pISSN 1225-4339 eISSN 2287-4992
Korean J. Food Nutr. Vol. 30. No. 4, 689~695 (2017)
https://doi.org/10.9799/ksfan.2017.30.4.689

THE KOREAN JOURNAL OF
한국식품영양학회지
FOOD AND NUTRITION

옴가열이 전분의 Pasting 특성에 미치는 영향

†차 윤 환
숭의여자대학교 식품영양과

Effect of Ohmic Heating on Pasting Property of Starches

Yun-Hwan Cha
Dept. of Food and Nutrition, SoongEui Women's College, Seoul 04628, Korea

Abstract

Ohmic heating is an internal heating method based on the principle that when an electrical current passes through food, electric resistance heat is uniformly generated internally by food resistance. Previous studies indicate that the thermal properties, external structure, internal structure, and swelling power of ohmic heat treated starch of various starches, such as potato, wheat, corn, and sweet potato, differed from those of conventional heating at the same temperature.

In this study, the pasting property of starch, treated with ohmic and conventional heating, were measured by RVA (Rapid Visco-Analyzer). Our results show that as the ohmic heating temperature increased, the PV (Paste Viscosity) of the starch decreased significantly, and the PT (Pasting Temperature) increased. Changes in PV and PT indicate that the swelling of starch remains unchanged by ohm heating. The HPV (Hot Paste Viscosity), CPV (Cold Paste Viscosity) and SV (Setback Viscosity) of ohmic heated starch also differed from the conventional heated starch. The pasting property is similar to the viscosity curve of common cross-linked modified starch. In this experiment, we further confirm the similarity with modified starch and its usability.

Key word: ohmic heating, conventional heating, starch, pasting property, rapid visco-analyzer

서 론

옴가열(ohmic heating)은 교류 혹은 직류 전기를 이용한 가열법으로 전류가 전도체인 식품을 흐르면서 발생하는 내부저항을 이용하는 가열법으로(de Alwis & Fryer 1992) 식품의 발열이 내부에서부터 시작되고, 유입되는 전류량의 조절을 통해 온도 상승 정도를 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있다. 또한 고체 식품의 경우, 급속·균열가열이 가능하여 옴가열을 이용한 고품질의 제품생산이 가능하다(Rahman MS 1999). 고형분 식품과 액체 식품이 혼합되어 있는 경우 옴가열 시 고형분과 액체가 동시에 가열되어 효율적인 가열 제품을 생산할 수 있다(Zareifard 등 2003).

옴가열은 이런 내부가열적 특성 때문에 가열 중 발생하는 열에 의한 식품의 변화뿐만 아니라, 전류에 의한 특성변화도 발생한다. 식물세포를 전기장에 노출하면 원형질막이 파괴되어 투과성이 급격히 증가하였다(Rastogi 등 1999). 동일한 온도 상승 패턴으로 옴가열과 재래가열법을 사용하여 두유를 가열 추출한 경우, 가열방법간의 차이가 나타났는데, 옴가열 처리한 두유의 고형분 함량, 단백질 회수율과 추출율이 보다 높게 나타났고(Kim & Pyun 1995), 이 두유 속 대두단백질의 열적특성을 DSC(Differential Scanning Calorimeter)로 분석한 결과, 옴가열 처리 시 재래가열에 비해 단백질 변성도도 더 높았다(Cha YH 2011). 전분을 이용한 실험에서도 옴가열과 재래가열간의 특성변화 차이를 관찰할 수 있었는데, 전분의 상변화가 일어나지 않는 호화점 이하의 온도에서 동일한 온도로 옴가열과 재래가열 처리한 감자 전분의 열적특성을 DSC로 분

† Corresponding author: Yun-Hwan Cha, Dept. of Food and Nutrition, SoongEui Women's College, Seoul 04628, Korea. Tel: +82-2-3708-9250, Fax: +82-2-3708-9121, E-mail: hplcms@sewc.ac.kr

