Korean J. Food & Nutr. Vol. 22. No. 3, 387～395 (2009)

THE KOREAN JOURNAL OF
한국식품영양학회지
FOOD AND NUTRITION

# 국내산 칡 전분 젤 특성에 미치는 가열처리 조건의 영향

이석원[*] · 김효원[**] · 한성희[***] · [†]이철

[*]유한대학 식품영양과, [**]고려대학교 생명환경과학대학원
[***]킨키대학교 응용생명화학과, 고려대학교 식품공학부

# Effect of Heat Treatment Conditions on the Characteristics of Gel Made from Arrowroot Starch in Korea Cultivars

Seog-Won Lee[*], Hyo-Won Kim[**], Sung-Hee Han[***] and [†]Chul Rhee

[*]*Dept. of Food and Nutrition, Yuhan University, Bucheon 422-749, Korea*
[**]*Graduate School of Life & Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea*
[***]*Dept. of Applied Biological Chemistry, Graduate School of Agriculture, Kinki University, Nara 631-8505, Japan*
*Division of Food Bioscience and Technology, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-701, Korea*

## Abstract

This study was conducted to investigate the effects of starch concentrations and heating conditions on the gel characteristics of arrowroot starch. Arrowroot starch gels with various pHs, and starch concentrations, were prepared using different temperatures and heating times, and then stored for 24 hrs at 4℃. The hardness of sample gels made at pH 2.0 and 4.0 increased as the starch concentration increased from 7% to 10%, with the maximum value of 94 N being obtained when the gel was prepared at pH 4.0 with a starch concentration of 10%. The maximum hardness of samples prepared with concentrations of starch ranging from 7～9% appeared at 80℃, regardless of the heating temperature and time. Furthermore, the hardness of samples prepared at greater than 100℃ was relatively lower than that of samples prepared at other temperatures. When a starch concentration of 8% was used, the degree of gelatinization(DR) increased as the heating temperature increased, with the maximum value of DR being about 76% at 120℃, regardless of heating time. After storage for 24 hrs, the hardness of samples prepared at 70℃, 80℃ and 90℃ appeared to decrease, while that of samples prepared at 100℃, 110℃ and 120℃ increased. The correlation between hardness and the degree of gelatinization or retrogradation was very high when samples were prepared at 80℃ with a starch concentration of 9%, as indicated by a correlation coefficient of greater than 0.95. Overall, the microstructures of freeze-dried arrowroot starch gel were composed of a continuous network of amylose and amylopectin with fragmented ghost structures in an excluded phase, but these ghost structures were more evident after storage and with increased heating temperature.

Key words: arrowroot starch, pH, temperature, hardness, microstructure.

## 서 론

칡(*Pueraria histu* Matsum.)은 식물 분류학상으로 두과에 속하는 다년생 낙엽성 덩굴식물로서 야생에서 자생하고 있으며, 칡뿌리는 오래 전부터 전분 및 차 제조 원료와 약용 등으로 사용된 구황작물로서 이용범위가 다양한 식물이며, 우리나라를 포함하는 난대지방에 분포하는 덩굴성 다년생 초본이다(Oh 등 1988). 뿌리는 괴근으로 비대하며 길이 1 m 이상,

[†] Corresponding author: Chul Rhee, Division of Food Bioscience and Technology, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-701, Korea. Tel: +82-2-3290-3023, Fax: +82-2-928-1351, E-mail: rhee2@korea.ac.kr

직경 20 ㎝에 달하며, 꽃은 여름에 홍자색으로 피고 과실은 10 ㎝ 정도이며, 뿌리를 사용하며 갈근이라 한다. 칡은 채취 시기에 따라 약간의 차이가 있으나 전분이 16～19%로서, 약리작용을 나타내는 성분인 flavonoid, 즉 daidzein, daidzin, daidzein 4",7-diglucoside, puerarin, puerarin 7-xyloside, 4',6"-di-o-acetyl puerarin, genistein, formononetin, puerarol kakkonein, miroestrol 등과 allantoin, D-mannitol, succinic acid, acetylcholine 등을 함유하고 있다. 특히 puerarin은 갈근의 항산화 성분이며, 카테킨 성분은 간 기능을 회복시키는 성분으로 알려져 있다(Suzuki 등 1981; Kim 등 1984; Oh 등 1990; Park 등 1998; Kuhm 등 2004). 또한, 칡은 구황작물로 애용되었을 뿐만 아니라 발한, 해열제, 감기, 고혈압, 협심증, 당뇨병, 숙취 제거 등에 활용되어 왔다. 특히 꽃은 한방에서 갈화라 하여 한방 또는 민간에서 숙취 등의 묘약으로 사용하고 있다(Aoki & Tani 1977; Lorenz & Kulp 1982; Cha 등 1984; Kim 등 1985; Kim 등 1986; Lee 등 1987). 근래에는 칡차, 갈근탕, 칡즙 등의 건강식품뿐만 아니라 칡 전분을 사용한 국수, 냉면 등이 개발 판매되고 있다. 일본에서는 칡 전분을 소재로 하여 전통적인 과자 제품, 면류 제조용, 당면, 두부류, 디저트 등 식품에 많은 칡 전분을 사용하고 있다.

