

## 915 MHz Microwave■ 이용한 동결 들판 돈육의 급속 해동

이종경 · 박지용

연세대학교 생명공학과 및 생물산업소재연구센터

### Rapid Thawing of Frozen Pork by 915 MHz Microwave

Jong-Kyung Lee and Jiyoung Park

Department of Biotechnology and Bioproducts Research Center, Yonsei University

#### Abstract

A study was conducted to find a rapid thawing method which prevents excessive drip loss and local overheating. Effects of thawing methods (conventional thawing vs. 2,450 and 915 MHz microwave thawing) on thawing time, temperature profile, drip loss, water holding capacity, total color difference and total aerobes were investigated. Samples were thawed at 4, 28 and 50°C in a refrigerator or an oven for the conventional thawing methods the conventional thawing methods. Power levels of 5, 10 and 15 kW were used for 915 MHz microwave thawing. Cotreatment of 915 MHz microwave and convectional heating (120°C) was tested. 915 MHz microwave accelerated the thawing rate, and showed significant effects on penetration depth, drip loss, water holding capacity and total aerobes. Cotreatment of 915 MHz microwave and convection heating was appeared to be a suitable thawing process for the food industry.

Key words: Microwave rapid thawing, frozen pork, thawing

#### 서 론

식품의 저장 기간 향상을 위해 냉동 기술은 많은 발전을 거듭해 왔다. 그러나, 냉동 후 요구되는 해동에 대한 기술 발전이 미흡하였을 뿐만 아니라 해동의 중요성도 충분히 인식되지 못하였다. 재래적인 해동 방법으로 상온 해동, 물 해동, 열풍 해동 등의 방법이 있으며, 이에 따르는 문제점은 긴 해동시간에 따른 제품의 품질 저하, 미생물에 의한 오염, 수분 증발과 drip 형성에 의한 중량 손실, 표면의 과열, 색 변화, 조직감의 변화, 해동 공간의 요구, 해동 비용 요구, 공기중의 산화, 표면의 건조, 영양분의 손실 등이 있다<sup>(1)</sup>. 이러한 장시간에 걸친 해동에 따르는 문제점을 극복하고 해동시간을 절감하여 경제적인 효과를 얻기 위해 급속 해동에 관한 연구들이 진행되어 왔다<sup>(2)</sup>.

급속 해동 방법 중에서는 전기 해동이나 전기 에너지를 이용한 해동 방법들이 있다. 전기적 에너지를 이용한 방법 중에 특히 microwave를 이용한 해동은 가장 신속한 해동 방법으로서 기존의 열전도에 의한 해동 방법에 비해 수십 배 이상 빠른 장점을 가지고 있

다. 또한 연속 공정으로 노동력의 절감, 세균의 번식을 억제할 수 있으며 품질 저하를 최소화하면서 drip 손실을 줄일 수 있고, 발열 효율이 높으며, 전파의 누설을 방지할 수 있는 시스템의 개발로 제어가 용이한 장점을 가지고 있다. 단, 주파수가 높을수록 침투깊이가 낮아져 적용할 수 있는 제품의 두께가 제한된다<sup>(3)</sup>. 따라서 대형 제품일 경우 표면은 이미 타버려도 내부는 얼음으로 존재하는 불균일한 가열이 문제되고 있으며 이를 해결하기 위한 연구들로 저주파수 microwave를 이용한 해동<sup>(3,4)</sup>, 상용 2,450 MHz의 microwave에서 표면 냉각 시스템을 적용하는 방법<sup>(7,9)</sup> 등이 연구되었다.

Swift 등<sup>(9)</sup>은 여러 가지 크기와 종류의 대형 동결육에 연속식 915 MHz microwave (12.5~25 kW)를 이용하여 해동한 후 온도 분포를 측정하였으며, 공업용으로 이용되는 상자 포장육의 경우 해동하는데 수분에서 십수분 정도 소요된다고 보고한 바 있다. Taoukis 등<sup>(9)</sup>은 isotherm migration method를 이용하여 냉동육의 300, 915, 2,450 MHz에서의 해동 시간과 온도, 해동에 소비되는 에너지를 출력에 따라 계산하여 해동에 저주파가 효율적임을 밝혔다. Virtanen 등<sup>(7)</sup>은 2,450 MHz microwave 해동에 의한 표면의 과열을 방지하고자 model product에 찬 공기를 불어넣으면서 온도 센

서를 이용하여 제품의 고온 지점과 저온 지점과의 온도 차이에 대해서 최대와 최소치를 설정하고 최대 온도 차이 이상의 온도 분포 시 자동적으로 마그네트론이 꺼지고, 최소 온도 차이 이하의 온도 분포시에는 켜지게 하는 시스템을 이용하여 바람직한 온도 조성의 해동육을 얻고자 하였다.

