

## 옴가열이 전분의 열적 특성과 흡수력에 미치는 영향

†차 윤 환

승의여자대학교 식품영양과

### Effect of Ohmic Heating on Thermal and Water Holding Property of Starches

†Yun-Hwan Cha

Dept. of Food and Nutrition, SoongEui Women's College, Seoul 100-751, Korea

#### Abstract

Ohmic heating uses electric resistance heat which occurs equally and rapidly inside food when the electrical current is transmitted into. Prior to the study, we have researched the potato starch's thermal property changes during ohmic heating. Comparing with conventional heating, the gelatinization temperature and the range of potato starch treated by ohmic heating are increased and narrowed respectively. Herein, we have studied thermal property changes of wheat, corn, potato and sweet potato starch by ohmic heating as well as conventional heating. And then we measure the water holding capacity of starches. Annealing of starch is a heat treatment method heated at 3~4% below the gelatinization point. This treatment changes the starch's thermal property. In the DSC analysis of this study, the  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  of all starch levels have increased, and the  $T_c - T_o$  narrowed. In the ohmic heating, the treatment sample is extensively changed but not with the conventional heating. From the ohmic treatment, increases from gelatinization temperature are potato (8.3°C) > wheat (5.3°C) > corn (4.9°C) > sweet potato (4.5°C), and gelatinization ranges are potato (7.9°C), wheat (7.5°C), corn (6.1°C) and sweet potato (6.8°C). In the case of conventional treatment, water holding capacity is not changed with increasing temperature but the ohmic heating is increased. Water holding capacity is related to the degree of gelatinization for starch. This result show that when treated with below gelatinization temperature, the starches are partly gelatinized by ohmic treatment. When viewing the results of the above, ohmic treatment is enhanced by heating and generating electric currents to the starch structure.

Key words: ohmic heating, conventional heating, starch, thermal property, water holding capacity

#### 서 론

옴가열(ohmic heating)은 전기를 이용하는 가열 방법으로 전류가 전류저항체인 식품을 통과하는 과정 중 내부 저항에 의해 발생하는 저항열을 이용하는 가열법이다(de Alwis & Fryer 1992). 식품의 내부 전기 저항에 의해 식품의 내부부터 열이 발생하며, 전류량의 조절을 통해 내부 온도 상승의 조절이 가능하다. 고체 식품을 높은 전류로 옴가열 할 경우, 급속 가열과 균열가열이 가능하기 때문에 고품질의 제품 생산이 가능하며(Rahman MS 1999), 또한 액체와 고체 혼합물의 경

우에는 액체와 고체를 동시에 가열할 수 있기 때문에 고품질의 살균 제품을 생산하는데 이용할 수 있다(Zareifard 등 2003). 이러한 급속, 균일, 내부 가열의 특징은 재래가열이 가지고 있는 단점을 극복할 수 있는 새로운 가열방법으로 활용될 수 있다.

옴가열은 가열 특징 외에도 전기장에 의한 특성 변화가 보고되고 있다. 전기장에 식물세포가 노출되면 세포막에는 구멍이 생기게 되고, 원형질막이 선택적으로 파괴되어 이온들의 투과성이 현저히 증가하는 것으로 보고되고 있다(Rastogi 등 1999). 사탕무우를 상용전압으로 옴가열하여 betanin 색소

† Corresponding author: Yun-Hwan Cha, Dept. of Food and Nutrition, SoongEui Women's College, Seoul 100-751, Korea. Tel: +82-2-3708-9250, Fax: +82-2-3708-9121, E-mail: hplcms@sewc.ac.kr

를 추출한 결과, 재래가열을 이용한 경우보다 40% 수율이 향상되었다고 보고하였다(Schreier 등 1993). 또한, 동일한 온도 프로파일로 음가열을 이용하여 두유를 추출한 경우, 재래가열에 비해 두유의 수율, 고형분 함량과 단백질 회수율이 증가하였다(Kim & Pyun 1995). 대두단백질을 동일한 조건으로 음가열과 재래 가열법으로 열변성시킨 후 DSC를 분석할 결과, 음가열이 재래가열에 비해 열변성도가 더 높게 나타났다(Cha YH 2011). 감자 전분을 호화점 온도 이하에서 동일온도로 가열처리한 경우, 음가열 처리한 감자 전분의 호화점이 더 높은 온도로 이동하고, 호화개시점과 호화종결점의 범위가 더 좁아지는 것으로 나타났다(Cha YH 2012). 이를 통해 음가열 처리할 경우, 온도에 의한 변화 이외의 다른 변화 요인이 있다는 것을 알 수 있다.

두유를 동일한 가열 패턴으로 음가열과 재래가열에 의하여 90°C에서 30분간 가열한 후, 두유의 물리화학적 특성을 비교한 결과, 대두단백질의 surface hydrophobicity에 많은 변화가 있었다(Cha YH 2011). 전기장 처리한 불용성 분획의 경우, 재래 가열한 경우에 비해 surface hydrophobicity가 더 크게 감소하여 대두단백질의 표면이 더욱 친수성으로 변화하였고, 이런 변화는 흡수속도에 영향을 미쳐 더 빠른 속도로 수분을 흡수하는 성질로 변화하는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 이전 연구인 호화 영역보다 낮은 온도로 감

자 전분을 음가열하였을 때 전분의 열적 특성의 변화를 분석한 결과의 확장 연구로, 감자 전분뿐만 아니라 옥수수, 밀과 고구마 전분을 재래가열 방법과 음가열 방법으로 호화영역과 유리 전이온도 사이의 온도에서 온도별과 시간별로 동일하게 가열 처리한 후 DSC 분석을 하였다. 그리고 흡수력을 측정하여 음가열에 의한 효과를 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

전분은 X-선 회절도에 의해 A, B 그리고 C형으로 나누어진다. 전형적인 A전분인 밀 전분과 옥수수 전분, B형인 감자 전분, C형인 고구마 전분을 시료로 선택하였다. 감자 전분은 일본 Junsei사에서, 밀 전분과 옥수수 전분은 미국 Sigma사에서, 고구마 전분은 일본 Wako사에서 시약급 이상의 것을 구입하여 사용하였다.