석한 결과, 옴가열 처리 후 전분의 호화점이 재래가열 때보다 더 높은 온도로 이동하고, 호화 개시점과 종결점의 범위가 좁아지는 것으로 나타났다(Cha YH 2012). 이것은 옴가열 처리가 전분의 구조를 좀 더 안정되고, 동일한 상태로 변하게 한 것으로 해석할 수 있다. 감자 전분 외에 밀, 옥수수와 고구마 전분에서도 동일한 결과가 나타났다(Cha YH 2014). 옴가열 처리한 전분의 외부구조 변화를 현미경과 전자현미경으로 관찰한 결과, 재래 가열 처리한 전분에 비해 전분의 변화가 크게 나타났고, X-ray 회절 분석을 통한 전분의 내부구조 변화 역시 큰 것으로 나타났다(Cha YH 2015).

본 연구에서는 옴가열 처리한 감자, 밀, 옥수수, 고구마 전분의 pasting 특성을 측정하여 재래 가열한 전분과 비교하였다. 이 실험을 통해 옴가열이 전분의 pasting 특성에 미치는 영향을 정확히 판단하였다, 이런 옴가열에 의한 전분의 pasting 특성 변화는 향후 옴가열 처리 전분의 실제 사용 가능성을 가늠하게 할 수 있는 중요한 정보가 될 것으로 생각된다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에 사용한 감자 전분(Junsei, Japan), 밀 전분과 옥수수 전분(Sigma, USA), 고구마 전분(Wako, Japan)은 모두 시약급 이상을 사용하였다.

2. 가열 장치

전분 처리에 사용된 가열 장치는 Fig. 1에 나타내었다. 옴가열 처리를 위해 사용된 처리조는 내경이 100 mm인 유리 실린더로 용량이 1 L 정도 되도록 가공한 후 외부에 jacket을 설치하여 냉각수를 흘릴 수 있도록 고안하였다. 옴가열 처리 시 냉각수를 계속 흐르게 하여 옴가열에 의해 온도가 과도하게 상승하는 것을 막고, 일정한 온도를 유지하게 하였다. 옴가열에 사용한 전압은 상용 전압인 220 V를 슬라이닥스(DLC-5K300, Dae-lim Co., Korea)로 승압하여 250 V로 만들고, 전압 증폭기(Dae-lim Co., Korea)를 이용하여 2배 증폭하여 500 V로 만들어 사용하였다. 옴가열 처리조에 넣은 전분 현탁액에 전류를 흘리기 위한 탄소소재 전극을 판형(150×25×5 mm)으로 가공하여 설치하고, 현탁액에 전극의 60% 이상 잠기도록 하였다. 옴가열 중 전극간의 거리는 90 mm를 일정하게 유지하고, 옴가열의 전압구배는 55.5 V/cm로 설정하였다. 옴가열 중 전분의 침강을 막기 위해 direct driving stirrer(SS-20, Young Co., Korea)로 교반을 하였으나, 과도한 교반에 의한 전분의 물리적 손상을 최소화하기 위해 100 rpm 이하로 교반하였다.

설정 온도 이상으로 옴가열 온도가 올라갈 경우, 전압을 자동으로 차단하기 위한 온도 조절 장치는 전원 on/off 스위치

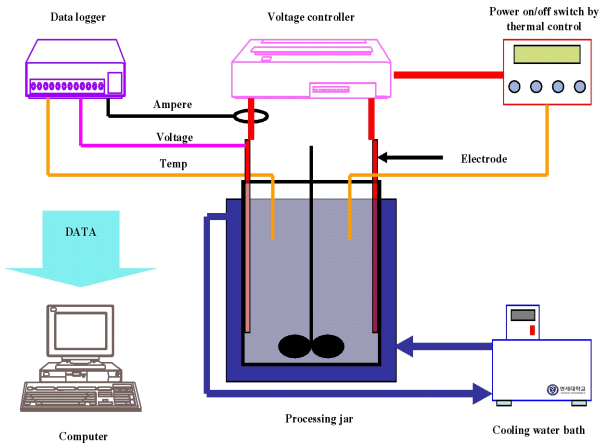


Fig. 1. Schematic diagram of ohmic heating apparatus.

