

## 밤 전분 및 전분젤의 성질에 관한 연구

주난영 · 안승요\*

배화여자 전문대학 전통조리과, \*서울대학교 식품영양학과

### Properties of Chestnut Starch and It's Gel

Nan-Young Choo and Seung-Yo Ahn\*

*Department of Traditional Cuisine, Baewha Womens' Junior College*

*\*Department of Food and Nutrition, Seoul National University*

#### Abstract

This study was attempted to investigate physicochemical properties, molecular structural properties of native and acid-treated chestnut starch and chestnut starch gel. The amylose content was 18.9% and X-ray diffraction pattern showed Cb type. Swelling power was increased abruptly in the range of 65°C~75°C but increased slowly after that and solubility was increased abruptly until 70°C but increased slowly after that. In amylograms which have different heating temperatures, cooling viscosity at 50°C was reduced as heating temperature was increased. In molecular structural properties of amylose,  $\lambda_{max}$  was 640 nm,  $\beta$ -amylolysis limit was 84.2% and the degree of polymerization was 951 and in those of amylopectin,  $\lambda_{max}$  was 570 nm,  $\beta$ -amylolysis limit was 58.2%, the degree of polymerization was 1371 and average chain length was 22.6. In gel chromatography elution profiles of starch and amylose, 4.0% and 11.5% of low molecular weight-molecules( $<5 \times 10^3$ ) were leached out. In gel chromatography elution profiles of soluble starch, the higher heating temperature was, the more high molecular weight-starches were leached out. The elution profiles after debranching amylopectin with pullulanase showed 2.2 of the ratio of peakIII(DP 10-15) to peakII(DP 35-45). Acid hydrolysis extent of 2.2 N HCl-treated starch at 35°C for 10 days was 96% and hydrolysis rate showed two step pattern which had border line at 4 days. In elution profiles of acid treated chestnut starch, amylopectin peak was disappeared completely after 6 hrs and converted short chains of DP 10-15. Amylose content was increased until 6 hrs but decreased after that. Hardness of starch gel made at 75°C of heating temperature and cohesiveness of starch gel made at 85°C of heating temperature were the highest. Retrogradation rate of starch gels were relatively high, especially for the starch gel made at 75°C of heating temperature.

Key words: chestnut starch, chestnut starch gel, physicochemical property, molecular structural property

## 서 론

우리나라에서의 밤은 주로 기호식품으로 또는 제수용으로 소량 소비되는 이외에 일부 통조림으로 이용하고 있으나 그 소비량은 적으며 밤의 대량 소비를 위한 시도로써 밤을 통조림 하거나<sup>(1)</sup> 밤의 주성분인 전분을 이용하기 위해 전분과 결합하고 있는 지질에 대한 연구가 일부 이루어 졌다<sup>(2)</sup>. 밤과 같은 견과류에 속하는 도토리 전분이 주로 텍스처가 중요시 되는 목적으로 이용되어 온데 비해 밤 전분 자체를 음식으로 만들어 이용한 예는 없으나 최근들어 밤 전분도 젤을 만들어 그 텍스처나 노화속도, 음식으로서의 수용도 등을 여러 다른 전분젤과 비교한 연구들이 보고되고 있다. 즉, 박 등<sup>(3)</sup>은 밤 전분이

2~5%의 낮은 농도에서도 젤을 형성하는 특성이 있어 밤 전분을 이용한 특수 식품의 개발 가능성을 시사하였으며 이 등<sup>(4)</sup>은 밤 전분젤과 도토리 전분젤의 물리적 특성 비교연구에서 밤 전분젤의 견고성이 도토리 전분젤보다 작으나 반대로 응집성은 매우 크다고 보고하였다. 또한 박 등<sup>(3)</sup>과 손 등<sup>(5)</sup>은 밤 전분젤의 노화속도가 비교적 빠르다고 하였다.

본 연구는 밤 전분의 이화학적 성질, 분자구조적 성질, 산처리 전분 특성 및 젤 특성 등을 시험하여 밤 전분의 이용가능성을 높이기 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료

강원도 홍천산인 은기 품종의 밤을 1992년 2월 경동

Corresponding author: Nan-young Choo, Department of Traditional Cuisine, Baewha Womens' Junior College, 12, Pilun-Dong, Chongro-Gu, Seoul, Korea

시장에서 구입하여 사용하였다.

### 전분의 제조

전분은 알카리 침지법<sup>(6)</sup>에 의하여 분리하였다. 전분의 이화학적 성질 측정 일반성분 분석은 AACC법<sup>(7)</sup>에 의해 수분, 조단백, 조지방, 회분 등의 함량을 분석하였다.

아밀로오스 함량은 Williams 등<sup>(8)</sup>의 비색법으로 정량하였고 아밀로오스 표준 곡선은 Montgomery와 Senti<sup>(9)</sup>의 방법으로 분리한 밤전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴을 일정 비율로 혼합하여 작성하였다.

X-선 회절도는 회절기(Rigaku Co.)를 이용하여 Target, Cu-K $\alpha$ ; filter, Ni; 35 KV; 15 mA의 조건으로 회절각도 4~40도까지 회절시켜 분석하였다.

팽윤력과 용해도는 Schoch<sup>(10)</sup>의 방법을 개량하여 60~95°C의 범위에서 5°C 간격으로 진탕수욕조의 각 온도에서 30분간 흔들어 준 후 800×g에서 원심분리 하였다. 상정액 중의 총 당의 함량은 페놀-황산<sup>(11)</sup>법으로 측정하였다.