### 2. 가열 장치

본 연구에 사용된 음가열 장치는 Fig 1에 개략적으로 나타내었다. 음가열 처리조는 내경이 100 mm인 유리 실린더로 외부에 jacket을 설치하였으며, 용량은 1 l로 만들었다. 음가열하는 동안 냉각수를 jacket에 흘려 계속적으로 냉각을 시켜

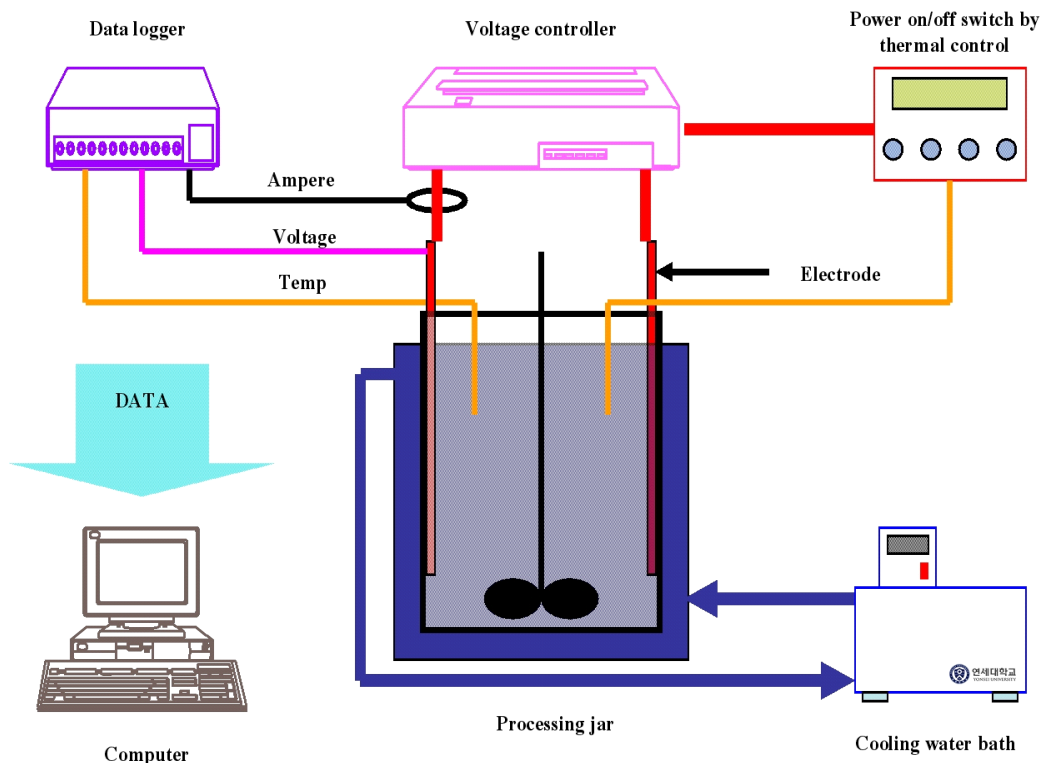


Fig. 1. Schematic diagram of ohmic heating apparatus.

좁으므로 일정한 온도를 유지하였다. 옴가열에는 500 V의 전압을 사용하였다. 500 V의 전압은 상용 전압인 220 V을 슬라 이닥스(DLC-5K300, Dae-lim Co., Korea)를 이용하여 250 V로 약간 승압한 후, 주문 제작한 2배수 전압 증폭기(Dae-lim Co., Korea)를 이용하여 500 V로 증폭시켰다. 전분 현탁액에 판형의 탄소 전극(150×25×5 mm)을 설치하고, 옴가열 중에는 현탁액에 60% 이상 잠기도록 하였다. 옴가열 중 전극 간의 거리는 90 mm를 유지하였고, 전압 구배는 55.5 V/cm로 유지하였다. 옴가열 중 교반에 의한 전분의 물리적 손상을 최소화 하기 위해 direct driving stirrer(SS-20, Young Co., Korea)로 100 rpm 이하로만 교반하였다.

온도 조절 장치는 전원 on/off 스위치(HiMC22, Hyundai industrial Co., Korea)와 T형 온도계가 부착되어 있는 온도 조절기 (DX9, Hanyoung Co., Korea)로 구성되어 있다. 옴가열 중 처리조의 온도(°C), 전압(V) 그리고 전류(A)값은 data logger(Hydra 2625A, Fluke Co., USA)로 수집하였다. 전류는 AC/DC current probe (80i-110s, Fluke Co., France)를 이용하여 측정하였다.

