

식품 냉동 분야의 최근 기술

김병삼/식품냉동 전문위원장

한국농수산식품연구원(bekim@kfri.re.kr)

냉동기술의 발전은 식품산업의 발전에 결정적인 역할을 하여 왔으며, 사람들이 신선하고 안전한 식품을 원하는 요즘에는 더욱 냉동 기술의 필요성이 커지고 있다. 본래 식품은 소재 특성상 생산에 계절성이 있으면서 수분이 많아 부패하기 쉽다. 따라서 가공과 보관유통에 있어서 신선도와 안전성을 확보하는 가장 중요한 기술로서 저온의 활용이 필수적이다. 이는 요즘처럼 웰빙을 추구하고 안전성과 신선도 등 건강을 중시하는 시대에는 더욱 냉동기술의 보급 없이는 가능하지 않은 이야기들이다.

국내에서 식품 보관에 저온을 이용한 사례는 신라 시대 석빙고를 이용하여 얼음을 보관한 역사와 여름철 얼음골이나 산골 냉천에 과일을 담가 냉각시켜 유통한 경우 등이 있어 저온을 식품의 신선도와 품질 유지에 활용되어 온 역사는 이미 오래 전부터이다. 나아가 요즘은 기계식 냉동에 의한 식품 가공과 보관은 당연한 상식으로 자리를 잡고 있으며 우리의 전통 음식인 김치를 비롯하여 태평양의 참치가 그 맛 그대로 연중 식탁에 올라올 수 있는 것은 식품 냉동 기술의 덕택이다.

가공공정에 있어서 냉동기술은 식품의 신선도와 안전성을 확보하기 위하여 적용되고 있는데 기본적으로 저온하에서의 가공, 동결농축, 동결분쇄, 빙온기술 등이 활용되고 있고 보관유통 분

야에 있어서는 농장이나 바다에서 식탁까지의 콜드체인 시스템이 그대로 적용되고 있다.

냉동기의 발명은 우리 삶의 질을 향상시킨 가장 중요한 사례 중의 하나이다. 최근 들어서는 환경 문제와 에너지 문제를 고려하여 새로운 냉동 시스템과 열원의 재활용 기술이 개발되고 있으나 모든 식품과 식자재와 관련하여서는 기본적으로 저온의 적용 없이는 신선도나 식품 자체의 특성을 유지하는데 제한을 받게 되기 때문에 반드시 수반되어야 할 기술이다. 오늘날 식품의 경우 가장 중요한 것은 고품질과 함께 안전성이며 이를 해결하기 위해서는 저온에 의한 방법이 가장 효율적이며 이는 냉동냉장 기술에 의해서만 이루어질 수 있기 때문이다. 따라서, 그동안 비용 측면에 있어서 제한적으로 사용되기도 하였으나 냉동냉장 기술의 수요와 발전은 식품 분야에서 끝없이 증가할 것으로 여겨진다.

본 집중기획에서는 식품 냉동 분야의 최근 기술로서 식품냉동시 내부압력을 제어하는 냉동법, 빙결정 제어에 의한 보존 기술, 농산물과 축산물 분야의 새로운 냉동냉장 활용기술 그리고 에너지 부족과 프레온 냉매 사용에 대한 제한을 극복하고자 축냉 분야에 대하여 최근의 기술 동향과 자료들을 소개하고자 하였다. (*)

식품냉동시 내부압력 발생에 의한 품질 손상에 관한 연구

식품의 냉동냉장 및 해동시의 내부압력 변화와 그 영향에 대하여 조사한 결과를 소개한다.

정진웅

한국식품개발연구원 (jwjeong@kfri.re.kr)

서론

식품 냉동은 식품에서 열을 빼앗아 식품내의 수분을 액체에서 고체로 상변화시키는 방법 즉, 식품의 온도를 저하시켜 조직내의 자유수를 빙결정화 함으로써 미생물 성장과 효소 활성의 억제로 식품의 품질저하를 최대한 방지하는 데 목적을 지닌 품질보존의 수단으로 식품의 장기 보존을 위한 가장 안전한 방법 중의 하나로 알려져 있다. 이와같이 동결식품이 정확히 처리되었으면 식품 본래의 향미, 색, 조직감 및 영양가가 신선상태 그대로 유지되어야 할 것이다. 그러나 식육의 경우 냉동냉장시 드립발생, 단백질 변성 및 지방산화 등을 초래함으로써 품질이 저하하게 된다. 특히, 식육의 변성과 연관된 생화학적 반응은 -20℃ 이상의 동결온도에서도 액상으로 잔존하는 식육내에 있는 수분 때문에 일시적으로 정지되거나 감소되지만 저장기간의 경과에 따라 점차적으로 진행이 지속된다.⁽¹⁾

이와 더불어 물리적 품질손상에 있어 크게 영향을 미치는 인자 중의 하나가 급속한 온도강하에 따른 내부압력 발생으로 인한 조직파괴로 LN₂ 나 CaCl₂ 브라인 침지/살포와 같은 급속동결의 경우에는 부피변화와 동시에 stress로 인해 표면 균열이 생기거나 형태가 찌그러져 상품성 및 영양소 손실을 초래하게 된다.⁽²⁾ 이에 관한 연구로는 Lorentzen가 액체질소에 의한 청어의 동결에서 팽창부위의 균열 및 파괴를 발견한 이래, Kagan과 Ukrainets은 압력

transducer system을 사용하여 액체 탄산가스 및 송풍식 동결시의 우육 및 돈육 중심부에서 압력을 측정하였고⁽³⁾, Miles와 Morley⁽³⁾는 -10~-50℃ 사이의 동결온도에서 동결 및 냉동 저장시의 우육에 있어 내부압력을 측정하였으며, Ogawa⁽⁴⁾는 염화칼슘과 에탄올 브라인에 의한 참치와 가다랑어, 햄, 소시지의 동결 중의 내부압력 발생에 따른 균열 및 용기에 관해 연구한 것에 불과한 실정이다.

한편, 농산물과 같은 식물체에 있어서도 동결로 인해 세포벽이 파괴됨과 동시에 액포 등이 붕괴되어 생명력을 소실하게 되며, 세포의 팽압 보유력 또한 소실되어 조직 연화로 인해 상품성을 잃어버리게 된다. 이미 알려진 바에 의하면 급속 동결은 적은 drip 손실과 고품질을 유지하는 이점을 지닌 것으로 소개되고 있지만 낮은 온도의 침지식 또는 송풍식 동결에 의해 장시간 처리한 경우 제품 표면에 금이 생기거나 심지어 부숩지도 한다.⁽⁵⁾ 지금까지 freeze-cracking을 설명하는 메카니즘은 다양하지만 가장 일반적인 설명은 water-ice의 상변화와 연계된 체적 변화에 기인하는 급속동결에 의한 기계적 손상으로 설명되고 있다.⁽⁶⁾ Fennema와 Powrie⁽⁶⁾는 동결중 조직에 기계적 손상을 입히는 주요 인자로서 미세조직 내에 있는 빈 공간의 양과 체적팽창을 보고하였다. 그리고 동결중 체적변화는 0℃ 순수한 물이 동일한 온도에서 ice로 변환할 때 대략 9% 수준의 팽창을 일으키지만, 대부분 식품은 순수한 물보다는 다소 적게 팽창하며, 각기 다른 균열 민감도를 가지는 것

