

균온처리 냉동기법

- 식품냉동시 내부압력에 의한 조직 파괴에 관한 조사 연구 -

Thermal equalized freezing process

- A basic research on the destruction of tissues by internal pressure during freezing of foodstuffs -

정진웅 | 공정기술연구단

Jin-woong Jeong | Processing Technology Research Group

서론

식품 냉동은 식품에서 열을 빼앗아 식품내의 수분을 액체에서 고체로 상변화시키는 방법 즉, 식품의 온도를 저하시켜 조직 내의 자유수를 빙결정화 함으로써 미생물의 성장과 효소 활성의 억제로 식품의 품질저하를 최대한 방지하는 데 목적을 지닌 품질보존의 수단으로 식품의 장기 보존을 위한 가장 안전한 방법 중의 하나로 알려져 있다. 이와 같이 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 품질을 저하시키게 된다. 특히, 식육의 변성과 연관된 생화학적 반응은 -20°C 이상의 동결온도에서도 액상으로 잔존하는 식육내에 있는 수분 때문에 일시적으로 정지되거나 또는 감소되

지만 저장기간의 경과에 따라 점차적으로 진행이 지속된다.

이와 더불어 물리적 품질손상에 있어 크게 영향을 미치는 인자 중의 하나가 급속한 온도강하에 따른 내부압력 발생으로 인한 조직파괴로 LN_2 나 CaCl_2 브라인 침지/살포와 같은 급속동결의 경우에는 부피변화와 동시에 stress로 인해 표면 균열이 생기거나 형태가 찌그러져 상품성 및 영양소 손실을 초래하게 된다. 이에 관한 연구로는 Lorentzen이 액체질소에 의한 청어의 동결에서 팽창부위의 균열 및 파괴를 발견한 이래, Kagan과 Ukrainets는 압력transducer system을 사용하여 액체 탄산가스 및 송풍식 동결시의 우육 및 돈육 중심부에서 압력을 측정하였고, Miles와 Morley는 -10°C ~ -50°C 사이의 동결온도별에 따른 동결 및 냉동저장시의 우육에 있어 내부압력을 측정하였으며, Ogawa는 염화칼슘과 에탄올 브라인에 의

한 참치와 가다랑어, 햄, 소시지의 동결 중의 내부 압력 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 잇점을 지닌 것으로 소개되고 있지만 낮은 온도의 침지식 또는 송풍식 동결에 의해 장시간 처리한 경우 제품 표면에 금이 생기거나 심지어 부수어 지기도 한다. 지금까지 freeze-cracking을 설명하는 메카니즘은 다양하지만 가장 일반적인 설명은 water-ice의 상변화와 연계된 체적변화에 기인하는 급속동결에 의한 기계적 손상으로 설명되고 있다. Fennema와 Powrie는 동결 중 조직에 기계적 손상을 입히는 주요 인자로서 미세조직 내에 있는 빈 공간의 양과 체적팽창으로 보고하였다. 그리고 동결 중 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. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 가압이나 빙점강하제를 이용하여 빙결점의 폭을 확대시키려는 연구가 진행중인 것으로 알려져 있다.

따라서 본고에서는 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 동결 중에 일

시적으로 온도조건을 변화시켜 피냉각물의 품온을 균일하게 하여 내부압력을 분산시키는 균온처리에 의한 품질변화에 대한 연구 조사 결과를 소개한다.

동결, 냉동냉장 및 해동 중의 내부 압력 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. 이를 확인하기 위하여 증류수를 동결 및 해동 하였을 때의 내부압력을 측정된 결과, Fig. 1에서 보는 바와 같이 초기온도에서는 온도가 내려감에 따라 내부압력은 일시적으로 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.