재래가열을 위한 장치는 기본적으로 옴가열 장치와 비슷하다. 다만 전분 가열과 온도 유지가 드라이오븐 안에서 이루어진다는 것만 차이가 있다. 재래가열 시 드라이 오븐의 온도는 옴가열 시의 온도 조절기의 설정온도와 같게 하였다.

### 3. 실험 방법

#### 1) 전분현탁액의 가열 전 후 전처리

##### (1) 전분현탁액의 제조

먼저 감자 전분, 밀 전분, 옥수수 전분 그리고 고구마 전분을 0.1%(w/v) NaCl 용액을 이용하여 20%(w/v) 전분현탁액(starch:0.1% NaCl solution=1:4)을 만들었다. 전분현탁액에 NaCl을 첨가하는 이유는 현탁액 내로 전류가 잘 흐르게 하기 위해서이다. 하지만 과량의 NaCl이 첨가될 경우, NaCl 자체에 의한 영향이 커지므로 전류를 통하게 하는 전해질로서의 역할만을 할 수 있는 0.1%(w/v) 농도로만 첨가하고, 가열 처리 후 과량의 물로 세척하여 제거하였다.

##### (2) 옴가열 처리

전분의 가열 온도는 전분의 유리전이 온도와 호화 온도 사이에서 설정하였다. 전분의 annealing에 대한 연구에 의하면 annealing 온도는 DSC에 의해 결정된 호화 개시 온도를 켈빈 온도로 바꾼 온도보다 3~4% 낮은 온도를 설정할 것을 권장하고 있다(Jacobs 등 1995). 여기에 따르면 각 전분 시료의 annealing 온도는 감자 전분은 55°C, 밀 전분은 50°C, 옥수수 전분은 60°C, 그리고 고구마 전분은 65°C로 추산된다. 본 연

구에서는 온도에 의한 영향을 알기 위해 45°C부터 각 전분의 호화 개시 온도 사이의 온도 중 몇몇을 선택하여 전분 현탁액을 24시간 동안 처리하였다. 이렇게 해서 결정된 처리온도는 감자의 경우 45, 50, 55, 60, 65°C, 밀의 경우는 45, 50, 55°C, 옥수수는 45, 55, 60, 65°C, 그리고 고구마 전분의 경우는 45, 55, 65, 70°C로 하였다. 이 처리 온도는 옴가열과 재래가열 모두에서 적용되었다. 그리고 가열 시간에 의한 영향을 알기 위해 각 전분의 annealing 온도로 6, 12, 24, 72시간 동안 가열 처리 하였다.

#### (3) 재료의 분말화

옴가열과 재래가열 처리가 끝난 전분 현탁액을 우선 증류수를 첨가하여 1,000 ml로 부피를 맞추었다. 그리고 이 현탁액을 잘 저어준 후 하룻밤 동안 냉장고에서 정치하였다. 정치 후 상층은 버리고, 침전 가열 전분은 잔존하는 NaCl을 제거하기 위해 많은 양의 물로 희석한 후, 부호너 깔대기로 여과하였다. NaCl이 전분 중에 남아 있게 되면 NaCl에 의해 전분의 DSC 분석 결과에 영향을 줄 가능성이 있어 완전히 제거하였다. 여과한 전분은 공기 중에서 건조시킨 후, 막자 사발을 이용하여 60 mesh 이상으로 분쇄한 후 DSC 분석 시료로 사용하였다.

#### 2) 전분의 시차열분석

전분의 시차열분석을 위해서 differential scanning calorimeter (DSC-2010, TA Instruments, England)을 사용하였고, 전용 프로그램(TA universal analysis)을 이용하여 데이터 처리하였다. 열분석을 하기 위해 DSC 분석 전에 인듐(indium)을 이용하여 기기보정을 하였다. 분석 중 reference cell은 알루미늄 팬에 아무 것도 넣지 않고 밀봉하여 사용하였다. 3 mg 이하의 전분 시료를 알루미늄 팬에 정확하게 무게를 달아 담고, 4배의 증류수를 첨가하였다. 다음 알루미늄 팬을 밀봉한 후 1 시간 동안 상온에서 방치하였다. 모든 시료는 30°C에서 100°C까지 10°C/min의 속도로 가열하였다. 호화 개시 온도  $T_0$ , 피크 온도  $T_p$ , 종결 온도  $T_c$ , 호화 영역은  $T_c - T_0$ , 그리고 엔탈피  $\Delta H$ 를 측정하였으며, 각 분석은 두 번 시행하여 평균값을 구하였다.

#### 3) 전분의 흡수력 측정

전분의 흡수력은 Dubios 등(2001)이 사용한 방법을 약간 수정하여 사용하였다. 가열 처리한 전분 1~2 g 정도를 부피를 쟀 수 있는 시험관에 넣고, 약 10 ml의 증류수를 넣어 교반을 한 후 6시간 정도 정치하였다. 정치 후 침전된 부분의 부피를 재 처음 전분의 무게로 나누어 흡수력(ml/g starch)으로 표시하였다.

#### 4) 생전분의 특성 측정

요오드는 전분의 아밀로오스나 아밀로펙틴의 나선형 구조 부분에 흡착되어 아밀로오스-요오드 화합물을 만들게 된다. 이 성질을 이용하여 Knutson(1986)이 발표한 방법을 이용하여 시료 전분의 아밀로오스 함량을 측정하였다. 전분 1~5 mg에  $6 \times 10^{-3}$  M 농도로 요오드를 녹인 90% DMSO 수용액 10 ml를 첨가한 다음, 상온에서 하룻밤동안 정치하였다. 전분이 완전히 녹은 후 1 ml를 취하여 8 ml의 증류수와 섞은 후 교반하였다. 이 혼합 과정 중 발색이 되는데, 발색은 교반 30분 후에 최대값을 나타내므로 30분이 지난 후 600 nm에서 흡광도(SU530, Beckman Co., USA)를 측정하였다.