은 수분함량, 조성 성분 및 결합수(bound water) 함량 등의 차이에서 기인되는 것으로 보고되고 있다.⁽⁷⁾ 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 가압이나 빙점강하제를 이용하여 빙결점의 폭을 확대시키려는 연구가 진행중인 것으로 알려져 있다. 빙점강하제는 당류, 이당류, 다가 알코올 및 무기염류 등의 냉동보호물질을 첨가하여 냉동저장하는 방법으로서 축산 냉동제품의 단백질 침전이나 유화안정성을 부여하기 위하여 많이 연구되어 왔다.^(8,9) Meryman⁽¹⁰⁾에 의하면 냉동보호물질은 냉동저장시 작은 얼음 입자를 형성하고, 결합수를 증가시켜 단백질의 변성을 방지함은 물론 유화 안정성을 유지시키는 역할을 할뿐만 아니라 액체식품에 냉동보호물질을 첨가할 경우에는 조직의 변화를 극소화함과 동시에 빙점강하효과를 얻을 수 있다. Sterling⁽¹¹⁾은 과실의 냉동에 있어 glycerol, ethylene glycol, propylene glycol, sorbitol, 당류, 염화나트륨 등의 동결방지제로서의 보호작용에 관하여 보고하였다. 국내에서는 Lee와 Shin⁽¹²⁾의 우유와 오렌지주스의 냉동냉장시 동결방지제를 이용한 연구가 있으며, Jeong 등⁽¹³⁾의 딸기펄프와 붉은 생고추 페이스트의 냉동저장시 염류, citric acid, dextrose, fructose, sorbitol, ascorbic acid 등의 동결방지제를 이용한 것 등이 고작으로 과채류의 저온저장에 동결방지제를 이용한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 고에서는 식품냉동시 식육 및 과채류의 내부압력에 따른 조직파괴를 방지하기 위해 다양한 동결처리에 의한 내부압력과 아울러 냉동냉장 및 해동시의 내부압력 변화에 대하여 연속적으로 살펴보고, 동결과정 중의 조직파괴에 의한 품질저하를 최소화하기 위한 방안으로 동결중에 일시적으로 온도조건을 변화시켜 피냉각물의 품온을 균일하게 하여 내부압력을 분산시키는 균온처리에 의한 품질변화에 대하여 조사한 결과를 소개한다.

재료 및 방법

공시재료 및 전처리

본 실험에서는 도살후 24시간 경과한 등심근을 축협직매장(경기도 성남)에서 구매하여 polypropylene 포장지에 넣어 5℃온도에서 1일간 보관한 것

을 일정 크기로 절단한 후 표피지방을 제거한 우육 및 돈육을 동결 및 냉동냉장 실험에 사용하였으며, 동결시 균온처리는 $-1 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $-10 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 및 $-18 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 3단계에서 각각 6시간 동안 행하였다. 그리고 국내에서 비교적 유통 및 소비량이 많고, 고가이며 계절성을 지닌 사과, 배, 딸기, 매론 및 수박 등의 시험용 과채류는 현지에서 당일 새벽에 수송되어 온 신선한 것을 농협 하나로마트(경기도 성남)에서 구매하여 10℃에서 1일간 보관한 것을 사용하였고, 동결실험용 시료는 표피를 제거한 후 일정 크기의 4각형($3 \times 2 \times 2$ cm)으로 절단하여 5℃ 이하로 보관하면서 사용하였고, 동결시 균온처리는 $0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $-5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $-10 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 및 $-15 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 4단계에서 각각 3~6시간 동안 행하였다. 해동은 실온에 그대로 방치하면서 품온이 $+1.0^{\circ}\text{C}$ 에 도달할 때까지 실시하였다.

동결실험, 내부압력 및 온도 측정

시료 처리조건에 따른 내부압력 및 품온 측정을 위한 주요 장치는 동결장치, 압력 및 온도 측정부 및 데이터 출력부로 구성하였다. 시료의 송풍식 및 정지공기식 동결은 2원냉동시스템의 초저온 동결고(SW-UF 400, 삼원냉열 ENG.)를 이용하여 고내(유효면적: L1,850×W850×H980 mm) 중심부에 설치한 트레이 위에 시료를 얹고 $-20 \sim -70^{\circ}\text{C}$ 범위에서 온도조절기와 송풍량으로 온도를 조절하도록 하였고, 프로필렌글리콜을 사용한 침지식 동결에서는 브라인 냉각을 위해 2 Hp의 압축기 유닛(저온측: R-503, 고온측: R-502)와 브라인 가열을 위해 2.2kW의 전열히터를 설치하였다. 압력측정은 $-14.8 \sim 100$ psi 범위의 pressure transducer (C280E, Setra, USA)의 압력부에 길이 10cm, 직경 2mm 동관을 연결하여 나사로 고정시켜 밀봉처리 한 후, 온도를 동시에 측정하고자 K-type의 0.3mm 동-콘스탄탄 열전대를 함께 고정하여 단열처리 하였다. 동결시의 내부압력 및 소요시간은 시료의 기하학적 중심부의 온도가 -18°C , 해동시의 내부압력 및 소요시간은 품온이 $+1^{\circ}\text{C}$ 에 도달할 때까지 Hydra data acquisition (2625A, Fluke, USA)를 이용하여 연속 측정하였다. 본 실험에 사용한 내부압력 측정용 transducer의 표준편차는 ± 0.40 psig, 열전대는 $\pm 0.12^{\circ}\text{C}$ 이다.

동결소요시간 측정

동결소요시간 계산은 Hung과 Thompson⁽¹⁴⁾의 방법에 의해 산출하였다. 즉, 측정 시료의 동결 전후의 밀도는 부피에 대한 중량의 비로써 산정하였으며, 동결 상태의 경우는 에칠알콜을 저온매체로 사용하여 일정량의 시료를 비중병에 주입한 후 처리온도 별로 약 24시간 동결시킨 후의 체적과 동결전의 중량으로 구하였다. 초기빙결점은 Beckmann 법⁽¹⁵⁾에 의해 열평형 온도대를 외삽하여 결정하였으며, 표면 열전달계수는 Creed와 James⁽¹⁶⁾의 총괄열전달계수의 산출을 위한 transient temperature method를 적용하였고, 비열은 빙결점 이상의 온도에서는 Siebel⁽¹⁷⁾의 실험식에 의해, 빙결점 이하의 온도에서는 Yano⁽¹⁷⁾의 실험식으로 산정하였으며, 잠열은 Woolrich⁽¹⁸⁾의 실험식으로, 동결동안 제거되는 전열량은 시료의 초기온도와 최종동결온도사이의 total enthalpy 차를 이용하였고, 열전도도를 추정하기 위해 열확산율을 측정하여 $k = \alpha \cdot \rho \cdot C_p$ 식 [여기서 α = 열확산율 (m^2/hr), ρ = 밀도 (kg/m^3), C_p = 비열 (J/m^3)]으로 산출하였다. 그리고 수분은 상압가열 건조법으로 측정하였다.

빙결정 및 조직 관찰

조직학적 조사는 동결조직 절편 제작법과 일반적인 파라핀 조직 제작법의 2가지 방법으로 실시하였다. 먼저, 동결조직은 40% formal aldehyde 100 mL, 증류수 900 mL, 10% CaCl₂로 제조한 10% formal calcium 용액에 시료를 넣어 4℃에서 18시간 동안 조직을 고정시킨 다음, 흐르는 수돗물에 행군 후 4℃에서 18시간 동안 gum sucrose solution (gum acacia 2 g, sucrose 60 g, 증류수 200 mL를 혼합한 수용액)에 조직을 방치한 다음, 물기를 제거하여 cryostat microtome (Reichert-855, Germany)을 사용, 챔버의 온도를 -15℃ 하에서 4 μm의 동결조직 절편을 제작하여 광학현미경(Zeiss Axioskop, Germany)하에서 관찰하였다. 그리고, 파라핀 조직은 각각의 실험구에서 동결된 조직을 carnoy 용액(순수알코올 60 mL, chloroform 30 mL, acetic acid 10 mL로 제조)에 시료를 넣어 0℃에서 18시간 고정시킨 후, 무수 알코올(absolute alcohol)로 세척하여 다시 순수 알코올에 넣어서 3~5℃, 24시간 방치한 것을 파라핀에 봉입,

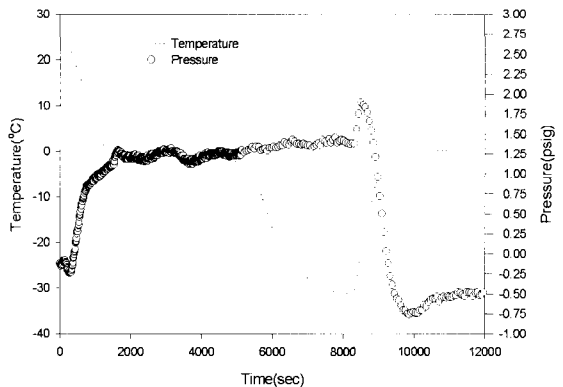
로타리식 마이크로톰(Reichert-Jung 2040, Germany)을 사용, 5 μm의 조직 절편을 제작하여 hematoxylin-eosin 염색액에 염색하여 조직을 관찰하였다.