전분은 대표적인 식물의 저장 탄수화물로서, 일반적으로 세포 내의 세포질에 존재하는 색소체에서 형성되며, 그 속에 입자(granule)의 형태로 존재한다(Vandeputte 등 2003a: Vandeputte 등 2003b). 이러한 전분 입자는 수분이 존재하는 조건에서 가열되는 동안에 팽윤되어 호화된다. 호화된 전분은 전분 입자들의 파괴에 의해 결정성 물질의 특징인 이방성, 즉 방향 부동성(anisotropy)과 복굴절(birefringence) 현상의 소실, 용해현상(solubilization)의 증가, 점도(viscosity)의 증가와 같은 특징을 나타낸다(Lee & Osman 1991; Alejandra 등 1999; Lai HM 2001; Vandeputte 등 2003c). 전분은 팽윤과 동시에 아밀로오스의 용출이 일어나며 이때 전분 농도가 충분히 높으면 냉각시에 젤화가 이루어진다. 전분의 젤화는 전분 함유 식품의 조직감이나 품질을 조절하는 중요한 요인이 되며, 전분의 농도, 팽윤된 전분입자의 구조, 입자로부터 용출된 아밀로펙틴과 입자간의 결합, 가열온도, 가열시간 등이 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Tester & Morrison 1990; Lii 등 1995). 특정 농도 이상의 호화 전분용액은 냉각 및 저장 중에 아밀로오스 나선형 사슬간의 회합에 의한 젤화가 진행되고, 짧은 사슬의 아밀로펙틴이 느리게 재결정화되면서 노화가 일어나는데, 이는 저장기간과 온도에 의존적인 특성을 보인다(Miles 등 1985; Gidley MJ 1989). 젤의 일반적인 제조공정은 당류와 젤화제를 혼합하여 농축, 성형하여 굳혀 제조하는데 사용되는 젤화제에 따라 펙틴 젤리, 한천 젤리, 젤라틴 젤리, 전분 젤리 등으로 구분되고 있다. 조직상의 특징은 펙틴 젤리는 잘 끊어지며 약간의 씹힘성을 가지며, 한천 젤리는 보다 더 잘 끊어지는 반면에 젤라틴 젤리는 질기고 씹힘성이 뛰어나며 전분 젤리는 단단한 조직을 가지고 있어 다양한 소비자의 기호를 충족시켜 주고 있다(Lee 등 1991). 여러 가지 전분 중 칡 전분은 다른 전분에 비하여 젤을 만들었을 때 젤리 식품(젤라틴 젤, 펙틴 젤, 한천 젤)에 가장 비슷한 특성을 갖고 있어 부가가치를 창출 할 수 있을 것으로 생각한다. 그러나 칡 전분에 대하여는 부분적인 연구가 이루어져 있으며, 아직 특정 가공식품(칡즙, 칡국수, 칡묵, 칡냉면 등) 외에는 많은 부분에 사용되고 있지 않아 보다 다양한 연구가 필요한 실정이다(Ciacco & D'Appolonia 1977; Williams 등 1970).

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 자생하는 칡 전분의 이용 확대를 위한 칡 전분 젤 제조조건에 미치는 가열처리 조건의 영향을 알아보고자 한다. 즉, 칡 전분의 농도 및 가열조건(온도 및 시간)을 달리하여 젤을 제조하고 이의 여러 가지 특성을 분석하여 칡 전분 젤의 최적 제조조건을 알아보았다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료 및 일반성분 분석

경상남도 울진군 일대에 야생한 뿌리를 채취하여 만든 칡 전분을 경동시장(2007년산)에서 구입하여 분쇄기(FM- 909T©, Hanil Electric., Korea)를 이용하여 마쇄하고 100 mesh 체로 분쇄되지 않은 찌꺼기를 제거한 후 시료로 사용하였으며, 그 외 본 실험에서 사용한 모든 시약은 시약급으로 구입하여 사용하였다. AOAC법(1984)에 따라 칡 전분의 일반성분을 분석하였다. 즉, 수분함량은 105℃ 상압가열건조법, 조지방 함량은 Soxhlet 추출법, 조단백질 함량은 semi-micro Kjeldahl법, 회분 함량은 건식 회화법으로 측정하였으며, 탄수화물 함량은 전체 함량의 차이로 구하였다.

### 2. 칡 전분 젤의 제조

밀봉이 가능한 병에 칡 전분 시료를 7%, 8%, 9% 및 10% (w/w)가 되도록 넣은 후, 각각의 시료에 증류수 20 ㎖를 첨가하여 30초간 교반하였다. 이때 첨가한 증류수의 pH는 pH meter(Metrohm 632, Swiss)를 이용하여 측정하였으며, 증류수의 pH는 acetic acid와 NaOH를 사용하여 pH 2.0, pH 4.0, pH 7.0 및 pH 10.0으로 조정하였다. 각각의 분산된 칡 전분 현탁액을 95℃에서 30분간 호화시킨 후 저온항온기(4℃)에서 12 hr 동안 저장하여 젤을 제조하였다. 또한, 칡 전분을 7%, 8% 및 9%(w/w)가 되도록 밀봉이 가능한 병에 넣은 후, 각각에 증류수 20 ㎖(v/v)를 첨가하여 voltex mixer를 이용하여 혼합하고 water bath에서 일정한 속도(70 rpm)로 교반하면서 여러

가지 가열온도(70℃, 80℃, 90℃ 및 100℃)에서 10분, 20분 및 30분간 열처리하였으며, 110℃와 120℃는 autoclave에서 동일한 시간 동안 가열처리 하였다. 열처리 후 저온항온기(4℃)에서 12 hr 동안 정치시켜 젤을 형성시켰다.

### 3. 조직감 측정

각각의 조건별로 제조된 칡 전분 젤의 조직감은 Texture analyzer(TA- XT2i, Stable Micro Systems, England)를 이용하여 측정하였다. 측정조건은 25 ㎜ 탐침을 이용하여 0.5 ㎜/s의 속도로 25%의 변형이 일어나도록 압착시험을 실시하여 견고성(hardness)을 측정하였다. 모든 측정은 5회 반복 측정하여 측정값이 비슷한 3개의 평균값으로 계산하였다. 또한, 4℃에서 24 hr 동안 저장한 젤 시료의 조직감을 동일한 조건으로 측정하여 저장에 따른 젤의 특성 변화를 알아보았다.

### 4. 호화도 및 노화도 측정

여러 가지 제조 조건별로 만들어진 젤 시료 및 저장한 젤 시료를 급속동결(−70℃)한 후, 동결건조기(Ilshin Co., Korea)를 이용하여 동결건조(작동조건: −50℃, 1.33 Pa)하였다. 동결건조한 각각의 시료를 분말화하여 표준체(100 mesh; 150 ㎛)를 통과시켜 일정한 입자 크기의 고형분을 측정용 시료로 사용하였다. 분말시료 20 ㎎을 50 ㎖ centrifuge tube에 넣고 증류수 5 ㎖를 첨가하여 분산시킨 후, 각각 tube에 glucoamylase solution (20.1 units/g solid, acetate buffer, pH 4.5) 25 ㎖를 넣어 40℃에서 1시간 동안 반응시켰다. 반응시킨 후 25% TCA (trichloroacetic acid) 2 ㎖를 넣어 반응을 정지시키고 원심분리(16,000 × g, 5 min)하여 상등액을 취하여 호화도를 구하였다. 이 때 상등액내에 10～70 ㎎/㎖의 환원당을 함유하도록 증류수로 희석하였으며, 이 중에서 0.5 ㎖를 취하여 test tube에 넣은 후 1.5 ㎖의 DNS시약과 혼합하고 끓는 물에서 5분간 반응시킨 후 빙수에 담아 상온으로 냉각한 다음 550 ㎚에서 흡광도를 측정하였다. 측정한 흡광도 값을 포도당을 이용하여 동일한 측정조건에서 구한 표준곡선 식(y = 0.0096x + 0.0164)에 대입하여 호화도를 계산하였다. 또한 각각의 조건별로 제조한 시료의 저장에 따른 노화도는 시료의 초기 호화도에서 저장 후 시료의 호화도 값의 차이로 구하였다(Tsuge 등 1990).