그리고 동결속도에 따른 내압을 비교한 결과, Fig. 2에서 보는 바와 같이 급속동결시의 침지식이나 완만동결시의 정지공기식의 내부압력 변화의 경향은 동결직전에는 약 10~11 psig 정도까지 급격히 상승한 후 동결 초기부터 최대빙결정생성대를 통과하는 동안은 급격히 감소하다가 다시 온도가 내려감에 따라 압력변화는 약 2 psig 크기의 수준으로 증가와 감소를 반복하여 상승하는 경향을 보여 주고 있으며 동결동안의 내부압력 크기는 약 8~10 psig 수준으로 이러한 내부압력의 변화 경향은 정지공기식보다 침지식에서 약 1 psig 정도

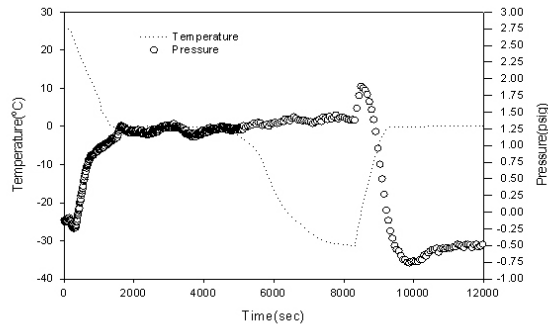


Fig. 1. Changes of pressure and temperature during freezing and thawing on distilled water (Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 682–687, 1999)

크게 나타내었다.

Fig. 3은 동결돈육의 냉동냉장 동안에 일어나는 내부압력으로 상하변동은 저장기간 중에서도 약 1~2 psig범위에서 반복하여 일어나고 있음을 볼 수 있으며, 고내온도의 온도변화에 따라 품온의 온도차가 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 의 오차를 보일 때, 중량이 큰 시료에서는 2.32 psig, 중량이 적은 시료에서는 1.84 psig정도의 내부압력 차가 발생됨을 알 수 있었다.

그리고 해동시의 온도상승에 따른 내부압력 변

화는 해동개시 후 즉시, 급격히 상승하여 5분 이내에 최고 압력에 달하며, 그 이후에는 온도상승과 더불어 점차 떨어진 후 $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$ 범위에서부터 일정한 압력을 유지하다가 0°C 부근에서 0 psig에 접근하게 된다.

한편, Table 1, 2 및 3은 동결, 냉동냉장 및 해동시의 처리조건에 따른 내부압력을 측정된 것으로, Table 1에서 보면 -70°C 동결시에 체적팽창 및 수축에 따른 내부압력차가 가장 크게 나타나

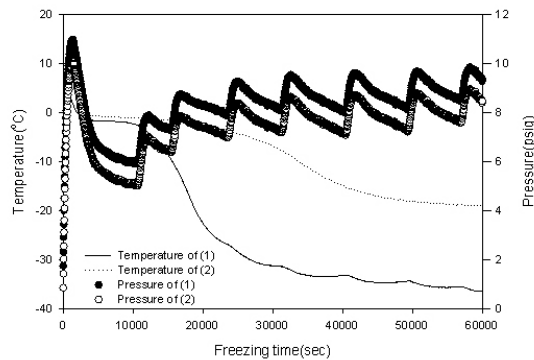


Fig. 2. Changes of internal pressure and temperature on beef (1) immersion freezing, (2) still-air freezing (Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 682–687, 1999)

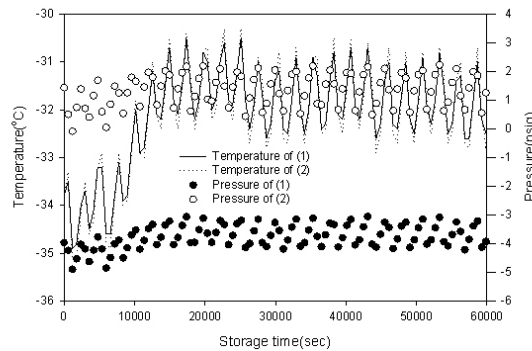


Fig. 3. Changes of internal pressure and temperature during frozen storage on pork (1) weight 351.0 g, thickness 4.5 cm, (2) weight 536.8 g, thickness 7.0 cm (Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 682–687, 1999)

