

동결방법에 따른 냉동 과일의 내부압력 변화

정진웅 · 정승원 · 박기재
한국식품개발연구원

Changes in Internal Pressure of Frozen Fruits by Freezing Methods

Jin-Woong Jeong, Seong-Won Jeong and Kee-Jai Park
Korea Food Research Institute, Sungnam 463-746, Korea

Abstract

This study was carried out to investigate the changes in internal pressure according to various freezing methods, as basic research to protect the destruction of tissues when fruits and vegetables are frozen. The rate of weight loss, caused by the freezing of fruits and vegetables, was found to be the least (0.44~1.38%) when the immersion freezing method was applied. The difference in the rate of weight loss was the highest when freezing methods were applied to watermelon, and the freezing rate of watermelon whose moisture contents were greater have relatively greater influence on the weight loss. The difference in internal pressures was the least and caused by the volume increase and decrease, when pear, apple, and melon were frozen using the immersion freezing method, while the difference the greatest when the air-blast freezing method was used. As the freezing rate was greater, the internal pressure was less. However, the internal pressure of strawberry and watermelon was the greatest when the immersion freezing method was applied. Frozen without using the thermal equalizing method, the change in internal pressure of fruits was about 2 psig. In contrast, the internal pressure of watermelon applied with the thermal equalizing method was changed in a way similar to that of watermelon not applied with the method, but the former generated a certain level of internal pressure and maintained a significantly low level of internal pressure (about 1.3 psig). When thawed, the internal pressure of samples to which the thermal equalizing method was applied was less than that of what the thermal equalizing method was not applied to. In comparison with the application of multi-step thermal equalizing method, 3~4 times of application of the thermal equalizing method to the freezing resulted in the decrease of fluctuation range of internal pressure.

Key words : Internal pressure, freezing, thawing, weight loss, thermal equalizing freezing, fruits and vegetables

서 론

일반적으로 동결은 식품의 장기 보존을 위한 가장 안전한 방법 중의 하나로 알려져 있다. 만일, 동결식품이 정확히 가공 처리되었으면 식품 본래의 향미, 색, 조직감 및 영양가가 신선상태 그대로 유지되어야 할 것이다. 그러나 농산물과 같은 식물체가 동결되면 세포의 동결로 세포벽이 파괴됨과 동시에 세포내 동결이 일어나 액포나 기타 세포내 소기관이 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 잇점을 지닌 것으로 소개되고 있지만 낮은

온도의 침지식 또는 송풍식 동결에 의해 장시간 처리한 경우 제품 표면에 금이 생기거나 심지어 부숴지기도 한다(1-7). 지금까지 freeze-cracking을 설명하는 메카니즘은 다양하지만 가장 일반적인 설명은 water-ice의 상변화와 연계된 체적변화에 기인하는 급속동결에 의한 기계적 손상으로 설명되고 있다(1,2). Fennema와 Powrie(2)는 동결중 조직에 기계적 손상을 입히는 주요 인자로서 미세조직 내에 있는 빈공간의 양과 체적팽창으로 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 것은 수분함량, 조성 성분 및 결합수(bound water) 함량 등의 차이에서 기인되는 것으로 보고되고 있다(3).

이와 같은 문제를 해결하기 위하여 가압이나 빙점강하제를 이용하여 빙결점의 폭을 확대시키려는 연구가 진행중인 것으로 알려져 있다. 빙점강하제는 단당류, 이당류, 다가 알

Corresponding author : Jin-woong Jeong, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Sungnam-si, Kyungki-do 463-746, Korea
E-mail : jwjeong@kfri.re.kr