이화학적 성분분석

냉동된 일정량의 시료를 채취하여 약 3시간 동안 상온해동하여 일반성분은 A.O.A.C. 법⁽¹⁹⁾으로, pH는 pH meter(No. 345, Metter Delta, UK.), 휘발성염기태질소(Volatile basic nitrogen: VBN)는 Conway unit를 이용한 미량확산법,⁽²⁰⁾ TBA(2-thiobarbituric acid)는 우육에서는 Turner 변형법⁽²¹⁾으로, 돈육은 Salih법⁽²²⁾으로, 그리고 drip loss는 약 10 g씩 냉동 처리된 시료의 무게를 먼저 측정된 뒤 약 3시간 상온에서 해동한 후 유출된 drip을 여과지를 이용하여 완전히 제거한 후 무게를 측정하여 그 무게 차로써 손실된 drip 양을 측정하였다.⁽²¹⁾

동결, 냉동냉장 및 해동 중의 내부압력 변화

일반적으로 식품은 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.^(2,6,7) 이를 확인하기 위하여 증류수를 동결 및 해동 하였을 때의 내부압력을 측정된 결과, 그림 1에서 보는 바와같이 초기온도에서는 온도가 내려감에 따라 내부압력은 일시적으



[그림 1] 동결 및 해동시 증류수의 압력 및 온도 변화

로 증가하다가 감소한 후 즉시 0℃ 부근까지 증가함을 보여 주었다. 0℃ 이하에서는 온도가 하강함에 따라 내부압력의 변화는 거의 같은 수준으로 일정하게 나타났다. 이는 일반적으로 0℃의 순수한 물이 얼어서 0℃의 얼음으로 변화할 때의 체적팽창과 이후의 온도강하에 따른 체적변화 이론과 거의 일치함을 알 수 있다.

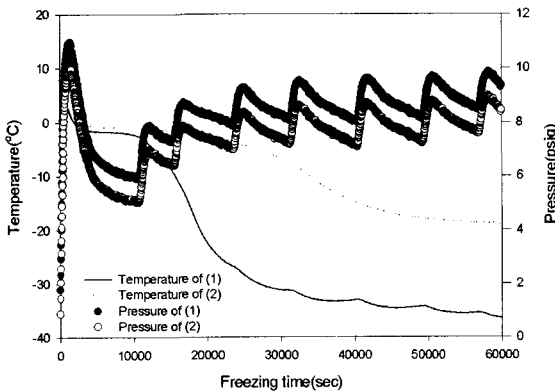
동결속도에 따른 내압을 비교한 결과, 그림 2에서 보는 바와같이 급속동결시의 침지식이나 완만동결시의 정지공기식의 내부압력 변화의 경향은 동결직 전에는 약 10~11 psig 정도까지 급격히 상승한 후 동결 초기부터 최대 빙결정 생성대를 통과하는 동안은 급격히 감소하다가 다시 온도가 내려감에 따라 압력변화는 약 2 psig 크기의 수준으로 증가와 감소를 반복하며 상승하는 경향을 보여 주고 있으며 동결 동안의 내부압력 크기는 약 8~10 psig 수준으로 이러한 내부압력의 변화 경향은 정지공기식보다 침지식에서 약 1 psig 정도 크게 나타내었다.

그림 3은 동결돈육의 냉동냉장 동안에 일어나는 내부압력으로 상하변동은 저장기간 중에서도 약 1~2 psig 범위에서 반복하여 일어나고 있음을 볼 수 있으며, 고내온도의 변화에 따라 품온의 온도차가 ±1℃의 오차를 보일 때, 중량이 큰 시료에서는 2.32 psig, 중량이 적은 시료에서는 1.84 psig 정도의 내부압력 차가 발생됨을 알 수 있었다.

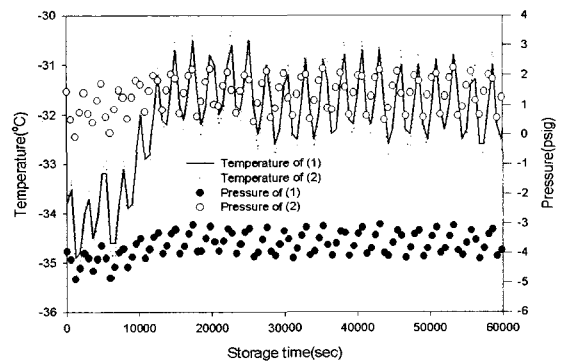
그리고 해동시의 온도상승에 따른 내부압력 변화는 해동개시 후 즉시 급격히 상승하여 5분 이내에 최고

압력에 달하며, 그 이후에는 온도상승과 더불어 점차 떨어진 후 -1~-5℃ 범위에서부터 일정한 압력을 유지하다가 0℃부근에서 0 psig에 접근하게 된다.

한편, 표 1, 2 및 3은 동결, 냉동냉장 및 해동시의 처리조건에 따른 내부압력을 측정된 것으로, 표 1에서 보면 -70℃동결시에 체적팽창 및 수축에 따른 내부압력차가 가장 크게 나타나며, -40℃의 동결에서 가장 적게 나타나 동결온도가 낮을수록 내압이 크다는 것을 알 수 있었다. 또한, 돈육의 경우도 우육과 마찬가지로 -70℃, -50℃ 및 -40℃의 순으로 내압의 차이를 보였다. 표 3에서 보면, 우육 및 돈육의 해동시 침지식에 의해 급속동결처리한 시료가 체적팽창 및 수축에 의한 내부압력의 차가 다른 처리조건보다 크게 나타나는 것이 특징적이며, 동결시에 발생한 내부압력이 작을수록 해동시에 일어나는 내부압력의 크기도 상대적으로 작게 나타날 뿐만 아니라, 해동시에 발생한 내부압력 값은 동결시의 내부압력 값보다도 대부분 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 내부압력이 (+)로 나타나는 것은 동결초기의 수축이 동결에 따른 체적팽창보다 크고, (-)로 나타나는 것은 체적팽창이 수축보다 크기 때문이며, 동결온도가 -20℃ 수준 이하에서 (+)로 변환하는 것은 동결에 의한 팽창이 거의 정지되기 때문이다.⁽²³⁾ 이와 같은 결과에서 미루어 볼 때, 동결속도에 따른 내부압력 발생 크기는 우육 및 돈육에서는 대체로 -70℃의 정지공기식 및 -40℃의 침지식에서는 체적팽창에 따른 내부압력이 발생되며, 식품내부의 파괴는 내부압력



[그림 2] 냉동냉장중 돈육의 내부압력 및 품온 변화
(1) 침지식 동결, (2) 정지공기식 동결



[그림 3] 냉동냉장중 돈육의 내부압력 및 품온 변화
(1) 중량 351.0 g, 두께 4.5 cm
(2) 중량 536.8 g, 두께 7.0 cm