며, -40°C 의 동결에서 가장 적게 나타나 동결온도가 낮을수록 내압의 크기는 크다는 것을 알 수 있었다. 돈육의 경우도 우육과 마찬가지로 -70°C , -50°C 및 -40°C 의 순으로 내압의 차이를 보였다. 또한 Table 3에서 보면, 우육 및 돈육의 해동시 침지식에 의해 급속동결처리한 시료가 체적팽창 및 수축에 의한 내부압력의 차가 다른 처리조건 보다 크게 나타나는 것이 특징적이며, 동결시에 발생한

내부압력이 적을수록 해동시에 일어나는 내부압력의 크기도 상대적으로 적게 나타날 뿐만아니라, 해동시에 발생한 내부압력의 값은 동결시의 내부압력 값보다도 대부분 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 내부압력이 (+)로 나타나는 것은 동결초기의 수축이 동결에 따른 체적팽창보다 크며, (-)로 나타나는 것은 체적팽창이 수축보다 크기 때문이며, 동결온도가 -20°C 수준 이하에서 (+)로 변환하는

Table 1. Internal pressure and temperature during freezing

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		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	Pork	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

(Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 682–687, 1999)

Table 2. Internal pressure and temperature during Frozen storage

Expt. No.	Freezing temp.(°C) and methods	Materials	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		324.9	10.0×9.0×5.0	0.53	-26.0	-0.97	-26.8	1.50
4	-70, Still-air	Pork	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

(Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 682-687, 1999)

것은 동결에 의한 팽창이 거의 정지되기 때문이다. 이와 같은 결과에서 미루어 볼 때, 동결속도에 따른 내부압력 발생 크기는 우육 및 돈육에서는 대체로 -70°C의 정지공기식 및 -40°C의 침지식에서는 체적팽창에 따른 내부압력이 발생되며, 식품내부의 파괴는 내부압력이 비교적 큰 (+)값의 경우에 생길 가능성이 있는 것으로 조사되었다. 이는 동결속도가 빨라 피동결품의 외부에서 중심으로 동결

이 진행되는 동안 생성되는 빙결정이 내부의 미동결 부분에서의 동결로 인해 생기는 체적팽창을 억제함으로써 피동결체 전체가 팽창할 수 없게 되어 팽창압에 상당하는 압력이 피동결체의 내부에서 발생하기 때문이다. 이와 같이 피동결체의 내부에서 발생한 팽창압은 동결 진행과 동시에 증가하여 동결한 식품의 표면에서 균열 또는 용기가 생기는 것으로 추측되고 있다. 따라서 동결 중에 발생하는

Table 3. Internal pressure and temperature during thawing

Expt. No.	Freezing temp.(°C) and methods	Materials	Initial temp.	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		-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	Pork	-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

(Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 682-687, 1999)

내압을 발산시킬 수 있다면 동결에 의한 식품의 변형 및 파괴를 막을 수 있을 것으로 여겨진다.

한편, Fig. 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 사과 동결 및 해동 중의 내부압력과 품온 변화를 측정된 결과로써, 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 발

생한 내부압력은 최대빙결정생성대에서 최고 압력까지 도달한 후 동결 완료 때까지 거의 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났으며, 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. 그리고 Table 4에서 보는 바와 같이 과채류에 있어 동결속도에 따른 내압을 살펴보면, 배, 사과 및 메론에서는 침지식 동결시 체적 팽창 및 수축에 따른 내부압력 차가 가장 적게 나타나며, 송풍식 동결에서 가장 크게 나타나 동결

