

## 호화점 이하에서 옴가열이 감자 전분의 열적특성에 미치는 영향

†차 윤 환

승의여자대학 식품영양과

### Effect of Ohmic Heating at Subgelatinization Temperatures on Thermal-property of Potato Starch

†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 of food when electrical current is flown into. In other study, we researched about soybean protein's characteristic changes by ohmic heating. Nevertheless treated same temperature, denaturation of soybean protein were accelerated by ohmic heating than conventional heating. In this time, we studied thermal property change of potato starch by ohmic heating besides conventional heating. For this purpose, potato starch was heated at same subgelatinization temperature by ohmic and conventional heating. And thermal properties were tested using DSC. Annealing of starch is heat treatment method that heated at 3~4% below the gelatinization point. DSC analysis results of this study, the  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  of potato starch levels were increased, whereas  $T_c \sim T_o$  was narrowed. This thermal property changes appear similar to annealing's result. It is thought the results shown in this study, because the heating from below the gelatinization point. 6, 12, 24, 72, and 120 hours heating at 55°C for potato starch,  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  values continue to increased with heating time increase. The gelatinization temperature of raw potato starch was 65.9°C and the treated starch by conventional heating at 55°C for 120 hr was 72°C, ohmic was 76°C. The gelatinization range of conventional (72 hr) was 10°C, ohmic was 8°C. In case of 24 hours heating at 45, 50, 55, 60, 65°C for potato starch, the result was similar to before.  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  values continue to increased and gelatinization range narrowed with heating temperature increase. In case of conventional heating at 60°C, the results of gelatinization temperature and range were 70.1°C and 9.1°C. And ohmic were 74.4°C and 7.5°C. When viewed through the results of the above, the internal structure of starch heated by ohmic heating was found that the shift to a more stable form and to increase the homology of the starch internal structure.

Key words: ohmic heating, conventional heating, potato starch, subgelatinization temperature, thermal property, differential scanning calorimeter (DSC)

#### 서 론

옴가열(ohmic heating)은 전기를 이용하는 가열 방법으로 많은 종류의 식품에 산업적으로 이용이 가능하다. 옴가열은 전류가 식품을 통과하는 과정 중 내부 저항에 의해 발생하는 저항열이다(de Alwis & Fryer 1992). 가열 물질의 전기 저항에

의해 내부에서 열이 발생하며, 전류의 양을 조절함으로써 급격한 온도 상승이 가능하다. 고체 식품을 옴가열할 경우, 급속가열과 균열가열이 가능하기 때문에, 고품질의 제품 생산이 가능하며(Rahman MS 1999), 액체와 고체 혼합물의 경우에는 액체와 고체를 동시에 가열할 수 있기 때문에 고품질의 살균 제품을 생산하는데 이용할 수 있다(Zareifard 등 2003).

† Corresponding author: Yun-Hwan Cha, Dept. of Food and Nutrition, SoongEui Women's College, Seoul 100-751, Korea. Tel: +82-2-3708-9250, Fax: +82-2-3708-9212, E-mail: hplcms@sewc.ac.kr

이러한 특징은 재래가열(conventional heating)이 가지고 있는 단점을 극복할 수 있는 새로운 가열방법으로 활용될 수 있다.

식물세포가 전기장에 노출되면 세포막에는 이온들이 통과할 수 있는 구멍이 생기게 되고, 원형질막이 선택적으로 파괴되어 투과성이 현저히 증가하는 것으로 보고되고 있다(Rastogi 등 1999). 상용전압을 사용하여 사탕무를 음가열하여 betanin 색소를 추출한 결과, 재래가열한 경우보다 40% 수율이 향상되었다고 보고하였다(Schreier 등 1993). 또한, 대두를 음가열하여 두유를 추출한 경우, 재래가열에 비해 두유의 수율이 증가했을 뿐만 아니라, 고형분 함량과 단백질 회수율도 증가하였다(Kim & Pyun 1995). 대두단백질을 동일한 조건으로 음가열과 재래가열법으로 열변성시킨 후 DSC를 분석한 결과, 음가열이 재래가열에 비해 열변성도가 더 높게 나타났다(Cha YH 2011). 이를 통해 음가열 처리할 경우, 재래가열과 달리 온도 이외의 다른 변화 요인이 있다는 것을 알 수 있다.