여러 가지 해동 방법을 적용하고, 해동 후의 품질 특성을 측정하는 연구<sup>(10,11)</sup> 등은 여러 연구자에 의해 수행되어 왔지만 915 MHz microwave를 이용하여 해동 후에 품질 특성을 측정한 연구는 지금까지 미비하였다. 2,450 MHz microwave를 이용한 해동 방법과 해동 후의 품질 특성은 여러 차례 보고되어 왔지만, 침투깊이에 따른 표면의 과열이 단점으로 지적되어 왔다. 특히 국내에서는 915 MHz microwave의 개발이 미흡하여 해동 효과에 대한 연구가 거의 이루어져 있지 않았다.

본 연구에서는 동결 돈육에 2,450 MHz와 915 MHz microwave를 적용하여 해동 시간에 따른 온도를 측정하고, 해동 후의 품질 특성을 비교함으로써 915 MHz microwave가 열전도를 이용한 기존의 해동 방법에 비해 얼마나 해동시간을 단축시키고, 2,450 MHz microwave의 침투 깊이 제한에서 오는 품질 저하를 얼마나 방지할 수 있는지를 연구하였다. 또한, 915 MHz microwave의 출력이 해동에 미치는 영향을 조사하였으며, 915 MHz microwave와 열풍을 함께 사용하여 해동을 실시하고 품질 특성을 살펴보았다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료

원료육은 미원 농장에서 사육한 삼원 교접돈((LY × YL) × D, L: Landrace, Y: Yorkshire, D: Duroc-Jersey)으로서, 체중 100±5 kg의 규격 돈을 도살한 후 5°C에서 24 시간 예냉 후 진공 포장하여 4°C에서 냉장 저장한 대퇴부(fresh ham muscle)를 사용하였다.

### 동결 방법

원료육을 -30°C에서 3일간 냉동 저장 후, 골절기(HBS-200A, 한국후지공업, Korea)를 이용하여 정육면체(10 cm × 10 cm × 10 cm)로 절단하고, 겉표면에서 각각 표면부(겉표면과 1 cm 간격)와 중심부(겉표면과 5 cm 간격)까지 drill로 구멍을 뚫고, thermocouple의 외경과 같은 크기의 내경을 갖는 Teflon tube를 삽입한 후, -20°C에서 4일간 냉동 보관하였다.

### 해동 방법

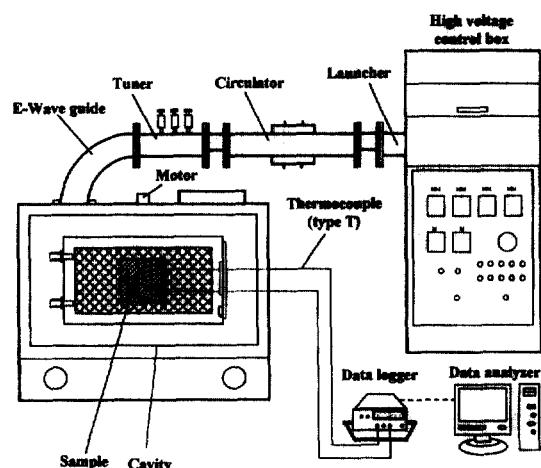


Fig. 1. Schematic diagram of 915 MHz microwave oven.

해동은 중심부 온도가 -1°C에 도달하였을 때 해동을 완료하였다. 냉장 해동은 4°C 냉장고에서, 상온 해동은 여름철 실내 온도인 28°C에서 방치하였다. 오븐 해동은 drying oven (NO-600M, Jeio Tech, Korea)을 50°C 온도로 고정하고 해동이 완료될 때까지 방치하였다.

Microwave oven을 이용한 해동방법을 위해 각각 2,450 MHz (MPG-2050, 대원특수포장, Korea)와 915 MHz (MPG-9200, 대원특수포장, Korea)의 두 가지 주파수의 microwave oven을 이용하였다. 2,450 MHz의 microwave oven은 cavity 크기 82×70×54.5 cm, 출력 1~5 kW 시스템을 사용하였다. 915 MHz microwave oven은 cavity 크기 187×154×138 cm, 출력 5~20 kW 시스템을 사용하였으며, microwave를 고루 분산시키기 위해서 cavity의 위쪽에 stirrer가 부착되어 있고, 120°C의 열풍을 불어넣어 대류가열을 병용할 수 있는 시스템을 사용하였다(Fig. 1). 온도 측정은 2,450 MHz 와 915 MHz의 주파수에서 5 kW의 출력으로 microwave를 조사하면서 일정 시간 간격으로 전원을 차단하고, 중심과 표면의 일정 부위에 미리 삽입한 Teflon tube를 통해 Teflon 코팅된 T-type의 thermocouple (Type IT-18, Physitemp Instruments Inc., U.S.A.)을 삽입하여 thermometer (HI 93530, Hanna instrument, Singapore)로 온도를 측정하였다. 중심 온도가 -1°C가 되는데 걸리는 시간을 해동 완료 시간으로 하였다. 측정된 자료의 저장은 PC가 연결된 data logger (2620A, Fluke Co., U.S.A.)를 이용하였다.