코올 및 무기염류 등의 냉동보호물질을 첨가하여 냉동저장하는 방법으로서 축산냉동제품의 단백질 침전이나 유화안정성을 부여하기 위하여 많이 연구되어 왔다(8-14). Meryman에 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 있다고 보고한 바 있다(8,9). Sterling은 과실의 냉동에 있어 glycerol, ethylene glycol, propylene glycol, sorbitol, 당류, 염화나트륨 등의 동결방지제로서의 보호작용에 관하여 보고하였다(10,15). 그리고 국내에서는 Lee와 Shin(16)의 우유와 오렌지주스의 냉동냉장시 동결방지제를 이용한 연구가 있으며, Jeong 등(17)의 딸기펄프와 붉은 생고추 페이스트의 냉동저장시 염류, citric acid, dextrose, fructose, sorbitol, ascorbic acid 등의 동결방지제를 이용한 것이 고작으로 과채류의 저온저장에 동결방지제를 이용한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 과채류의 냉동냉장시 내부압력에 따른 조직과괴를 방지하기 위한 기초연구로 동결 방법에 따른 내부압력 변화에 대하여 조사한 결과를 소개한다.

재료 및 방법

재료 및 전처리

국내에서 비교적 유통 및 소비량이 많고, 고가이며 계절성을 지닌 사과, 배, 딸기, 메론 및 수박 등의 시험용 과채류는 현지에서 당일 새벽에 수송되어 온 신선한 것을 농협하나로마트(경기도 성남)에서 구매하여 10°C에서 1일간 보관한 것을 사용하였고, 동결실험용 시료는 표피를 제거한 후 일정 크기의 4각형(3×2×2 cm)으로 절단하여 5°C이하로 보관하면서 사용하였고, 동결시 균온처리는 0±0.5°C, -5±0.5°C, -10±0.5°C 및 -15±0.5°C에서 단계별로 각각 3~6시간 동안 처리하였다. 해동은 실온에 그대로 방치하면서 품온이 1.0°C에 도달할 때까지 실시하였다.

동결실험, 내부압력, 빙결점 및 품온 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 2원 냉동시스템의 초저온동결고(모델: SW-UF 400, 삼원냉열 ENG.)를 이용하여 고내(유효면적: L1,850×W850×H980mm) 중심부에 설치한 트레이 위에 시료를 얹고 -20~-70°C범위에서 온도조절기와 송풍량으로 온도를 조절하도록 하였고, 프로펠렌글리콜을 사용할 침지식 동결에서는 브라인 냉각을

위해 2Hp의 압축기 유니트(저온측: R-503, 고온측: R-502)와 브라인 가열을 위해 2.2kW의 전열히터를 설치하였다. 그리고 내부압력 측정은 -14.8~100 psi 범위의 pressure transducer(모델: 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 단일처리 하였다. 동결시의 내부압력 및 소요시간은 시료의 기하학적 중심부의 온도가 -18°C, 해동시의 내부압력 및 소요시간은 품온이 +1°C에 도달할 때까지 Hydra data acquisition(모델: 2625A, Fluke, USA)를 이용하여 연속 측정하였다(4).

시료의 빙결점은 각각의 중심부위에 thermocouple을 사용하여 Beckman법에 의하여 빙결점을 결정하였으며(17,18), 품온 측정은 Hackert 등의 방법(19)에 따라 0.3mmφ copper-constantan 열전대를 시료의 기하학적 중심부에 부착하여 일정온도에 도달할 때까지 Hydra data acquisition(2625A, Fluke, USA)을 사용하여 연속측정 하였다. 본 실험에 사용한 내부압력 측정용 transducer의 표준편차는 ±0.40 psig, 열전대는 ±0.12°C이다.

결과 및 고찰

동결에 의한 중량 감소 및 빙결점 측정

지금까지의 연구에서는 동결속도의 차이에 따라 식품의 품질이 얼마나 영향을 받는가에 대한 연구는 불분명할 뿐만 아니라 균일한 속도로 동결하는 것은 실제로 불가능하지만 일부 연구보고에 의해 동결속도가 빠르면 좋은 품질을 얻을 수 있다고 소개되고 있다(1,2,4).