아밀로그래프는 Brabender Visco/amylo/Graph를 이용하여 Medcalf와 Gilles<sup>(12)</sup>의 방법으로 건량기준 8%와 10%의 전분현탁액에 대해 조사하였다.

### 아밀로오스와 아밀로펙틴의 분리

전분으로부터 아밀로오스와 아밀로펙틴은 Montgomery와 Senti<sup>(9)</sup>의 방법으로 분리하였다.

### 전분, 아밀로오스 및 아밀로펙틴 요오드 복합체의 최대 흡수파장

밤 전분, 아밀로오스와 아밀로펙틴 요오드 복합체의 최대흡수파장은 Williams 등<sup>(8)</sup>의 방법으로 double beam spectrophotometer(Shimazu Co.)를 이용하여 구하였다.

### 전분, 아밀로오스 및 아밀로펙틴의 $\beta$ -아밀라아제 분해 한도

전분, 아밀로오스 및 아밀로펙틴의  $\beta$ -아밀라아제 분해한도는 Biliaderis 등<sup>(13)</sup>의 방법으로 측정하였다. 용액 중의 총당의 함량과 환원당의 양을 각각 페놀-황산법<sup>(11)</sup>과 Somogyi-Nelson<sup>(14)</sup> 방법으로 정량하였다.

### 아밀로펙틴의 평균사슬길이

아밀로펙틴의 말단기 분석은 Potter 등<sup>(15)</sup>의 방법을 수정한 Greenwood와 Thomson<sup>(16)</sup>의 과요오드산 산화법으로 실시하였다.

아밀로펙틴의 바깥사슬길이와 안쪽사슬길이는 Lee<sup>(17)</sup>의 방법에 따라 구하였다.

### 아밀로오스와 아밀로펙틴의 고유점도 및 중합도

고유점도는 Greenwood<sup>(18)</sup>의 방법에 따라 Ubbelohde 점도계를 사용하여 측정하였고 이로부터 Huggins<sup>(19)</sup> 식에 의하여 고유점도 $[\mu]$ , 아밀로오스의 중합도, 아밀로펙

틴의 중합도를 구하였다.

### 전분의 겔 크로마토그래피

전분시료 100 mg에 DMSO 5 ml를 가하여 70°C의 항온수조에서 2시간동안 녹인 후 에탄올 15ml를 가하고 하룻밤 방치시켜 침전이 형성되면 800×g에서 10분간 원심분리하였다. 얻어진 침전물에 0.01 N NaOH를 소량 가하여 녹인후 Whatman No.42 여과지로 여과하여 여액중 1 ml를 Sepharose CL-2B 컬럼(길이: 95 cm, 내경: 2.4 cm)에 주입시키고 0.02% sodium azide를 포함하는 0.01 N NaOH로 20 ml/hr 속도로 용출시켰다. 용출액은 화분수집기를 이용하여 4 ml씩 분획하였으며 각 획분의 총당량은 페놀-황산법<sup>(11)</sup>으로, 요오드 반응의 최대흡수파장은 Biliaderis 등<sup>(20)</sup>의 방법으로 측정하였다.

한편 void volume은 dextran(Sigma Co., 분자량: 5,000,000~40,000,000)을 이용하여 위와 동일한 조건으로 용출시켜 조사하였으며 전체 부피는 글루코오스를 주입시킨 후 용출되어 나올 때까지의 용출액으로 정하였다. 컬럼의 보정은 Dextran T-10(분자량 10,000), Dextran T-40(분자량 40,000)과 Dextran T-500(분자량 500,000) (Pharmacia Co.)을 사용하여 분자량과  $K_{av}$ 간의 관계로 나타내었다.

### 가용성 전분의 겔 크로마토그래피

Ghiasi 등<sup>(21)</sup>의 방법을 개량하여 전분시료 0.5g을 20 ml 증류수에 분산시킨 후 진탕수욕조를 75°C, 85°C, 95°C로 각각 온도를 고정시킨 후 각 온도에서 30분간씩 흔들어 준 후 800×g에서 30분간 원심분리하고 상정액을 Whatman No.42 여과지로 여과하였다. 여액 중 1 ml를 Sepharose CL-2B 컬럼(길이: 95 cm, 내경: 2.4 cm)에 주입시켰다. 용출조건과 용출액의 분석은 앞의 전분의 겔 크로마토그래피와 동일하게 하였다.

### 불용성 전분의 겔 크로마토그래피

가용성 전분에서 얻어진 상정액을 모두 제거하고 남은 침전물을 에탄올과 에테르로 탈수하고 감압건조하였다. 이 시료를 앞의 전분의 겔 크로마토그래피와 동일한 방법으로 분석하였다.

### 아밀로오스의 겔 크로마토그래피

아밀로오스 40 mg을 끓는 물 5 ml에 분산시키고 Whatman No.42 여과지로 여과한 후 여액에 1 N NaOH 0.05 ml를 넣었다. 이 액 중 1 ml를 취하여 Sepharose CL-2B 컬럼(길이: 95 cm, 내경: 2.4 cm)에 주입하였다. 용출 조건 및 용출액 분석은 앞의 전분의 겔 크로마토그래피와 동일한 방법으로 분석했다.