전분의 구조는 온도에 의해 큰 영향을 받으며, 전분은 일반적으로 온도에 대해 몇 가지 중요한 온도점을 갖는다. 즉, 유리 전이 온도(glass transition temperature), annealing 온도(annealing temperature), 호화 온도(gelatinization temperature)가 바로 그것이다. 이 세 가지 온도는 DSC 분석 결과로 구할 수 있는데, Fig. 1에 자세히 나타내었고, DSC(Differential Scanning Calorimeter) 분석 data 역시 간단히 표시하였다.

유리 전이 온도 ( $T_g$ )는 고분자의 물리적 특성에 영향을 미치는 가장 중요한 인자이다. 유리 전이 온도란 무정형의 유리질 상태의 고분자 구조가 가열했을 때 점차 고무질 상태로 변하는 온도이다. 일반적으로 완전한 유리질 고분자인 경우에는  $T_g$ 가 분명하지만, 전분은 무정형 부분과 결정 부분이 혼합되어 있으므로 유리 전이 온도를 측정하기가 쉽지 않다. 그러나 고감도 DSC를 사용할 경우, 결정 정도가 다른 생전분의

$T_g$ 를 측정할 수 있다(Mizumo 등 1998; Benczedi 등 1998). 수분은 무정형 전분에 아주 효과적인 가소제로서, 전분과 물의 비율은  $T_g$ 에 결정적인 영향을 미친다.

호화(gelatinization)란 전분을 물 속에서 가열했을 때 발생하는 전분의 분자 변화를 의미한다. 호화 과정을 통해 전분은 상대적으로 소화가 되지 않는 반결정 구조에서 소화가 잘 되는 무정형 구조로 바뀌게 된다. 호화과정은 먼저  $T_g$  부근 온도에서 무정형 영역이 수화되면서 동시에 유리질에서 고무질로 전이된다. 그 결과, 무정형 영역에서 분자의 이동이 용이해져 분자의 비가역적인 전이가 일어나고, 결정 영역 중의 이중나선 구조가 해리되며, 전분 입자가 팽윤된다. DSC에 의해 결정된 호화개시온도( $T_0$ )는 이와 같은 과정의 시작을 나타내고, 그 뒤에 피크온도( $T_p$ ), 종결온도( $T_c$ )를 나타낸다.  $T_c$  이상의 온도에서는 아밀로펙틴의 이중나선들도 모두 해리된다. 그러나 팽윤된 전분 입자 구조는 더 높은 온도에서도 유지된다. 95°C 이상에서는 무정형 젤(amorphous gel)이 형성되고,  $T_c$ 에서  $T_0$  사이의 온도 범위를 호화영역(gelatinization period)이라 부른다. 일반적으로 호화 영역 이하의 온도에서는 전분의 물리·화학적 성질 변화는 매우 제한적으로만 일어난다.

본 연구에서는 호화 영역보다 낮은 온도로 감자 전분을 음가열하였을 때 전분의 열적 특성의 변화를 분석하였다. 이를 위하여 감자 전분을 재래가열 방법과 음가열 방법으로 호화 영역과 유리전이온도 사이의 온도에서 온도별과 시간별로 동일하게 가열 처리한 후 DSC 분석을 하였다.

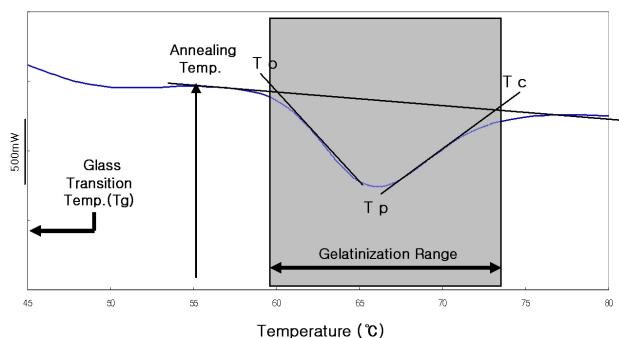
## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

실험에 사용된 감자 전분은 일본 Junsei사 제품을 시약급 이상의 것을 구입하여 사용하였다.