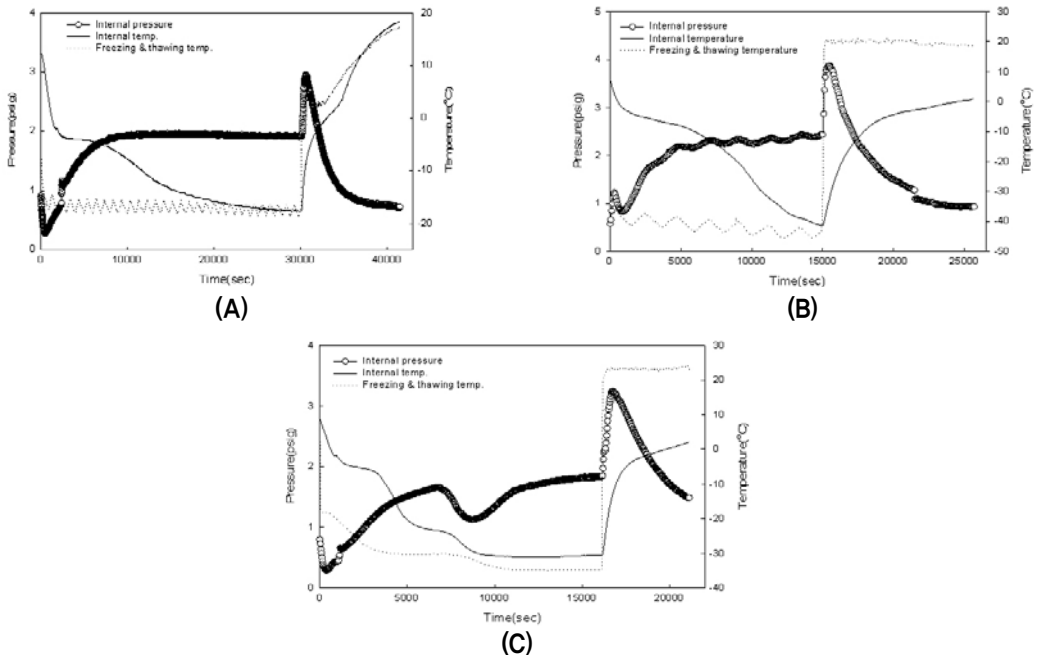


Fig. 4. Changes of internal pressure and temperature on apple during freezing and thawing (A) still-air freezing, (B) air-blast freezing, (C) immersion freezing (Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, 31(3), 682-687, 1999)

속도가 빠를수록 내압의 크기는 적다는 것을 알 수 있었으나 딸기 및 수박의 경우는 오히려 침지식에서 내압이 가장 크게 나타났다. 그리고 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 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.

균온처리에 의한 내부압력 변화

앞에서 살펴본 바와같이 식품의 동결 중에 일어

나는 내부압력은 일반적으로 식품의 종류, 크기 및 동결방법에 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 우육에 있어서의 내부압력을 비교한 결과, Fig. 2에서 보는바와 같이 균온처리하지 않은 동결에 있어서는 급속동결시의 침지식이나 완만동결시의 정지공기식의 내부압력 변화의 경향은 동결직전에는 급격히 상승한 후 동결 초기부터 최대빙결정생성대를 통과하는 동안은 급격히 감소한 후 다시 온도가 내려감에 따라 압력변화는 약 2 psig 크기의 수준으로 증가와 감소를 반복하여 상승하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 균온처리한 우육은 Fig. 5에서 보는바와 같이 균온처리하지 않은 우육의 경우와 마찬가지로 내부압력의 진행 경향은

Table 4. 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)	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

(Jeong JW *et al.*, Korean J of Food Preservation, **10**(4), 459-465, 2003)

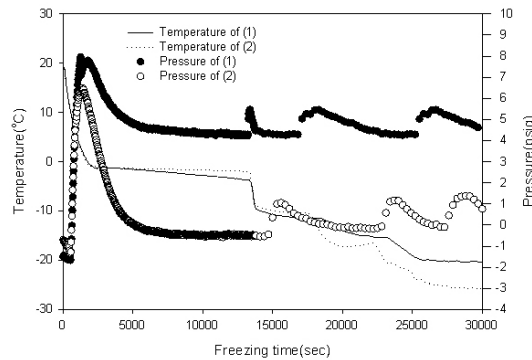


Fig. 5. Changes of internal pressure and temperature on beef with thermal equalized freezing (1) immersion freezing, (2) still-air freezing (Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 688–696, 1999)