<표 1> 우육 및 돈육의 동결시 내부압력 및 품온 변화

Expt. No.	Freezing temp. (°C) and methods		Materials	Initial temp. (°C)	Dimensions		Max.		Min.		Difference (psig)	Freezing time ²⁾ (min)
					Weight (g)	Size (cm)	I. P. ¹⁾ (psig)	Temp. (°C)	I. P. ¹⁾ (psig)	Temp. (°C)		
1	-70	Still-air	Beef	10.0	375.0	10.0×9.5×5.0	0.3	9.8	-12.05	-63.5	12.35	93.3
2	-50	Air-blast		6.0	175.0	10.5×5.5×4.5	-0.02	1.3	-6.71	-35.9	6.73	52.8
3	-40	Immersion	Pork	20.1	324.9	10.0×9.0×5.0	0.53	-26.0	-1.27	1.3	1.80	107.8
4	-70	Still-air		11.5	527.6	11.5×10.0×7.5	0.33	11.5	-8.38	-57.0	8.71	189.5
5	-70	Still-air		12.0	268.6	10.0×7.0×4.5	0.85	11.1	-6.19	-53.1	7.04	136.7
6	-40	Immersion		10.1	242.4	10.0×8.5×4.5	0.51	-25.2	-1.48	-1.2	1.99	87.4
7	-40	Immersion		7.9	162.8	12.0×8.0×2.5	-0.11	7.3	-6.04	-26.8	5.93	227.3
8	-50	Air-blast		6.7	536.8	14.5×7.8×7.0	-0.11	6.7	-5.20	-32.8	5.09	104.7
9	-50	Air-blast		6.5	254.1	12.5×7.5×3.0	0.22	6.5	-3.85	-32.2	4.07	143.7

1) Internal pressure.

2) Time taken for center to reach -18°C.

<표 2> 우육 및 돈육의 냉동냉장시 내부압력 및 품온 변화

Expt. No.	Freezing temp. (°C) and methods		Initial temp. (°C)	Dimensions		Max.		Min.		Difference (psig)
				Weight (g)	Size (cm)	I. P. ¹⁾ (psig)	Temp. (°C)	I. P. ¹⁾ (psig)	Temp. (°C)	
1	-70	Still-air	Beef	375.0	10.0×9.5×5.0	-1.74	-62.1	-2.05	-60.0	0.34
2	-50	Air-blast		175.0	10.5×5.5×4.5	-3.46	-31.3	-6.66	-35.5	3.20
3	-40	Immersion	Pork	324.9	10.0×9.0×5.0	0.53	-26.0	-0.97	-26.8	1.50
4	-70	Still-air		527.6	11.5×10.0×7.5	-8.19	-56.8	-8.38	-57.0	0.19
5	-70	Still-air		268.6	10.0×7.0×4.5	-4.96	-57.1	-5.65	-56.0	0.69
6	-50	Air-blast		536.8	14.5×7.8×7.0	-3.05	-30.7	-4.89	-34.9	1.84
7	-50	Air-blast		254.1	12.5×8.5×3.0	-0.72	-31.6	-2.74	-34.7	2.02
8	-40	Immersion		242.4	10.0×8.5×4.5	-1.74	-62.1	-2.05	-60.0	0.31
9	-40	Immersion		162.8	12.0×8.0×2.5	-4.83	-29.8	-5.81	-29.1	0.98

1) Internal pressure.

<표 3> 우육 및 돈육의 해동시 내부압력 및 품온 변화

Expt. No.	Freezing temp. (°C) and methods		Materials	Initial temp. (°C)	Dimensions		Max.		Min.		Difference (psig)	Thawing time ²⁾ (min)
					Weight (g)	Size (cm)	I. P. ¹⁾ (psig)	Temp. (°C)	I. P. ¹⁾ (psig)	Temp. (°C)		
1	-70	Still-air	Beef	-63.3	375.0	10.0×9.5×5.0	5.34	-50.4	-11.89	-63.3	17.23	136.7
2	-50	Air-blast		-31.9	175.0	10.5×5.5×4.5	0.51	-23.3	-5.12	-31.9	5.63	61.3
3	-40	Immersion	Pork	-26.9	324.9	10.0×9.0×5.0	2.25	5.2	-14.8	-5.8	17.05	56.9
4	-70	Still-air		-57.0	527.6	11.5×10.0×7.5	2.30	-51.2	-10.48	-9.1	12.78	261.4
5	-70	Still-air		-57.0	268.6	10.0×7.0×4.5	3.81	-42.1	-4.97	-57.0	8.78	167.6
6	-40	Immersion		-27.7	242.4	10.0×8.5×4.5	0.96	-25.5	-14.3	-5.1	15.26	104.7
7	-40	Immersion		-29.3	162.8	12.0×8.0×2.5	-4.10	-18.9	-6.83	-0.96	2.73	85.0
8	-50	Air-blast		-30.7	536.8	14.5×7.8×7.0	0.87	-25.6	-10.63	2.3	11.50	77.0
9	-50	Air-blast		-30.7	254.1	12.5×7.5×3.0	3.58	-23.7	-4.78	1.0	8.36	192.4

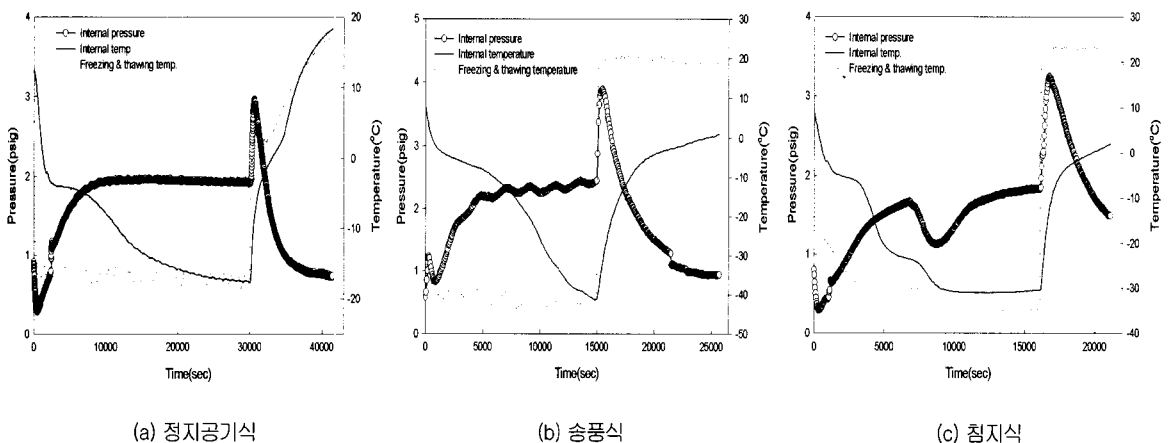
1) Internal pressure.

2) Time taken for center to reach +1°C.

이 비교적 큰 (+)값의 경우에 생길 가능성이 있는 것으로 조사되었다. 이는 동결속도가 빨라 피동결품의 외부에서 중심으로 동결이 진행되는 동안 생성되는 빙결정, 내부의 미동결 부분에서의 동결로 인해 생기는 체적팽창을 억제하므로써 피동결체 전체가 팽창할 수 없게 되어 팽창압에 상당하는 압력이 피동결체의 내부에서 발생하기 때문이다. 이와같이 피동결체의 내부에서 발생한 팽창압은 동결 진행과 동시에 증가하여 동결한 식품의 표면에서 균열 또는 용기가 생기는 것으로 추측되고 있다.^(24,25) 따라서 동결중에 발생하는 내압을 발산시킬 수 있다면 동결에 의한 식품의 변형 및 파괴를 막을 수 있을 것으로 여겨진다.

