

## 돈육의 냉해동 조건에 따른 품질 변화에 관한 연구

강병선<sup>¶</sup>, 김동호, 이오석  
영동대학교 와인발효식품학과

### A Study on the Changes of Pork Quality by Freezing and Thawing Methods

Byung-Sun Kang<sup>¶</sup>, Dong-Ho Kim, Oh-Seuk Lee  
Dept. of Food Fermentation Technology, Young-Dong University

#### Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of freezing and thawing methods on the quality of pork meat. The freezing methods for pork meat were the cryogenic freezing with liquid nitrogen gas, fast freezing at  $-70^{\circ}\text{C}$  and normal freezing at  $-20^{\circ}\text{C}$ . The thawing methods were tested on low temperature thawing at refrigerative temperature( $4^{\circ}\text{C}$ ), room temperature( $20^{\circ}\text{C}$ ), high temperature( $60^{\circ}\text{C}$ ) and using microwave. The quality of pork meat frozen by cryogenic methods was better than those of fast and normal freezing methods. The cooking hardness of pork meat frozen by cryogenic method showed the highest value as 1,898 g. In case of fast freezing, the hardness of pork meat was 1,472 g and that of normal frozen pork meat was 1,541 g. The high cooking hardness value of cryogenic frozen pork meat showed that the cryogenic freezing method made less freeze damage like textural softness. The drip-loss of pork meat thawed at refrigerative temperature( $4^{\circ}\text{C}$ ), room temperature( $20^{\circ}\text{C}$ ), high temperature( $60^{\circ}\text{C}$ ) were shown lower than that of microwave thawing. The cooking hardness of pork meat that was thawed by microwave showed the lowest value among the thawing methods. The cryogenic freezing was the most useful freezing method for preserving quality, decreasing the freeze damage of pork meat. And thawing at refrigerative temperature was the most effective method to prevent quality loss and weight loss by drip-loss.

Key words : cryogenic freezing, thawing, microwave, pork meat, drip-loss.

#### I. 서론

식품의 품질을 보존하기 위한 방법인 냉동은 식품의 고유 성상을 장기간 지속적으로 유지 보존하는 저장 수단과 식품의 성상을 변화시키기 위한 가공 처리 수단으로서 이용되고 있다. 냉동은 가능한 낮은 온도에서 신속하게 실시하는 것이

유리하며, 냉동의 온도는  $-15\sim-35^{\circ}\text{C}$  정도가 이상적인 온도로 여겨지고 있다(Kim 1987). 일반적으로 냉동 속도가 빠를수록 더욱 작고 많은 빙결정이 생성되어 식품의 조직 손상이 적게 일어난다. 식품은 표면에서 냉각매체와의 열 전달에 의해 냉각된다. 식품 표면이 열을 빼앗겨서 온도가 내려가면 식품 내부와 표면 사이에 온도차가 발

<sup>¶</sup> : 교신저자, 043-740-1188, andrewkang@paran.com, 충북 영동군 영동읍 설계리 12-1

생하여 열은 내부에서 표면으로 이동하는 전도에 의해 식품의 열은 냉각매체에 빼앗기며 냉각이 진행된다(Kim et al. 1987). 식품의 냉각 온도와 속도에 있어서 0~-5℃의 온도를 25~35분 내에 달성하게 되면 육류의 육질에 미치는 영향이 적은 급속 냉동이 일어난다. 냉동 속도가 빠른 급속 냉동은 세포 내외부에 작은 얼음 결정을 형성시켜 육류의 조직 손상을 작게 하고 완만 냉동은 세포 외부에 큰 얼음 결정을 형성시켜 근원섬유를 파괴하고 근장에 손상을 준다(Song & Lee 2002). 이와 같이 더욱 낮은 온도와 빠른 냉동 속도를 얻기 위해 액화 기체를 이용하여 식품과 냉매간의 온도 차이를 증가시켜 급속 냉동시키고 있다. 급속 냉동법 중에서 극저온 냉동법(cryogenic freezing)은 -150℃ 이하의 온도에서 냉동시키는 방법으로서 이산화탄소는 냉매 온도가 -78.5℃이기 때문에 포함되지 않고 액체질소(-196℃)만이 해당된다. 액체질소 등을 이용한 극저온 냉동은 기존의 냉동 방법보다 식품의 조직 특성을 증진시키거나, 조리 또는 수축에 의한 손실을 감소시킨다고 하였다(Anon & Calvelo 1980). 또한, 극저온 냉동은 세포벽에 존재하는 cellulose 성분 때문에 육류보다 채소와 과실에 적용하는 것이 효과적이라고 하였으며, 모양이나 조직감이 더욱 좋은 것으로 나타났다고 하였다(Kang & Lee 2001).