이러한 관점에서 수박 등 5종의 과채류에 대한 동결속도에 따른 중량 감소율을 측정된 결과, Fig. 1에 나타난 바와 같이 침지식 동결방식은 공기에 의한 동결방식보다 동결속도가 빠르므로 동결에 의한 중량 감소율이 0.44~1.38% 수준으로 가장 적게 나타났다. 그리고 시료에 따라서는 수박이 정지공기식에서 약 2.43% 수준, 송풍식에서 1.12% 수준, 침지식에서 0.79% 수준으로 동결방식에 따른 중량감소의 차이가 가장 심하며, 이에 비해 사과와 메론은 1.38~0.44% 및 1.70~1.32% 수준으로 다소 적게 나타나 시료의 수분함량에 클수록 동결속도에 따른 효과가 비교적 크다는 것을 짐작할 수 있었다. 이와 같은 결과는 시료와 공기중의 수증기압 차에 의해 냉각상태에서의 증발작용과 동결상태에서의 승화작용으로 시료중의 수분 또는 빙결점이 수증기로 변하여 건조에 의한 감량으로 여겨진다(20).

한편, 본 실험에 사용한 절단 과채류중 딸기의 초기 빙결점을 측정된 결과는 Fig. 2와 같으며, 그 외에 메론은 -1.2°C, 배는 -1.2°C, 수박은 -1.0°C, 사과는 -1.4°C로 각각 측정되었

으며, 0.75% malic acid, 1.0% ascorbic acid 및 0.75% CaCl₂의 수용액에 침지 처리한 시료와 0.1% lysozyme, 0.75% malic acid, 1.0% ascorbic acid 및 0.75% CaCl₂로 침지 처리한 시료에 있어서는 빙점강하효과는 거의 없는 것으로 나타났다.

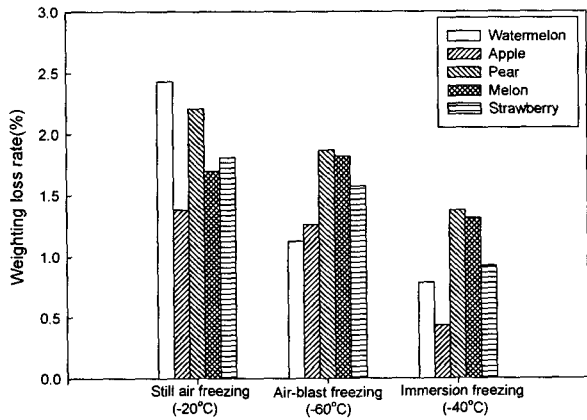


Fig. 1. Weighting loss rate of fresh fruit and vegetables by freezing methods.

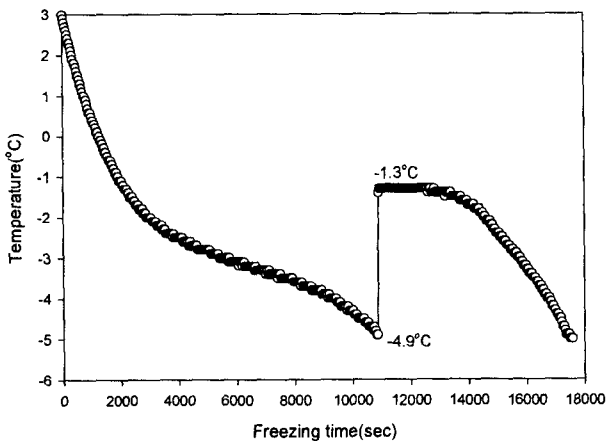


Fig. 2. Freezing curve of fresh strawberry.

과채류의 냉동 및 해동중 내부압력 변화

일반적으로 식품은 동결시 표면이 먼저 얼어서 주위를 단단하게 덮은 후 점차적으로 내부의 수분이 빙결되며 이 때 체적팽창을 일으키면서 동결된 표면에 막혀 팽창을 하지 못하면 식품내부에서 압력이 발생된다고 보고되고 있다 (2,4,21). 이를 확인하기 위하여 증류수를 동결 및 해동하였을 때의 내부압력을 측정된 결과, Fig. 3에서 보는 바와 같이 초기온도에서는 온도가 내려감에 따라 내부압력은 일시적으로 증가하다가 감소한 후 즉시 0°C부근까지 증가함을 보여 주었다. 0°C이하에서는 온도가 하강함에 따라 내부압력의 변화는 거의 같은 수준으로 일정하게 나타났다. 이는

일반적으로 0°C의 순수한 물이 얼어서 0°C의 얼음으로 변화할 때의 체적팽창과 이후의 온도강하에 따른 체적변화 이론과 거의 일치함을 알 수 있다.