### 아밀로펙틴의 겔 크로마토그래피

아밀로펙틴 25 mg을 cap test tube에 넣고 DMSO 1 ml와 pH 4.8의 acetate buffer 4 ml를 가하여 끓는 수

조에서 흔들면서 녹였다. 완전히 녹지않은 부분은 여과하여 제거하고 이 용액에 *Enterobacter pullulanase* (EC 3.2.1.41, Sigma Chemical Co.) 2 units를 가하고 37°C에서 48시간 반응시킨 후 끓는 수조에서 30분간 가열하여 반응을 종결시켰다. 효소 처리한 시료중 2 ml를 Sephadex G-50 컬럼(길이: 95 cm, 내경: 2.4 cm)에 주입하고 0.02% sodium azide를 포함한 pH 7.0의 0.01 M 인산완충용액으로 18 ml/hr의 속도로 용출시켰다. 용출액은 4 ml씩 분획하여 각 획분의 전 당량은 페놀-황산법<sup>(11)</sup>, 환원당량은 Somogyi-Nelson 법<sup>(14)</sup>으로 구하였으며 각 획분의 사슬길이는 전 당량을 환원당량으로 나누어 구하였다.

**산처리 전분의 제조**

전분의 산처리는 *Biliaderis* 등<sup>(22)</sup>의 방법으로 실시하여 오산화인(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)을 넣은 진공 데시케이터에서 건조하여 산처리 전분으로 사용하였다.

**산 가수분해율**

가수분해 정도는 여과액중의 총당량을 처음 시료 전분에 대한 비율로써 나타내었으며 이로부터 겔보기 반응속도상수(k)를 계산하였다<sup>(23)</sup>.

**산처리 전분의 X-선 회절도**

X-선 회절기를 이용하여 생전분에서와 같은 조건으로 분석하였다.

**산처리 전분의 겔 크로마토그래피**

24시간 동안 단시간 산처리한 전분의 겔 크로마토그래피는 생전분의 겔크로마토그래피에서와 같은 방법과 용출조건으로 분석하였다. 장시간 산처리한 전분의 겔 크로마토그래피에서 사용한 시료는 *Maningat*와 *Juliano*<sup>(24)</sup>의 방법에 따라 준비하였고 겔 크로마토그래피의 분석은 *Robin* 등<sup>(23)</sup>의 방법에 따라 실험하였다. 용출조건 및 용출액의 분석은 아밀로펙틴의 겔 크로마토그래피와 동일하게 하였다.

**산 처리 전분의 아밀로오스 함량 및 요오드 반응**

생전분에서와 동일하게 *Williams* 등<sup>(8)</sup>의 비색법으로 측정하였다.

**전분겔의 제조**

시료 현탁액의 농도가 8%, 9%, 10%(w/v, 건량 기준)가 되도록 시료를 취하여 50 ml screwcap tube에 담고 실온의 물 30 ml를 가하여 잘 분산시킨 다음 75°C, 80°C, 85°C, 90°C, 95°C로 고정된 진탕수욕조에서 각각 15분간 흔들어 주고 45분간 방치한 후 직경 2.0 cm, 높이 2.0 cm의 원통형 틀에 담아 실온에서 3시간 성형시켰다.

**전분겔의 견고성과 응집성**

전분겔의 텍스처는 Instron Universal Testing Machine 1140으로 2회 반복 압착시험하여 견고성(hardness)과 응집성(cohesiveness)의 값을 구하였다. 사용한 기기의 조건은 load cell 50 kg, full scale 5 kg, chart speed 200 mm/min, crosshead speed 100 mm/min, deformation 60%, 65%이었다.

**전분겔의 노화속도**

앞에서와 같은 방법으로 9%(w/v, 건량 기준)의 전분 겔을 75°C, 85°C, 95°C에서 제조하여 실온에서 3시간 성형시킨 후 4°C에 저장하였다. 전분겔의 노화속도 분석은 겔을 4°C에서 저장하면서 1, 2, 3 및 4일째의 겔의 견고성을 Instron Universal Testing Machine을 이용하여 1회 압착 시험하여 구하였고, 이를 Avram방정식<sup>(25-27)</sup>에 적용시켜 노화속도를 구하였다. 사용한 기기 조건은 앞의 실험과 동일하다.

**결과 및 고찰**

**전분의 이화학적 성질**

수분함량은 15.22%, 조단백은 0.67%, 조지방은 0.09%, 회분은 0.03%였다. 아밀로오스 함량은 18.9%였고 이에 대해 박 등<sup>(3)</sup>은 22.7%, 이 등<sup>(28)</sup>은 22.5%로 보고하였으며 이는 실험방법이나 품종, 수확기의 차이라고 생각된다.

X-선 회절도는 Fig. 1과 같다. 회절도의 15.3°, 17.3°, 23.4° 등에서의 피크들은 C형에 나타나는 전형적인 피크이며, 14.4°와 22.3° 등은 B형에 나타나는 피크로서 종합적으로 밤 전분은 C<sub>0</sub>형에 가까웠다. 이에 비해 박 등<sup>(3)</sup>과 이 등<sup>(28)</sup>은 B형으로 구분하였고 *Takeda* 등<sup>(29)</sup>은 C<sub>0</sub>형으로 구분하였다.