냉동 방법뿐만 아니라 해동도 냉동육을 식품으로 사용하기 위해서 거쳐야 하는 필수적인 과정으로 식품의 특성에 많은 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다(Kang et al. 2007). 해동 방법은 냉동 방법과 더불어 냉동 식품의 품질에 커다란 영향을 미치며, drip loss, 해동 시간 등 조리 및 경제적인 면에도 직접적인 관계가 있으므로 매우 중요한 의미를 갖고 있다고 한다. 해동 방법으로는 4℃ 저온 해동, 물 해동, 상온 해동, 열풍 해동 등의 방법이 있으나, 대부분이 열전도율이 낮기 때문에 해동시간이 길고 미생물의 성장 가능성이 있으며, 육 표면의 산화에 의한 변색 등의

현상이 일어나기도 한다(Lee & Park 1999; Kim et al. 1990).

따라서 냉동에 의한 식품 내 수분의 상 변화에 의한 기계적 스트레스가 식품의 조직 변화를 유발시켜 영양분의 손실, 풍미의 변화, 중량 감소 등과 같은 식품의 품질 저하를 일으키는 냉동의 부작용을 최소화할 수 있는 식품의 냉동 방법 개선과 해동 중의 품질을 유지할 수 있는 가공 기술을 개발하기 위하여 냉동 속도에 의한 품질 차이와 냉동 제품의 해동 중 품질 손실에 관하여 연구하였다. 본 연구에서는 돼지고기 뒷다리부위(햄 부위)를 모델 식품으로 액체질소를 이용한 초급속 냉동, -70℃에서의 급속 냉동, -20℃에서의 일반 냉동법에 의해 냉동시킨 후, 4℃에서 해동하는 저온 해동, 25℃의 실온 해동, 60℃의 고온 해동 및 microwave 해동에 의한 돈육의 품질 변화에 대해 연구하였다.

## II. 연구방법

### 1. 실험재료

돼지고기 뒷다리 부위를 안성농협 축산물 판매장에서 구입하여 27 cm<sup>3</sup>(3 cm×3 cm×3 cm)의 정육면체로 절단하여 실험에 사용하였다. 이 돼지고기 조각들을 무작위로 60개 이상씩을 취하여 각각의 냉동 방법에 따라 냉동하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 냉동 방법

각각의 돼지고기 조각을 액체질소(-190℃)를 이용한 초급속 냉동, -70℃에서의 급속 냉동, -20℃의 일반 냉동법에 의해 냉동시켰다. 초기 온도가 2℃인 시료의 온점이 -10℃에 도달했을 때를 냉동이 완료된 것으로 결정하였으며, 냉동이 완료된 시료는 -20℃에 보관하면서 측정에 사용하였다. 온점의 온도 측정은 직경 2 mm의 열전쌍(J-형)을 이용하여 컴퓨터에 연결된 data logger(DT600, Da-

taker, 호주)를 이용하였으며 측정 간격은 액체 질소를 이용한 냉동 시에는 0.5초, 그 외의 냉동 조건에서는 1분 간격으로 하였다. 각각의 냉동 방법에 따라 처리된 시료는 -20℃에 1달간 저장한 후 해동하여 관능 측정 및 물리적 측정에 이용하였다.

2) 해동 방법

각각의 냉동된 시료를 4℃에서 해동하는 저온 해동, 25℃의 실온 해동, 60℃의 온탕에서 진공포장하여 밀봉하여 해동하는 고온 해동, microwave를 이용한 microwave 해동과 같은 4가지 방법을 이용하여 해동하였다. 최종 해동 온도는 0.5℃로 설정하였다.