전분의 수분 함량은 수분 측정 장치(MA-30, Sartorius, Germany)를 이용하여 측정하였다. 전분 2~3 g을 수분 측정 장치의 스테인레스 팬 위에 올린 후 105°C로 30분간 가열하였다. 가열이 끝나면 수분 측정 장치의 표시 창에 수분 함량이 자동으로 나타나게 된다. 수분 함량은 DSC, 아밀로오스 함량 등의 항수 측정 시 전분의 무게 보정에 사용되었다.

전분의 전기전도도를 측정하기 위해 고안된 장치는 기본적으로 음가열 장치와 비슷하다. 전기전도도 측정에는 음가열 장치에 사용되는 data logger, 온도계, 전력 승압기, probe와 동일한 전압을 사용하였고, 전극의 모양만 달리 하여 사용하였다. 전기전도도를 측정할 때는 폭 0.5 cm의 판형 스테인레스 전극을 사용하였고, 전극간 거리는 1.2 cm로 하였다. 전도도 측정 시 전극 간에 걸리는 전압 구배는 416 V/cm였다. 전기 전도도를 측정하는 순서는 다음과 같다. 증류수에 현탁시킨 20% 전분 현탁액에 스테인레스 전극을 0.6 cm 정도 담구고, 416 V/cm의 전압 구배를 걸어 준 후 전류(A), 전압(V), 그리고 온도(°C) 변화를 5초 단위로 측정하여 컴퓨터에 저장하였다. 그리고 전분 현탁액의 전기전도도를 아래 식을 통해 구하였다.

$$\sigma = IL/UHB$$

여기서  $\sigma$ 는 전기전도도, I는 전류(A), L은 전극간의 거리(m), U는 전압(V), H는 전극이 현탁액 중에 담겨진 거리(m), B는 전극의 폭(m)을 나타낸다. 이 중 L값, U값, 그리고 B값은 고정되어 있는 값으로 본 실험의 경우에는 각각 0.012 m, 500 V 그리고 0.005 m이었다.

## 결과 및 고찰

### 1. 생전분 시료의 특성 분석

본 연구에 시료로 사용한 감자 전분, 밀 전분, 옥수수 전분, 및 고구마 전분의 특성을 측정하여 Table 1에 나타내었다. DSC 분석을 통해 구한 4가지 전분 중 호화 개시 온도( $T_0$ )가

**Table 1. Characteristics of native starches used in this study**

	Type A		Type B	Type C
	Wheat	Corn	Potato	Sweet potato
Gelatinization parameters by DSC <sup>a</sup>				
$T_0$ (°C)	58.0	66.5	60.3	72.2
$T_p$ (°C)	63.1	70.8	65.9	77.9
$T_c$ (°C)	67.9	75.3	72.4	82.6
$T_c - T_0$ (°C)	9.9	8.8	12.1	10.4
$\Delta H$ (J/g)	7.8	6.2	14.3	8.9
Amylose content(%)	32.3	32.2	33.2	30.5
Moisture content(%)	11.33	9.9	15.67	14.91
Conductivity(mS/m) <sup>b</sup>	559.3	261.4	265.6	247.2

<sup>a</sup>  $T_0$ : onset temperature,  $T_p$ : peak temperature,  $T_c$ : conclusion temperature.  $T_c - T_0$ : gelatinization range.  $\Delta H$ : enthalpy

<sup>b</sup> Electrical conductivity of 20% starch suspension at 30°C.

가장 높은 전분은 고구마 전분으로 72.2°C였고, 가장 낮은 전분은 밀 전분으로 58.0°C이었다. 이 호화 개시 온도를 기준으로 각 전분의 가열 처리 온도를 결정하였으며, 이에 대해서는 이미 재료 및 방법에 설명하였다. 전분의 호화영역의 폭( $T_c - T_0$ )을 통해 전분 구조의 상동성(homology)을 판단할 수 있다(Stute 1992). 호화영역의 폭이 작으면 그만큼 전분 구조들은 비슷한 구조를 가지고 있어 상동성이 높다는 것을 의미하며, 반대로 호화영역의 폭이 넓으면 상동성이 작다는 것을 의미한다. 옥수수 전분의 경우, 호화영역의 폭이 8.9°C로서 구조 상동성이 가장 높았고, 감자 전분은 12.1°C로 가장 낮은 상동성을 보였다. DSC 측정에서 엔탈피 값( $\Delta H$ )의 크기는 상 전이(phase transition)때문에 이화학적 특성의 변화가 일어날 가능성을 시사하는 것으로 전분 입자 크기가 증가하면 엔탈피 역시 증가하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 전분의 크기 중 감자 전분의 입자 크기(5~100  $\mu\text{m}$ )가 가장 크다고 알려져 있는데, 엔탈피 값 역시 가장 큰 14.3 J/g을 나타내었다. 그 외 전분의 호화 특성에 영향을 줄 수 있는 아밀로오스 함량과 음가열에서 중요한 30°C에서의 전기전도도를 측정하였다.