(HiMC22, Hyundai industrial Co., Korea)와 T형 온도계가 부착되어 있는 온도 조절기 (DX9, Hanyoung Co., Korea)로 구성하였다. 옴가열 중 처리조의 온도(℃)와 처리 전압(V)과 전류(A)값은 data logger (Hydra 2625A, Fluke Co., U.S.A.)로 수집하여 컴퓨터에 기록하였다. 전류는 AC/DC current probe(80i-110s, Fluke Co., France)를 이용하여 측정하였다.

옴가열 장치를 기본으로 재래가열 장치를 만들었다. 처리조의 구조는 동일하게 하였으나, 냉각수는 흐르지 않게 하였고, 드라이오븐 안에서 가열 처리하여 드라이오븐의 설정 온도로 가열 처리 온도가 유지되도록 하였다.

3. 실험 방법

1) 전분 현탁액의 가열 전 후 전처리

(1) 전분 현탁액의 제조

실험에 사용된 전분으로 20%(w/v) 전분 현탁액을 NaCl 용액(0.1%)을 혼합하여 만들었다. 전분현탁액을 만들 경우, 소량의 NaCl을 첨가하지 않으면 옴가열 처리 시 전류의 흐름이 제한된다.

(2) 옴가열 처리

옴가열과 재래가열 처리 온도는 감자전분(55, 60, 65℃), 밀전분(45, 50, 55℃), 옥수수전분(45, 55, 60, 65℃), 그리고 고구마 전분(45, 55, 65, 70℃) 모두 각각 다르게 가열 처리하였다. 가열 처리시간은 12, 24, 72 h 동안 처리하였다.

(3) 재료의 분말화

옴가열과 재래가열 처리 후 남아 있는 전분 현탁액은 증류수를 첨가하여 1,000 mL로 맞추었다. 이 현탁액을 잘 저어

준 후 냉장고에서 정치하고 상등액은 버렸다. 바닥에 침전되어 있는 처리 전분을 많은 양의 증류수로 희석한 후, 부흐너 깔대기로 여과하여 잔존한 NaCl을 제거하였다. 여과한 전분은 상온에서 건조 후 60 mesh 이상으로 분쇄하여 사용하였다.

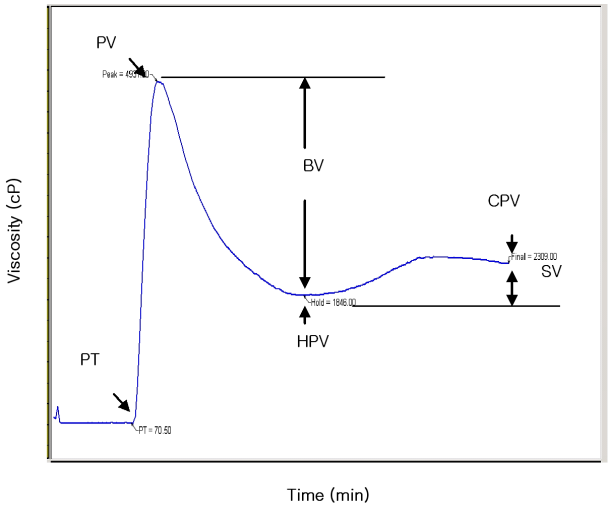
2) 가열 처리한 전분의 pasting 특성 측정

Rapid visco-analyzer(RVA-4, Newport Scientific Pty Ltd, Australia)를 사용하여 가열처리한 전분의 pasting 특성을 측정하였다. 가열 처리한 전분 분말에 증류수를 넣어 전분현탁액(7.0% w/w, 25g total weight)을 만든 후 RVA 시료로 사용하였다. RVA내에서 현탁액을 50℃에서 1분간 방치 후, 95℃까지 3분 동안 승온시켰다. 그리고 95℃에서 4분간 유지 후, 50 ℃까지 3분 만에 냉각시키고, 동일 온도에서 4분간 유지시켰다. RVA 내부 교반기의 교반 속도는 처음 10초간은 960 rpm으로 강하게 교반하였고, 그 후는 160 rpm으로 일정하게 유지를 시켰다. RVA 측정을 통해 얻어진 RVA viscogram에서 pasting temperature(PT), paste viscosity(PV), hot paste viscosity (HPV), cold paste viscosity(CPV), breakdown viscosity(PV-HPV) 및 setback viscosity(CPV-HPV)를 구하였다(Fig. 2).