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 내부 압력 크기가 균온처리하지 않은 내부압력 크기보

다 상대적으로 적게 나타났으며, 해동후 -10°C 이후에는 내부압력이 거의 0 psig 수준으로 거의 일정하게 나타났다(Fig. 6).

그리고 균온처리 및 균온처리하지 않은 수박에 있어서의 내부압력을 비교한 결과, Fig. 7의 균온처리하지 않은 동결에 있어서는 내부압력 변화 경향은 품온이 내려감과 동시에 급격히 하락한 후 동

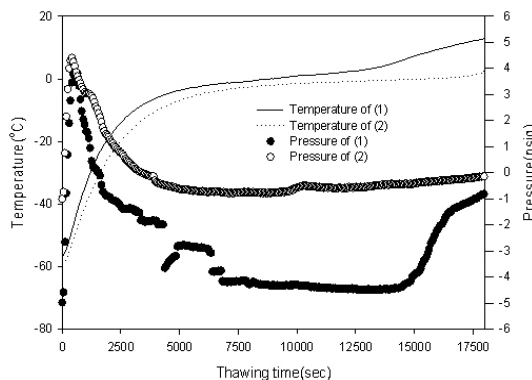


Fig. 6. Changes of internal pressure and temperature during thawing on frozen pork (1) without thermal equalized freezing, (2) thermal equalized freezing (Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 688–696, 1999)

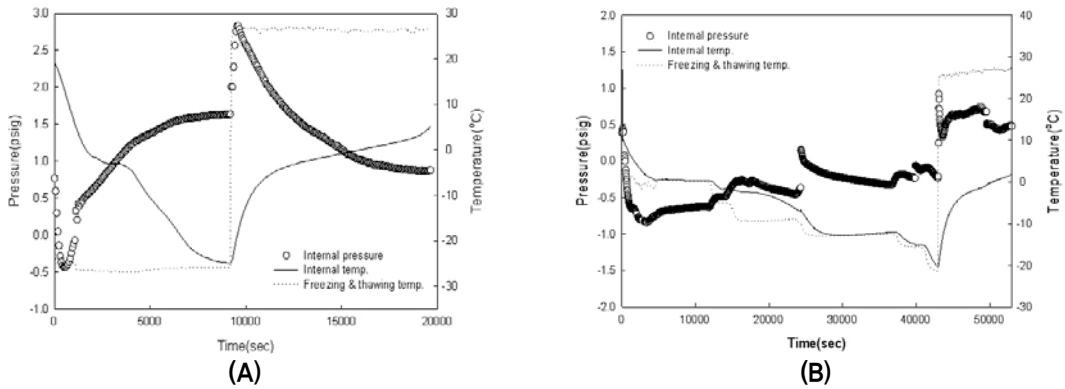


Fig. 7. Changes of internal pressure and temperature during freezing and thawing on watermelon (A) without thermal equalized freezing, (B) thermal equalized freezing (Jeong JW *et al.*, Korean J of Food Preservation, **10**(4), 459–465, 2003)

결 초기부터 최대빙결정생성대를 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°C, -5°C, -10°C 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, Table 5에서 보는 바와 같이 처리조건별에 따른 동결소요시간을 살펴보면 균온처리한 시료는

Table 5. Comparison of freezing time between without thermal equalized freezing and thermal equalized freezing

Sample	Initial temp.(°C)	Freezing temp. (°C) and 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)

(Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 688–696, 1999)