### 2. 실험 장치

본 연구에 사용된 음가열 장치는 Fig 2에 개략적으로 나타내었다. 음가열 처리조는 내경이 100 mm인 유리 실린더로 외부에 jacket을 설치하였으며, 용량은 1,000 ml로 만들었다. 음가열하는 동안 냉각수를 jacket에 흘려 계속적으로 냉각을 시켜줌으로써 일정한 온도를 유지하였다. 음가열에는 500 V의 전압을 사용하였다. 500 V의 전압은 상용 전압인 220 V를 슬라이더스-5K300(Dae-lim Co., Paju, Korea)를 이용하여 250 V로 약간 승압한 후, 2배수 전압 증폭기-100VA TR(Dae-lim Co., Paju, Korea)를 이용하여 500 V로 증폭시켰다. 전분 현탁액에 판형의 탄소 전극(150×25×5 mm)을 설치하고, 음가열 중에는 현탁액에 60% 이상 잠기도록 하였다. 음가열 중 전극간의 거리는 90 mm를 유지하였고, 전압구배는 55.5 V/cm로 유지



$T_0$  (°C) : onset temperature  
 $T_p$  (°C) : peak temperature  
 $T_c$  (°C) : conclusion temperature  
 $T_c - T_0$  (°C) : gelatinization range  
 $\Delta H$  (J/g) : enthalpies

Fig. 1. Typical pattern of DSC thermogram.

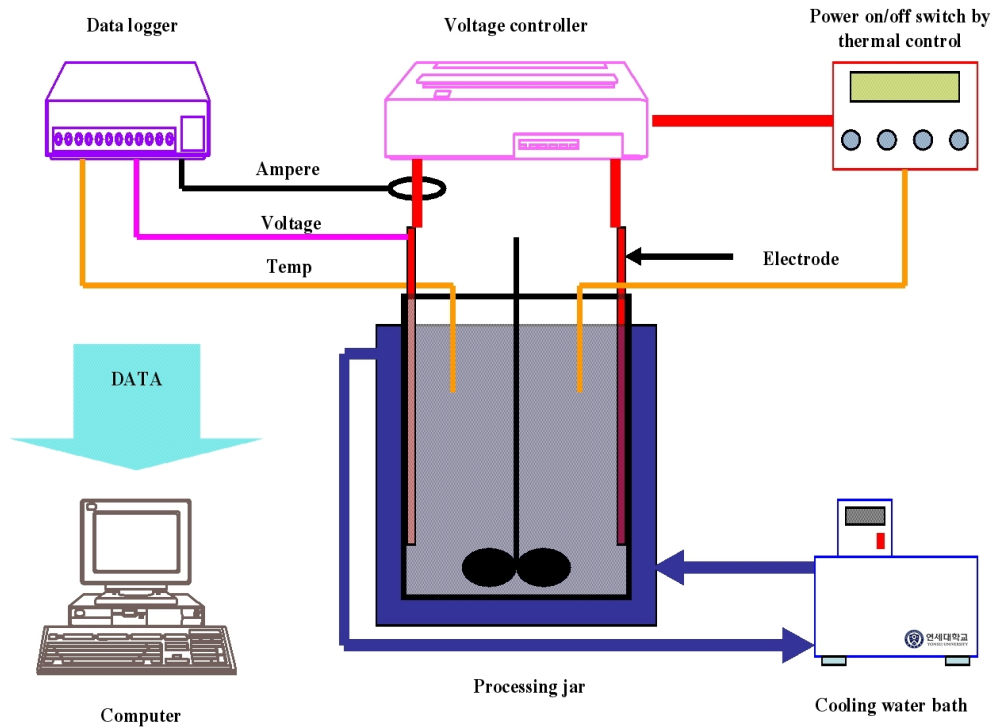


Fig. 2. Schematic diagram of ohmic heating apparatus.

하였다. 옴가열 중 교반에 의한 전분의 물리적 손상을 최소화 하기 위해 direct driving stirrer(Young Co., Seoul, Korea)로 100 rpm 이하로만 교반하였다.

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

재래가열을 위한 장치는 기본적으로 옴가열 장치와 비슷하다. 다만 전분 가열과 온도 유지가 항온기 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 전분을 0.1% NaCl 용액을 이용하여 20%(w/v) 전분 현탁액(starch : 0.1% NaCl solution=1 : 4)을 만들고, 옴가열 장치와 재래가열 장치에서 24시간 동안 가열 처리하였다.