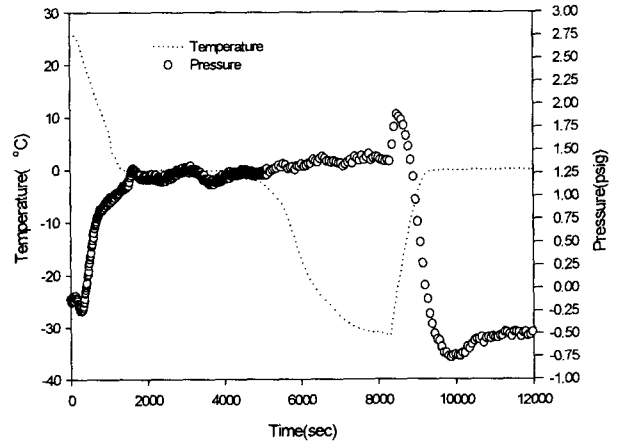


Fig. 3. Changes of pressure and Temperature during freezing and thawing on distilled water.

한편, Fig. 4, 5 및 6은 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 동결 및 해동중의 내부압력과 품온 변화를 측정된 결과로서, 증류수의 내부압력 변화와 마찬가지로 동결속도에 관계없이 초기에는 온도가 내려감에 따라 내부압력은 일시적으로 감소하다가 동결직전에는 급격히 상승한 후 최대빙결정생성대를 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 최대빙결정생성대에서 최고 압력까지 도달한 후 동결 완료 때까지 거의 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났으며(Fig. 4), 송풍식의 동결시에 발생한 내부압력은 정지공기식과 유사한 수준으로 내부압력의 변화를 초래하였으나 최대빙결정생성대에서 최저압력에 도달하였다가 동결시간이 경과함에 따라 지속적으로 증감을 되풀이하면서 증가하는 것으로 나타났으며, 내부압력 차는 1.61 psig로 정지공기식 동결방식보다 다소 적은 값을 보여 주었다(Fig. 5). 그리고 Table 1에서 보는 바와같이 과채류에 있어 동결속도에 따른 내압을 살펴보면, 배, 사과 및 멜론에서는 침지식 동결시 체적팽창 및 수축에 따른 내부압력 차가 가장 적게 나타나며, 송풍식 동결에서 가장 크게 나타나 동결속도가 빠를수록 내압의 크기는 적다는 것을 알 수 있었으나 딸기 및 수박의 경우는 오히려 침지식에서 내압이 가장 크게 나타났다. 이와 같은 결과에서 미루어 볼 때, 동결속도에 따른 내부압력 발생 크기는 대체로 동결방법보다는 동결속도에

Table 1. Changes of internal pressure and temperature during freezing and thawing by various freezing methods

Materials	Freezing method	Freezing					Thawing				
		Max.		Min.		Difference (psig)	Max.		Min.		Difference (psig)
		I. P. ¹⁾ (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

의해 체적팽창에 따른 내부압력이 발생되며, 식품내부의 파괴는 내부압력이 (+)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(4-7).

일반적으로 내부압력이 동결초기에 (+)로 나타나는 것은 동결초기의 수축이 동결에 따른 체적팽창보다 크며, (-)로 나타나는 것은 체적팽창이 수축보다 크기 때문이다. 따라서 동결중에 발생하는 내압을 발산시킬 수 있다면 동결에 의한 식품의 변형 및 파괴를 막을 수 있을 것으로 여겨진다(4-7,21).

그리고, 해동시의 온도상승에 따른 내부압력 변화는 해동 개시 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 또한, 동결시에 발생한 내부압력이 적을수록 해동시에 일어나는 내부압력의 크기도 상대적으로 적게 나타날 뿐만아니라, 해동시에 발생한 내부압력의 값은 동결시의 내부압력 값과 유사하거나 다소 크게 나타남을 알 수 있었다.