한편, 그림 4는 동결속도가 0.13~0.28 cm/h, 0.57~0.76 cm/h 및 1.07~1.35 cm/h인 정지공기식, 송풍식 및 침지식 동결방법에 의한 절편 사과와 해동 중의 내부압력과 품온 변화를 측정된 결과로써, 증류수의 내부압력 변화와 마찬가지로 동결속도에 관계없이 초기에는 온도가 내려감에 따라 내부압력은 일시적으로 감소하다가 동결직전에는 급격히 상승한 후 최대 빙결정 생성대를 통과하는 동안 완만한 증가 경향을 보이다가 품온이 내려감에 따라 압력변화는 일정 크기의 수준으로 증가와 감소를 반복하면서 상승하는 경향을 보여 주었다. 그러나 정지공기식의 완만동결시에 발생한 내부압력은 최대 빙결정 생성대에서 최고 압력까

지도달한 후 동결 완료 때까지 거의 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났으며, 송풍식의 동결시에 발생한 내부압력은 정지공기식과 유사한 수준으로 내부압력의 변화를 초래하였으나 최대 빙결정 생성대에서 최저압력에 도달하였다가 동결시간이 경과함에 따라 지속적으로 증감을 되풀이하면서 증가하는 것으로 나타났으며, 내부압력 차는 1.61 psig로 정지공기식 동결방식보다 다소 적은 값을 보여 주었다. 그리고 표 4에서 보는 바와 같이 과채류에 있어 동결속도에 따른 내압을 살펴보면, 배, 사과 및 매론에서는 침지식 동결시 체적팽창 및 수축에 따른 내부압력 차가 가장 작게 나타나며, 송풍식 동결에서 가장 크게 나타나 동결속도가 빠를수록 내압의 크기는 작다는 것을 알 수 있었으나, 딸기 및 수박의 경우는 오히려 침지식에서 내압이 가장 크게 나타났다. 해동시의 온도상승에 따른 내부압력 변화는 해동개시 후 즉시 급격히 상승하여 최고 압력에 달하며, 그 이후에는 서서히 하강하는 경향을 보이고 있다. 침지식에 의해 동결처리한 시료가 체적팽창 및 수축에 의한 내부압력의 차가 타 처리조건 보다 적게 나타나는 것이 특징적이며, 동결시에 발생한 내부압력이 적을수록 해동시에 일어나는 내부압력의 크기도 상대적으로 적게 나타날 뿐만 아니라, 해동시에 발생한 내부압력의 값은 동결시의 내부압력 값과 유사하거나 다소 크게 나타남을 알 수 있었다.



[그림 4] 사과의 동결 및 해동시 내부압력 및 품온 변화

균온처리에 의한 내부압력 변화

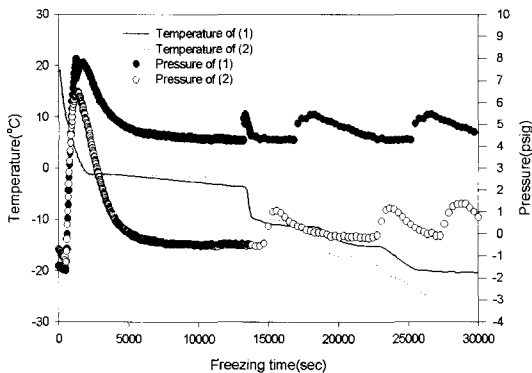
앞에서 살펴본 바와 같이 식품 동결 중에 일어나는 내부압력은 일반적으로 식품의 종류, 크기 및 동결 방법에 따라 다르며 주로 수분함량이 많고 두께가 두꺼운 식품을 급속동결하면 발생하는 내압도 크고 균열도 심하다. 따라서 동결 중에 품온을 일정시간 유지하면서 단계적으로 품온을 낮추는 처리방법인 균온처리는 동결 중에 발생하는 내압을 줄이기 위하여 동결시 균온처리 및 균온처리하지 않은 우유에

있어서의 내부압력을 비교한 결과, 그림 2에서 보는 바와 같이 균온처리하지 않은 동결에 있어서는 급속동결시의 침지식이나 완만동결시의 정지공기식의 내부압력 변화의 경향은 동결직전에는 급격히 상승한 후 동결 초기부터 최대 냉결정 생성대를 통과하는 동안은 급격히 감소한 후 다시 온도가 내려감에 따라 압력변화는 약 2 psig 크기의 수준으로 증가와 감소를 반복하여 상승하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 균온처리한 우유는 그림 5에서 보는 바와 같이 균온처리하지 않은 우유의 경우와 마찬가지로

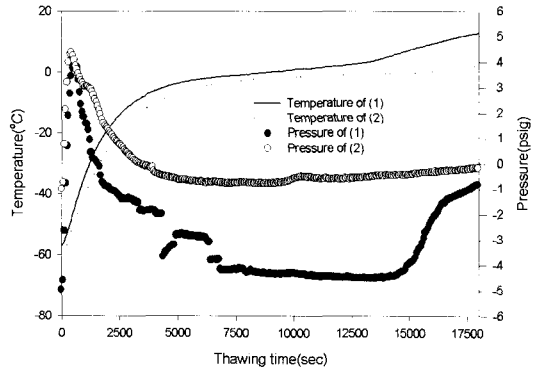
<표 4> 과채류의 동결 및 해동시 내부압력 및 품온 변화

Materials	Freezing method	Freezing				Difference (psig)	Thawing				Difference (psig)
		Max.		Min.			Max.		Min.		
		I. P. ¹⁾ (psig)	Temp. (°C)	I. P. (psig)	Temp. (°C)		I. P. (psig)	Temp. (°C)	I. P. (psig)	Temp. (°C)	
Pear	A ²⁾	2.18	-12.3	0.17	4.0	2.01	2.36	-5.3	1.23	1.0	1.13
	B ³⁾	3.00	-27.6	0.38	4.6	2.62	5.65	-23.4	0.61	1.1	5.04
	C ⁴⁾	1.40	-19.7	0.04	-0.8	1.36	2.37	-14.9	1.00	1.0	1.37
Apple	A ²⁾	1.97	-11.7	0.28	8.4	1.69	2.96	-8.7	1.26	1.0	1.70
	B ³⁾	2.44	-41.4	0.83	-2.1	1.61	3.88	-32.8	0.94	1.0	2.94
	C ⁴⁾	1.84	-30.5	0.29	2.6	1.55	3.25	-12.8	1.61	1.0	1.64
Melon	A ²⁾	1.09	9.1	-0.53	-17.2	1.62	2.08	-15.3	0.10	-8.0	1.98
	B ³⁾	3.42	-42.4	0.31	-1.5	3.11	4.25	-25.0	1.39	1.0	2.86
	C ⁴⁾	0.70	6.0	-1.24	-18.6	0.54	1.81	-3.7	1.45	1.0	0.36
Watermelon	A ²⁾	2.05	-16.6	0.01	7.5	2.04	2.79	-13.0	0.75	1.0	2.04
	B ³⁾	1.66	-30.4	-0.53	5.6	2.19	3.70	-14.1	0.83	1.0	2.87
	C ⁴⁾	1.64	-24.9	-0.43	3.1	2.07	2.83	-18.0	0.94	1.0	1.89

- 1) Internal pressure
- 2) Still-air freezing of 0.13~0.28 cm/h
- 3) Air-blast freezing of 0.57~0.76 cm/h
- 4) Immersion freezing of 1.07~1.35 cm/h