### 분석 방법

Drip 손실 측정은 Lambert 등<sup>(12)</sup>의 방법으로, 보수력 측정은 Wierbicki 등의 방법<sup>(13,14)</sup>으로, 색도 측정은

Hunter system에 따르는 색차계(Chromameter CR200, Minolta Co., Japan)를 이용하여 sample의 표면을 10회 반복하여 L-, a-, b-value를 측정하였으며 total color difference 값<sup>(16,17)</sup>은  $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0.5}$ 로 계산하였다. 총 세균수의 측정은 이와 성<sup>(18)</sup>의 방법으로 표면 미생물의 수를 측정하였으며, 37°C 배양기에서 2일 간 배양한 후 집락수를 측정, 1 cm<sup>2</sup>당 세균수로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 해동 방법에 따른 해동 시간 및 온도 분포

열전도에 의한 해동 방법과 microwave oven을 이용한 해동 방법의 해동 소요 시간을 관찰하였다. 열전도에 의한 해동 방법은 4°C(냉장 해동), 28°C(상온 해동), 50°C(오븐 해동)을 실시하였고, microwave를 이용한 해동 방법은 cavity 크기 82×70×54.5 cm의 stirrer가 없는 2,450 MHz와 cavity 크기 187×154×138 cm의 stirrer가 있는 915 MHz의 microwave oven을 이용하여 각각 5 kW의 출력으로 비교하였다. Fig. 2에는 냉장 해동, 상온 해동, 50°C 해동에서의 시간-온도 곡선을 나타내었다. 중심부의 온도가 -1°C에 도달하는 시간을 해동 시간으로 한 결과, 4°C 해동을 이용한 경우는 18시간, 28°C 해동은 6.5시간, 50°C 해동은 5시간이 소요되었다. 또한 해동이 완료되었을 때 표면부의 온도는 4°C 해동이 -0.6, 28°C 해동이 14, 50°C 해동이 22°C이었다. 따라서 열전도에 의하여 해동이 이루어지는 기준의 해동 방법에 의하면 해동이 이루어지는 해동실의 온도가 낮은 경우에 해동에 오랜 시간이 소요되지만, 중심부와 표면의 온도 차이가 적어 비교적 균일한 온도 조성의 해동육을 얻을 수 있었다. 반면, microwave oven을 이용한 경우의 해동은 상온에의 방치 혹은 열풍을 이용한 기존의 해동 방법에 비하여 해동 속도에 현격한 효과가 있었다.

Fig. 3에 2,450 MHz microwave와 915 MHz microwave를 이용하여 5 kW의 출력에서 실시한 해동의 시간-온도 곡선을 나타내었다. 주파수 2,450 MHz의 microwave oven을 이용한 경우는 8분이 지나자 중심부는 -3.9°C, 표면부는 -0.7°C에 도달하였으나, 12분이 경과한 후 중심부는 -2.6°C, 표면부는 41°C까지 상승하였다. 이미 열음이 녹아 물이 된 표면부에 microwave 에너지가 집중되어 계속 표면 온도가 상승 하지만 녹은 부분에 의하여 microwave의 침투 깊이가 제한되면서 표면은 수분의 건조에 의한 경화와 부분적인 burning 현상을 보였다. 따라서, 표면이 경화된 후 중심

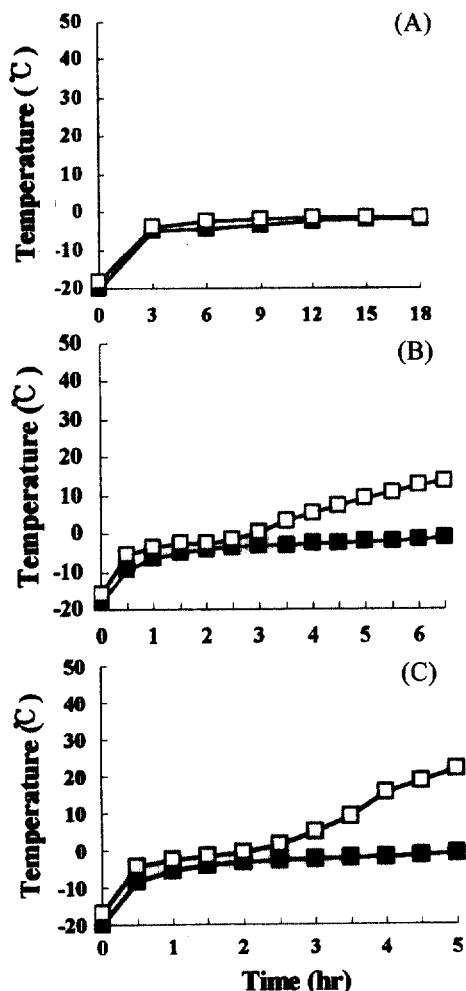


Fig. 2. Time-temperature curves of frozen pork ham muscle (10 cm × 10 cm × 10 cm). (A) 4°C thawing, (B) 28 °C thawing, (C) 50°C thawing. ■—■: center temperature, □—□: surface temperature.