### 2. 가열 처리한 전분의 열적 특성

전분 현탁액을 호화 개시 온도( $T_0$ ) 이하의 온도에서 음가열할 때 가열 시간과 가열 온도는 전분 특성에 영향을 미칠 것이다. 일반적으로 전분의 호화점보다 3~4% 정도 낮은 온도로 가열 처리하는 것은 전분의 annealing이라 한다. 전분의 annealing에 대한 연구결과에 의하면 annealing 처리한 전분의

경우,  $T_p$ 가 높은 온도로 이동하고 thermogram의 peak 범위가 좁아지는 것으로 보고하였고(Chung 등 2000), Stute R(1992)은 DSC thermogram의 이런 변화가 annealing 처리에 의해 전분의 팽윤과 수화 그리고 입자 내의 결정 영역의 용융이 생전분보다 균일하다는 것을 의미한다고 하였다.

재래가열방법 및 옴가열에 의하여 24시간 가열한 감자(55°C), 밀(50°C), 옥수수(60°C) 및 고구마 전분(65°C)의 DSC thermogram을 Fig. 2과 Table 2에 비교하여 나타내었다. 4개의 전분 시료는 모두 가열처리에 의하여 호화곡선이 고온 측으로 이동하였으나, 그 중에서 감자 전분의 열적 특성 변화가 가장 컸다. 호화 특성 값 중에서 호화 개시 온도( $T_0$ )의 변화가 가장 현저하였으며, 호화 종료 온도( $T_c$ )는 비교적 작았다.

생전분에 비하여 재래가열한 전분의  $T_p$  증가분(가열 전분의  $T_p$ -생전분의  $T_p$ )은 감자 전분(3.8°C)>밀 전분(1.3°C)>고구마 전분(1.1°C)>옥수수 전분(0.3°C) 순이었으며, 옴가열한 전분의 경우  $T_p$  증가분 감자 전분(8.3°C)>밀 전분(5.3°C)>옥수수 전분(4.9°C)>고구마 전분(4.5°C) 순이었다. 한편,  $\Delta H$ 는 곡류 전분인 밀과 옥수수 전분의 경우, 가열 처리에 의하여 현저히 증가하였으나, 가열방법에 따른 차이는 거의 없었다. 이는 옴가열로 가열 처리한 전분의 annealing 효과가 재래가열보다 훨씬 크며, 동일 온도로 가열했다는 것을 감안하면 이는 전기장에 그 원인이 있다는 것을 의미한다.

유리 전이 온도와 호화 개시 온도 사이에서 가열 온도를 달리하여 옴가열과 재래가열 처리한 각 시료 전분의 열적 특성의 변화를 Table 3에 정리하여 나타내었다. 먼저 밀 전분의 경우, 가열방법에 관계없이 가열 온도가 증가함에 따라  $T_p$ 가 미세하게 증가, 호화영역은 약간 감소하였다. 재래가열의 경

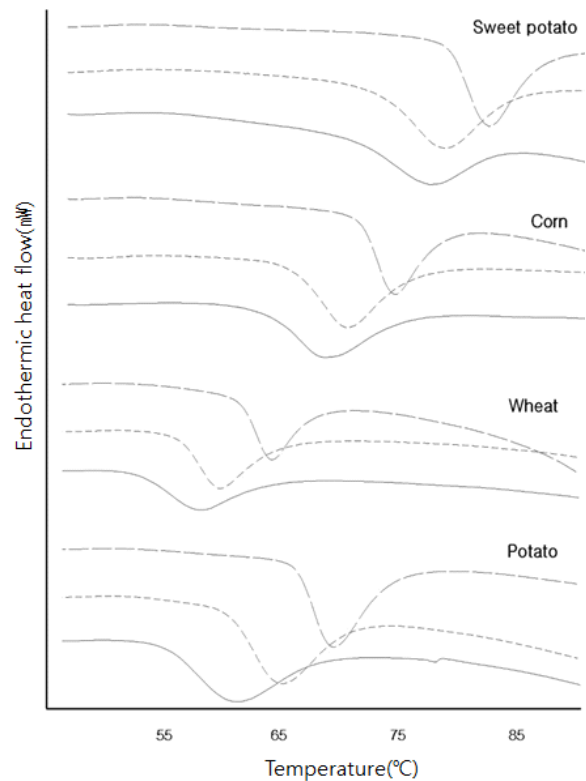


Fig. 2. Differential scanning calorimetry patterns of native(——), conventional(-----) and ohmic(-·-·-) heated potato, wheat, corn, and sweet potato starches were heated at 55, 50, 60, and 65°C, respectively, for 24 h.

우, 가열 온도를 45°C에서 55°C로 증가시키면  $T_p$ 는 63.1°C에서 65.8°C로 증가하였고,  $T_c - T_0$ 는 8.1°C에서 6.7°C로 감소하였

Table 2. DSC data of native and heated starches for 24 h

Starch	Heating temperature(°C)	$T_0$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_c - T_0$ (°C)	$\Delta H$ (J/g starch)
Potato	Native	60.3	65.9	72.4	12.1	14.3
	Heated by CH(55°C)	65.5	69.7	75.3	9.8	15.4
	OH(55°C)	71.1	74.2	79.0	7.9	15.0
Wheat	Native	58.0	63.1	67.9	9.9	7.8
	Heated by CH(50°C)	61.2	64.6	69.2	8.0	10.0
	OH(50°C)	65.3	68.4	72.8	7.5	10.2
Corn	Native	66.5	70.8	75.3	8.8	6.2
	Heated by CH(60°C)	66.4	71.1	75.0	8.6	10.6
	OH(60°C)	72.8	75.3	78.9	6.1	9.3
Sweet potato	Native	72.2	77.9	82.6	10.4	8.9
	Heated by CH(65°C)	73.9	79.0	84.2	10.3	14.6
	OH(65°C)	79.4	82.4	86.2	6.8	11.6

Onset( $T_0$ ), peak( $T_p$ ), and conclusion( $T_c$ ) temperatures, gelatinization range( $T_c - T_0$ ) and enthalpy( $\Delta H$ ).