[그림 5] 균온처리 동결시 우유의 내부압력 및 품온 변화
(1) 침지식 동결, (2) 정지공기식 동결



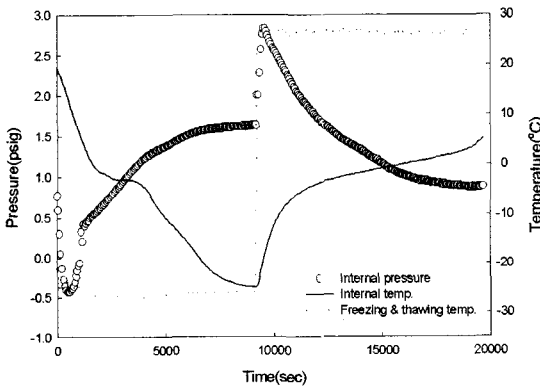
[그림 6] 동결 돈육의 해동시 내부압력 및 품온 변화
(1) 연속 동결, (2) 균온처리 동결

로 내부압력의 진행 경향은 유사하지만 동결직전에 약 6~8 psig 정도의 최고 압력을 보이다가 동결초기 이후부터 최종 동결까지 약 1~2 psig 수준으로 거의 일정하게 나타났으며, 내부압력의 크기도 1~4 psig 수준으로 균온처리하지 않은 경우에 비하여 상당히 낮게 나타났다. 또한, 해동시에 있어서도 균온처리한 시료의 내부압력 크기가 균온처리하지 않은 내부압력 크기보다 상대적으로 적게 나타났으며, 해동후 -10℃ 이후에는 내부압력이 0 psig 수준으로 거의 일정하게 나타났다(그림 6).

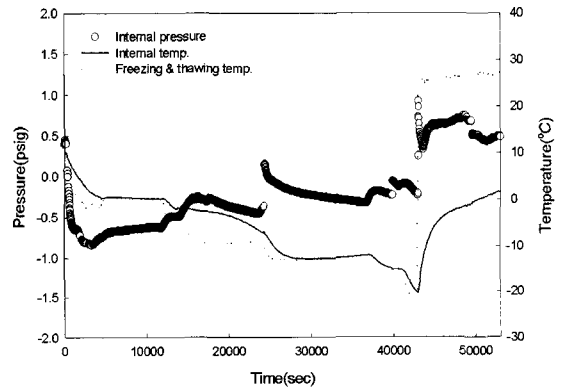
균온처리 및 균온처리하지 않은 수박에 있어서의 내부압력을 비교한 결과, 그림 7의 균온처리하지 않은 동결에 있어서는 내부압력 변화 경향은 품온이 내려감과 동시에 급격히 하강한 후 동결 초기부터

최대 빙결정 생성대를 통과하는 동안은 급격히 상승한 후 온도가 내려감에 따라 지속적으로 상승함으로써 압력변화는 약 2 psig 크기의 수준으로 증가하여 상승하는 경향을 보여 주고 있는 반면에 균온처리한 수박은 균온처리하지 않은 수박의 경우와 마찬가지로 내부압력의 진행 경향은 유사하지만 균온처리시, 즉 0, -5, -10 및 -15℃에서 단계적으로 일정한 수준으로 내압을 발생시킴으로써 동결초기 이후부터 최종 동결까지 내부압력의 크기도 약 1.3 psig 수준으로 균온처리하지 않은 경우에 비해 상당히 적게 나타났다. 또한, 해동시에 있어서도 균온처리한 시료의 내부압력 크기가 균온처리하지 않은 내부압력 크기보다 상대적으로 작게 나타났다.

한편, 표 5에서 보는 바와같이 처리조건별에 따른



(a) 연속 동결



(b) 균온처리 동결

[그림 7] 수박의 동결 및 해동시 내부압력 및 품온 변화

<표 5> 균온처리에 따른 우육 및 돈육의 동결소요시간 비교

Sample	Initial temp.(°C)	Freezing temp. (°C)	Freezing methods	Width (m)	Thickness (m)	Average ⁽¹⁾ thickness (m)	Freezing time(min)		difference (%)
							Thermal equalizing	Non-thermal equalizing ⁽²⁾	
Beef	10.7	-20	Still-air	0.105	0.095	0.09975	817.8	899.83	-9.12
	13.6	-50	Air-blast	0.05	0.02	0.02857	54.7	57.87	-5.48
	20.1	-40	Immersion	0.09	0.05	0.06429	107.8	117.91	-8.57
Pork	13.1	-70	Still-air	0.11	0.04	0.05867	147.6	155.10	-4.84
	10.1	-40	Immersion	0.085	0.04	0.05440	87.4	113.19	-22.78
	7.9	-40	Immersion	0.11	0.05	0.05310	109.0	146.35	-25.52
	6.5	-50	Air-blast	0.075	0.03	0.04286	83.8	94.12	-10.96

(1) By equation (=2w × d/(w+d), w=width, d=thickness).

(2) Computed value by Hung & Thompson(1983)

동결소요시간을 살펴보면 균온처리한 시료는 균온처리를 하지 않은 것에 비하여 동결소요시간이 약 10~20% 정도 짧게 나타나 냉동창고의 운영에 있어 에너지 절약 및 경비 면에 있어 상당한 효과가 있을 것으로 여겨진다.

균온처리 동결에 의한 우육의 저장중 품질 변화

동결처리 조건별에 따른 동결 우육의 저장중 품질을 살펴보기 위해 drip loss, pH, 및 선도를 판정하기 위한 지표로서 휘발성염기질소태(volatile basic nitrogen: VBN)와 지방의 산패 정도를 살펴보기 위해 thiobarbituric acid(TBA)를 분석한 결과를 표 6에 나타내었다. 먼저, 동결방법에 따른 드립손실률을 측정된 결과를 보면, 동결속도가 느린 정지공기식으로 처리한 시료II는 저장 초기부터 타 처리구에 비해 계속 높게 나타나 저장 180일째 가장 많은 20.48%로, 동결속도가 비교적 빠른 침지식 동결 시료III은 저장 120일째 9.31%, 균온처리한 시료IV는 저장 140일째 9.38%로 나타났으며, 저장 200일 동안에 있어 평균 드립손실률도 시료III 및 IV에서 각각

6.54% 및 7.63%로 시료II의 9.61%에 비해 적게 나타났다. 그리고 처리구별에 따른 pH 변화는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으나 저장기간이 경과함에 따라 초기에는 다소 증가하다가 저장 100일 이후부터는 다시 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 타 보고^(26,27)에 의하면, 식육은 냉동저장 초기에는 pH가 증가하다가 감소하는 경향은 동결과정 및 냉동냉장 중 공정점이 높은 산성염과 알칼리염이 석출되어 단백질 및 이온물질과의 반응 등에 의한 것으로 소개되고 있다. 한편, 저장기간에 따른 선도 지표로서 VBN을 분석한 결과, 시료 I 및 시료 III은 저장 180일 경과 이후, 시료II는 저장 160일 경과 이후 20 mg% 이상으로 나타난 반면에 균온처리한 시료IV는 저장 200일째 19.63 mg%로 타 동결방법에 비해 다소 양호하게 나타났다. 저장중의 지방질 산패에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 각 처리 시료의 TBA값을 분석한 결과, 균온처리한 시료IV를 제외한 타 처리구에서는 저장 초기 0.152 mg/kg에서 저장 80일째 0.200 mg/kg으로 증가하므로써 균온처리한 시료IV가 다소 양호한 결과를 보였으나 저장 200일 경과 시에는 동결방법에 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다.