### 5. 전분 젤의 미세구조 관찰

시료의 미세구조는 SEM(Scanning Electron Microscopy, JSM-840M, JEOL, Japan)을 이용하여 측정하였다. 즉, 시료를 동결건조 후 최종시료로 사용하여 carbon tape가 붙여진 metal studs에 마운팅(mounting)시킨 후, 15 ㎚로 gold coating하였고, 가속전압은 20 KV로 하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 칡 전분의 일반성분

본 실험에 사용한 칡 전분(arrowroot starch)의 일반성분 분석결과는 Table 1에 나타내었다. 수분함량은 17.00%, 조단백질 함량은 0.00%, 조지방 함량은 0.47%, 조회분 함량은 0.18% 및 탄수화물 함량은 82.35%로 조사되었다. 이들 함량은 Kim 등(1987)의 보고한 조단백질 함량은 0.72%, 조지방 함량 0.11%, 조회분 함량 0.11% 정도 차이가 있는 것으로 나타났다.

### 2. pH에 따른 칡 전분 젤의 강도 특성

여러 가지 pH에서 호화시킨 후 냉각을 통해 제조한 칡 전분 젤의 강도(hardness)를 조사한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 일반적으로 전분에 산을 첨가하면 전분입자의 무정형 영역으로 이동하며 가열할 경우 무정형 영역의 전분분자들의 가

**Table 1. The chemical composition of arrowroot starch**

| Constituents | Contents(%) |
|---|---|
| Moisture | 17.00 |
| Crude protein[1)] | 0.00 |
| Crude lipid | 0.47 |
| Crude ash | 0.18 |
| Carbohydrate[2)] | 82.35 |

[1)] Calculation of protein content = N(%) × 6.25(nitrogen factor),
[2)] Calculated by difference.

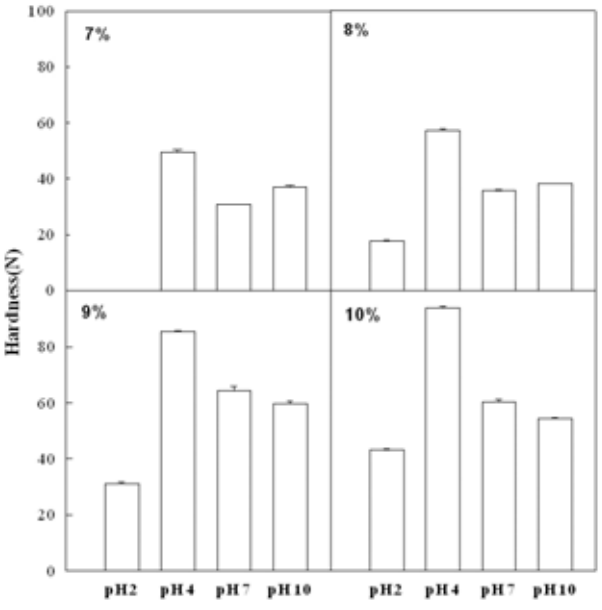


**Fig. 1. Effect of pH and starch concentration on the hardness of gel prepared with arrowroot starch.**

수분해가 일어날 수 있다. 이러한 결과로 전분 호화액의 점도 감소가 일어날 수 있으며, 뿐만 아니라 냉각 및 저장에 따른 전분 분자들 사이의 재결정화에 기인한 노화가 보다 쉽게 일어날 가능성이 있다(Choi 등 2000). 전분은 호화개시온도 부근에서는 저분자량의 아밀로오스 용출이 먼저 발생하고 온도가 상승함에 따라 고분자량의 아밀로오스 분자와 아밀로펙틴의 용출에 따른 호화가 진행되는데, 칡 전분의 경우 50℃ 이상의 호화온도에서 아밀로오스와 아밀로오스 펙틴이 동시에 호화되는 칡 전분만의 특징적인 현상이 일어나는 것으로 보고되고 있다(Suzuki 등 1981).

위에서 언급하였듯이 전분의 호화 동안에 pH는 전분의 특성 변화를 일으키는 매우 중요한 요소로서 칡 전분을 사용하여 여러 가지 pH에서 제조한 젤의 강도가 pH에 따라 많은 영향을 받는 것으로 나타났다(Fig. 1). 전체적으로 전분 농도에 관계없이 강산 영역인 pH 2.0에서 가장 작은 강도를 갖는 것으로 조사되었다. 특히 칡 전분 농도 7%의 경우는 pH 2.0에서 점성이 작은 호화액 상태로 존재하며 전분 젤이 형성되지 않는 것으로 나타났으며, 칡 전분 농도가 8%, 9% 및 10%로 증가함에 따라 강도는 각각 17.6 N, 31.0 N 및 43.5 N으로 유의적으로 커지는 것으로 나타났다. pH 4.0에서는 pH 2.0의 조건과 유사하게 전분 농도가 7%, 8%, 9% 및 10%로 상승함에 따라 젤의 강도는 49.6 N, 57.4 N, 85.4 N 및 93.6 N으로 나타나 동일 농도의 다른 pH에서 제조된 젤보다 전체적으로 가장 높은 강도를 보였다. 이는 pH 4.0에서 칡 전분 분자들의 부분적인 가수분해로 인한 전분 분자들의 용출이 용이하고 냉각에 따른 보다 안정적인 망상구조를 갖기 때문으로 생각된다. 그리고 외관의 경우도 일반 젤리와 가장 비슷한 모양의 젤은 pH 4.0과 칡 전분 8% 농도에서 제조된 젤이 가장 비슷한 결과를 보였다. pH 7.0에서 제조된 칡 전분 젤의 강도는 7%에서 10%로 증가함에 따라 각각 30.7 N, 35.9 N, 64.3 N 및 60.5 N의 값을 보이는 것으로 나타났다. 이는 산성 영역인 pH 2.0과 pH 4.0에서 제조된 시료와 다소 다른 경향이다. 즉, pH 7.0에서는 농도가 증가함에 따라 지속적으로 젤 강도가 증가하는 것이 아니라 전분 농도가 9%에서 10%로 증가하였을 때 오히려 젤 강도가 약 5.9% 정도 감소하였다. pH 10.0에서 제조된 시료의 경우에도 pH 7.0에서 제조된 시료의 경우와 전체적으로 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 결과를 볼 때, 산성 영역에서는 조사된 칡 전분에서 농도가 증가할수록 젤 강도가 증가한 반면에 중성 영역 이상의 염기성 영역에서는 젤 농도가 9%까지는 증가하였으나, 최대 농도인 10%에서 오히려 젤 강도가 감소한다는 사실을 알 수 있다. 이는 칡 전분의 젤 강도가 pH 및 전분 농도에 영향을 받는다는 사실을 의미한다고 생각한다.