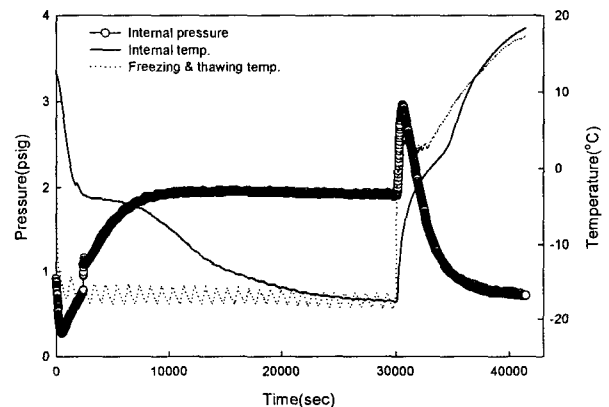


Fig. 4. Changes of internal pressure and temperature on apple during freezing(still-air freezing method) and thawing.

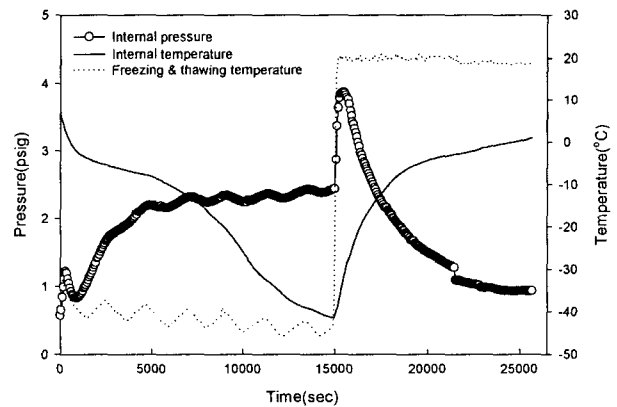


Fig. 5. Changes of internal pressure and temperature on apple during freezing(air-blast freezing method) and thawing.

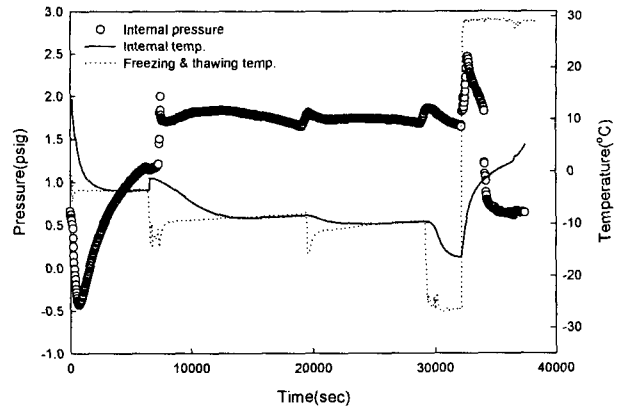
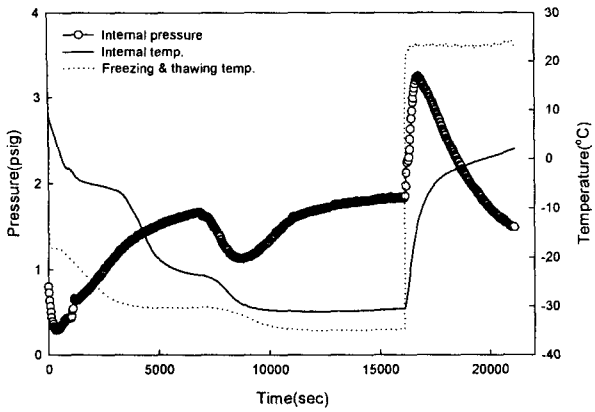


Fig. 6. Changes of internal pressure and temperature on apple during freezing(immersion freezing method) and thawing.