팽윤력과 용해도의 결과는 Fig. 2와 같다. 밤 전분의 팽윤력은 70°C에서 19.7, 80°C에서 30.93, 90°C에서 36.67였다. 또한 팽윤력은 곡선에서와 같이 75°C까지는 급격히 증가하고 그보다 높은 온도에서는 완만히 증가하였다. 한편 용해도는 60~70°C까지는 직선적으로 급격히 증가

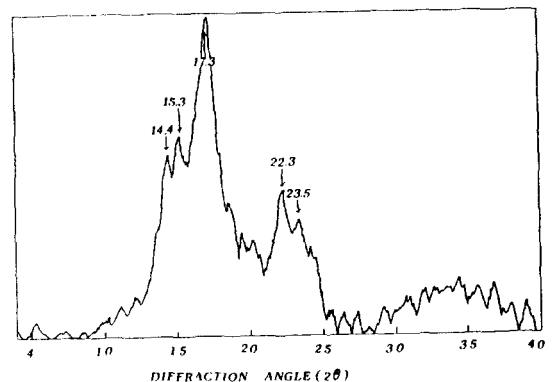


Fig. 1. X-ray diffraction pattern of chestnut starch

하였고 그보다 높은 온도에서는 완만하게 증가하였다.

아밀로그래프의 특성치는 Table 1에 나타내었다. 초기 호화온도는 농도나 가열온도에 관계없이 비슷하였고 냉각점도는 농도에 관계없이 가열온도가 증가함에 따라 낮아졌다. 초기호화온도는 아밀로오스 함량 및 무정형 부분에서의 분자간의 회합정도등이 영향을 미치며 전분 입자내의 내부구조가 치밀할수록 가열시 느리게 팽윤되어 높은 호화온도를 갖는다고 하였다<sup>(30)</sup>. 도토리 전분 8%의 초기 호화온도는 68.5~69°C<sup>(28,31)</sup>, 녹두와 동부는 71°C<sup>(32)</sup>로 보고되는데 비해 밤 전분은 67°C로 조금 낮아 밤 전분의 결정구조가 더 약한 것으로 볼 수 있다. 최고점도 (peak viscosity, P)와 95°C에서 15분간 유지후의 점도(hot paste viscosity, H)의 차이인 breakdown(P-H)은 8%와 10%에서 각각 320과 1085 B.U.였다. 이에 비해 8%의 도토리, 녹두, 동부 전분의 breakdown이 각각 100<sup>(28)</sup>, 20<sup>(32)</sup>, 120<sup>(32)</sup> B.U.인 것으로 보아 밤 전분의 팽윤된 입자가 열이나 전단(shearing)에 매우 약함을 알 수 있었다.

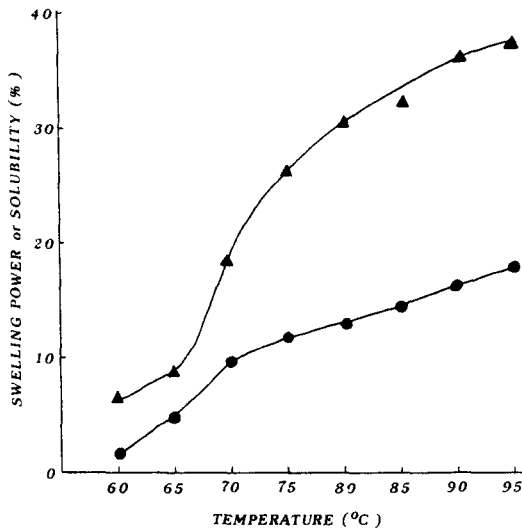


Fig. 2. Swelling power (▲) and solubility (●) of chestnut starch

Table 1. Brabender Visco/amylo/Graph data of chestnut starch (viscosity unit; B.U.)

Concentration (%)	Cooking temperature (°C)	Initial pasting temperature(°C)	Viscosity at CT <sup>1)</sup>	Peak viscosity	Viscosity after 15 min at CT <sup>1)</sup>	Viscosity at 50°C	Viscosity after 15 min at 50°C
8	75	67	1190	—	1125	1795	1720
	85	67	1245	—	1220	1580	1450
	95	67	1080	1210(85.5°C)	890	1230	1150
10	75	66	2200	—	2170	2690	2550
	85	66	1930	2190(77.5°C)	1530	1980	1820
	95	66	1460	2155(77.5°C)	1070	1930	1800

<sup>1)</sup>Cooking temperature

전분의 분자구조적 성질

밤 전분, 아밀로오스 및 아밀로펙틴의 요오드 복합체와의 최대흡수파장, β-아밀라아제 분해한도, 평균사슬길이, 중합도 등을 Table 2에 나타내었다. 아밀로오스의 β-아밀라아제 분해한도가 이론상의 수치인 100%에 이르지 못하는 것은 실험상의 오차이거나 아밀로오스도 소량의 α-1,6 결합을 가지기 때문일 수도 있겠다<sup>(13)</sup>. 한편 밤 전분 아밀로펙틴의 β-아밀라아제 분해한도는 58.2%로서 Takeda 등<sup>(29)</sup>의 보고와 일치하였으며 도토리, 녹두, 동부가 각각 64.99%<sup>(31)</sup>, 64.65%<sup>(32)</sup>, 65.87%<sup>(32)</sup>로 밤 전분의 아밀로펙틴은 비교적 가지를 많이 갖고 있으며 이는 최대흡수파장의 결과와도 잘 일치되었다.

밤 전분 아밀로펙틴의 평균사슬길이는 22.6으로 Takeda 등<sup>(29)</sup>이 보고한 22.8과 비슷하였다.

