR.*, 5(2), 21-32(1988)
 30. Ogawa, Y.: Studies on rupture of fish body during freezing. *Trans. of the JAR.*, 13(1), 37-47 (1996)
 31. Oszmianski J, Lee CY. 1990. Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by

- honey. *J Agric Food Chem* 38: 1892-1896
32. Salam, K. I., Ishloroshi, M., and Samejima, S. 2004 Antioxidant and antimicrobial effects of garlic in chicken sausage. *LWT-Food Sci. Technol.* 7, 849-855
 33. Salih, A.M., Smith, D.M., Price, J.F. and Dawon, L.E.: Modified extraction 2-thio barbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry. *Poultry Sci.*, 66, 1483 (1987)
 34. Sanz, P.D. and Alonso, M.D. : Equations for the prediction of thermophysical properties of meat products. *Latin American Applied Research*, 19, 155~163(1989)
 35. Son HJ and Moon KD. 2014. Effects of combined argon gas treatment on the quality of fresh-cut potatoes. *Korean J. Food Preserv.* 21:163-169
 36. Song HJ, Kwon HY, Kang BH, Hur SS, Lee DS, Lee SH, Kang IK, Lee JM. 2013. Change in quality attributes of fresh-cut potatoes with heat and browning inhibitor treatment during storage. *Korean J. Food Preserv.* 20:386-393
 37. Song HJ, Kwon OY, Kang BK, Hur SS, Lee DS, Lee SH, Kang IK, Lee JM. 2013. Changes in quality attributes of fresh-cut potatoes with heat and browning inhibitor treatment during storage. *Korean J. Food Preserv.* 20:386-393
 38. Van den Berg, L.: Changes in pH of some frozen foods during storage. *Food Technol.*, 15, 434-440 (1961)
 39. Woolrich, W.R.: Specific and latent heat of foods in the freezing zone. *ASHRAE J.*, 4 3~47 (1966)
 40. 日本厚生省 : 食品衛生検査指針 1. 日本厚生省, p.12 (1960)