부의 온도 상승은 열전도에 의존하게 되며 microwave를 계속 조사해도 중심 온도의 상승은 거의 없었고, 표면 온도만 상승하였다. 2,450 MHz microwave의 해동에서 중심온도가 -1°C에 이르기 전에 표면의 집중 과열로 중심 온도가 -2.6°C에 이르렀을 때 해동을 멈추었다. 915 MHz의 microwave oven을 이용한 해동은 1분 30초만에 중심부가 -1°C에 도달하였고, 이 때 표면부의 온도는 -2.0°C이었다. 이와 같이 표면부의 온도가 중심부 온도 보다 낮은 것은 실험한 동결육의 형태적 특징(10×10×10 cm 정육면체)에 의하여 915 MHz의 microwave가 중심부에 집중된 것으로 생각되었다. 동일 물질에서의 침투깊이는 주파수에 반비례

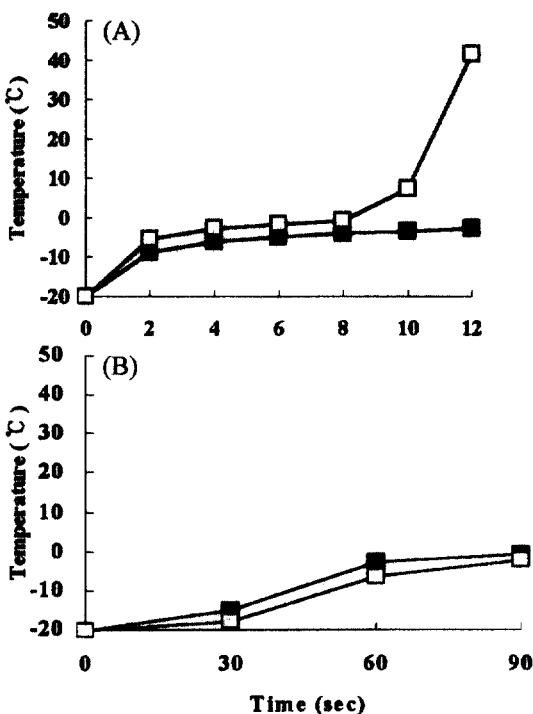


Fig. 3. Time-temperature curves of frozen pork ham muscle ( $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ). (A) 2,450 MHz microwave thawing, (B) 915 MHz microwave thawing, ■—■: center temperature, □—□: surface temperature.

하고, 주파수는 물질의 상태 즉 얼음에서 물로의 융해 과정 동안 물질의 유전계수(dielectric constant)에 영향을 주므로 상용되는 2,450 MHz와 비교할 때 주파수가 낮은 915 MHz가 해동에 적합함이 확인되었다. 또한 동일 출력 적용시 2,450 MHz에서 해동에 장시간이 소요된 이유는 915 MHz microwave oven에 비해 침투깊이가 낮아 중심부가 해동되는 데까지 많은 시간이 소요되었고, 2,450 MHz microwave oven의 cavity size는 작았고 stirrer가 없기 때문에 공진 형태가 많지 않아 효과적으로 파를 분산하지 못했기 때문인 것으로 추정되었다.

#### 해동 방법이 drip 손실에 미치는 영향

Drip이란 해동시 액체가 육조직에서 분리되어 흘러 나오는 것으로 동결, 저장, 해동시에 발생한 근세포의 손상 정도를 나타내며, 절단한 고기 크기와 모양, 표면적 대 중량의 비율, 혈관의 양 등에 영향을 받는다. 해동시 drip 손실은 세포 내외의 수분이 방출되므로 세포의 수분활성도를 낮추지만 저분자량 화합물을 방출, 영양분을 제공하여 해동 과정시에 미생물이 다시 성장하도록 한다. 동결 저장 기간이 길어질수록, 저장 온도

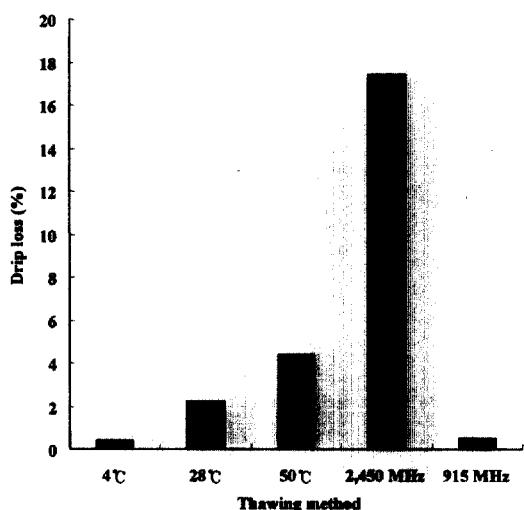


Fig. 4. Effect of various thawing methods on drip losses (%) in pork ham muscle ( $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ). For 2,450 MHz microwave oven, thawing was completed when the center temperature of sample reached to  $-2.6^{\circ}\text{C}$ .