전분현탁액에 NaCl을 첨가하는 이유는 현탁액 내로 전류가 잘 흐르게 하기 위해서이다. 하지만 과량의 NaCl이 첨가될 경우, NaCl 자체에 의한 영향이 커지므로 전류를 통하게 하는 전해질으로써의 역할만을 할 수 있는 0.1% 농도로만 첨가하고, 가열 처리 후 과량의 물로 세척하였다.

#### (2) 옴가열 처리

가열 온도는 호화개시온도  $T_0$  부근까지 넓은 온도 범위에서 가열하였다. 온도에 의한 영향을 보기 위해 45°C부터 감자 전분의  $T_0$  사이의 45, 50, 55, 60, 65°C의 온도에서 전분 현탁액을 24시간 동안 처리하였다. 이 처리 온도는 옴가열과 재래가열 모두에서 적용되었다. 시간에 의한 영향을 보기 위해선 55°C로 6, 12, 24, 72, 120시간 동안 가열 처리하였다.

#### (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 가열전분은 잔존하는 NaCl을 제거하기 위해 많은 양의 물로 희석한 후, 부호너(Buchner) 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 사

밭을 이용하여 분쇄한 후 60 mesh 체를 통과한 것을 DSC 분석 시료로 사용하였다.

## 2) 전분의 시차열분석

전분의 시차열분석을 위해서 미세주사열량계(DSC-2010, TA Instruments, Elstree, 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 첨가하여 밀봉한 후 1시간 동안 상온에서 방치한 다음 분석을 실시하였다. 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  $T_c \sim T_0$ , 그리고 엔탈피  $\Delta H$ 를 측정하였으며, 각 분석은 두 번 시행하여 평균값을 구하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 전분의 옴가열 시 전압, 전류 및 온도의 변화

대표적으로 감자 전분을 옴가열하는 동안 전압(V), 전류(A), 온도(°C) 변화를 계속 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 옴가열하는 전압은 500 V를 유지하였으며, 전분현탁액의 온도

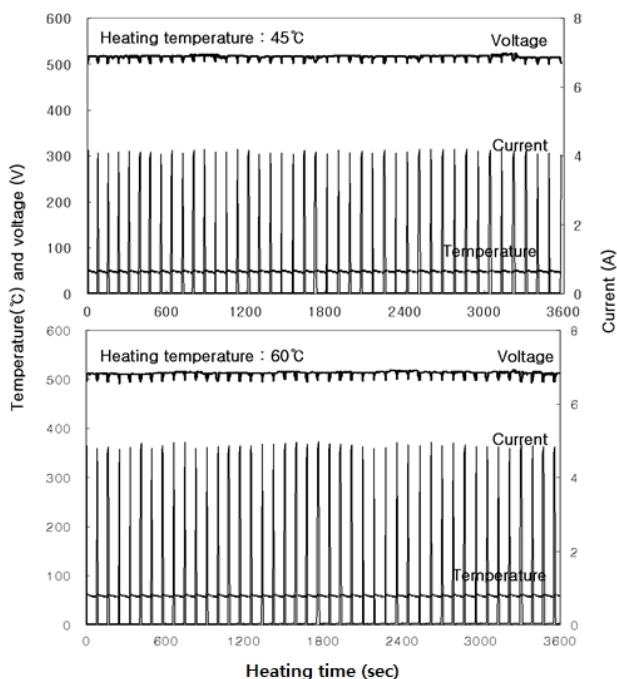


Fig. 3. Profiles of voltage, current and temperature of 20% potato starch suspension (w/v).

역시 설정 온도를 일정하게 유지하였다. 그러나 전분현탁액의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 전류는 on/off 제어기에 의하여 계속 단락되었다. 감자 전분을 55°C에서 가열할 경우, 전류 on/off 제어기는 1시간 동안 46번 단락되었고, 전류가 흐를 때에는 4.6 A의 전류가 5초 동안 흘렀다. 45°C에서 가열할 경우는 45회 단락되었고, 4.1 A의 전류가 5초 동안 흘렀으며, 60°C로 가열할 경우는 44회, 4.9 A로 5초 동안 흘렀다. 감자 전분 현탁액의 가열 온도를 45, 55, 60°C로 선정함에 따라 흐르는 전류량은 4.1, 4.6, 4.9 A로 증가하였다. 위의 측정 결과를 토대로 가열 중에 투입된 에너지 양을 계산하면, 45°C일 경우는 128 W, 55°C일 경우 147 W, 60°C의 경우 150 W였다.