3) 압축강도 측정

Drip-loss를 측정한 시료를 Texture analyser(TA-HDi, Stable Micro system, Haslemere, UK)를 이용하여 압축강도를 측정하였다. 압축속도는 200 mm/min, 변형률은 50%, 실린더의 단면적 직경은 25 mm이었다.

4) Drip-loss 측정

각각의 냉동 방법에 의해 냉동된 돼지고기의 뒷다리 부위의 고기를 취하여 해동시의 품질 변화에 대해 실험하였다. 질량을 측정된 냉동된 각각의 시료를 filter paper 위에 올린 후 4℃에서 해동시켰다. 냉점이 0℃에 도달하면 시료의 겉표면에 남아있는 수분을 가볍게 제거한 후, 해동된 시료의 질량을 측정하였다. 해동 전과 해동 후의 시료의 질량의 비를 계산하여 drip loss로서 사용하였다.

5) 관능검사

대조구와 시료간의 차이 식별 검사를 실시하였고, 예비 관능검사를 반복하여 훈련된 패널 요원 20명을 선정하였다. 해동된 고기를 1%의 소금을 넣은 끓는 물에서 익힌 다음, 익힌 고기의

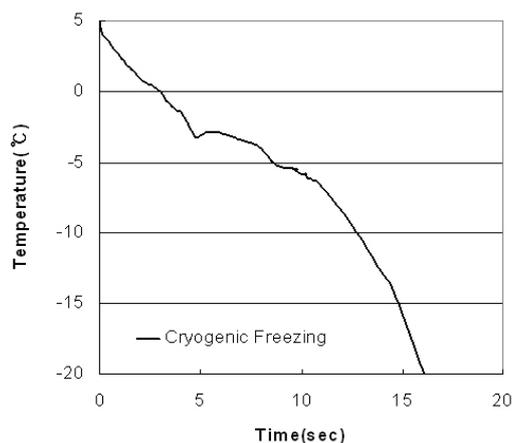
hardness, juiciness, flavor, disodor, acceptability를 9점 척도법으로 측정하였다. 패널 요원들에게 제공되는 고기의 배열은 난수표를 이용하여 얻은 3자리 숫자를 표시하여 주었으며, 대조구를 중심으로 시계방향으로 관능검사를 실시하였다. 관능검사 결과에 대해 SAS를 이용하여 분산분석을 한 후 유의적 차이를 조사하기 위해 Duncan법으로 통계분석하였다.

III. 결과 및 고찰

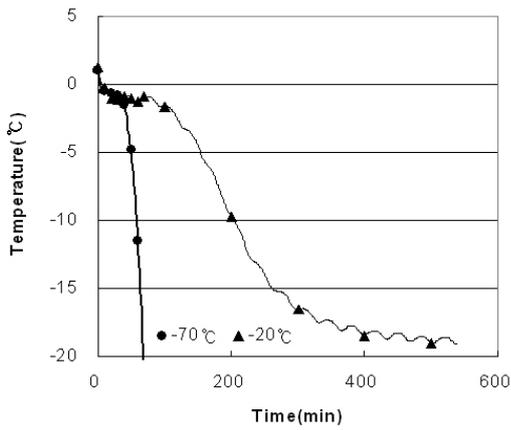
1. 냉동곡선

돼지고기 육면체를 액체질소를 이용하여 냉동시킨 냉동곡선은 <Fig. 1>에 나타내었으며, -70℃와 -20℃에서의 냉동곡선은 <Fig. 2>에 나타내었다.

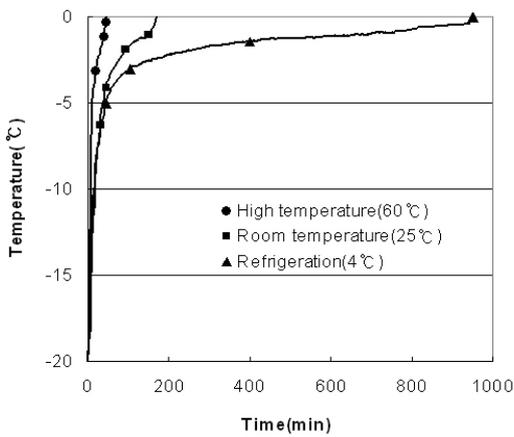
초기 온도가 2℃인 시료의 온점이 -10℃에 도달했을 때를 냉동이 완료된 시점으로 설정했을 때, 액체질소를 이용한 초급속 냉동의 경우가 냉점에 도달하는 시간이 가장 짧았다. 액체질소를 이용한 cryogenic 냉동의 경우에는 2℃에서 -10℃에 도달하는 시간이 9초였으나, -70℃의 냉동고에서 냉동 시에는 55분, -20℃의 냉동고에서 냉동 시에는 -10℃에 도달되는 시간이 200분이 필요하였다.