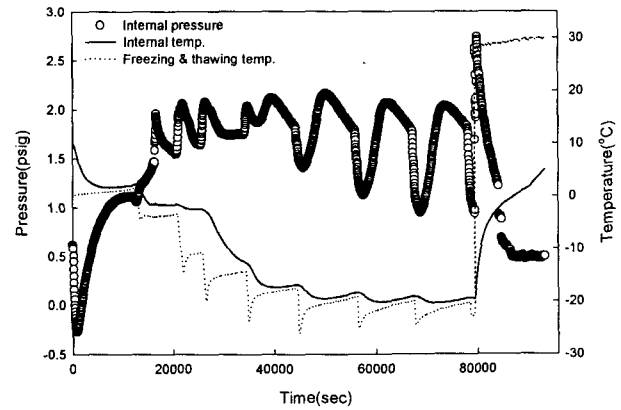
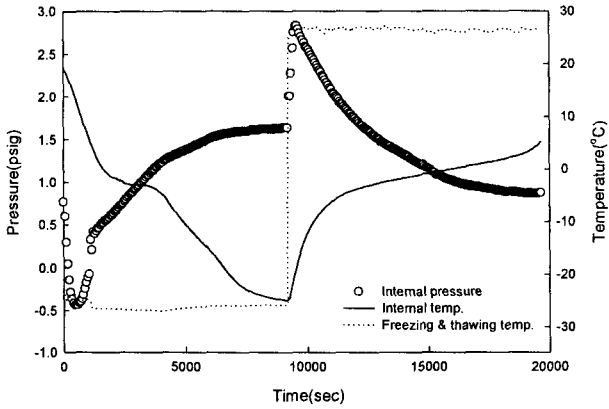


Fig. 8. Changes of internal pressure and temperature on melon during freezing and thawing.

Upper : with 3 step thermal equalizing
Lower : with multi-step thermal equalizing

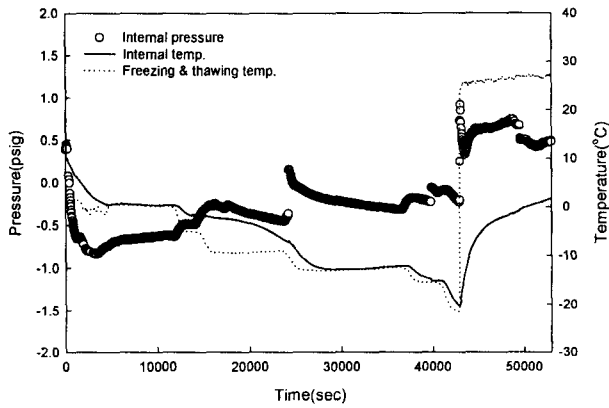


Fig. 7. Changes of internal pressure and temperature on watermelon during freezing and thawing.

Upper : without thermal equalizing
Lower: with thermal equalizing

균온처리에 의한 내부압력

앞에서 살펴본 바와같이 식품의 동결중에 일어나는 내부압력은 일반적으로 수분함량 등 조성성분 및 동결방법 등에 따라 달라 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 수박에 있어서의 내부압력을 비교한 결과, Fig. 7의 균온처리하지 않은 동결에 있어서는 내부압력 변화 경향은 품온이 내려감과 동시에 급격히 하강한 후 동결 초기부터 최대빙결정 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 Fig. 7에서 보는 바와같이 균온처리하지 않은 수박의 경우와 마찬가지로 내부압력의 진행 경향은 유사하지만 균온처리시, 즉 0, -5, -10 및 -15°C에서 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 적게 나타났다.

한편, 메론을 시료로 하여 균온처리에 있어 동결고의 온도

Table 2. Changes of internal pressure and temperature of materials treated by various conditions during freezing and thawing