### 2. 가열 처리한 감자 전분의 열적특성

전분 현탁액을 호화 개시 온도( $T_p$ ) 이하의 온도에서 옴가열 할 때 가열 시간과 가열 온도는 전분 특성에 영향을 미칠 것이다(Chung 등 2000). 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 처

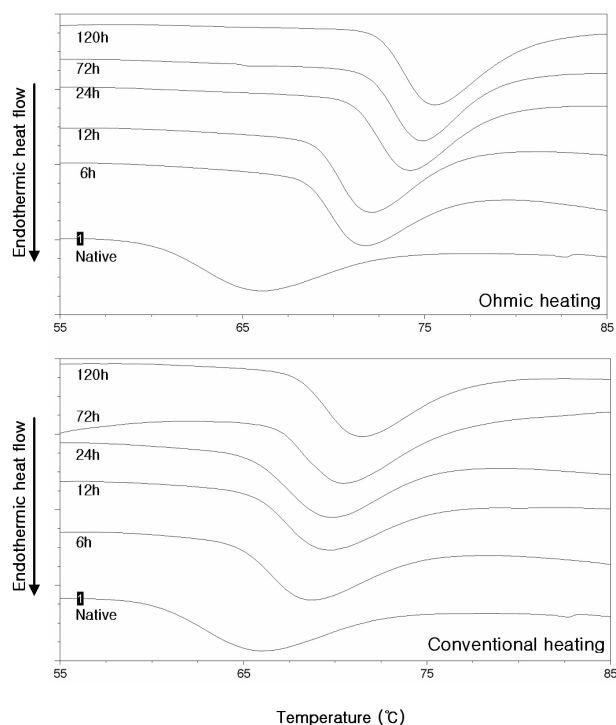


Fig. 4. DSC thermograms of potato starches heated by conventional and ohmic heating at 55°C for various periods of time.

리에 의해 전분의 팽윤과 수화 그리고 입자 내의 결정 영역의 용융이 생전분보다 균일하다는 것을 의미한다고 하였다. 감자 전분 현탁액을 55°C에서 가열 시간을 달리 하였을 때 가열 전분의 열적 특성에 미치는 영향은 Fig. 4와 5에서 나타났다. Fig. 5에서 보면 옴가열과 재래가열 모두에서 감자 전분의  $T_0$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  수치가 증가하였고,  $T_c - T_0$ 는 줄어들어 전분의 annealing 시 일어나는 전분의 변화가 나타남을 관찰할 수 있었다.  $T_0$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  수치는 가열 시간이 증가함에 따라 계속적으로 증가하였으나, 55°C에서 120시간 가열한 재래가열 처리한 감자 전분의  $T_p$  값은 72°C, 옴가열은 76°C 정도로 옴가열의 변화폭이 더 크게 나타났다.  $T_c - T_0$ 의 변화를 보면 재래가열의 경우는 12시간, 옴가열의 경우 6시간 까지 가열시간이 증가함에 급격한 감소를 보였으나, 그 이후는 큰 변화를 보이지 않았다. 동일한 조건으로 가열했음에도 옴가열에서 annealing 효과와 같은 변화가 더 컸다는 것은 옴가열이 온도 이외의 다른 변화 요인이 있음을 나타낸다. 위와 같은 결과로 미루어 짐작할 때 온도별 효과를 보기 위한 실험의 열처리 시간은 24시간이면 충분할 것으로 판단되었다.