### 3. 가열조건에 따른 칡 전분 젤의 강도 특성

여러 가지 칡 전분 농도와 가열조건에 따라 제조한 젤의 조직감을 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 동일농도에서 가열조건 중에서 80℃에서 제조된 젤이 가장 높은 강도를 나타내는 것으로 조사되었으며, 상대적으로 100℃ 이상의 높은 농도에서 제조된 젤의 강도가 약한 것으로 나타났다(Fig. 2). 또한, 동일 가열조건의 경우 칡 전분 농도가 증가함에 따라 젤의 강도가 커지는 경향을 보였다. 그리고 70℃와 80℃의 가열온도에서는 가열시간이 길어질수록 제조된 젤의 강도가 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났으나, 90℃ 이상의 가열온도에서는 전체적으로 볼 때 가열시간이 길어질수록 젤의 강도가 다소 감소하는 경향을 보였다. 칡 전분 농도 7%로 제조된 젤의 강도를 세부적으로 보면, 호화가 충분하게 일어나지 않는 70℃의 온도와 호화가 과다하게 일어날 수 있는 100℃ 이상의 고온에서 제조한 젤의 강도가 작은 경향을 보였으며, 이중에서 100℃에서 제조된 경우 유의적으로 가장 낮은 약 1.0 N 정도의 강도 값을 나타내었다. 이에 반하여 가장 높은 강도를 보이는 80℃의 온도에서 제조한 젤의 경우 가열시간이 10분, 20분, 30분에서 각각 2.3 N, 3.0 N 및 2.7 N의 강도를 나타내었다. 이러한 결과는 가열조건에 따라 호화 정도가 다르고 이로 인하여 젤의 강도에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려진 아밀로펙틴의 구조가 다르기 때문으로 생각된다. 8%의 칡 전분 농도에서 제조된 젤의 경우를 보면, 70℃와 80℃의 조건에서 가열시간이 길어짐에 따라 젤의 강도가 지속적으로 증가하는 경향을 보이는 것으로 조사되었다. 그 외의 가열온도에서는 가열시간에 따라 큰 변화를 보이지 않았다. 이는 전분의 호화 정도는 일반적으로 가열온도의 영향을 크게 받으며, 상대적으로 가열시간의 영향이 작은

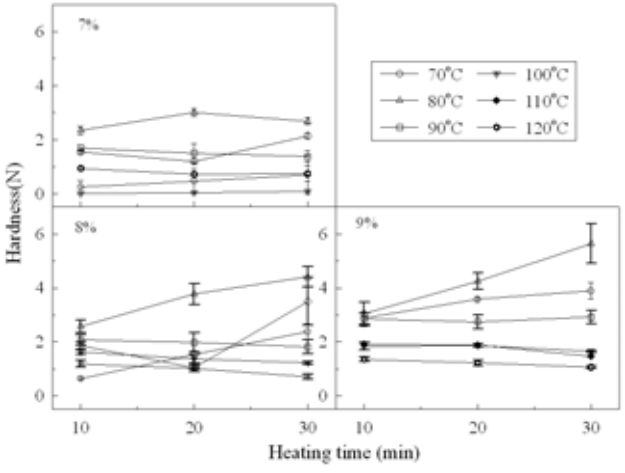


**Fig. 2. Change of hardness of arrowroot starch gel according to starch concentration and heating condition.**

것으로 알려진 사실과 일치하는 것으로 판단된다. 9%의 전분 농도에서 제조한 젤의 경우 전체적으로 8%에서 제조한 시료와 유사한 경향을 보이는 것으로 조사되었다. 그러나, 8%의 시료들과 달리 9%에서는 70℃에서 제조된 젤의 강도가 2.9~3.9 N로 상대적으로 크게 증가한 것으로 나타났다. 또한, 80℃에서도 칡 전분 젤의 강도가 3.0~5.6 N으로 8%의 경우보다 큰 값을 보였다. 이들 결과로부터 전분의 젤의 강도는 가열온도가 낮은 경우 가열시간에 크게 영향을 받는 반면에 가열온도가 상대적으로 높은 90℃ 이상의 경우에는 가열시간의 영향이 작은 것을 알 수 있으며, 또한 가열처리 온도가 높을 경우 호화 전분액을 냉각시켜 제조한 젤의 구조가 상대적으로 약화된다는 사실을 알 수 있다.