결과 및 고찰

1. 가열 처리한 전분의 pasting 특성

전분의 특성 중 pasting 특성은 매우 중요한 성질이다.



PV (cP) : paste viscosity
CPV (cP) : cold paste viscosity
HPV (cP) : hot paste viscosity
BV (cP) : breakdown viscosity
SV (cP) : setback viscosity
PT (℃) : pasting temperature

Fig. 2. Typical pasting curve of rapid visco-analyzer (RVA).

Pasting 특성을 통해 전분의 호화 특성을 예측할 수 있다. 전분은 처음 가열 단계에서는 입자가 팽윤되고, 점도가 급속히 증가하며, 이때 최고 점도에 도달한다. 이 팽윤 과정에서 가용성 성분인 작은 아밀로오스 성분들이 전분 입자 밖으로 용출된다. PV(Peak Viscosity)는 전분 입자가 최고로 팽윤되었을 때의 점도를 의미한다. 계속 95℃를 유지하면서 가열하는 동안과 초기 냉각과정에서는 spindle의 회전에 의해 팽윤되었던 전분 입자가 파괴되고, 가용성 polymer와 전분 분자들이 재배열되면서 점도가 내려가서 최저점인 HPV(Hot Paste Viscosity)에 도달한다. 이후 전분 속에서 가용성 아밀로오스와 아밀로펙틴의 재결합이 시작되어 점성이 다시 증가하게 되는데, 이런 현상을 set back이라 한다. 전분 현탁액의 냉각이 최종적으로 완료되었을 때의 점도를 CPV(Cold Paste Viscosity)라 한다. 일반적으로 전분을 구성하는 아밀로오스 함량이 클 때, setback 현상이 더 크게 일어나는 것으로 알려져 있다(Jaspreet 등 2006).

2. 옴가열 한 감자 전분의 pasting 특성

감자 전분을 55 및 60℃에서 12, 24, 72시간 동안 옴가열과 재래가열 처리한 전분의 가열 시간에 따른 RVA 점도 곡선을 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다. 가열처리하지 않은 생감자 전분을 기준으로 재래가열방법으로 55℃에서 24시간 이상 가열한 감자 전분의 경우, 전분의 PV가 커지고, 점도 곡선의 점도가 전체적으로 높아졌다(Fig. 3). RVA의 세부 점도 결과는 Table 1에 나타내었다. 가열 처리에 의해 전분 입자의 안전성이 증가하여 RVA의 PV값이 증가한 것으로 생각된다. 그러나 감자 전분의 상의 변화가 일어나는 annealing 온도 이상인 60℃에서 재래 가열 처리한 경우(Fig. 4)는 가열시간이 증가할수록 PV값은 현저히 감소하였다. 이런 비슷한 결과는 녹두 전분을 이용한 연구 결과와 유사하였다. Chung 등(2000)은 녹두 전분을 45~60℃ 범위로 가열 처리한 후 RVA의 점도 곡선을 비교한 결과, 녹두 전분을 45와 50℃에서 처리한 경우에는 생녹두 전분에 비해 점도곡선이 높아졌으나, 55와 60℃로 가열 처리한 전분은 낮은 점도를 갖는 것으로 보고하였다. RVA로 측정한 점도 곡선에서 PV가 감소한다는 것은 전분 입자의 팽윤력이 감소했다는 것을 의미하는데, 가열 처리 온도 외에도 여러 요인에 의해 PV는 감소될 수 있다. Ravi 등(1999)은 α-amylase를 이용하여 전분을 효소 분해시킨 후 PV를 측정하였다. α-Amylase의 첨가량이 증가할수록 PV는 감소하였는데, 이는 효소 분해에 의해 전분 입자가 손상을 입어 팽윤 도중 쉽게 터져버려 최대 팽윤치에 도달하지 못했기 때문이다. 다른 연구결과들을 보면, 아밀로오스 함량이 다른 일반 옥수수와 찰옥수수를 sodium hypochloride를 이용하여 다양한 레벨로 화학적 산화처리를 했을 경우, 전분에 화학적