<Fig. 1> Freezing curves of cryogenic freezing with liquid nitrogen.



〈Fig. 2〉 Freezing curves of pork cubic with fast freezing at  $-70^{\circ}\text{C}$  and normal freezing at  $-20^{\circ}\text{C}$ .



〈Fig. 3〉 Thawing curves of pork cubic at temperature 4, 25 and  $60^{\circ}\text{C}$ .

2. 해동곡선

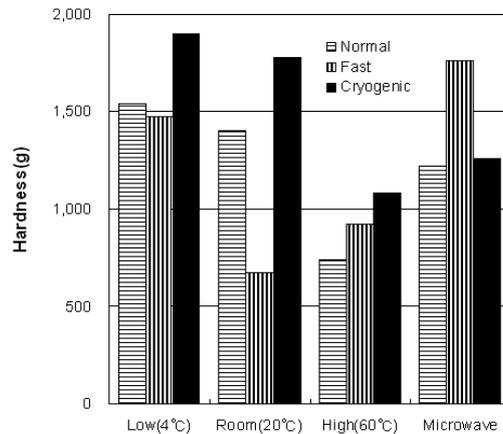
초급속 냉동시킨 각각의 시료를  $4^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ 의 해동온도 조건에서 냉점이  $0.5^{\circ}\text{C}$ 까지 도달할 때까지 해동시키며 온도 변화를 측정한 해동곡선을 〈Fig. 3〉에 나타내었다.  $4^{\circ}\text{C}$ 에서 해동시킨 경우에는 약 300분 정도가 소요되었으나, 실온에서는 약 80분,  $60^{\circ}\text{C}$ 의 고온에서는 21분이 필요하였다.

3. 압축강도

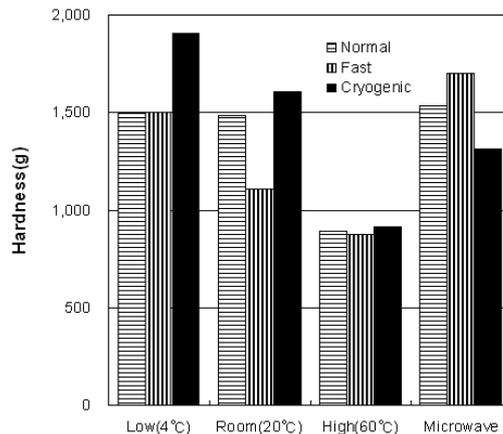
각각의 냉동조건에 따라 냉동된 돼지고기를  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 저장한 후, 1일과 30일 후에  $4^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,

$60^{\circ}\text{C}$ , microwave로 해동시킨 후 열탕 가열한 후 측정된 압축강도는 〈Fig. 4, 5〉와 같다.

30일간 저장한 후에 해동했을 경우, 초급속 냉동법에 의한 돼지고기의 저온 해동시의 압축강도는 1,900 g이며, 실온 해동시에는 1,604 g, 고온 해동시에는 917 g, microwave 해동시에는 1,310 g으로 나타났는데,  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 각각의 방법으로 해동시켰을 때의 압축강도가 1,500 g, 1,480 g, 890 g, 1,530 g인 것과 비교 시에 매우 높은 압축강도를 나타내었다. Microwave 해동 시에는 microwave에 의한 가열은 급속해동이 가능하고 열효율이 좋



〈Fig. 4〉 Hardness of pork cubic thawed at various temperature after 1 day freezing.



〈Fig. 5〉 Hardness of pork cubic thawed at various temperature after 30 days freezing.