Materials	Treatments	Freezing					Thawing				
		Max.		Min.		Difference (psig)	Max.		Min.		Difference (psig)
		I. P. ⁴⁾ (psig)	Temp. (°C)	I. P. (psig)	Temp. (°C)		I. P. (psig)	Temp. (°C)			
Pear ¹⁾	A ⁵⁾	2.41	-2.4	0.06	9.7	2.35	2.15	-8.1	0.48	1.0	1.67
	B ⁶⁾	1.25	-2.8	-3.85	-15.0	5.10	2.67	-12.1	1.17	1.0	1.50
	C ⁷⁾	0.35	15.8	-1.58	-15.6	1.93	0.35	1.0	-0.77	-14.7	1.12
	D ⁸⁾	2.823	-3.1	0.099	2.7	2.729	1.414	-15.9	0.864	1.0	0.550
	E ⁹⁾	0.521	15.9	-0.778	17.0	1.299	1.186	-5.0	0.566	1.0	0.620
Apple ²⁾	A	2.66	-23.5	-0.47	2.9	3.13	4.12	-23.2	0.69	1.0	3.43
	B	0.63	15.6	-9.70	-28.2	10.33	3.72	-18.3	0.04	1.0	3.68
	C	0.11	15.1	-3.52	-29.2	3.63	0.46	-21.0	-0.23	1.0	0.69
	D	4.967	-2.5	-0.188	-0.2	5.155	4.785	-15.5	0.636	1.0	4.149
	E	0.123	15.1	-2.048	-30.2	2.171	0.494	-3.7	0.488	1.0	0.006
Melon ³⁾	A	2.00	-1.8	-0.28	0	2.28	2.46	-8.4	0.64	1.0	1.82
	B	1.04	11.6	-0.87	-8.8	1.91	1.99	-10.3	0.56	1.0	1.43
	C	0.46	11.4	-1.24	-2.9	1.70	0.00	1.0	-0.42	-14.7	0.42
	D	4.205	-1.1	0.486	0	3.719	2.115	-14.7	0.800	1.0	1.315
	E	0.467	8.7	-0.655	-1	1.122	1.712	-2.4	0.386	1.1	1.326
Watermelon ¹⁾	A	2.08	-2.8	-0.27	7.7	2.35	2.74	-15.3	0.49	1.0	2.25
	B	1.03	-1.3	-5.19	-18.2	6.22	4.03	-16.4	0.93	1.0	3.10
	C	0.33	11.9	-2.04	-20.3	2.37	0.26	1.0	-0.35	-18.7	0.61
	D	2.557	1.0	-1.726	-18.0	4.283	2.109	16.2	0.612	1.0	1.497
	E	0.341	6.3	-0.907	-20.4	1.248	1.489	-3.6	0.365	1.0	1.124

¹⁾ with multi-step thermal equalizing freezing

²⁾ with immersion freezing of 1.07~1.35 cm/h

³⁾ with 3 step thermal equalizing freezing

⁴⁾ Internal pressure

⁵⁾ Dipping by solution(0.75% malic acid+1.0% ascorbic acid+0.75% CaCl₂)

⁶⁾ Heating at 40°C after dipping by solution(0.75% malic acid+1.0% ascorbic acid+0.75% CaCl₂)

⁷⁾ Dipping by solution(0.1% lysozyme+0.75% malic acid+1.0% ascorbic acid+0.75% CaCl₂)

⁸⁾ Heating at 40°C after dipping by solution(0.1% lysozyme+0.75% malic acid+1.0% ascorbic acid+0.75% CaCl₂)

⁹⁾ Non-treatment

조작시 온도강하 횟수에 따른 내압의 변화를 비교한 결과, Fig. 8에서 보는 바와같이 다단계 균온처리보다는 3~4회 수준의 일정한 균온처리가 동결이 되풀이되는 내부압력의 증감 폭을 줄일 수 있음을 보여 주었다. 그리고 Table 2는 균온처리한 과채류의 동결 및 해동에 따른 내부압력과 품온 변화를 나타낸 것으로 Table 2에서 보는 바와같이 다양한 전처리를 적용한 배의 경우, 0.75% malic acid, 1.0% ascorbic acid 및 0.75% CaCl₂의 수용액과 0.1% lysozyme, 0.75% malic acid, 1.0% ascorbic acid 및 0.75% CaCl₂의 수용액을 40°C 가열하여 침지 처리한 배가 가열하지 않은 시료보다 내부압력의 크기가 훨씬 크게 나타났으며, 또한 무처리한 배가 동결시 내부압력의 변화가 가장 적게 나타났다. 마찬가지로 사과, 메론 및 수박에서도 동일한 결과를 보여 줌으로써 다양한 침지 처리 등의 hurdle technology 기법은 동결시 내부압력 억제 효과와는 전혀 관계가 없음을 알 수 있었다.