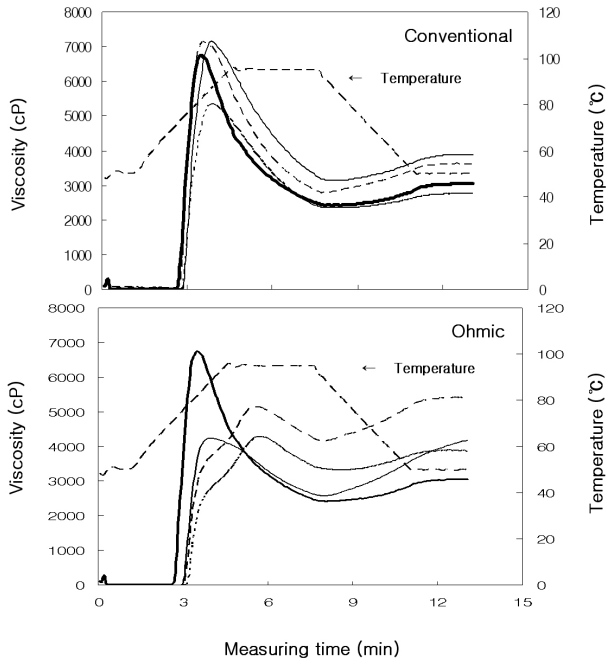


Fig. 3. Effect of heating time on RVA characteristics of potato starches heated by conventional and ohmic heating methods at 55℃. native (▬) and heated starches for 12 h (·····), 24 h(– – –) and 72 h(——).

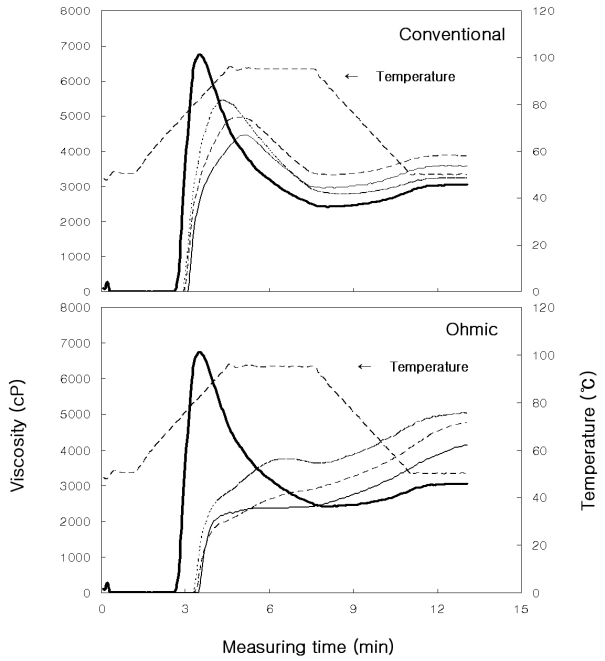


Fig. 4. Effect of heating time on RVA characteristics of potato starches heated by conventional and ohmic heating methods at 60℃. native (▬) and heated starches for 12 h (·····), 24 h(– – –) and 72 h(——).

변성이 가해져 첨가되는 sodium hypochloride의 양이 증가할수록 RVA의 수치들은 감소하는 것으로 나타났고(Wang & Wang 2003), 옥수수전분 내의 가교 결합이 증가함에 따라 팽윤력이 감소한다고 보고하였다. 이상과 같은 전분의 열손상, 효소분해와 화학적 가교 형성 등에 의해 전분의 pasting 특성은 영향을 받는다.