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

균온처리 동결에 의한 우육의 저장 중 품질변화

동결처리 조건별에 따른 동결 우육의 저장 중 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 Table 6에 나타내었다. 먼저, 동결방법에 따른 드립손실률을 측정한 결과를 보면, 동결속도가 느린 정지공기식으로 처리한 시료 II는 저장 초기

부터 타 처리구에 비해 계속 높게 나타나 저장 180일째 가장 많은 20.48%로, 동결속도가 비교적 빠른 침지식 동결 시료 III은 저장 120일째 9.31%, 균온처리한 시료 IV는 저장 140일째 9.38%로 나타났으며, 저장 200일 동안에 있어 평균 드립손실율도 시료 III 및 IV에서 각각 6.54% 및 7.63%로 시료 II의 9.61%에 비해 적게 나타났다. 그리고 처리구별에 따른 pH변화는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으나 저장기간이 경과함에 따라 초기에는 다소 증가하다가 저장 100일 이후부터는 다시 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 타 보고에 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 III은 저장 180일 경과

Table 6. Changes in quality during storage of frozen beef by various freezing methods

Sample ^a	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	21.78±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

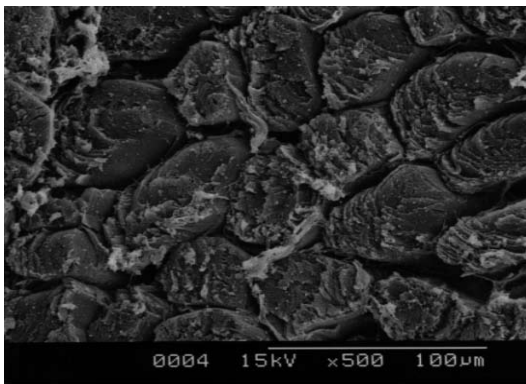
* I: wrapping → precooling at 5°C → freezing at -40°C by air-blast freezing method
 II: wrapping → precooling at 5°C → freezing at -40°C by still-air freezing method
 III: wrapping → precooling at 5°C → freezing at -40°C by immersion freezing method
 IV: wrapping → precooling at 5°C → thermal equalizing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

(Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 688–696, 1999)

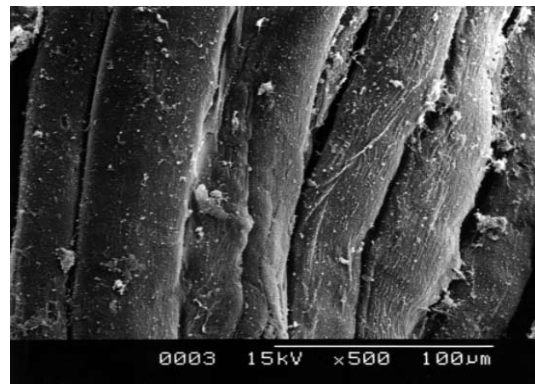
이후, 시료Ⅱ는 저장 160일 경과 이후 20 mg% 이상으로 나타난 반면에 균온처리한 시료Ⅳ는 저장 200일째 19.63 mg%로 타 동결방법에 비해 다소 양호하게 나타났다. 저장 중의 지방질 산패에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 각 처리 시료의 TBA 값을 분석한 결과, 균온처리한 시료Ⅳ를 제외한 타 처리구에서는 저장 초기 0.152 mg/kg에서 저장 80일째 0.200 mg/kg으로 증가함으로써 균온처리한 시료Ⅳ가 다소 양호한 결과를 보였으나 저장 200

일 경과 시에는 동결방법에 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다.