요 약

본 연구에서는 과채류의 냉동냉장시 내부압력에 따른 조직파괴를 방지하기 위한 기초연구로 동결 방법에 따른 내부압력 변화에 대하여 조사하였다. 과채류의 동결에 의한 중량 감소율은 침지식 동결방식에서 0.44~1.38% 수준으로 가장 적게 나타났으며, 동결방식에 따른 중량감소율 차이는 수박에서 가장 심하여 수분함량에 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 크기는 적다는 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 적게 나타났다. 또한, 해동시에 있어서도 균온처리한 시료의 내부압력 크기가 균온처리하지 않은 내부압력 크기보다 상대적으로 적게 나타났다. 균온처리 동결시, 다단계 처리보다는 3~4회 수준의 일정한 균온 처리가 내부압력의 증감 폭을 줄일 수 있었다.

참고문헌

- Hung, Y. C. and Kim, N. K. (1996) Fundamental aspects of freeze-cracking. *Food Technol.*, 59-61
- Fennema, O. R. and Powrie, W. D. (1964) Fundamentals of low temperature food preservation. *Adv. Food Res.*, 13, 200-215
- Fennema, O. R. (1993) Frozen foods : Challenges for the future. *Food Australia*, 45, 374-380
- Jeong, J. W. and Kim, J. H. (1999) Changes of internal pressure during freezing, frozen storage and thawing of meats, *Korean J. Food Sci.*, 31, 682-687
- Miles, C.A. and Morley, M.J. (1977) Measurement of internal pressures and tensions in meat during freezing, frozen storage and thawing. *J. of Fd Technol.*, 12, 387-402
- Ogawa, Y. (1987) Studies on gape and heave of foodstuffs due to internal pressure during freezing. *Trans. of the JAR.*, 4, 81-92
- Ogawa, Y. (1996) Studies on rupture of fish body during freezing. *Trans. of the JAR.*, 13, 37-47
- Babcock, C. J., Strobel, D. R., Yager, R. H. and Windham, E. S. (1952) Frozen homogenized milk. 8. Effect of the addition of sucrose and ascorbic acid on the keeping quality of frozen homogenized milk. *J. Dairy Sci.*, 35, 195-201
- 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, 1597-1601
- 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, 33-43
- Akinori, M., Masata, M., Shigeru, T. and Masao, M. (1997) Antifreeze Activities of various food components. *J. Agric. Food Chem.*, 45, 14-18
- Sheard, P.R. et al. (1996) Influence of sodium chloride and sodium tripolyphosphate on the quality of UK-style grillsteaks. *Int. J. of Food Sci. and Tech.*, 25, 643-656
- Chen, X.D. and Ping, C. (1996) Freezing of aqueous solution in a simple apparatus designed for measuring freezing point. *Food Research International*, 29, 723-729
- Leistner, L. and Gorris, L. G. M. (1995) Food preservation by hurdle technology. *Trends Food Sci. Technol.* 6, 41-46
- Sterling, C. (1968) Effect of low temperature on structure and firmness of apple tissue. *J. of Food Sci.*, 33, 557-561
- 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, 500-505
- 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, 434-438
- Chesness, J. L. and Hendershott, C. H. (1972) The freezing point of certain vegetable leaves. *Trans. ASAE*, 15, 479-481
- Hackert, J. M., Morey, R. V. and Thompson, D. R. (1987) Precooling of fresh market broccoli. *Trans. ASAE*, 30, 1489-1491
- Henningson, R. W. (1967) Thermister cryoscopy in the food industry. *Food Technol.*, 21, 28-31
- Ogawa, Y. and Hagura, Y. (1992) Measurement of young's modulus and poisson's ratio of tuna fish. *Trans. of the JAR.*, 9, 283-290

(접수 2003년 9월 28일, 채택 2003년 11월 21일)