한편 가열 시간을 24시간으로 고정하고 가열 온도를 달리 하여 열처리한 감자 전분의 DSC 분석결과는 Fig. 6과 같다. 이전 시간별 처리 결과와 마찬가지로 감자 전분을 재래가열 및 옴가열한 경우, 모든 가열 온도에서  $T_p$ 가 고온으로 이동하고 peak 범위가 좁아지는 것이 관찰되었으며, 옴가열한 전분

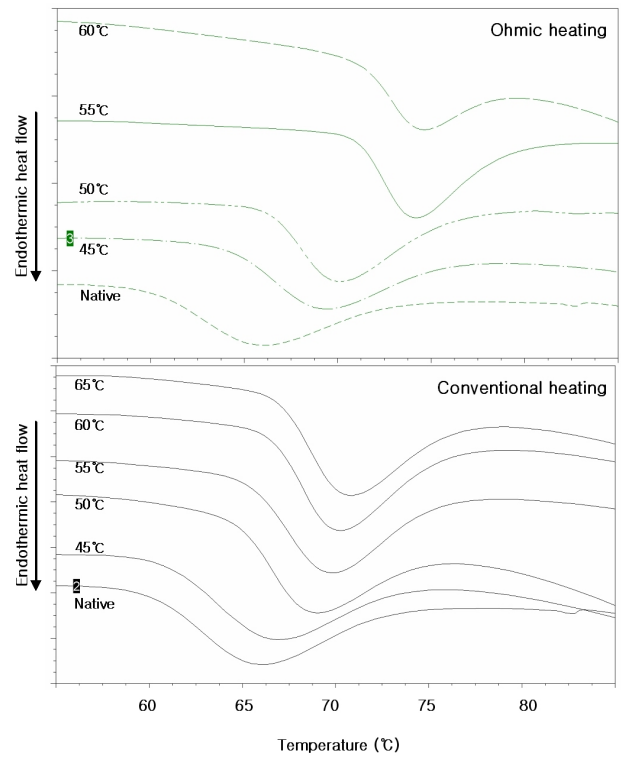


Fig. 6. DSC thermograms of potato starches heated by conventional and ohmic heating for 24 hr at different temperature.

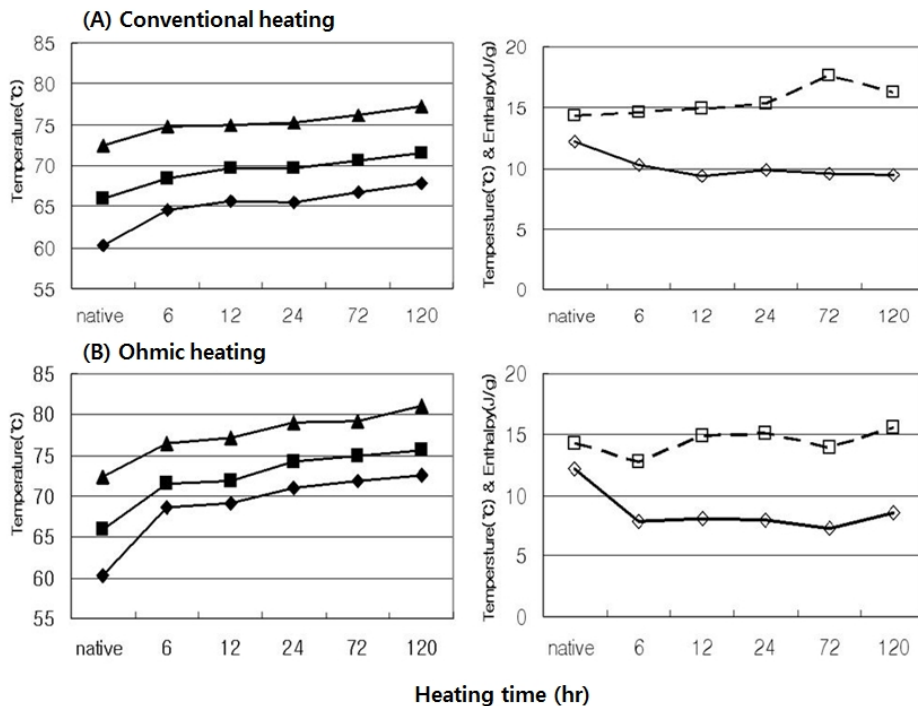


Fig. 5. DSC data of potato starches heated by conventional and ohmic heating at 55°C at different heating time.  $T_0$  (◆);  $T_p$  (■);  $T_c$  (▲);  $T_c - T_0$  (◇);  $\Delta H$  (□).