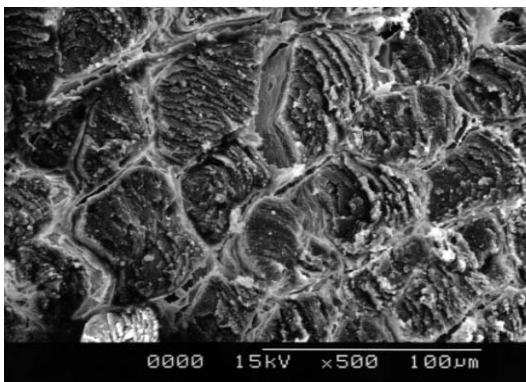
그리고 동결방법에 따른 우육 조직을 관찰한 결과는 Fig. 8에서 보는 바와같이 균온처리한 시료Ⅳ는 침지식 동결 시료Ⅲ에 비하여 조직사이의 간격도 조밀하게 구성되어 있을 뿐만 아니라 근섬유질도 쭉그러지지 않고 평행으로 이루어져 있어 균온처리에 의한 동결방법이 타 동결방법에 비하여 동결시에 발생하는 내부압력을 상당히 억제시킬 수



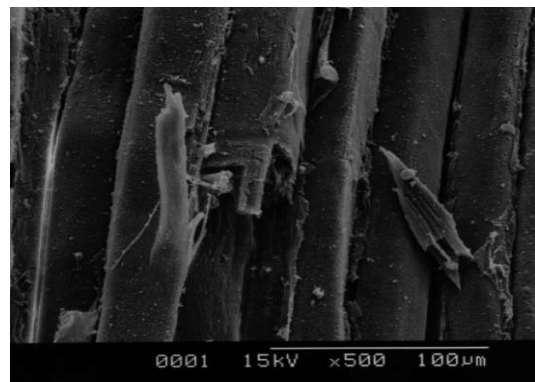
(Ⅲ-1)



(Ⅲ-2)



(Ⅳ-1)



(Ⅳ-2)

Fig. 8. Cross-section(Ⅲ-1) and longitudinal section(Ⅲ-2) of beef frozen at -40°C by immersion freezing method, Cross-section(Ⅳ-1) and longitudinal section(Ⅳ-2) of beef frozen by thermal equalized freezing method (Jeong JW *et al.*, Korean J Food Sci Technol, **31**(3), 688-696, 1999)

있음을 짐작할 수 있다.

요 약

식품동결에 의한 품질손상에 있어 크게 영향을 미치는 인자 중의 하나가 체적변화에 의한 조직 파괴이므로 식육 및 과채류의 냉동시 내부압력에 따른 조직파괴를 방지하기 위한 기초연구로 다양한 동결방법에 따른 내부압력 변화에 대하여 조사한 결과, 급속 및 완만동결시 우육의 내부압력 변화 경향은 동결 직전에 급격히 상승한 후 동결 초기부터 최대빙결정생성대를 통과하는 동안은 급격히 감소하다가 다시 온도가 내려감에 따라 압력변화는 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 $\pm 1^\circ\text{C}$ 일 때, 시료중량에 따라 1.84~2.32 psig 정도의 내부압력 차가 반복적으로 발생됨을 알 수 있었다. 또한, 돈육의 해동시 내부압력은 해동 개시 후 급격히 상승하여 5분 이내에 최고압력에 도달한 이후에는 서서히 하강하였으며, 해동시에 발생한 내부압력의 값은 동결시의 내부압력 값보다도 대부분 크게 나타났다. 또한, 균온처리한 우육의 동결시 내부압력 값은 약 1~4 psig 수준으로 균온처리하지 않은 우육에 비하여 매우 적게 나타났으며, 동결소요시간도 약 10~20% 정도 짧게 나타났다.

그리고 균온처리 및 다양한 동결방법에 따른 동결식육의 조직과 냉동냉장 중의 품질변화를 비교 검토한 결과, 동결방법에 따른 드립손실율은 우육의 경우 정지공기식으로 처리한 시료는 타 처리구

에 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 pH변화는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으며, VBN 및 TBA값에 있어서는 균온 처리한 시료가 완만 및 급속동결 처리한 타 시료에 비해 저장 200일까지 가장 변화가 없었다. 동결저장온도의 상하변동에 있어서는 온도변동 횟수가 증가할수록 pH 및 수분함량은 뚜렷한 변화가 없었으나 드립손실율, VBN 및 TBA값은 온도 변동횟수가 증가할수록 서서히 증가하는 경향을 보여 주었다.