### 4. 저장에 따른 칡 전분 젤의 강도 변화

여러 가지 제조조건에서 만든 칡 전분 젤을 4℃에서 24시간 저장한 후의 강도 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 여러 가지 가열조건으로 제조한 젤의 저장 전후의 강도는 가열온도에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 즉, 70℃, 80℃ 및 90℃의 온도에서는 대체적으로 저장한 젤의 강도가 저장 전보다 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났으나, 상대적으로 온도가 높은 100℃, 110℃ 및 120℃에서는 오히려 저장 후 젤의 강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 가열온도 70℃와 7%의 칡 전분 농도를 갖는 시료의 경우 저장 전후 젤의 강도가 거의 변하지 않는 특성을 보였으나, 동일온도의 8%와 9%의 시료에서는 젤의 강도가 증가하였다. 8%의 농도에서는 가열 시간이 10분, 20분 및 30분으로 길어짐에 따라 젤의 강도가 각각 0.64 N에서 0.63 N, 1.54 N에서 1.29 N 및 2.38 N에서 1.77 N으로 그 차이가 상대적으로 커지는 것으로 나타났다. 또한 9%의 농도에서도 각각 2.87 N에서 2.17 N, 3.58 N에서

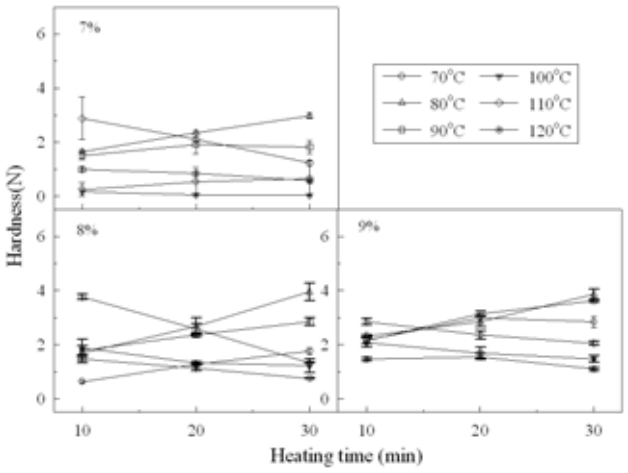


**Fig. 3. Change of hardness of various arrowroot starch gels after storage for 24 hr at 4℃.**

3.00 N 및 3.89 N에서 2.84 N으로 유사한 경향을 나타내었다. 80℃에서 제조된 시료군의 경우 7%, 30분의 조건에서 제조한 시료를 제외한 모든 조건에서 저장 후 젤의 강도가 감소하는 경향을 보였으며, 감소 정도는 70℃의 시료군들에 비하여 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 특히 9%의 시료군의 경우 가열시간에 따른 저장 전후의 젤의 강도가 각각 3.04 N에서 2.33 N, 4.24 N에서 2.85 N 및 5.64 N에서 3.85 N으로 그 차이가 70℃의 시료군들에 비하여 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 90℃의 시료군들의 경우 가열시간이 10분인 경우에 칡 전분 농도에 관계없이 저장 후 젤의 강도가 감소하는 경향을 보인 반면에, 가열시간이 20분 및 30분의 경우 저장 후 젤의 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 100℃의 시료군의 경우 저장 후 젤의 강도가 저장 전보다 9%, 20분 및 30분의 시료를 제외하고는 전체적으로 증가하는 경향을 보였으나, 그 차이는 작은 것으로 분석되었다. 동일온도에서 9%, 20분 및 30분의 조건에서 제조한 시료의 경우 각각 1.88 N에서 1.70 N과 1.65 N에서 1.48 N으로 다소 감소하는 것으로 나타났다. 또한 젤의 강도가 저장 후 전체적인 증가하는 경향은 가열시간에 따라 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 120℃에서 제조된 시료군들에서도 거의 유사하게 나타났다. 그러나, 110℃에서 제조된 시료군들의 경우 7%와 8%의 농도와 가열시간이 30분에서 저장 후 젤의 강도가 각각 2.14 N에서 1.23 N과 3.50 N에서 1.33 N으로 예외적으로 크게 감소하는 경향을 나타내었으며, 그 외의 경우에는 저장 후 젤의 강도가 모든 조건에서 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과들은 전분을 호화시키면 나타나는 전분 특유의 성질에서 나타나는 현상으로 생각되며(Williams 등 1970; Ciacco & D'Appolonia 1977; Hormdok & Noomhorm 2007), 이로 인하여 젤의 가열조건에 따른 젤의 호화 정도 및 미세구조를 이루는 아밀로펙틴의 구조적 안정성의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

### 5. 제조조건에 따른 칡 전분 젤의 호화도 및 노화도

여러 가지 제조조건으로 만든 칡 전분 젤의 호화도는 Fig. 4에, 그리고 24시간 저장한 후의 노화도는 Fig. 5에 나타내었다. 칡 전분 젤의 호화도는 전체적으로 가열온도 및 시간이 증가함에 따라 칡 전분 농도에 관계없이 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 칡 전분 농도 7%에서는 가열온도가 상승함에 따라 증가 폭이 8% 및 9%에 비하여 상대적으로 매우 작은 것으로 조사되었다. 가열온도가 70℃에서 120℃로 증가함에 따라 7% 칡 전분 젤의 호화도는 가열시간 10분, 20분 및 30분에서 각각 68.4%에서 77.8%, 70.9%에서 78.1% 및 74.8%에서 76.1%의 값을 보였다. 또한 동일 온도에서 가열시간이 증가함에 따라 70℃와 80℃에서의 호화도는 증가하는 경향을 보

였으나, 90℃ 이상에서는 거의 유의적인 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이는 호화온도가 충분히 높지 않은 경우에는 가열시간이 호화도에 중요한 영향을 미치지만 호화온도가 높은 90℃ 이상에서는 가열시간에 따른 영향이 작은 것으로 판단되며, 이는 일반적으로 전분의 호화도는 동일온도에서의 가열시간보다 가열온도의 증가에 따라 크게 영향을 받는다는 사실과 일치하는 결과이다. 그리고 칡 전분 농도가 7%에서 8% 및 9%로 증가하였을 경우, 가열온도가 낮은 70℃와 80℃에서는 호화도가 가열시간에 관계없이 모두 감소한 것으로 나타났다. 그러나, 8%의 농도에서는 7%와 달리 가열온도 증가에 따른 호화도의 증가 폭이 지속적으로 증가하는 것으로 나타나 온도의 영향을 크게 받는 것으로 분석되었다. 8%의 농도에서는 최대 호화도가 120℃에서 가열시간에 관계없이 약 76%의 값을 보였으며, 9%에서는 최대호화도가 동일온도에서 약 80%의 값을 보이는 것으로 조사되었다. 이러한 가열조건 및 전분 농도에 따른 호화도의 차이는 앞서 언급한 칡 전분의 조직감 특성과 직접적인 관련이 있을 것으로 판단된다.