재래방법으로 처리한 경우, 55℃에서 PV는 가열시간에 따라 증가한데 비해, 옴가열 처리한 감자 전분은 55℃에서부터 가열시간에 관계없이 PV 값이 현저히 감소하였다(Fig. 3). 이전 연구결과에서 55℃에서 옴가열했을 때 감자전분의 외부구조가 부분적으로 파괴되었으며, 서로 엉겨 더 큰 polymer를 형성한 것을 알 수 있었다(Cha 2015). 이와 같은 전분의 손상이 PV 감소의 원인이 된 것으로 생각된다. 60℃에서 옴가열 처리한 감자전분(Fig. 4)에서는 이런 변화가 더 크게 나타났다. 옴가열 처리시간이 12시간 이상인 경우, 이후에서는 PV가 거의 사라져 버렸고, 그로 인해 HPV, breakdown과 setback은 계산할 수 없었다. 그런데 오히려 CPV는 생감자 전분보다 증가하는 경향을 보였으며, 재래가열 처리한 전분의 CPV 값보다도 크게 나타났다.

3. Annealing 온도에서 옴가열 처리한 전분의 pasting 특성

감자, 밀, 옥수수, 고구마 전분의 annealing 온도에서 옴가열과 재래가열 처리에 의한 RVA 특성 차이를 비교하였다. 감자(55℃), 밀(50℃), 옥수수(60℃), 고구마(65℃)로 72 h 처리한 시료의 RVA 값을 서로 비교하였다. A형 전분인 밀전분, 옥수수전분의 아밀로펙틴 사슬은 23~29개의 포도당으로 구성되어 있어, B형과 C형 전분에 비해 더 단단한 구조를 가지고 있다. 그 결과, paste를 만드는 온도가 상대적으로 높고, 팽윤 시 점도가 낮게 나타나는데, 이런 특징은 밀전분과 옥수수전분의 RVA 결과에서도 잘 나타난다(Table 1). 50℃에서 재래방법으로 72시간 동안 가열처리한 밀전분의 RVA로 측정한 점도 곡선(Fig. 5(B))은 생밀전분의 점도곡선보다 약간 높게 그려졌다. 그러나 50℃에서 옴가열한 밀전분의 점도 곡선의 점도는 현저히 감소하였다. 55℃에서 24시간 동안 옴가열한 경우는 PV는 116 cP, HPV는 96 cP 밖에 되지 않아 점도곡선이 거의 그려지지 않았다(Table 1).

재래가열법으로 처리한 감자와 밀전분의 경우는 전분의 점도 곡선이 생전분이 비해 약간 높게 그려졌으나, 옥수수 전분은 반대로 약간 낮아졌다(Fig. 5(C)). 하지만 옥수수 전분을 옴가열한 경우는 감자와 밀과 마찬가지로 PV가 낮아졌고, 곡선이 전체적으로 아랫방향으로 이동하였다. 옴가열 처리한 옥수수 전분의 점도곡선은 감자 및 밀 전분에 비해 PV 부분의 모양이 서로 다르다. 감자와 밀 전분은 PV 부분의 봉우리

Table 1. Summary of pasting property of starches heated at different temperature for 24h

	PV (cP)	HPV (cP)	CPV (cP)	BV (cP)	SV (cP)	PT (℃)
Native potato	6,750	2,418	2,990	4,332	572	70.6
Conventional heating						
55	7,144	2,775	3,416	4,369	641	72.2
60	4,970	3,321	3,866	1,649	545	73.6
65	4,229	2,931	3,509	1,298	578	73.5
Ohmic heating						
55	5,148	4,160	5,184	988	1,024	75.8
60	2,826	-	4,750	-	-	78.5
Native wheat	997	771	1,225	226	454	94.5
Conventional heating						
45	974	724	1,247	250	523	92.9
50	1,014	803	1,329	211	526	93.7
55	768	611	871	157	259	93.8
Ohmic heating						
45	1,014	803	1,329	211	526	93.7
50	1,111	895	1,416	216	521	91.7
55	116	96	160	20	64	91.2
Native corn	1,171	888	1,235	283	347	87.6
Conventional heating						
45	1,005	800	1,099	205	299	86.1
55	1,119	839	1,281	280	442	86.7
60	1,105	862	1,243	295	433	87.7
65	787	648	784	139	136	88.9
Ohmic heating						
45	1,042	810	1,154	232	344	85.8
55	1,054	864	1,212	190	348	88.5
60	842	782	953	60	171	90.3
65	427	369	420	58	51	91.3
Native sweet potato	2,253	1,422	2,259	831	837	79.9
Conventional heating						
45	2,350	1,447	2,260	903	813	80.9
55	2,308	1,483	2,302	825	819	80.8
65	2,129	1,626	2,769	503	1,143	82.6
70	1,425	1,355	2,051	70	696	83.3
Ohmic heating						
45	2,224	1,333	2,313	891	980	80.9
55	2,049	1,396	2,333	653	937	82.6
65	1,824	1,121	1,670	703	549	85.3
70	789	746	971	43	225	88.1