● 참고문헌 ●

1. 정진웅 등, 미동결 및 균온처리 냉동기법에 의한 식품의 품질유지 기술개발, 농림수산식품부, GA0111-9901, 한국, 1999
2. 日本厚生省：食品衛生検査指針 1, 日本厚生省, 12, 1960
3. Akinori M, Masata M, Shigeru T, Masao M, Antifreeze Activities of various food components, J Agric Food Chem, **45**(1), 14-18, 1997
4. A.O.A.C.: Official Methods of Analysis, 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., 876, 1980
5. Creed PG, James SJ, Heat transfer during the freezing of liver in a plate freezer, J Food Sci, **50**(2), 285-288, 1985
6. Fennema OR, Powrie WD, Fundamentals of low temperature food preservation, Adv Food Res, **13**, 200-215, 1964

7. Fennema OR, Frozen foods – Challenges for the future, *Food Australia*, **45**, 374–380, 1993
8. Grujic R, Petrovic L, Pikula B, Amidzic L, Definition of the optimum freezing rate–1. Investigation of structure and ultrastructure of beef M. longissimus dorsi frozen at different freezing rates, *Meat Sci*, **33**(3), 301–318, 1993
9. Henningson RW, Thermister cryoscopy in the food industry, *Food Technol*, **21**, 28–31, 1967
10. Hung YC, Kim NK, Fundamental aspects of freeze–cracking, *Food Technol*, **50**(12), 59–61, 1996
11. Hung YC, Thompson DR, Freezing time prediction for slab shape foodstuffs by an improved analytical method, *J Food Sci*, **48**(2), 555–560, 1983
12. Jeong JW, Jo JH, Kwon DJ, Kim YB, Studies on the low–temperature storage of strawberry pulp and red pepper paste by cryoprotectants, *Korean J Food Sci Technol*, **22**(4), 434–438, 1990
13. Jeong JW, Freezing time prediction of slab shape foodstuffs by modification of plank's equation, *Natioal Fisheries Univ of Pusan, Korea*, 1989
14. Jeong JW, Kim JH, Changes of Internal Pressure during Freezing, Frozen Storage and Thawing of Meats, *Korean J Food Sci Technol*, **31**(3), 682–687, 1999
15. Jeong JW, Lee HJ, Park NH, Changes in Quality during Frozen Storage of Meat with Thermal Equalized Freezing, *Korean J Food Sci Technol*, **31**(3), 688–696, 1999
16. Jeong JW, Jeong SW, Park KJ, Changes in Internal Pressure of Frozen Fruits by Freezing Methods, *Korean J of Food Preservation*, **10**(4), 459–465, 2003
17. Minson EI, Fennema C, Amundson CH, Efficacy of various carbohydrates as cryoprotectants for casein in skin milk, *J of Food Sci*, **46**(5), 1597–1601, 1981
18. Ogawa Y, Studies on gape and heave of foodstuffs due to internal pressure during freezing, *Trans JAR*, **4**(3), 81–88, 1987
19. Sterling C, Effect of low temperature on structure and firmness of apple tissue, *J of Food Sci*, **33**(6), 557–561, 1968
20. Takahisa M, Prediction of freezing point depression of fruit and vegetable juice, *高大農システム園實研報*, **9**, 33–43, 1992
21. Van den Berg L, Changes in pH of some frozen foods during storage, *Food Technol*, **15**, 434–440, 1961
22. Woolrich WR, Specific and latent heat of foods in the freezing zone, *ASHRAE J*, 43–47, 1966

정진웅 공학박사

소 속 : 한국식품연구원 공정기술연구단

전문분야 : 식품냉동 및 전기분해수 처리 기술
등 융복합 공정 기술연구

E – mail : jwjeong@kfri.re.kr

T E L : 031-780-9137