한편, 제조된 칡 전분의 저장에 따른 호화도의 감소 정도, 즉 노화도를 분석한 결과(Fig. 5), 7%의 농도에서는 다른 두 농도 (8%, 9%)와 달리 전체적으로 가열온도에 따른 영향을 작게 받은 것으로 나타났다. 7%의 칡 전분 농도에서의 경우, 가열온도가 70℃에서 120℃로 상승함에 따라 각각의 가열시간에서는 변화가 거의 없는 것으로 나타났으나, 동일온도에서는 가열시간에 따른 차이가 있었다. 즉, 7%, 70℃의 조건에서 노화도는 가열시간 10분, 20분 및 30분에서 각각 12.6%, 14.3% 및 17.4%로 가열시간이 길어짐에 따라 노화도도 증가한 것으로 나타났다. 8%의 칡 전분 농도에서는 전체적으로

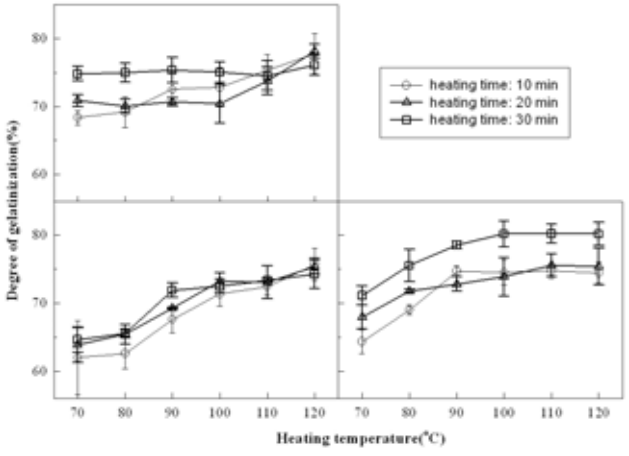


**Fig. 4. Degree of gelatinization of arrowroot starch gel prepared with various starch concentrations and heating conditions.**

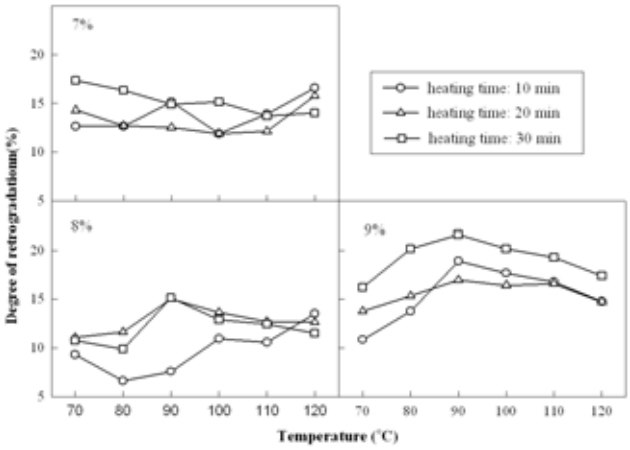


**Fig. 5. Degree of retrogradation of the arrowroot starch gel prepared with various starch concentrations and heating conditions after storage of 24 hrs at 4℃.**

가열시간 10분의 조건에서 제조된 시료가 가열시간 20분, 30분의 시료에 비하여 상대적으로 작은 노화도를 보였으며, 가열시간 20분 및 30분에서 제조된 시료들의 경우 노화도가 거의 유사한 것으로 나타났다. 또한, 8%의 시료군이 전체적으로 낮은 범위의 노화도 값을 보였다. 그리고 9%의 칡 전분 농도에서는 90℃의 가열온도에서 제조된 젤이 가열시간에 관계없이 가장 큰 노화도를 보이는 것으로 나타났다.

### 6. 칡 전분 젤의 강도와 호화도 및 노화도와의 상관성

일반적인 젤과 유사한 외관을 보인 80℃에서 제조한 칡 전분의 젤 강도(hardness)와 호화도 및 노화도와의 상관성을 분석한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 칡 전분 젤의 강도와 호화도의 상관성을 보면(Fig. 6), 8%와 9%의 농도에서 상관계수(r)가 0.95 이상의 높은 값을 보이는 것으로 나타났으나, 7%의 농도에서는 거의 상관성이 없는 것으로 분석되었다. 8%의 칡 전분 농도에서 제조된 시료의 경우 호화도가 약 63～66%로서 9%의 농도로 제조된 시료의 69.0～76%에 비하여 상대적으로 작았으며, 또한 강도의 경우도 8%에서 2.6～4.4 N으로 9%의 3.0～5.6 N에 비하여 작은 것으로 나타났다. 그러나, 이러한 결과는 80℃에서의 경우에 국한된 것으로, 다른 제조 조건의 경우에는 뚜렷한 일관성을 보이지 않는 것으로 나타났다.

한편, 젤의 강도와 노화도와의 상관성의 경우(Fig. 6), 7%와 9%의 시료군에서는 비교적 높은 상관성을 보인 반면에, 8%의 시료군의 경우에는 강도와 노화도의 상관성이 낮은 것으로 분석되었다. 7%의 시료군의 경우 노화도가 12.6～16.3%이었을 때, 강도가 1.65～2.97 N이었으며, 9% 시료군의 경우 노화도가 13.8～20.2%이었을 때, 강도가 2.33～3.85 N의 값을

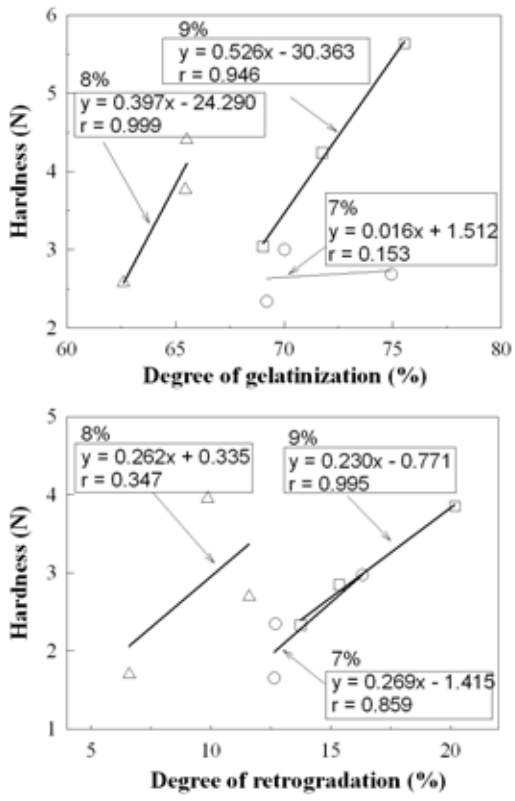


**Fig. 6. Correlation between hardness and degree of gelatinization or retrogradation in the arrowroot starch gel made with various conditions.**