<표 6> 다양한 동결방법에 의한 동결 우육의 저장중 이화학적 품질변화

Sample*	Storage duration(day)											
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	
Drip loss (%)	I		6.30±1.20	6.18±1.86	5.18±1.09	6.43±1.97	6.28±2.01	10.25±3.46	8.08±2.65	9.76±3.05	8.29±2.45	9.65±2.15
	II	5.10±0.95	6.81±1.33	7.53±1.23	7.17±1.54	9.74±1.25	7.95±1.98	10.59±2.87	4.46±1.87	15.37±1.80	20.48±4.50	10.54±1.25
	III		6.01±0.98	3.42±0.51	6.53±1.38	7.63±0.98	6.05±1.65	9.31±2.36	3.04±2.50	7.02±2.16	8.74±1.97	9.15±1.85
	IV		6.63±0.87	7.68±1.03	7.88±1.33	6.12±1.25	9.34±2.13	7.02±2.49	9.38±2.10	9.15±2.78	8.07±1.96	7.51±1.45
pH	I		5.67±0.00	5.74±0.01	5.90±0.01	5.64±0.01	6.00±0.01	5.49±0.00	5.57±0.00	5.65±0.04	5.74±0.01	5.63±0.01
	II	5.68±0.08	5.77±0.01	5.76±0.01	5.69±0.00	5.94±0.01	5.76±0.02	5.41±0.00	5.56±0.01	5.35±0.00	5.40±0.01	5.44±0.02
	III		5.83±0.00	5.72±0.01	5.76±0.01	5.74±0.01	5.72±0.01	5.71±0.01	5.61±0.03	5.48±0.00	5.53±0.01	5.60±0.01
	IV		5.66±0.00	5.74±0.01	5.68±0.01	5.60±0.01	5.69±0.02	5.53±0.01	5.61±0.01	5.50±0.01	5.63±0.00	5.64±0.01
VBN (mg%)	I		2.81±0.00	6.94±0.00	11.01±1.92	13.93±0.00	12.29±1.93	13.77±0.00	13.66±0.00	18.06±1.97	20.86±1.87	21.02±1.98
	II	2.80±0.00	4.15±1.98	8.29±0.00	12.45±1.96	16.72±0.00	16.32±0.00	18.11±1.97	18.02±1.96	20.81±1.97	23.77±1.91	26.38±1.97
	III		2.83±1.97	6.87±0.00	9.78±1.86	14.03±0.00	13.81±0.00	15.20±1.96	13.89±0.00	16.75±0.00	20.99±1.89	21.79±0.00
	IV		2.77±2.12	4.20±1.98	6.92±0.00	10.98±0.00	12.32±1.94	13.85±0.00	13.90±0.00	16.61±0.00	19.11±0.00	19.63±0.00
TBA (mg/kg)	I		0.158±0.01	0.176±0.02	0.198±0.01	0.203±0.01	0.214±0.01	0.219±0.00	0.232±0.00	0.237±0.00	0.240±0.01	0.248±0.01
	II	0.152±0.00	0.173±0.00	0.195±0.01	0.201±0.02	0.217±0.01	0.226±0.02	0.230±0.02	0.240±0.02	0.239±0.02	0.212±0.00	0.251±0.00
	III		0.167±0.00	0.188±0.00	0.189±0.02	0.211±0.01	0.217±0.01	0.221±0.01	0.228±0.00	0.239±0.01	0.244±0.00	0.247±0.01
	IV		0.152±0.01	0.187±0.01	0.185±0.01	0.197±0.01	0.207±0.02	0.214±0.00	0.215±0.01	0.235±0.00	0.238±0.01	0.243±0.00

* I : wrapping precooling at 5°C freezing at -40°C by air-blast freezing method.
 II : wrapping precooling at 5°C freezing at -40°C by still-air freezing method.
 III : wrapping precooling at 5°C freezing at -40°C by immersion freezing method.
 IV : wrapping precooling at 5°C thermal equalizing freezing (0°C → -10°C → -20°C → -40°C).

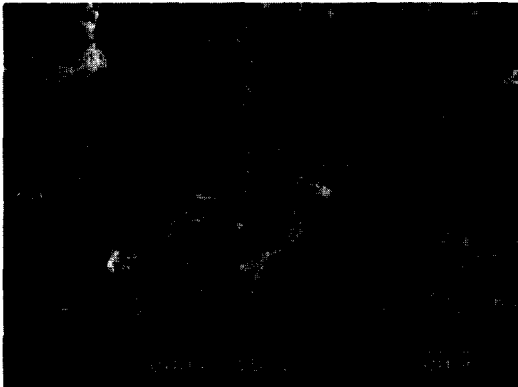
그리고, 동결방법에 따른 우육 조직을 관찰한 결과는 그림 8에서 보는 바와 같이 균온처리한 시료Ⅳ는 침지식 동결 시료Ⅲ에 비하여 조직사이의 간격도 조밀하게 구성되어 있을 뿐만 아니라 근섬유질도 쭈그러지지 않고 평행으로 이루어져 있어 균온처리에 의한 동결방법이 타 동결방법에 비하여 동결시에 발생하는 내부압력을 상당히 억제시킬 수 있음을 짐작할 수 있다.

요 약

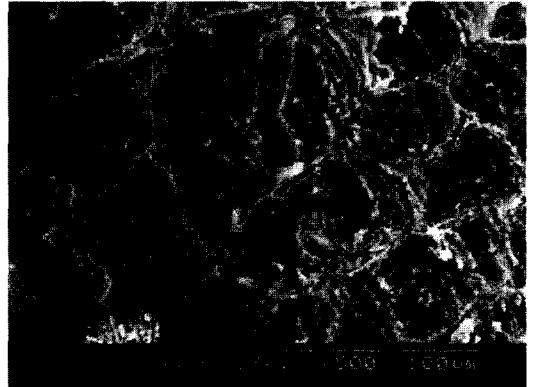
식품동결에 의한 품질손상에 있어 크게 영향을 미치는 인자중의 하나가 체적변화에 의한 조직 파괴이므로 식육 및 과채류의 냉동시 내부압력에 따른 조

직파괴를 방지하기 위한 기초연구로 다양한 동결방법에 따른 내부압력 변화에 대하여 조사 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

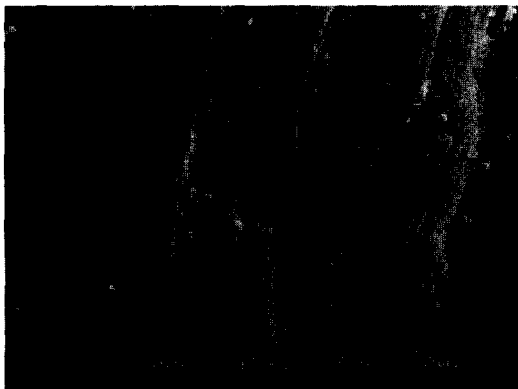
급속 및 완만동결시 우육의 내부압력 변화 경향은 동결 직전에 급격히 상승한 후 동결 초기부터 최대빙결정 생성대를 통과하는 동안은 급격히 감소하다가 다시 온도가 내려감에 따라 압력은 증가와 감소를 반복하여 상승하는 경향을 보여 주었고, 동결시의 내부압력 크기는 약 8~10 psig 수준이며, 내부압력의 변화 경향은 정지공기식보다 침지식에서 약 1 psig 정도 크게 나타났다. 냉동냉장시에 일어나는 내부압력의 상하변화는 돈육의 품온차가 ±1 일 때, 시료중량에 따라 1.84~2.32 psig 정도로 반복적으로 발생됨을 알 수 있었다. 또한, 돈육의 해동시 내부압



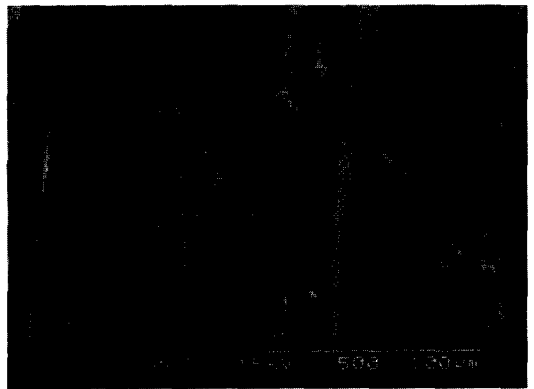
(Ⅲ-1)



(Ⅳ-1)



(Ⅲ-2)



(Ⅳ-2)

[그림 8] 동결 우육(시료 Ⅲ 및 Ⅳ)의 조직 비교



력은 해동 개시 후 급격히 상승하여 5분 이내에 최고 압력에 도달한 이후에는 서서히 하강하였으며, 해동 시에 발생한 내부압력 값은 동결시의 내부압력 값보다도 대부분 크게 나타났다. 또한, 균온처리한 우육의 동결시 내부압력 값은 약 1~4 psig 수준으로 균온처리하지 않은 우육에 비하여 매우 적게 나타났다. 동결 소요시간도 약 10~20% 정도 짧게 나타났다.