가 높을수록 단백질의 변성이 많이 일어나 drip 손실의 양은 증가한다<sup>(19)</sup>. Fig. 4에 각 해동 방법에 따른 drip 손실을 나타내었다. 4°C 해동은 0.41%, 28°C 해동은 2.24%, 50°C 해동은 4.42%로 열전도에 의한 해동 방법은 해동 온도에 비례하여 drip 손실이 증가하였다. 2,450 MHz microwave를 이용한 경우는 microwave의 침투 깊이 제한으로 중심부의 온도가  $-1^{\circ}\text{C}$ 에 도달하기도 전에 표면에 에너지가 집중되면서 과열되어 17.45%의 높은 drip 손실을 나타내었다. 따라서 2,450 MHz microwave는 대형 제품의 해동에는 이용에 많은 어려움이 예상되며, 과열을 막기 위한 표면 냉각 시스템이 필요함을 알 수 있다. 반면, 915 MHz microwave를 이용한 해동은 동일 출력에서 0.52%로 4°C 해동과 거의 비슷한 정도의 drip 손실을 보였다.

#### 해동 방법이 보수력에 미치는 영향

해동 방법에 따른 보수력을 Fig. 5에 나타내었다. 4°C 해동의 경우 72.5%를 보였고, 28, 50°C로 해동 온도가 높을수록 보수력이 낮아져서 50°C 해동의 경우 65.0%의 보수력을 보였다. 일반적으로 열풍을 이용해동을 하는 경우에는 해동 온도가 높고, 해동육 자체의 표면 온도가 높을수록 보수력은 낮아지는데, 이는 해동 속도가 빠르면 근육 단백질이 세포간에 유리되었던 수분을 재흡수할 시간이 부족하기 때문이다<sup>(20)</sup>. 2,450 MHz microwave를 이용한 해동의 경우 표면의 과열에 의한 단백질 변성으로 보수력이 61.3%로 가장

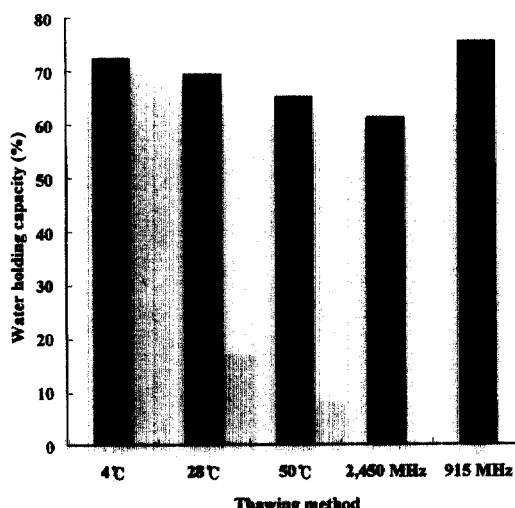


Fig. 5. Effect of various thawing methods on water holding capacity (%) in pork ham muscle ( $10 \times 10 \times 10$  cm). For 2,450 MHz microwave oven, thawing was completed when the center temperature of sample reached to -2.6°C.

낮았다. 반면, 915 MHz의 microwave를 이용한 해동은 보수력이 75.6%으로 가장 높은 보수력을 보였다.

#### 해동 방법이 해동육의 표면 색에 미치는 영향

Table 1에 비동결육, 동결육, 그리고 해동방법에 따른 해동육의 표면 색도 측정 값을 나타내었다. 비동결육은 a-value가 10.84로 가장 높고, b-value는 2.76으로 가장 낮았다. 반면 동결육에서는 L-value가 53.26으로 가장 높았고, a-value는 9.25로 낮았으며, b-value는 비교적 높은 4.76의 값을 나타냈다. 50°C 해동의 경우 L-value가 높았고 a-value는 5.88로 가장 낮았다. 2,450 MHz microwave 해동은 중심부가 완전 해동이 이루어지지 않았지만 표면의 과열로 burning<sup>10</sup> 되어 yellowness가 가장 높았다. 915 MHz microwave를 이용한 해동의 a-value는 가장 비동결육과 유사하였다. 전체적인 색의 변화( $\Delta E$ )를 비동결육을 대조구로 하여 비교하였다. 대조구와 비교하여 색의 변화가 클수록  $\Delta E$ 값도 증가한다. 전체적으로 해동 방법에 따라 4°C 해동에서 전체적인 색변화가 가장 작았으며, 915 MHz microwave를 이용한 해동 방법은 4°C 해동 다음으로 낮은 값을 나타냈고, 28°C 해동과 거의 차이가 없었다. 그러나 50°C에서의 해동은 6 이상의 값을 나타내어 전체적인 색의 변화가 커졌고, 2,450 MHz microwave를 이용한 해동은 9 이상의 값을 나타내어 색변화가 가장 심하게 나타났다.

Table 1. Effect of thawing methods on total color difference when the value was calculated as  $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0.5}$

Treatment	L-value	a-value	b-value	$\Delta E$
Unforzen	48.07	10.84	2.76	0
4°C thawing	46.89	10.40	5.31	2.84
28°C thawing	43.76	8.96	3.48	4.76
50°C thawing	51.34	5.88	3.69	6.01
2,450 MHz MW <sup>11</sup> thawing	50.78	9.05	11.28	9.12
915 MHz MW thawing	43.56	10.80	4.00	4.68

<sup>11</sup>Microwave.