전분의 겔 크로마토그래피

밤 전분의 겔 크로마토그래피 용출양상은 Fig. 3과 같다. 요오드 복합체의 최대흡수파장으로 보아 앞의 좁고 긴 피크는 아밀로펙틴에 해당되는 부분이며(λ<sub>max</sub>: 550~570 nm), 뒤쪽의 작은 곡선은 저분자량의 아밀로오스에

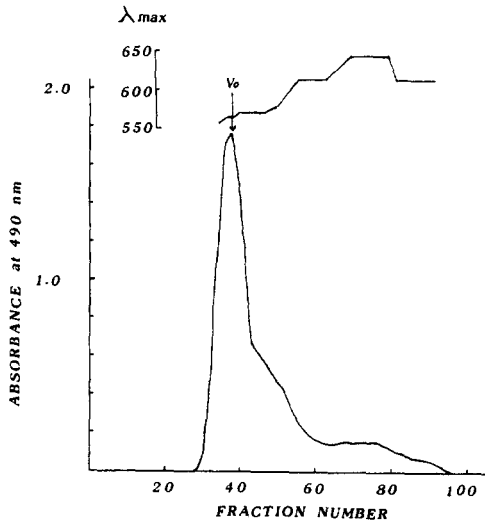
Table 2. Molecular structural properties of chestnut starch, amylose and amylopectin

	Starch	Amylose	Amylopectin
λ <sub>max</sub>	615	640	570
Absorbance at λ <sub>max</sub>	0.42	1.24	0.23
Absorbance at 680 nm	0.38	1.22	0.15
Intrinsic viscosity(cm <sup>3</sup> /g)	—	128.5	114.2
DP <sub>n</sub>	—	951	1371
β-amylosis limit(%)	67.4	84.2	58.2
Average unit chain			
CL <sup>1)</sup>	—	—	22.6
OCL <sup>2)</sup>	—	—	15.2
ICL <sup>3)</sup>	—	—	6.4

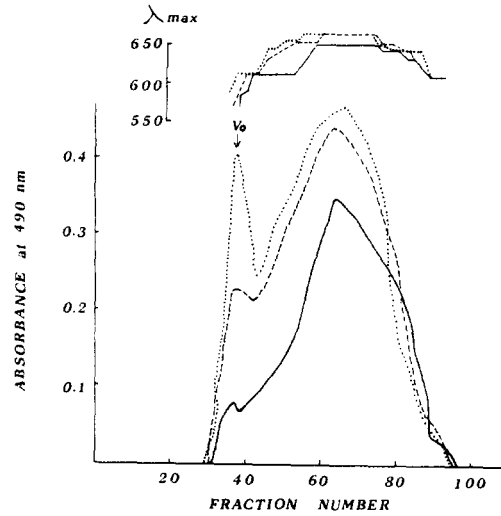
<sup>1)</sup>Average chain length

<sup>2)</sup>Outer chain length

<sup>3)</sup>Inner chain length



**Fig. 3. Gel chromatography of chestnut starch**  
 Column: Sepharose CL-2B, flow rate: 20 ml/hr  
 Eluent: 0.01 N NaOH with 0.02% sodium azide



**Fig. 4. Elution profiles of soluble chestnut starch leached at 75°C (—), 85°C (---) and 95°C (···)**  
 Column: Sepharose CL-2B, flow rate: 20 ml/hr  
 Eluent: 0.01 N NaOH with 0.02% sodium azide

속하며( $\lambda_{max}$ : 610~640 nm), 중간 부분은 좀더 큰 아밀로오스 또는 짧은 사슬의 아밀로펙틴으로( $\lambda_{max}$ : 580~600 nm) 추정된다<sup>(33)</sup>. 밤 전분의 분자량 분포는 Table 3과 같고 저분자량( $<5 \times 10^5$ )의 분자들이 전체의 4% 정도로 용출되었다.

가열온도를 달리하여 용출시킨 가용성 전분의 겔 크로마토그래피 용출양상과 분자량 분포는 Fig. 4 및 Table 3과 같다. 가열온도가 높아짐에 따라 고분자량의 분자들이 많이 용출되었다. Montgomery 등<sup>(9)</sup>과 Reeve 등<sup>(34)</sup>도 직쇄상의 분자가 먼저 용출되고 온도가 증가함에 따라 고분자량의 아밀로오스들이 용출된다고 하였다.

권<sup>(32)</sup>은 전분의 용출온도가 증가함에 따라 분자량이 큰 부분이 크게 증가하는 것은 호화가 시작되면서 무정형부분이 먼저 깨져 가용성 아밀로오스가 빨리 용출되고, 더 높은 온도에서 결정성부분이 붕괴되어 아밀로펙틴의 일부들과 intermediate fraction의 용출이 증가되기 때문이라 하였다.

가열온도를 달리하여 용출시킨 가용성 전분을 제거하고 남은 불용성 전분의 겔 크로마토그래피 용출양상과 분자량분포는 Fig. 5와 Table 3과 같다. 75°C에서 이미 저분자량( $<5 \times 10^4$ )의 분자들이 다 용출되어 빠져 나간 상태이며 85°C에서는  $5 \times 10^6$ - $4 \times 10^4$ 의 분자들이 더 많이 용출되어 나갔으며 95°C에서는 오히려 고분자량( $<5 \times 10^6$ )의 분자들이 용출되어 상대적으로  $5 \times 10^6$ - $5 \times 10^5$ 의 분자들의 분포가 증가됨을 알 수 있었다.