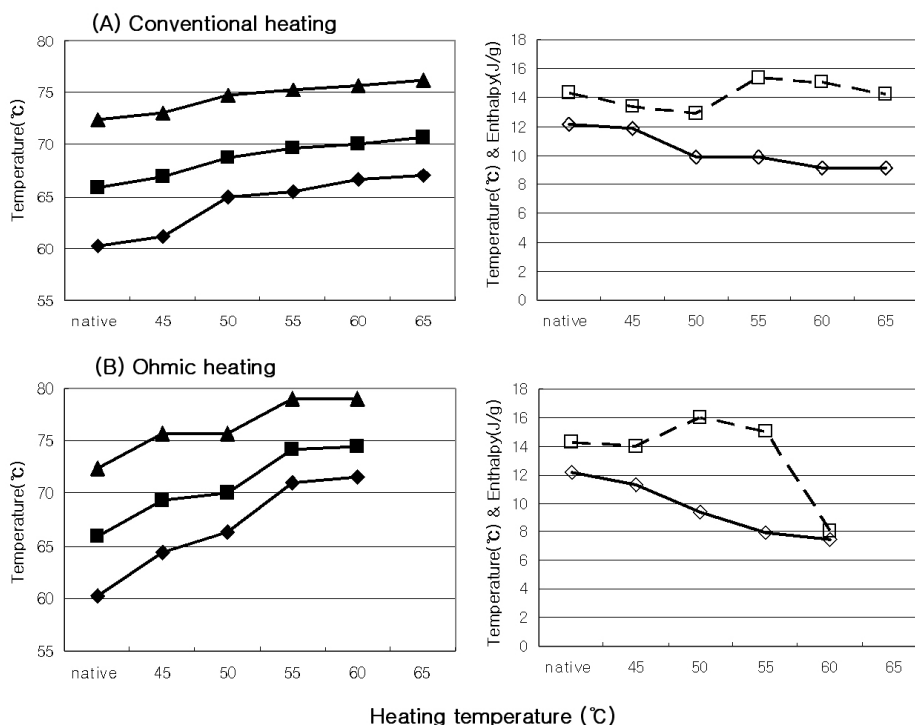


Fig. 7. Effect of heating temperature on DSC data of potato starches heated by conventional and ohmic heating for 24 hr at different temperatures. T<sub>0</sub> (◆); T<sub>p</sub> (■); T<sub>c</sub> (▲); T<sub>c</sub>-T<sub>0</sub> (◇); ΔH (□).

의 변화가 더욱 컸다. Fig. 7에서 가열처리한 전분의 호화특성에 미치는 온도의 영향을 살펴보면 생감자 전분의 T<sub>p</sub>, T<sub>c</sub>-T<sub>0</sub>과 ΔH는 각각 65.9°C, 12.1°C와 14.3 J/g이었다. 그러나 60°C에서 24시간 동안 재래 방법으로 가열한 감자 전분의 경우, T<sub>p</sub>, T<sub>c</sub>-T<sub>0</sub>과 ΔH는 70.1°C, 9.1°C와 15.1 J/g으로 변화하였다. 같은 온도에서 음가열한 경우는 74.5°C, 7.5°C 및 8.1 J/g으로 변화하였다. 이 결과를 통해 보았을 때 음가열한 전분의 내부 구조는 재래방법으로 가열한 경우보다 더욱 안정된 형태로 바뀌면서 전분 내부 구조의 균질성이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 7을 보면 재래방법으로 가열한 감자 전분의 T<sub>0</sub>, T<sub>p</sub> 및 T<sub>c</sub>는 각각 가열온도에 따라 완만하게 증가하였으나, 음가열한 전분의 경우 가열온도가 증가함에 따라 이들 값이 비교적 급격히 증가하는 경향을 보였다. 특히 음가열한 전분의 ΔH는 55°C까지는 큰 변화가 없다가 60°C에서 급격히 감소하였다. DSC로 측정된 본 실험에 사용한 생감자 전분의 호화영역(T<sub>0</sub>~T<sub>c</sub>)이 60.3~72.4°C임을 고려할 때 재래가열 방법으로 가열한 경우보다 음가열에 의하여 전분구조의 파괴가 촉진되어 호화 영역보다 낮은 온도에서 호화가 일어난 것으로 판단된다. Table 3을 살펴보면 재래 방법으로 55~65°C에서 24시간 가열한 감자의 ΔH 값은 15.4~14.2 J/g인데 비하여, 음가열 방법으로 55°C로 가열한 경우 ΔH는 15.0 J/g이었으나, 60°C로 가열한 경우 ΔH는 8.1 J/g으로 급격히 감소하

였다. 65°C에서 음가열할 경우는 감자 전분이 겔을 형성하여 측정이 불가능하였다.