균온처리 및 다양한 동결방법에 따른 동결식육의 조직과 냉동냉장 중의 품질변화를 비교 검토한 결과, 동결방법에 따른 드립손실률은 우육의 경우 정지공기식으로 처리한 시료는 타 처리구에 비해 계속 높게 나타났으며, 돈육은 우육에 비해 상대적으로 드립손실량이 적게 나타났으나 송풍식으로 처리한 시료에서 저장 40일째, 7.39%로 가장 높게 나타났다. 동결 우육 및 돈육의 pH 변화는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으며, VBN 및 TBA 값에 있어서는 균온처리한 처리한 시료가 완만 및 급속동결 처리한 타 시료에 비해 저장 200일까지 가장 변화가 없었다. 동결 저장온도의 상하변동에 있어서는, 온도변동 횟수가 증가할수록 pH 및 수분함량은 뚜렷한 변화가 없었으나 드립손실률, VBN 및 TBA 값은 온도변동횟수가 증가할수록 서서히 증가하는 경향을 보여 주었다.

과채류의 동결에 의한 중량감소율은 침지식 동결 방식에서 0.44~1.38% 수준으로 가장 적게 나타났으며, 동결방법에 따른 중량감소율 차이는 수박에서 가장 심하여 수분함량이 클수록 동결속도에 따른 효과가 비교적 크다는 것을 알 수 있었다. 동결속도에 따른 내부압력은 배, 사과 및 메론에 있어 침지식 방법에 의한 동결시 체적팽창 및 수축에 따른 내부압력 차가 가장 적게 나타났으며, 송풍식 동결에서 가장 크게 나타나 동결속도가 빠를수록 내압의 크기가 작다는 것을 알 수 있었으나 딸기 및 수박의 경우는 오히려 침지식에서 내압이 가장 크게 나타났다. 균온 처리하지 않은 동결에 있어 과일의 내부압력 변화는 약 2 psig 수준인 반면에 균온 처리한 수박의 내부압력 변화는 균온처리하지 않은 수박의 내부압력 변화 경향과 유사하지만 일정한 수준의 내압을 발생시킴으로써 내부압력의 크기도 약 1.3 psig 수준으로 상당히 작게 나타났다. 또한, 해동시에 있어

서도 균온처리한 시료의 내부압력 크기가 균온처리하지 않은 내부압력 크기보다 상대적으로 작게 나타났다. 균온처리 동결시, 다단계 처리보다는 3~4회 수준의 일정한 균온 처리가 내부압력의 증감 폭을 줄일 수 있었다.

참고문헌

1. Grujic, R., Petrovic, L., Pikula, B. and Amidzic, L., 1993, Definition of the optimum freezing rate. *Meat Science*, 33, pp.301-318.
2. Ogawa, Y., 1987, Studies on gape and heave of foodstuffs due to internal pressure during freezing. *Trans. JAR.*, 4(2), pp.81-92.
3. Miles, C.A. and Morley, M.J., 1977, Measurement of internal pressures and tensions in meat during freezing, frozen storage and thawing. *J. Food Technol.*, 12, pp.387-402.
4. Ogawa, Y., 1987, Studies on gape and heave of foodstuffs due to internal pressure during freezing. *Trans. JAR.*, 4(3), pp.81-88.
5. Hung, Y.C. and Kim, N.K., 1996, Fundamental aspects of freeze-cracking. *Food Technol.*, pp.59-61.
6. Fennema, O.R. and Powrie, W.D., 1964, Fundamentals of low temperature food preservation. *Adv. Food Res.*, 13, pp.200-215.
7. Fennema, O.R., 1993, Frozen foods - Challenges for the future. *Food Australia*, 45, pp.374-380.
8. Takahisa, M., 1992, Prediction of freezing point depression of fruit and vegetable juice. *高大農システム園實研報*, 9, pp.33-43.
9. Akinori, M., Masata, M., Shigeru, T. and Masao, M., 1997, Antifreeze Activities of various food components. *J. Agric. Food Chem.*, 45, pp.14-18.
10. Minson, E.I., Fennema, C. and Amundson, C.H., 1981, Efficacy of various carbohydrates as cryoprotectants for casein in skin milk. *J. of Food Sci.*, 46, pp.1597-1601.
11. Sterling, C., 1968, Effect of low temperature

- on structure and firmness of apple tissue. *J. of Food Sci.*, 33, pp.557-561.
12. Lee, Y.S. and Shin, D.B., 1985, Studies on the preservation of concentrated milk by freeze-flow process. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 17, pp.500-505.
 13. Jeong, J.W., Jo, J.H., Kwon, D.J. and Kim, Y.B., 1990, Studies on the low-temperature storage of strawberry pulp and red pepper paste by cryoprotectants. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 22, pp.434-438.
 14. Hung, Y.C. and Thompson, D.R., 1983, Freezing time prediction for slab shape foodstuffs by an improved analytical method. *J. Food Sci.*, 48, pp.555-560.
 15. Henningson, R.W., 1967, Thermister cryoscopy in the food industry. *Food Technol.*, 21, pp.28-31.
 16. Creed, P.G. and James, S.J., 1985, Heat transfer during the freezing of liver in a plate freezer. *J. Food Sci.*, 50, pp.285-288.
 17. Jeong, J.W., 1989, Freezing time prediction of slab shape foodstuffs by modification of plank's equation. Ph. D. Thesis, Natioal Fisheries Univ. of Pusan, Korea.
 18. Woolrich, W.R., 1966, Specific and latent heat of foods in the freezing zone. *ASHRAE J.*, pp.43-47.
 19. A.O.A.C., 1980, Official Methods of Analysis, 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., p.876.
 20. 日本厚生省., 1960, 食品衛生検査指針 1. 日本厚生省, p.12.
 21. Kim, Y.B., Kim, Y.S., Rho, J.H., Sung, K.S., Yoo, C.S., and Lee, N.H., 1996, A study on the shelf-life of vacuum packaged imported chilled beef (in Korean). *Korean J. Anim. Sci.*, 38, pp.411-422.
 22. Salih, A.M., Smith, D.M., Price, J.F. and Dawon, L.E., 1987, Modified extraction 2-thio barbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry. *Poultry Sci.*, 66, p.1483.
 23. Ogawa, Y., 1996, Studies on rupture of fish body during freezing. *Trans. JAR.*, 13(1), pp.37-47.
 24. Ogawa, Y. and Hagura, Y., 1992, Measurement of young's modulus and poisson's ratio of tuna fish. *Trans. JAR.*, 9(3), pp.283-290.
 25. Munro, P.A., 1983, The tensile properties of frozen and thawed lean beef. *Meat Science*, 8, pp.43-61.
 26. Kim, Y.H., Yang, S.Y. and Lee, M.H., 1988, The effect of freezing rates on the physico-chemical changes of beef during frozen storage at -20℃ (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, 20, pp.447-452.
 27. Van den Berg, L., 1961, Changes in pH of some frozen foods during storage. *Food Technol.*, 15, pp.434-440. ●