**아밀로오스의 겔 크로마토그래피**

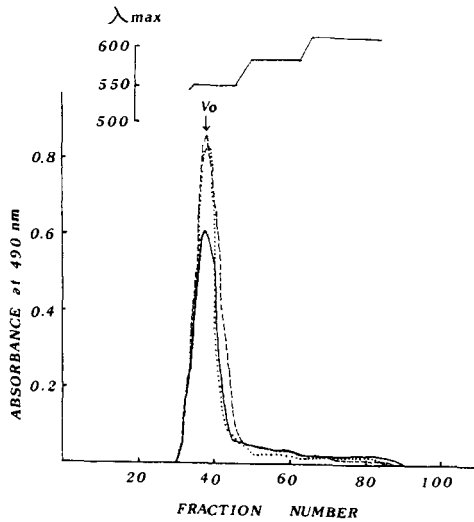
밤 전분 아밀로오스의 겔 크로마토그래피 용출양상은 Fig. 6과 같다. 단일한 피크를 나타내었고 요오드 복합

**Table 3. Percentage distribution of molecular weight of chestnut starch, soluble starch and insoluble starch**

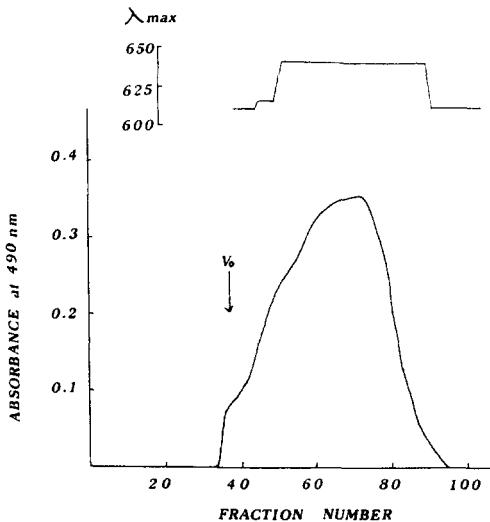
Variety	Leaching temp.(°C)	Molecular weight			
		$>5 \times 10^6$	$5 \times 10^6$ - $5 \times 10^5$	$5 \times 10^5$ - $4 \times 10^4$	$<4 \times 10^4$
Starch		81.6	14.4	2.9	1.1
Soluble fraction	75°C	19.5	65.2	11.2	4.1
	85°C	32.2	58.5	6.6	2.7
	95°C	38.7	53.2	5.7	2.4
Insoluble fraction	75°C	86.8	10.6	2.6	0
	85°C	93.7	5.5	0.8	0
	95°C	92.7	7.0	0.34	0

체의 최대흡수파장이 610~640 nm로서 순수한 아밀로오스 요오드 복합체의 최대흡수파장인 610~660 nm 범위<sup>(35)</sup>인 것으로 보아 총 7번의 재결정 과정에서 아밀로오스가 순수히 얻어졌음을 알 수 있었다. 분자량분포는  $<5 \times 10^6$ : 23.9%,  $5 \times 10^6$ - $5 \times 10^5$ : 64.6%,  $5 \times 10^5$ - $4 \times 10^4$ : 8.8%,  $<4 \times 10^4$ : 2.7%와 같으며 권<sup>(32)</sup>이 보고한 녹두( $>5 \times 10^6$ : 90.10%,  $<5 \times 10^5$ : 9.90%)와 동부( $>5 \times 10^5$ : 90.49%,  $<5 \times 10^5$ : 9.51%)에 비해 저분자량의 비율이 높은 것으로 보아 앞에서도 확인했듯이 녹두나 동부의 아밀로오스 보다 밤 전분의 아밀로오스의 평균크기가 작았다.

Biliaderis 등<sup>(13)</sup>은 순수한 아밀로오스라도 획득마다 요오드 복합체의 최대흡수파장이 다른 것은 아밀로오스 중합정도와 구조적 차이라고 설명하였고 노<sup>(36)</sup>는 실제로 같은 쌀 전분이라도 품종에 따라 각 획득의 최대흡수



**Fig. 5. Elution profiles of insoluble chestnut starch leached at 75°C (-), 85°C (---) and 95°C (···)**  
 Column: Sepharose CL-2B, flow rate: 20 ml/hr  
 Eluent: 0.01 N NaOH with 0.02% sodium azide

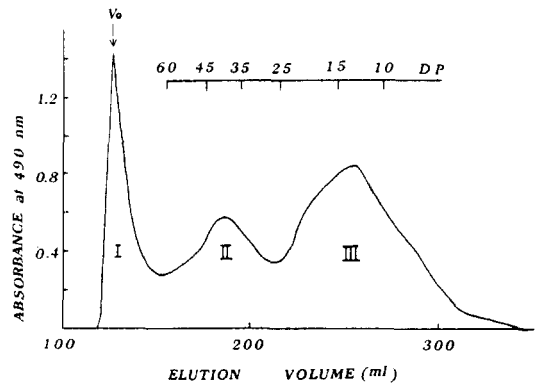


**Fig. 6. Gel chromatography of chestnut amylopectin**  
 Column: Sepharose CL-2B, flow rate: 20 ml/hr  
 Eluent: 0.01 N NaOH with 0.02% sodium azide

과장이 조금씩 달랐으며 역시 이것은 아밀로오스의 구조적 차이라고 하였다. 본 시료의 용출양상에서 전반부와 후반부획분의 낮은 최대흡수파장은 각각 분지된 아밀로오스 분자들의 용출과 중합도가 작은 아밀로오스 분자들의 용출에 기인한다고 생각된다.