보여 호화도와 마찬가지로 노화도가 클 경우 젤의 강도도 큰 것으로 나타났다. 특히, 7%와 9%의 회귀직선을 보면 동일한 노화도의 경우 동일한 젤 강도를 보이는 것으로 나타났다. 그러나, 8%에서 제조된 시료의 노화도와 강도의 상관성을 분석한 상관계수는 0.35로 상관성이 없어 노화도와 젤 강도와의 상관성 또한 호화도와 마찬가지로 본 연구에서 제조한 모든 젤에 적용할 수 없는 특정 제조조건에서 적용 가능한 것으로 생각된다(Ciacco & Fernades 1979; Wootton & Bamunuarachchi 1980).

### 7. 칡 전분 젤의 미세구조

여러 가지 가열온도에서 제조한 칡 전분 젤의 미세구조는 Fig. 7과 같다. 8%의 칡 전분 농도와 여러 가지 가열온도에서 30분 동안 가열한 후 제조한 젤을 동결건조하여 내부구조를 관찰한 결과 전체적으로 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 이루어진 연속상의 그물망 구조를 갖는 것으로 나타났다(Fig. 7). 가열온도에 따라 서로 상이한 구조를 나타내었는데, 이는 가열조건에 따라 호화도의 차이, 즉 아밀로오스의 용출 정도와 아밀로펙틴의 구조적인 차이에서 비롯된 것으로 생각된다. 호화도가 비교적 낮은 70℃와 80℃의 가열온도에서는 아밀로펙틴의 구조가 유지된 보다 조밀한 구조를 보였으나, 가열온도가 증가함에 따라 아밀로오스 용출량의 증가 및 아밀로펙틴 구조의 부분적인 붕괴가 수반된 후 그물망 구조가 젤이 되면서 재형성된 것으로 판단된다. 이러한 칡 전분 젤의 내부구조는 저장 후 변화되는 양상을 나타내었다. 즉, 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 이루어진 연속상의 그물망 구조가 저장에 따라 전분의 재결정화가 진행되어 빈 공간이 더욱 뚜렷한 구조(ghost structure)를 변화되는 것으로 나타났다. 이러한 빈 공간구조(ghost structure)는 호화도가 낮은 70℃ 및 80℃보다는 호화 정도가 큰 높은 가열온도에서 제조된 젤에서 더욱 뚜렷한 양상을 나타내었다. 이는 높은 호화도를 보인 젤의 구조가 낮은 호화도를 보인 젤의 구조보다 안정성이 상대적으로 작기 때문인 것으로 생각된다.

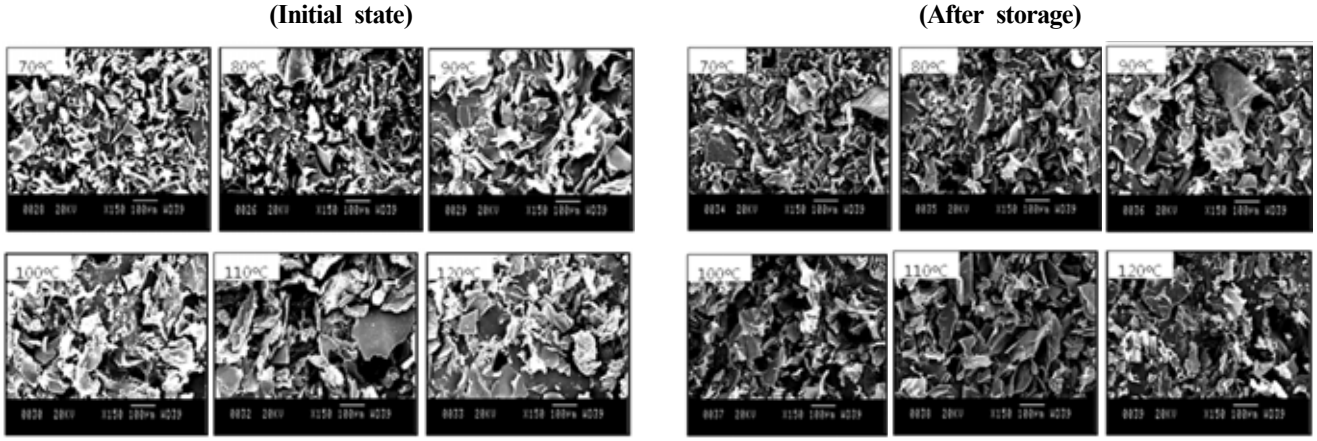


**Fig. 7. Scanning electron micrograph(SEM) of the initial state and storage state(24 hrs at 4℃) of arrowroot starch gel(8%) prepared by heat treatment for 30 min at various temperatures.**