CH means conventional and OH means ohmic heating.

다. 옴가열의 경우는 변화 폭이 약간 커  $T_p$ 는 65.9°C에서 70.5°C로 증가하였고,  $T_c - T_o$ 는 7.7°C에서 6.4°C로 감소하였다. 엔탈피는 재래가열과 옴가열의 경우, 모두 50°C에서 최대였고, 55°C에서는 감소하였다. 특히 옴가열의 경우, 50°C에 비하여 55°C에서  $\Delta H$ 가 현저히 감소하여 감자 전분에서와 같이 전기장에 의하여 부분적인 호화가 촉진된 것으로 생각되었다.

한편, 옥수수 전분의 DSC data는 재래 가열한 경우, 감자 전분과 밀 전분과는 약간 다른 양상을 보였다. 재래 가열 방법으로 처리한 옥수수 전분의 경우, 가열 온도가 증가하여도  $T_p$ 와  $T_c - T_o$ 가 거의 변화하지 않았다. 이와 같은 결과를 미루어 보아 옥수수 전분은 45-65°C 범위에서 24시간 동안 열처리 하였을 때 전분 구조의 변화가 다른 전분에 비해 매우 적은 것으로 생각된다. 이에 비하여 옴가열 처리한 옥수수 전분의 경우  $T_p$ 가 71.5°C에서 77.6°C로 총 6.1°C나 증가하였고, 호화영역의 폭 역시 9.0°C에서 5.8°C로 3.2°C나 감소하였다. 재래가열에 비해 옴가열 시 전기장에 의해 전분의 구조 변화가 옥수수 전분의 경우 가장 명확하게 나타났다. 45°C로 가열한 옥수수 전분의 호화엔탈피는 생전분에 비하여 약 2배 증가하여 최대값을 보였고, 가열 온도가 증가함에 따라 서서히 감소

하였다. 그러나 65°C로 옴가열한 경우는 재래 가열 방법으로 가열한 전분에 비하여  $\Delta H$ 가 현저히 감소하였다.

고구마 전분의 열적 특성은 옥수수 및 밀 전분과 감자 전분의 중간 정도의 변화를 보였다. 그러나 다른 전분에 비하여 가열에 따른 열적 특성 변화에 차이가 있었다. 즉, 재래가열의 경우, 가열 온도 55°C까지는 열적 특성의 변화가 거의 없었고, 65°C부터 특성값이 변하였다. 이에 대하여 옴가열의 경우는 가열 처리 온도 45°C부터 70°C까지 온도가 증가함에 따라 지속적으로 변하여  $T_c$ 값의 경우 거의 90°C까지 증가하였다.  $\Delta H$ 는 재래가열방법으로 가열한 경우, 65°C에서 최대값을 나타내고 그 이후 감소하였으나, 옴가열한 경우는 55°C에서 최대값을 나타내고, 그 이상의 온도에서 감소하였다.

### 3. 가열 처리한 전분의 흡수력

Fig. 3에서 annealing 온도에서 각 전분의 가열 시간에 따른 전분의 흡수력 변화를 살펴보면 옴가열한 경우, 옥수수와 밀 전분은 가열 24시간 이후, 감자 전분은 가열 72시간 이후, 고구마 전분은 가열 6시간 이후부터 흡수력이 현저히 증가하였으나, 재래방법으로 가열한 모든 전분 시료는 가열 시간에 관