**아밀로펙틴의 겔 크로마토그래피**

밤 전분 아밀로펙틴을 pullulanase로 분해한 후 Se-



**Fig. 7. Elution profiles of pullulanase-debranched chestnut amylopectin**

Column: Sepharose G-50, flow rate: 18 ml/hr  
 Eluent: 0.01 M phosphate buffer (pH 7.0) with 0.02% sodium azide

**Table 4. Characteristics of pullulanase-debranched chestnut amylopectin**

Characteristics		
Distribution of peaks (% by weight)	peak I	18.9
	peak II	25.6
	peak III	55.5
Ratio of III/II		2.2
Average chain length of each peak	peak II	41.2
	peak III	12.5

\*peak I, II, III은 Fig. 7에서 나타난 것임.

phadex G-50겔럼에 의한 겔크로마토그래피 용출양상은 Fig. 7과 같고 각 획분의 특성은 Table 4와 같다. 겔 크로마토그래피 용출양상은 3개의 주요 피크, 즉 void volume부근(피크I), DP 35-55(피크II), DP 10-20(피크III)로 된 양상을 나타내었으며 이중 피크II와 피크III는 가지가 절단된 후의 아밀로펙틴의 사슬들로 길이가 다른 두 종류의 사슬로 구성됨을 알 수 있었다.

아밀로펙틴을 pullulanase로 처리한 후에도 큰 분자량의 전분이 잔존되는 실험결과는 여러사람들에 의해 보고되고 있다. 이것은 아밀로펙틴 분리시 완전히 제거되지 못한 아밀로오스 이거나 pullulanase에 의해 절단된 사슬들이 다시 엉긴 것<sup>(37)</sup>, 혹은 아밀로펙틴 표면밀도가 너무 커서 pullulanase가 내부로 침투하지 못해 생긴 절단되지 못한 전분<sup>(37,38)</sup>이라 설명되고 있다.

아밀로펙틴의 평균사슬길이 차이와 전분특성에 관한 연구로는 Suzuki 등<sup>(49)</sup>이 감자(CL 23.9), 타피오카(CL 21.2), kuzu(CL 21.1) 등의 아밀로펙틴 평균사슬길이가 차이가 노화경향과 관계가 있으며 사슬길이가 길수록 노화경향이 크다고 보고하여 분자간의 회합과 사슬길이가 관계있음을 시사하였다. Mervyn<sup>(40)</sup>은 DP 15 부근의 아밀로펙틴 사슬이 사슬끼리의 상호작용에 관여하여 전

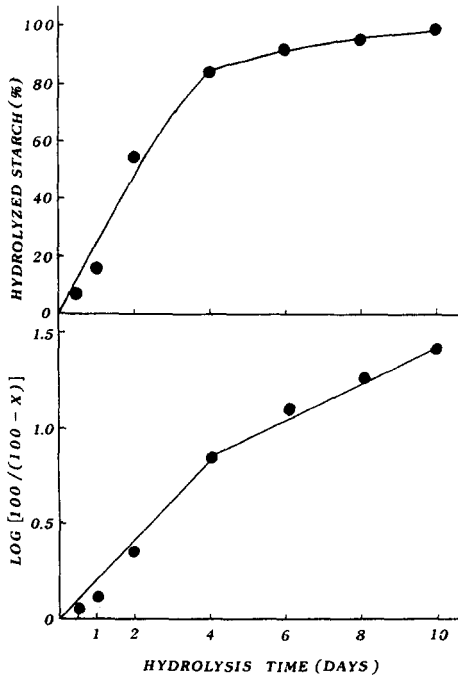


Fig. 8. Degree of hydrolysis of chestnut starch with 2.2 N HCl at 35°C for 10 days  
X: extents of hydrolysis

분겔의 결정성 및 노화시 전분립의 견고성을 높인다고 하였다.

산 가수분해율

밤 전분을 2.2 N HCl 용액 중에서 10일 동안 가수분해한 결과는 Fig. 8과 같으며 4일째를 경계로 다른 기울기를 보이는 두 단계의 산가수분해 반응을 나타내었다.

결보기 반응속도상수는 초기단계가  $55.7 \times 10^{-2} \text{ day}^{-1}$ , 후기단계가  $20.6 \times 10^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로서 고구마<sup>(41)</sup>, 쌀<sup>(42)</sup>, 두류 전분<sup>(43)</sup> 등에 비해 5~10배 정도로 빠르게 가수분해가 일어났다.

Robin 등<sup>(23)</sup>에 의하면 초기단계에서는 대부분 비결정 영역이 빠르게 가수분해 되고 두번째 단계에서는 결정성영역의 표면에서 서서히 분해가 일어난다고 하였다. 또한 Biliaderis 등<sup>(22)</sup>은 전분입자 크기가 작을수록, 입자의 표면적이 클 수록 산침투가 쉬워 산가수분해 속도에 영향을 주기도하나 주로 입자의 구성 및 결정성이 영향을 미친다고 하였다. 이상으로 미루어 보아 밤 전분은 결정성이 약해 산 가수분해 속도가 여러 다른 전분들에 비해 빠름을 알 수 있었다.