## 요 약

본 연구는 칡 전분 젤의 제조 조건에 따른 젤의 특성을 알아보기 위하여 여러 가지 pH(2.0, 4.0, 7.0 및 10.0)와 칡 전분 농도 (7%, 8% 및 9%), 가열조건(70℃, 80℃, 90℃, 100℃, 110℃ 및 120℃) 및 가열시간(10 min, 20 min 및 30 min)을 달리하여 칡 전분 젤을 제조하여 초기의 특성(강도, 호화도, 미세구조)과 24시간 저장한 후의 특성을 측정하고 이를 비교·분석하였다. pH 2.0 및 7%의 조건에서는 젤이 형성되지 않았으며, 그 외의 농도에서는 pH 2.0에서 최소의 강도를 나타내었으며, pH 4.0과 10%의 조건에서 최대값(약 94 N)을 보였다. pH 7.0과 10.0에서는 전분 농도가 7%에서 9%까지는 농도 증가에 따라 젤 강도가 증가하였으나, 10%의 경우에는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고 여러 가지 가열조건에서 7%, 8% 및 9%의 칡 전분 농도로 제조한 시료의 경우 가열온도 및 가열시간에 관계없이 80℃에서 제조된 젤이 가장 높은 강도(hardness)를 나타내었으며, 상대적으로 100℃ 이상의 높은 농도에서 제조된 젤의 강도의 값이 작았다. 70℃와 80℃에서는 가열시간이 길어질수록 젤의 강도가 증가하는 경향을 보였으나, 90℃ 이상의 온도에서는 가열시간이 길어질수록 젤의 강도가 감소하였다. 그리고 24시간 저장한 후의 젤의 강도는 100℃ 미만의 온도에서는 저장 전보다 감소하는 경향을 보였으나, 100℃ 이상에서는 오히려 증가하는 경향을 나타내었다. 젤의 호화도는 가열온도 및 시간이 증가할수록 전분 농도에 관계없이 증가하였으며, 80℃와 9%에서 제조한 젤의 강도와 호화도가 높은 상관성($r > 0.95$)을 보였다. 한편, 젤의 미세구조는 그물망 구조로 저장 후 빈 공간이 더욱 뚜렷한 구조(ghost structure)로 변화되는 양상을 나타내었다.



## 감사의 글

본 연구는 고려대학교 2008년도 대학연구비의 지원으로 연구되었으므로 이에 감사드립니다.


## 참고문헌


Alejandra GA, Antonio JA, Nuria MC, Laura B, Fulgencio SC. 1999. Assessment of some parameters involed in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chem* 66:181-187

AOAC. 1984. Official Methods of Analysis, 14th ed. Method No. 22-058, Association of official Analytical Chemists, Washington DC. USA

Aoki M, Tani Y. 1977. Chemical and physical properties of bracken and arrowroot starches. *J Home Econ Jap* 26: 249-251

Cha HS, Kim K, Kim SK. 1984. Modification of physicochemical properties of arrowroot starch by heat moisture treatment. *J Korean Agric Chem Soc* 27:252-258

Choi OJ, Shin MS, Chough SH, 2000. Viscosity properties of corn, potato and sweet potato starch according to pH. *Korean J Hum Ecol* 3:88-99

Ciacco CF, D'Appolonia BL. 1977. Characterization of starches from various tubers and their uses in breadmaking. *Cereal Chem* 54:1096-1107

Ciacco CF, Fernades JLA. 1979. Effect of various ions on the kinetics of retrogradation of concentrated wheat starch gels. *Starch* 31:51-53

Gidley MJ. 1989. Molecular mechanisms underlying amylase aggregation and gelation. *Macromolecules* 22:351-358

Hormdok R, Noomhorm A. 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food Sci Technol* 40:1723-1731

Kim K, Yoon HK, Kim SK. 1984. Physicochemical and rheological properties of arrowroot starch. *J Korean Agric Chem Soc* 27:245-252

Kim K, Yoon HK, Kim SK. 1985. Determination of degree of gelatinization of arrowroot starch. *J Korean Agric Chem Soc* 28:48-50

Kim K, Yoon HK, Kim SK, Lee SY. 1986. Rheological properties of arrowroot starch suspension. *Korean J Food Sci Technol* 18:114-117

Kim K, Yoon HK, Kim SH, Lee SY. 1987. Rheological properties of gelatinized arrowroot statch solution. *Korean J Food Sci Technol* 19:300-304

Kuhm H, Lim JH, Lee EJ, Chang KS. 2004. Rheological properties of gamma irradiated arrowroot starch. *Korean J Food Sci Technol* 36:740-743

Lai HM. 2001. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chem* 72:455-463

Lee TW, Lee YH, Yoo MS, Rhee KS. 1991. Instrumental and sensory characteristics of jelly. *Korean J Food Sci Technol* 23:336-340

Lee SY, Kim K, Kim SK, Yoon HK. 1987. Rheological properties of gelatinized arrowroot starch solution. *Korean J Food Sci Technol* 19:300-304

Lee YE, Osman EM. 1991. Factors affecting gelatinization

temperature of rice starch. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 20:646-652

Lii CY, Shao YY, Tseng KH. 1995. Gelation mechanism and rheological properties of rice starch. *Cereal Chem* 72:393-400

Lorenz K, Kulp K. 1982. Cereal and root starch modification by heat-moisture treatment. I. Physicochemical properties. *Starch* 34:50-54

Miles MJ, Morris VJ, Orford PD, Ring SD. 1985. The roles of amylase and amylopectin on the gelation and retrogradation of starch. *Carbohyd Resour* 135:271-281

Oh MJ, Lee WY, Lee KS. 1988. Purification and some properties of polyphenol oxidase from arrowroot. *J Sci Food Agric* 31:331-338

Oh MJ, Lee KS, Son HY, Kim SY. 1990. Antioxidative components of pueraria root. *Korean J Food Sci Technol* 22: 793-798

Park JH, Na HS, Kang KJ, Kim K, Kim SK. 1998. Comparison of physicochemical properties of arrowroot starches harvested in different time. *Korean J Food Sci Technol* 30: 97-102

Suzuki A, Hizukuri S, Takeda Y. 1981. Physicochemical studies of Kuzu starch. *Cereal Chem* 58:286-290

Tester RF, Morrison WR. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starch. Ⅱ Waxy rice starches. *Cereal Chem* 67: 558-563

Tsuge H, Hishida M, Iwaski H, Watanabe S, Goshim G. 1990. Enzymatic evaluation for the degree of stach retrogradation in foods and foodstuffs. *Starch* 42:213-216

Vandeputte GE, Vermeylen R, Geeroms J, Delcour JA. 2003a. Rice starches. Ⅰ Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behaviour of granular starch. *J Cereal Sci* 38:43-52

Vandeputte GE, Vermeylen R, Geeroms J, Delcour JA. 2003b. Rice starches. Ⅱ Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *J Cereal Sci* 38:53-59

Vandeputte GE, Vermeylen R, Geeroms J, Delcour JA. 2003c. Rice starchs. Ⅲ Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. *J Cereal Sci* 38:61-68

Williams PC, Kuzina FD, Hlynka I. 1970. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem* 47:411-419

Wootton M, Bamunuarachchi A. 1980. Application of differential scanning calorimetry to starch gelatinization. *Starch* 31:126-129

(2009년 7월 22일 접수; 2009년 8월 21일 채택)