#### 해동 방법이 총 세균수에 미치는 영향

Table 2에 해동 방법에 따른 총 세균수를 나타내었다. 28°C 해동보다는 50°C 해동에서 미생물의 수가 더 적은데, 이것은 50°C로 해동할 경우 28°C로 상온 해동을 한 경우보다 해동 시간이 상대적으로 짧아 미생물의 성장 시간을 단축하였기 때문이고, 냉장 해동의 경우는 해동실 온도가 낮아 미생물의 성장을 저지시킨 것이라 추정되었다. 미생물의 성장을 결정하는 가장 중요한 인자로는 해동된 고기의 저장 온도로서 0~3°C가 바람직하다<sup>21</sup>는 사실과 일치하였다. 일부에서는 microwave가 세균 세포 및 포자를 파괴하는 것으로 추정하는 보고가 있다<sup>22</sup>. 2,450 MHz와 915 MHz microwave를 이용한 해동 방법은 총세균수가 20 CFU/cm<sup>2</sup> 이하로 가장 낮아 해동 과정에서 미생물에 의한 오염을 최소로 할 수 있어 위생적인 공정임을 알 수 있었다.

#### 915 MHz microwave 해동에서 출력의 변화와 대류 가열 병용이 해동 시간 및 온도 분포에 미치는 영향

여러 해동 방법 중 915 MHz microwave를 이용한 해동 방법이 가장 우수하여 출력을 달리하고 915 MHz microwave와 열풍을 병용하여 해동을 실시하였다. 온도 조성을 균일하게 하고자 120°C 열풍을 함께 이용하여 microwave만 조사한 경우와 비교하여 Table 3에 이를 나타내었다. 해동 시간(중심 온도가 -1°C에 이

Table 2. Effect of thawing methods on total aerobes of meat surface

Treatment	Total aerobes (unit: CFU/cm <sup>2</sup> )
4°C thawing	$7.5 \times 10^1$
28°C thawing	$7.1 \times 10^2$
50°C thawing	$4.4 \times 10^1$
2,450 MHz MW <sup>11</sup> thawing	<20
915 MHz MW thawing	<20

<sup>11</sup>Microwave.

Table 3. Effect of microwave power on thawing time and surface temperature without and with hot air ( $120^{\circ}\text{C}$ ) in 915 MHz microwave heating

Thawing method	Thawing time <sup>1)</sup> (sec)	Surface temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
5 kW	90	-2.0
5 kW+120°C	60	-1.9
10 kW	60	-3.3
10 kW+120°C	40	-3.2
15 kW	30	-3.6
15 kW+120°C	25	-2.6

<sup>1)</sup>The thawing time was determined when the center temperature of sample reached to  $-1^{\circ}\text{C}$ .

르는 데 소요된 시간)을 측정한 결과, 출력이 높아지면 해동 시간이 감소하였다. 그러나, 실험 동결 돈육의 형태적 크기에서는 출력을 높일수록 표면과 중심부의 온도차가 더 증가하여 균일한 해동육을 얻는데는 바람직하지 않은 것으로 판단되었다.

Microwave와 열풍을 병행하여 가열을 하는 방법이 microwave만 조사하는 방법보다 해동 시간이 적게 소요되었다. 단일 조사하였을 때보다 915 MHz microwave와 열풍을 함께 가열하여 표면의 온도를 약  $0.1\sim 1.0^{\circ}\text{C}$  가량 상승시켜 균일한 조성의 해동육을 얻을 수 있었다. 한편, modified isotherm migration method에 의해 각 300, 915, 2,450 MHz에서 해동을 실시할 경우 출력이 미치는 영향을 예상한 결과에서 주파수가 낮은 300 MHz에서 가장 해동 시간이 가장 짧았으며, 0~500 W까지의 출력에서 해동 시간과 출력은 반비례 하며, 200 W 이상에서는 해동 시간의 감소율이 크지 않다고 보고된 바 있다<sup>(3)</sup>. 또한 해동시 microwave로 물체를 가열할 경우는 침투 깊이와 가열 효과 두 가지 측면에서 생각해서 최적의 주파수, 출력, 가열 시간을 결정해야 함을 알 수 있다.

#### 915 MHz microwave 해동에서 출력의 변화와 대류 가열 병용이 품질에 미치는 영향

915 MHz microwave를 이용하여 출력을 달리하고,  $120^{\circ}\text{C}$  대류 가열 병용 유무에 따라 drip 손실을 측정하여 Fig. 6에 나타내었다. 출력이 높아지면 대체적으로 drip 손실이 크게 나타났다. 그러나, 15 kW의 고출력에서는 drip 손실이 0.62%에 이르러 10 kW에서 보다 작았는데, 이는 중심부는 가열되었지만 표면부는  $-3.6^{\circ}\text{C}$  이어서 녹지 않았기 때문인 것으로 추측되었다.