**Table 3. Summary of DSC data of native and heated starches by conventional and ohmic heating methods for 24 h**

DSC data	Native	Conventional heating temperature(°C)						Ohmic heating temperature(°C)						
		45	50	55	60	65	70	45	50	55	60	65	70	
Potato	$T_o$ (°C)	60.3	61.2	-	65.6	66.6	67.0	-	64.4	-	71.1	71.5	-	-
	$T_p$ (°C)	65.9	66.9	-	69.7	70.1	70.7	-	69.3	-	74.2	74.4	-	-
	$T_c$ (°C)	72.4	73.1	-	75.3	75.7	76.2	-	75.7	-	79.0	79.0	-	-
	$T_c - T_o$ (°C)	12.1	11.9	-	9.9	9.1	9.2	-	11.3	-	8.0	7.5	-	-
	$\Delta H$ (J/g)	14.3	13.4	-	15.4	15.1	14.2	-	14.0	-	15.0	8.1	-	-
Wheat	$T_o$ (°C)	58.0	59.4	61.2	62.8	-	-	-	62.8	65.3	67.5	-	-	-
	$T_p$ (°C)	63.1	63.1	63.1	65.8	-	-	-	65.9	68.4	70.5	-	-	-
	$T_c$ (°C)	67.9	67.4	67.4	69.5	-	-	-	70.5	72.8	73.9	-	-	-
	$T_c - T_o$ (°C)	9.9	8.1	8.1	6.7	-	-	-	7.7	7.4	6.4	-	-	-
	$\Delta H$ (J/g)	7.8	9.3	9.3	9.0	-	-	-	9.1	10.2	3.3	-	-	-
Corn	$T_o$ (°C)	66.5	67.1	-	66.6	66.4	68.6	-	66.4	-	69.8	72.8	75.1	-
	$T_p$ (°C)	70.8	71.5	-	70.7	71.1	72.3	-	71.5	-	72.9	75.3	77.6	-
	$T_c$ (°C)	75.3	75.8	-	75.4	75.0	76.7	-	75.5	-	76.5	78.9	80.9	-
	$T_c - T_o$ (°C)	8.8	8.8	-	8.8	8.6	8.1	-	9.0	-	6.7	6.0	5.8	-
	$\Delta H$ (J/g)	6.2	11.9	-	10.7	10.6	9.2	-	12.3	-	10.5	9.3	5.3	-
Sweet potato	$T_o$ (°C)	72.2	71.3	-	73.1	-	73.9	75.9	71.3	-	74.1	-	79.4	82.8
	$T_p$ (°C)	77.9	76.3	-	77.6	-	79.0	80.1	76.7	-	79.1	-	82.4	85.0
	$T_c$ (°C)	82.6	81.3	-	81.8	-	84.2	84.9	82.2	-	83.9	-	86.2	88.4
	$T_c - T_o$ (°C)	10.4	10.0	-	8.7	-	10.3	9.0	10.9	-	9.8	-	6.8	5.6
	$\Delta H$ (J/g)	8.9	7.3	-	7.1	-	14.6	9.6	10.9	-	14.6	-	11.6	7.1

Onset( $T_o$ ), peak( $T_p$ ), and conclusion( $T_c$ ) temperatures, gelatinization range( $T_c - T_o$ ) and enthalpy( $\Delta H$ ).

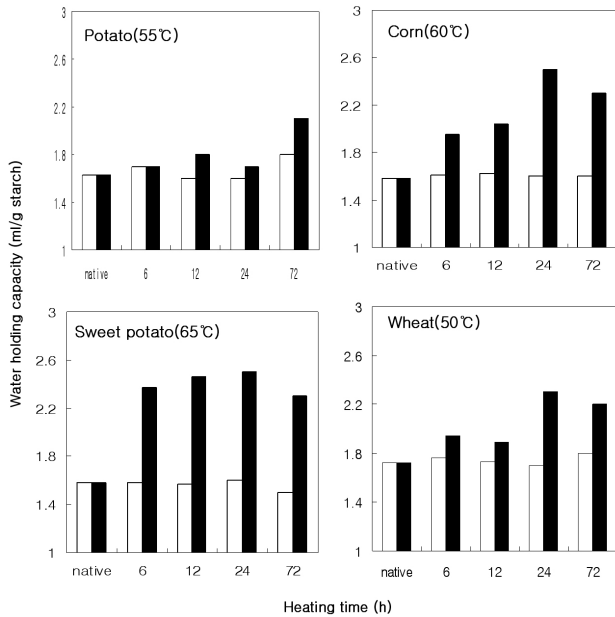


Fig. 3. Effect of heating time on water holding capacity of starches heated by conventional(□) and ohmic(■) heating methods at annealing temperature.

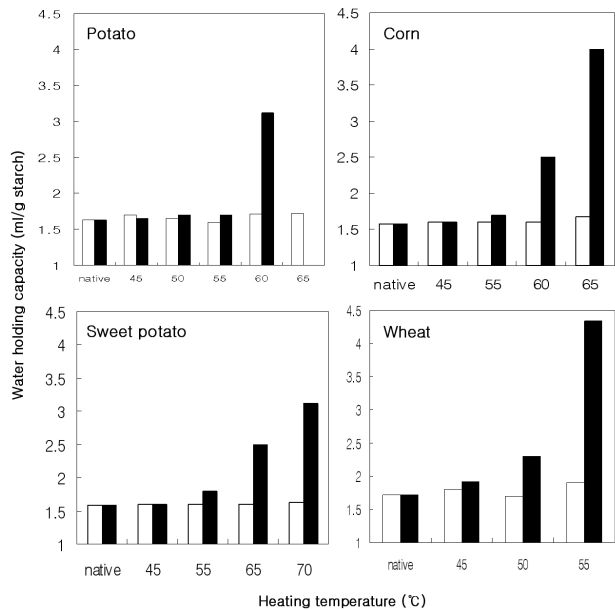


Fig. 4. Effect of heating temperature on water holding capacity of starches heated by conventional(□) and ohmic(■) heating methods for 24 h.

계없이 흡수력에 변화가 없었다.

한편, 가열 온도를 달리하여 각 전분 시료를 24시간 가열 하였을 때 가열온도가 전분의 흡수력에 미치는 영향을 Fig.

4에 나타내었다. 재래방법으로 호화개시온도 이하에서 가열 한 경우, 모든 전분 시료의 흡수력은 가열온도에 관계없이 생 전분과 거의 동일한 값을 나타내었다. 그러나 옴가열한 경우에는 감자 전분은 60°C, 옥수수 전분은 60°C, 밀 전분은 50°C, 고구마 전분은 65°C 이상에서 각각 흡수력이 현저히 증가하여 옴가열에 의하여 전분 입자 일부가 파괴되고 팽윤된 것으로 추측된다. Pinnavaia 등(1998)은 감자, 밀과 보리 전분의 호 화도와 흡수력의 증가는 서로 비례한다고 보고하였다. 따라서, 옴가열에 의한 흡수력의 증가는 전분의 부분적 호화에서 기인한 것이다. 결과적으로 옴가열할 경우, 온도와 더불어 전 기장이 호화를 촉진시키는 것을 알 수 있었다.