으며, 진공이나 비금속 포장 내에 있는 식품을 쉽게 가열할 수 있는 장점이 있다. 그러나 전자파가 식품의 표면에 조사되어 표면에서부터 유전체의 손실에 의한 에너지가 흡수되면서 내부로 진행되기 때문에 내부로 갈수록 전계가 약해진다는 단점이 있다(Yun et al. 1998; Bialod et al. 1987). 또한, 식품의 부피가 큰 경우에는 표면은 과다한 발열에 의해 타버리고 내부는 얼음으로 존재하는 불균일한 가열이 문제가 되기도 하는데, 본 연구에서도 시료가 가열되어 익어서 시료의 강도가 증가하는 현상이 발생하여 다른 해동 방법보다는 비교적 높은 압축강도를 나타낸 것으로 생각된다(Taoukis et al. 1987). 냉동시킨 경우와 냉동시키지 않은 생콩을 cooking하였을 경우에 냉동시킨 콩의 puncture force가 낮게 나타났다고 보고에서 냉동시 및 기간 중에 조직의 파괴에 의해 조직 연화가 발생하였다고 하였다(Lee et al. 1992).

4. Drip-loss

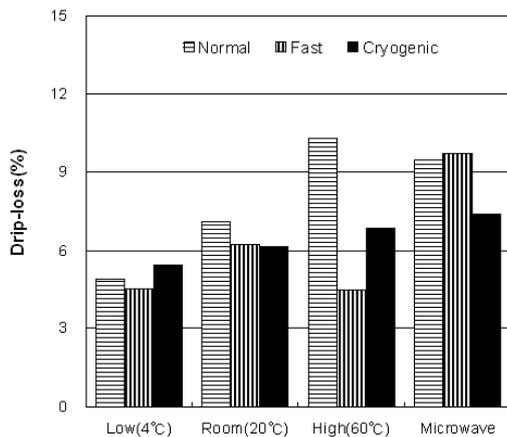
액체 질소를 이용하여 냉동시킨 돼지고기를 1일이 지난 후에 냉장온도(4°C)에서 해동시 손실율(drip-loss)은 5.44%로서 -70°C의 4.53%, -20°C에서 냉동시킨 시료의 4.91%과 유사하게 나타났다(Fig. 6). 그러나 실온 해동, 고온 해동, microwave

해동시에는 액체질소를 이용한 냉동 방법이 해동시의 손실을 줄여주는 것으로 나타났다.

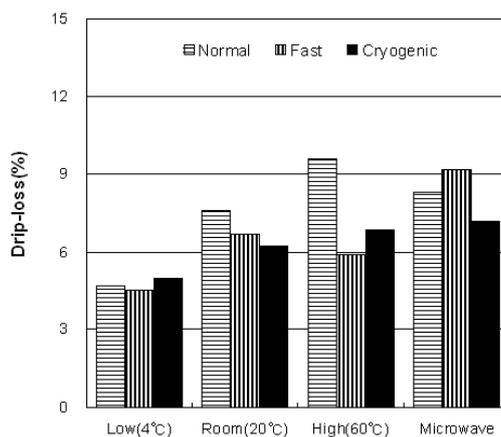
각각의 냉동 방법에 의해 냉동시킨 돼지고기를 -20°C에서 30일을 저장한 후 해동했을 때의 손실율은 액체질소를 이용한 초급속 냉동한 시료를 저온 해동했을 때에는 4.97%, 실온 해동 6.20%, 고온 해동 6.82%, microwave 해동 7.20%로 나타났다(Fig. 7).

일반적인 냉동 온도인 -20°C에서 30일간 저장한 후에 해동한 결과는 저장 후 1일 경과한 결과와 유사한 결과가 나타났는데, 이는 단기간의 저장 조건 하에서는 저장 조건보다는 초기의 냉동 방법이 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Nam 1998).

Drip이란 해동시 육조직으로부터 액체가 분리되어 흘러나오는 것으로 냉동과 저장 과정 중에 형성된 얼음 결정에 의해 발생한 근세포의 손상 정도를 나타낸다. 해동시 발생한 drip은 세포 내외의 수분이 방출되므로 식품의 수분활성도와 수분함량을 낮추는 역할을 하기도 하지만, 식품 세포 내부에 있던 영양분인 저분자 화합물을 방출함으로써 해동 과정 중에 미생물의 번식을 발생시킬 수도 있는 단점이 있다. 또한, 냉동 저장 기간이 길고 저장 온도가 높을수록 빙결정이 커짐



<Fig. 6> Drip-loss of pork cubic thawed at various temperature after 1 day freezing.