$120^{\circ}\text{C}$  대류 가열을 병용하여 해동을 하고 drip 손실을 측정한 결과를 보면, microwave 단일 조사와 비교

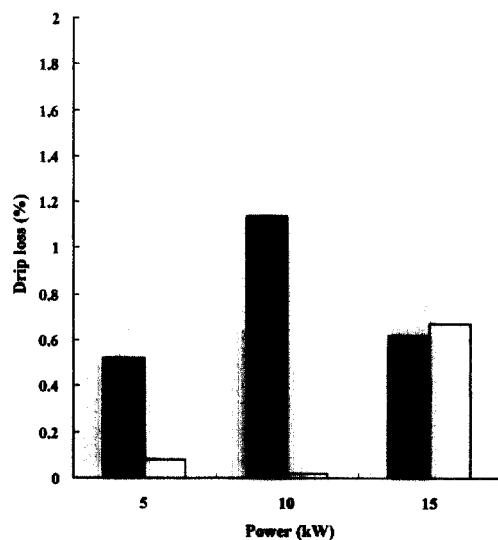


Fig. 6. Effect of microwave power on drip losses (%) without and with  $120^{\circ}\text{C}$  hot air in 915 MHz microwave heating. ■: without convection heating ( $120^{\circ}\text{C}$ ), □: cotreatment of 915 MHz microwave and convection heating ( $120^{\circ}\text{C}$ ).

할 때 열풍에 의해 표면 온도가 상승하여 비교적 균일한 온도 조성의 해동육을 얻을 수 있으므로 보수력이 좋아져서 drip 손실이 낮게 나온 것으로 판단되었다. 대류 가열이 drip 손실에 미치는 영향은 일관적이지 않았지만, 대체적으로 915 MHz microwave 단독 사용에 비해 drip 손실을 줄일 수 있었다. 전체적으로 915 MHz microwave 해동은 1.2% 이하의 낮은 drip 손실 값을 얻었다.

Fig. 7과 같이 출력의 변화와  $120^{\circ}\text{C}$  대류 가열 병용에 따른 해동 후 보수력을 측정하였다. 915 MHz microwave 단독 사용시 출력이 높을수록 보수력이 낮았다. 이는 출력이 높을수록 해동 후 표면의 온도가 낮아져 표면 온도와 해동 온도의 차이가 생겨 보수력이 낮아진 것으로 판단되었다. 그러나 대부분 70% 이상의 높은 보수력을 나타내어 915 MHz microwave가 동결육의 해동에 바람직한 것으로 나타났다.

$120^{\circ}\text{C}$  대류 가열을 병용한 경우가 보수력이 더 높았는데, 이는 육 표면을 가열시켜 온도 조성을  $0^{\circ}\text{C}$  부근으로 상승시켜 해동 온도에 근접시켜 보수력이 높아진 것으로 추측되었다. 보수력은 drip 손실과 밀접한 상관관계를 보여 보수력이 좋은 육이 일반적으로 drip 손실도 낮다고 보고되어 있다<sup>(4)</sup>. 따라서, 본 실험 재료 크기의 915 MHz microwave 해동에서는 출력이

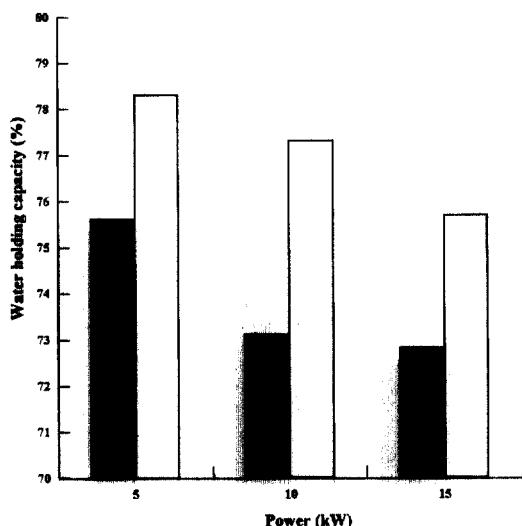


Fig. 7. Effect of microwave power on water holding capacity (%) without and with 120°C hot air in 915 MHz microwave heating. ■: without convection heating (120°C), □: cotreatment of 915 MHz microwave and convection heating (120°C).

높아질수록 microwave의 가열 효과는 비례하여 온도 상승이 컷으나 중심 가열 효과 현상이 심화되어 저출력에서 열풍을 병용한 경우에서 바람직한 해동육을 얻을 수 있음이 확인되었다.