## 결론 및 요약

음가열은 식품에 전류를 통과시키면 내부에서 균일하게 급속히 전기 저항열이 발생하는 원리를 이용한 내부 가열법(internal heating method)이다. 이전 연구에서 동일한 온도 조건으로 대두단백질을 음가열한 경우, 재래가열한 경우보다 열변성이 더 크게 나타나고, 여러 물리·화학적 특성 차이가 나타났다. 본 실험에서는 감자 전분을 호화점 온도에서 동일 조건으로 음가열과 재래가열 처리한 후 DSC를 이용하여 열적특성(thermal property) 변화를 실험하였다.

본 실험의 DSC 분석 결과, 감자 전분의 T<sub>0</sub>, T<sub>p</sub>, T<sub>c</sub> 수치가 증가하였고, T<sub>c</sub>-T<sub>0</sub>는 줄어들었다. 이는 호화점보다 3~4% 밑에서 가열 처리하는 전분의 annealing시 나타나는 열적 특성 변화와 비슷한 결과였다. 이는 본 실험 역시 호화점 이하에서 가열하였기 때문에 나타난 결과라 생각된다.

55°C에서 6, 12, 24, 72, 120시간 가열한 감자 전분의 경우, 가열시간이 늘어날수록 T<sub>0</sub>, T<sub>p</sub>, T<sub>c</sub> 수치는 계속적으로 증가하여 생감자 전분의 65.9°C인 호화점이 재래가열(120시간)은 72°C, 음가열(120시간)은 76°C 정도로 변화했다. 또한 호화 영

역( $T_c - T_o$ )도 차이를 보여 재래가열(72시간)은 10°C, 옴가열(72시간)은 8°C 정도로 변화했다. 24시간 동안 45, 50, 55, 60, 65°C로 가열한 경우 역시 가열 온도가 늘어날수록  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  수치는 계속적으로 증가하였고, 호화 영역은 좁아졌다. 60°C에서 처리한 재래가열의 경우 호화점과 호화영역이 70.1°C, 9.1°C로, 옴가열의 경우 74.4°C, 7.5°C로 나타났다.

위의 결과를 통해 보았을 때 옴가열한 전분의 내부 구조는 재래방법으로 가열한 경우보다 더욱 안정된 형태로 바뀌면서 전분 내부 구조의 균질성이 증가하는 것을 알 수 있었다. 65°C로 가열한 옴가열의 경우는 감자 전분의 호화점(65.9°C)보다 낮은 온도임에도 불구하고 호화가 진행되었다. 이 결과를 통해 옴가열이 재래가열에 비해 전분의 구조 변화와 호화에 더 효과적이며, 온도 이외의 전기장의 영향과 같은 다른 영향이 있음을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 논문은 2012학년도 숭의여자대학교 학술 연구비 지원에 의해 연구된 것으로 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- Benczedi D, Tomka I, Escher F. 1998. Thermodynamics of amorphous starch-water systems. *Macromolecules* 31:3055-3061
- Cha YH. 2011. Effect of ohmic heating on characteristics of heating denaturation of soybean protein. *Korean J Food & Nutr* 24:740-745
- 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
- Kim JS, Pyun YR. 1995. Extraction of soybean milk using ohmic heating. *Kor Soybean Digest* 12:33-38
- Mizuno A, Mitsui M, Motoki M. 1998. Effect of crystallinity on the glass transition temperature of starch. *J Agric Food Chem* 46:98-103
- Rahman MS. 1999. Handbook of Food Preservation. pp.1-10, 521-532. Dekker. Inc
- 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* 44:205-214
- 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 : 2012년 12월 6일  
 최종수정 : 2012년 12월 20일  
 채 택 : 2012년 12월 20일