<Fig. 7> Drip-loss of pork cubic thawed at various temperature after 30 day freezing.

으로서 단백질의 변성이 많이 일어나 drip 손실의 양이 증가한다고 하였다(Lee & Park 1997).

는데, 이는 냉동과정 중에 얼음 결정에 의한 돼지고기 조직의 파괴에 의한 육즙의 손실이 발생한 것으로 여겨진다.

5. 관능검사

각각의 냉동 방법을 달리하여 냉동된 돼지고기 뒷다리를 해동한 후에 익혀서 측정한 관능검사 결과는 <Table 1>과 같다. 관능검사 결과를 Duncan test로 5% 수준에서 분석한 결과, hardness는 저온 해동시에는 5.07, 고온 해동은 4.22, microwave 해동은 3.54로서 차이가 나타나지 않았으나, 실온 해동에서는 2.11로서 차이가 나타났다. 그러나 juiciness, flavor, disodor, acceptability의 경우에는 해동조건에 따른 유의차는 없는 것으로 나타났다. -20℃에서 일반냉동한 경우, microwave 해동에 의한 관능검사 결과는 다른 해동 방법에 비해 hardness와 Juiciness가 낮은 값을 나타내었

IV. 결 론

돼지고기를 이용하여 육류를 냉동하는 방법과 해동하는 방법에 대하여 연구하였다. 액체질소를 이용한 초급속 냉동한 경우가 돼지고기의 품질이 가장 좋았으며, -70℃에서의 급속 냉동, -20℃에서의 일반 냉동법의 순으로 품질이 저하되었다. 냉동에 의한 냉동해의 정도를 나타내는 압축 강도는 액체질소를 이용한 경우에는 1,898 g로서 -70℃의 1,472 g과 -20℃의 1,541 g보다 높게 나타났다. 돼지고기의 육질을 유지시키며 냉동하는 방법으로서 액체질소를 이용하는 초급속 냉

<Table 1> Result of sensory test for defrosted pork which was frozen at various temperature

Defrosting temperature	Sensory profile	Normal freezing (-20℃)	Fast freezing (-70℃)	Cryogenic freezing
Low temp. (4℃)	Hardness	5.10 <sup>a</sup>	6.07 <sup>a</sup>	5.07 <sup>a</sup>
	Juiciness	4.53 <sup>a</sup>	5.27 <sup>a</sup>	4.13 <sup>a</sup>
	Flavor	5.67 <sup>a</sup>	5.93 <sup>a</sup>	5.60 <sup>a</sup>
	Disodor	6.53 <sup>a</sup>	6.53 <sup>a</sup>	6.33 <sup>a</sup>
	Acceptability	5.00 <sup>b</sup>	6.13 <sup>a</sup>	4.90 <sup>b</sup>
Room temp. (25℃)	Hardness	4.78 <sup>a</sup>	4.22 <sup>a</sup>	2.11 <sup>b</sup>
	Juiciness	4.00 <sup>a</sup>	3.44 <sup>a</sup>	3.22 <sup>a</sup>
	Flavor	6.00 <sup>a</sup>	5.67 <sup>a</sup>	5.67 <sup>a</sup>
	Disodor	7.56 <sup>a</sup>	6.67 <sup>ab</sup>	6.44 <sup>b</sup>
	Acceptability	6.33 <sup>a</sup>	5.11 <sup>b</sup>	4.44 <sup>b</sup>
High temp. (60℃)	Hardness	6.22 <sup>a</sup>	5.11 <sup>a</sup>	4.22 <sup>a</sup>
	Juiciness	5.56 <sup>a</sup>	5.11 <sup>a</sup>	4.22 <sup>a</sup>
	Flavor	6.22 <sup>a</sup>	5.89 <sup>ab</sup>	4.67 <sup>b</sup>
	Disodor	6.44 <sup>a</sup>	6.22 <sup>a</sup>	5.44 <sup>a</sup>
	Acceptability	6.00 <sup>a</sup>	5.78 <sup>ab</sup>	4.44 <sup>b</sup>
Microwave	Hardness	3.62 <sup>a</sup>	4.85 <sup>a</sup>	3.54 <sup>a</sup>
	Juiciness	3.85 <sup>ab</sup>	5.00 <sup>a</sup>	3.38 <sup>b</sup>
	Flavor	5.15 <sup>ab</sup>	6.31 <sup>a</sup>	4.92 <sup>b</sup>
	Disodor	6.38 <sup>a</sup>	6.46 <sup>a</sup>	5.62 <sup>a</sup>
	Acceptability	4.62 <sup>ab</sup>	5.58 <sup>a</sup>	4.38 <sup>b</sup>