## 요 약

본 연구는 해동중 발생하는 drip 손실, 미생물의 오염, 표면의 과열 등을 방지하면서 급속 해동 방법을 찾기 위해 동결 돈육에 여러 가지 해동 방법을 적용하였다. 4, 28, 50°C에서의 해동과 2,450, 915 MHz의 microwave를 이용하여 해동을 실시하였고, 915 MHz microwave 해동은 출력을 5, 10, 15 kW로 변화시키면서 단일 조사와 120°C의 열풍을 함께 조사한 경우를 해동시간, 온도분포, drip 손실, 보수력, 표면색도, 총 세균수를 측정하였다. 915 MHz microwave를 이용한 해동은 열전도에 의한 해동보다 2배 이상 시간이 단축되었고, 2,450 MHz microwave를 이용한 해동 방법의 침투깊이의 제한에서 발생되는 문제를 개선시킬 수 있었으며 drip 손실, 보수력, 총세균수에 있어서 효과가 커다. 저주파수(915 MHz), 저출력(5 kW)의 microwave와 대류 가열을 병용하여 품질 저하를 최소한으로 방지하면서 급속해동을 위한 산업적 이용이 가능한 것으로 기대할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 1995년 농림수산부에서 시행한 농림수산 기술개발사업에 의해 수행된 결과중의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 문 헌

- Kong, J.Y.: *Fundamentals of Frozen Food Technology* (in Korean). Hyung Sul Pub. Co., Seoul, p. 312-324 (1983).
- Jason, A.C.: Rapid thawing of foodstuffs. *IFST-Proceedings*, 7(3), 146-157 (1974).
- Taoukis, P., Davis, E.A., Davis, H.T., Gordon, J. and Talmor, Y.: Mathematical modeling of microwave thawing by the modified isotherm migration method. *J. Food Sci.*, 52(2), 455-463 (1987).
- Thuerry, J.: Thawing and tempering. In *Microwaves: Industrial, Scientific, and Medical Applications*, Grant, E.H. (Ed.), Artech House, Boston, London, p.275-297 (1991).
- Swift, J. and Tuomy, J.M.: Evaluation of microwave tempering of meat for use in central food preparation facilities. *Microwave Energy Appl. News.*, 11(1), 3-10 (1978).
- Meisel, N.: Tempering of meat by microwaves. *Microwave Energy Appl. News.*, 5(3), 3-7 (1972).
- Virtanen, A.J., Goedeken, D.L. and Tong, C.H.: Microwave assisted thawing of model frozen food using feedback temperature control and surface cooling. *J. Food Sci.*, 62(1), 150-154 (1997).
- Bialod, D., Jolion, M. and LeGoff, R.: Microwave thawing of food products using associated surface cooling. *J. Microwave Power*, 13(3), 269-274 (1976).
- Barbini, S. and Jolion, M.: Device for rapid defreezing of frozen or deep-frozen products. U.S. Patent 4,343,979 (1982).
- Kim, Y.H., Yang, S.Y. and Lee, M.H.: Quality changes of thawed porcine meat on the thawing methods (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, 22(2), 123-128 (1990).
- Ziauddin, K.S., Rao, D.N., Ramesh, B.S. and Amla, B.L.: Effect of freezing, thawing and frozen storage on microbial profiles of buffalo meat. *J. Food Sci. Technol.*, 30(6), 465-467 (1993).
- Lambert, A.D., Smith, J.P. and Dodds, K.L.: Physical, chemical and sensory changes in irradiated fresh pork packaged in modified atmosphere. *J. Food Sci.*, 57(6), 1294-1299 (1992).
- Tsai, T.C. and Ockerman, H.W.: Water binding measurement of meat. *J. Food Sci.*, 46, 697-701, 707 (1981).
- Wiericki, E., Kunkle, L.E. and Deatherage, F.E.: Changes in water holding capacity of cationic shifts during the heating and freezing and thawing of meat as revealed by a simple centrifugal method for measuring shrinkage. *Food Technol.*, 11, 69-73 (1957).
- Miller, W.O., Saffle, R.L. and Zirkle, S.B.: Factors

- which influence the water-holding capacity of various type of meat. *Food Technol.*, **22**, 1139-1142 (1968).
16. Bhattacharya, M. and Hanna, M.A.: Kinetics of drip loss, cooking loss and color degradation in frozen ground beef during storage. *J. Food Eng.*, **9**, 83-96 (1989).
17. Michael, J.L.: Heat transfer mechanisms. In *Physical Properties of Foods and Food Processing Systems*, Ellis Horwood Limited, West Sussex p.246-291 (1990).
18. Lee, Y.B. and Sung, S.K.: *Analysis Experiments in Meat and Meat Products* (in Korean). Sunjinmunhwasa, p.161-163 (1984).
19. Lee, J.K. and Park, J.: Thawing of frozen meat by microwave (in Korean). *Food Science and Industry*, **30**(3), 103-112 (1997).
20. Sanguineti, S.G., Anon, M.C. and Calvelo, A.: Effect of thawing rate on the exudate production of frozen beef. *J. Food Sci.*, **50**, 697-700 (1985).
21. Rosset, R.: Chilling, freezing, and thawing. In *Meat Microbiology*, Brown, M.H. (Ed.), Applied Science Publishers Ltd., London and New York, p.265-318 (1982).

---

(1998년 5월 6일 접수)