PT: pasting temperature, PV: paste viscosity, HPV: hot paste viscosity, CPV: cold paste viscosity, BV: breakdown viscosity, SV: setback viscosity.

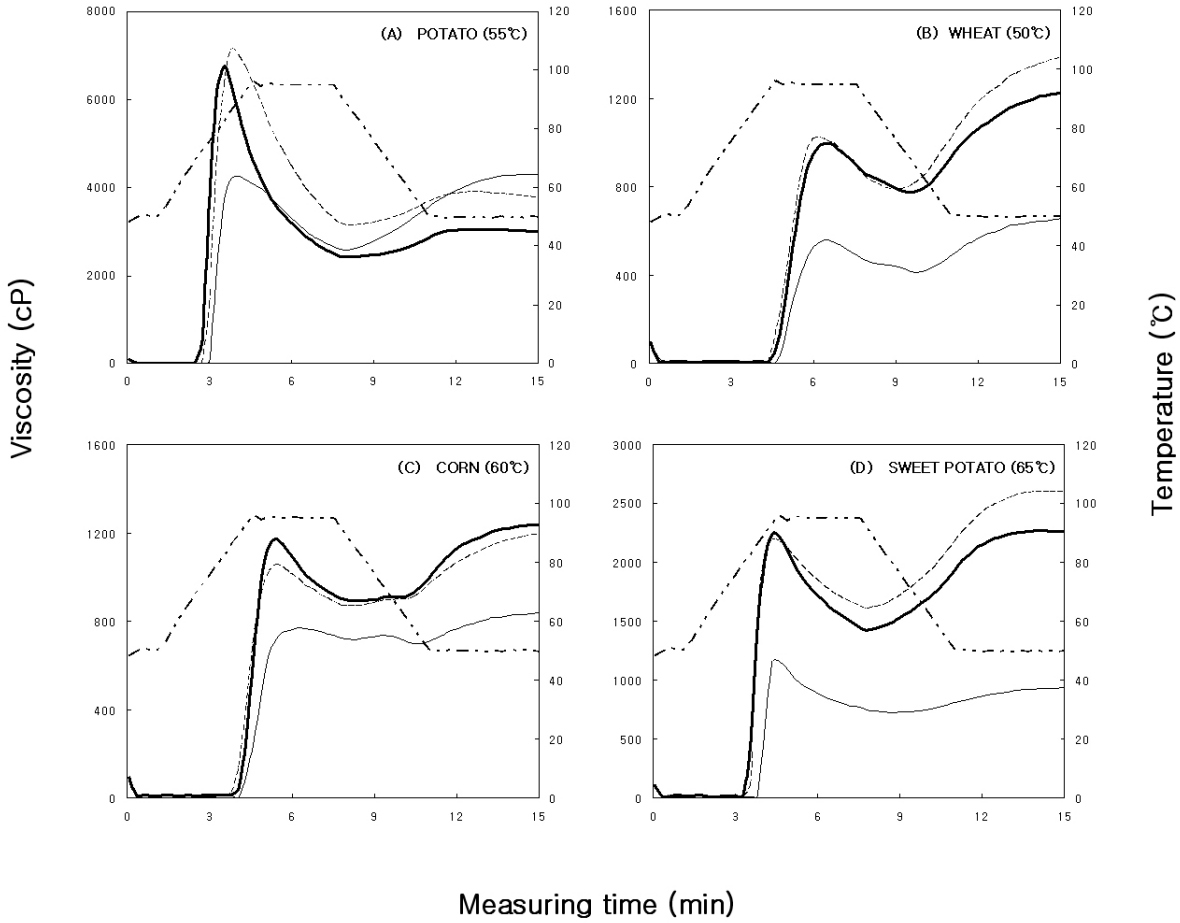


Fig. 5. Comparison of RVA characteristics of native (▬) and heated starches by conventional (- - - -) and ohmic (———) heating methods at annealing temperature of each starch for 72 h.

모양이 남아 있는데 비해, 옥수수 전분은 PV 부분의 모양이 평평한 형태로 남아 있지 않다. 고구마 전분의 점도곡선과 RVA 값은 Fig. 5(D)와 Table 1에 나타내었다. 고구만 전분 역시 감자, 밀, 옥수수 전분과 비슷한 RVA 특성을 나타내었다.

옴가열 처리된 전분의 이러한 pasting 특성 변화는 가교 변성 전분의 물성적 특성과 매우 비슷한 양상을 나타내고 있어, 향후 변성전분과의 비교 실험이 필요하다고 생각되었다.

요약 및 결론

옴가열은 식품 속에 전류가 통과하면 저항에 의해 내부에서 균일하게 전기 저항열이 발생하는 원리를 이용한 가열법이다. 이전 연구에서 감자, 밀, 옥수수, 고구마 전분을 동일한 온도 조건으로 옴가열한 경우를 재래가열한 경우와 비교 실험한 결과, 전분의 열적 특성, 외부구조와 내부구조, 평윤력 등이 서로 다르게 나타났다. 이는 열에 의한 변화 외에 전기장에 의한 변화가 존재함을 알 수 있는 결과이다.

본 연구에서는 가열 처리한 전분의 pasting 특성을 RVA로 측정하였다. 결과적으로 옴가열 한 전분은 가열 온도가 증가할수록 PV(Paste Viscosity)가 현저히 감소하고, PT(Pasting Temperature)는 증가하였다. PV와 PT 변화는 옴가열에 의해 전분의 팽윤이 잘 되지 않는 형태로 바뀌었다는 것을 의미한다. 옴가열 처리한 전분의 HPV(Hot Paste Viscosity), CPV (Cold Paste Viscosity)와 SV(Setback Viscosity)는 전분의 종류마다 다른 양상을 보였으나, PV가 급격히 감소하는 특성 때문에 HPV와 CPV가 전체적으로 낮은 점성을 나타냈다. 이렇게 나타난 pasting 특성은 일반적인 가교 변성 전분의 점도곡선과 비슷하였다. 본 실험을 통해 변성전분과의 유사성과 대체 사용가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 숭의여자대학교 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

Cha YH. 2014. Effect of ohmic heating on thermal and water holding property of starches. *Korean J Food & Nutr* 27: 112-119

Cha YH. 2015. Effect of ohmic heating on external and internal structure of starches. *Korean J Food & Nutr* 28:126-133

de Alwis AAP, Fryer PJ. 1992. Operability of the ohmic heating process: Electrical conductivity effects. *J Food Eng* 15:21-48

Jaspreet S, Owen JM, Harjinder S. 2006. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. *Carbohydr Polym* 64:569-581

Kim JS, Pyun YR. 1995. Extraction of soybean milk using ohmic heating. *Kor Soybean Digest* 12:33-38

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

Ravi R, Manohar RS, Rao PH. 1999. Use of rapid visco analyzer (RVA) for measuring the pasting characteristics of wheat flour as influenced by additives. *J Sci Food Agric* 79:1571-1576

Wang YJ, Wang L. 2003. Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydr Polym* 52:207-217

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

Received 31 May, 2017
Revised 07 June, 2017
Accepted 23 June, 2017