동법이 다른 냉동법보다 식품의 품질 유지를 위한 최선의 방법으로 나타났다.

초음파(microwave)를 이용하여 해동시킨 경우를 제외하고는 저온 해동(4°C), 실온 해동(25°C), 고온 해동(60°C)의 3가지 경우에서 낮은 손실율과 높은 압축강도를 나타내었다. 초급속 냉동법으로 냉동한 돼지고기를 저온 해동한 경우의 압축강도는 1,900 g이며, 실온 해동시에는 1,780 g, 고온 해동시에는 1,082 g으로 나타났는데, -20°C에서 각각의 방법으로 해동시켰을 때의 압축강도가 1,500 g, 1,400 g, 743 g인 것에 비교해서 매우 높은 압축강도를 나타내었다. 이로서 돼지고기를 냉동하는 방법으로는 액체질소에 의한 초급속 냉동법이 가장 좋았으며, 해동 방법으로는 4°C에서의 저온 해동이 육질을 보존하며, 해동시 손실을 방지할 수 있는 최선의 방법임을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Kim YH (1987) : Freezing and defrosting in the food refrigeration. *Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 16:34-43.
2. Song MS · Lee SJ (2002) : Effect of freezing/thawing cycles on physical properties of beef. *Food Engineering Progress* 6:101-108.
3. Kim YH · Yang SY · Lee MH (1987) : The effect of freezing rates on the physico-chemical changes of chicken meat during frozen storage at -20°C. *K. J. Poul. Sci.* 14:145-151.
4. Anon MC · Calvelo A (1980) : Freezing rate effects on the drip loss of grozen beef. *Meat Sci.* 4:1-14.
5. Kang BS · Lee YC (2001) : Optimization of the cryogenic freezing process for carrot slices. *Food Sci. Biotechnol.* 10:40-45.
6. Kang SM · Kang CG · Lee SK (2007) : Comparison of quality characteristics of Korean native Black pork and modern genotype pork during refrigerated storage after thawing. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 27:1-7.
7. Kim YH · Yang SY · Lee MH (1990) : Quality changes og thawing porcine meat on the thawing methods. *Korean J. Foods Sci. Technol.* 22:123-128.
8. Lee JK · Park J (1999) : Rapid thawing of frozen pork by 915 MHz microwave. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31:54-61.
9. Yun CG · Lee DH · Park JY (1998) : Ohmic thawing of a frozen meat chunk. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30:842-847.
10. Bialod D · Jolion M · LeGoff R (1987) : Microwave thawing of food products using associated surface cooling. *J. Microwave Power* 13:269-274.
11. Taoukis P · Davis EA · Davis HT · Gordon J · Talmon Y (1987) : Mathematical modeling of microwave thawing by the modified isotherm migration method. *J. Food Sci.* 52: 455-463.
12. Lee DR · Choi YH · Kim MK · Yun SE (1992) Influence of freezing upon the cooking time and eating quality of beans. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 35:219-226.
13. Nam JH · Song HI · Kim MS · Moon YH · Jung IC (1998): Effects of freezing temperature on quality of thawed beef. *Korean J. Food & Nutr.* 11:482-487.
14. Lee JK · Park J (1997) : Thawing of frozen meat by microwave. *Food Science and Industry* 30: 103-112.

2008년 5월 2일 접수

2008년 5월 26일 1차 논문수정

2008년 6월 10일 게재확정