### 결론 및 요약

옴가열은 식품에 전류를 통과시키면 내부에서 균일하게 급속히 전기저항열이 발생하는 원리를 이용한 내부 가열법 (internal heating method)이다. 이전 연구에서 감자 전분을 동 일한 온도 조건으로 옴가열한 경우, 재래가열한 경우보다 열 적 특성의 변화가 더 크게 나타났다. 본 실험에서는 감자 전 분 외에 옥수수, 밀과 고구마 전분도 옴가열과 재래가열 처 리한 후 DSC를 이용하여 열적 특성(thermal property) 변화와 흡 수력의 차이를 실험하였다.

호화점보다 3~4% 밀의 온도를 전분의 annealing 온도라 한 다. 이 온도에서 전분을 가열 처리하면 전분의 호화점은 상승 하고 호화영역은 좁아진다. 본 실험에서 annealing 온도로 24 시간 처리한 모든 전분에서 재래가열한 경우, 보다 옴가열할 경우 annealing 효과는 크게 나타났다. 생전분에 비하여 재래 가열한 전분의  $T_p$  증가분(가열 전분의  $T_p$  - 생전분의  $T_p$ )은 감 자 전분(3.8°C) > 밀 전분(1.3°C) > 고구마 전분(1.1°C) > 옥수수 전 분(0.3°C) 순이었으며, 옴가열한 전분의 경우,  $T_p$  증가분은 감 자 전분(8.3°C) > 밀 전분(5.3°C) > 옥수수 전분(4.9°C) > 고구마 전 분(4.5°C) 순으로 옴가열에서의 변화가 컸다. 호화영역의 경 우, 감자, 밀, 옥수수와 고구마 전분에서 각각 7.9, 7.5, 6.1과 6.8°C로 재래가열에 비해 좁게 나타났다.

흡수력의 경우, 낮은 온도에서 annealing 온도로 가열 온도를 올릴수록 옴가열 처리한 경우는 흡수력이 증가하였으나, 재래가열은 크게 변화가 없었다. 흡수력의 증가는 호화 정도 와 연관이 깊다는 것을 통해 보았을 때, 옴가열에 의해 호화 점 이하에서도 부분적 호화가 진행된 것으로 생각된다.

동일한 온도에서 동일 시간 동안 가열 처리하였음에도 옴 가열한 경우, annealing 효과가 더 크게 나타나고, 흡수력의 증가도 더 큰 것을 통해 보았을 때, 옴가열 시 온도 이외에 전기장에 의해 영향이 전분의 특성 변화를 촉진한 것으로 생 각된다.

## 감사의 글

본 연구는 2013년도 승의여자대학교 교내 연구비 지원에 의해 연구된 것으로 이에 감사드립니다.

## References

- Cha YH. 2011. Effect of ohmic heating on characteristics of heating denaturation of soybean protein. *Korean J Food & Nutr* 24:740-745
- Cha YH. 2012. Effect of ohmic heating at subgelatinization temperatures on thermal-property of potato starch. *Korean J Food & Nutr* 25:1068-1074
- Chung KM, Moon TW, Chun JK. 2000. Influence of annealing on gel properties of mung bean starch. *Cereal Chem* 77: 567-571
- de Alwis AAP, Fryer PJ. 1992. Operability of the ohmic heating process: electrical conductivity effects. *J Food Eng* 15:21-48
- Dubois I, Picton L, Muller G, Audibert-Hayet A, Doublier JL. 2001. Structure/rheological properties relations of cross-linked potato starch suspensions. *J App Polymer Sci* 81:2480-2489.
- Jacobs H, Eerlingen RC, Clauwaert W, Delcour JA. 1995. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. *Cereal Chem* 72:480-487.
- Kim JS, Pyun YR. 1995. Extraction of soybean milk using ohmic heating. *Kor Soybean Digest* 12:33-38
- Knutson CA. 1986. A simplified colorimetric procedure for determination of amylose in maize starches. *Cereal Chem* 63:89-92.
- Pinnavaia G, Pizzirani S. 1998. Evaluation of the degree of gelatinization of starchy products by water holding capacity. *Starch/Stärke* 50:64-67.
- Rahman MS. 1999. Handbook of Food Preservation, Rahman, M.S., (Ed.), Dekker. Inc. pp. 1-10, 521-532
- Rastogi NK, Eshtiaghi MN, Knorr D. 1999. Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots. *J Food Sci* 64:1020-1023
- Schreier PJR, Reid DJ, Fyer PJ. 1993. Enhanced diffusion during the electrical heating of foods. *Int J Food Sci Technol* 22:249-260
- Stute R. 1992. Hydrothermal modification of starches: The difference between annealing and heat/moisture treatment. *Starch/Stärke* 44:205-210
- Zareifard MR, Ramaswamy HS, Trigui M, Marcotte M. 2003. Ohmic heating behavior and electrical conductivity of two-phase food systems. *Food Sci Emerg Technol* 4:45-55

---

접 수 : 2014년 1월 7일  
 최종수정 : 2014년 2월 6일  
 채 택 : 2014년 2월 10일