산처리 전분의 X-선 회절도

산처리에 따른 밤 전분의 X-선 회절도는 Fig. 9-a, b와

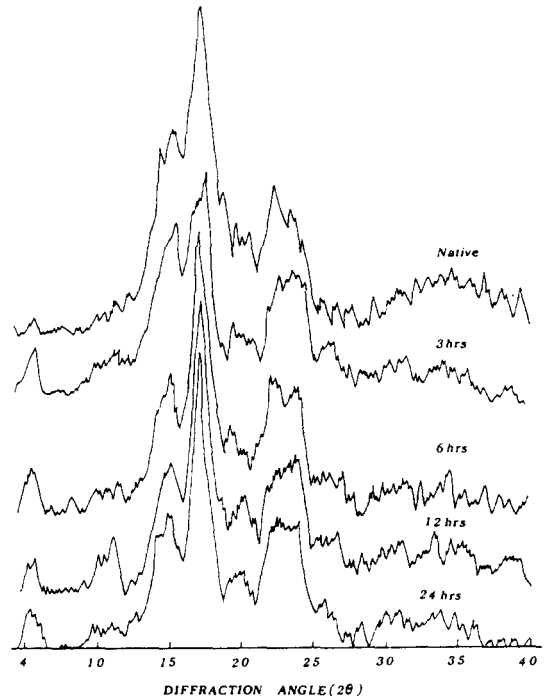


Fig. 9-a. X-ray diffraction patterns of 2.2 N HCl-treated chestnut starch for 24 hrs

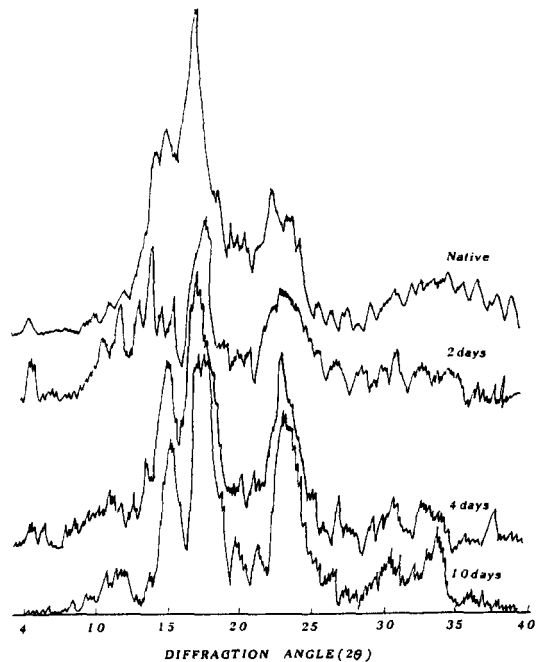
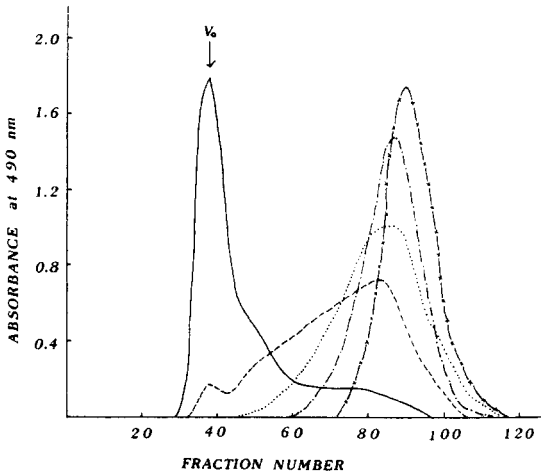


Fig. 9-b. X-ray diffraction patterns of 2.2 N HCl-treated chestnut starch for 10 days



**Fig. 10. Gel chromatography of 2.2 N HCl-treated chestnut starches for 3 hrs (---) 6 hrs (···), 12 hrs (----) and 24 hrs (-X-X-)**  
 Column: Sepharose CL-2B, flow rate: 20 ml/hr  
 Eluent: 0.01 N NaOH with 0.02% sodium azide

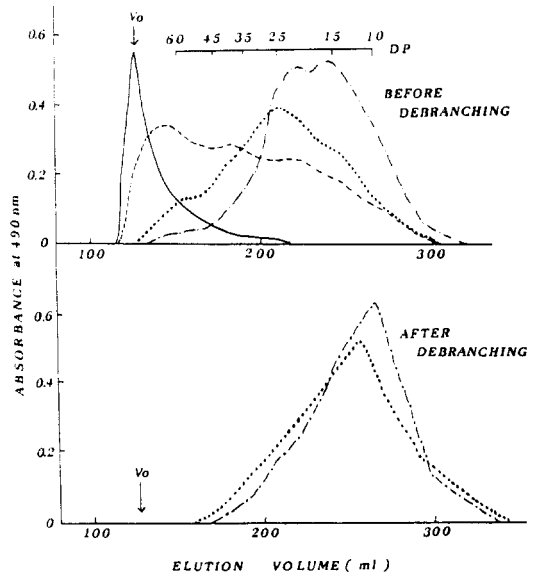
같다. 단시간 산처리한 분들은 생전분의 X-선 회절양상을 그대로 유지하면서 큰 변화는 없었고 장시간 산처리가 진행됨에 따라 피크가 점점 예리해졌고 특히 20: 15°, 22~23°의 피크가 뚜렷하게 강화됨을 볼 수 있었다. 이처럼 X-선 회절양상이 점점 날카로와 지는 것에 대해 Kainuma 등<sup>(44)</sup>과 Wu와 Sarko<sup>(45)</sup>는 전분의 비결정성영역에서 가수분해로 남은 사슬들간의 재배열과 강한 분자간의 결합의 형성때문이라고 설명하였다.

**산처리 전분의 겔 크로마토그래피**

생 전분 및 24시간 동안 산처리한 전분의 Sepharose CL-2B에 의한 겔 크로마토그래피 용출양상은 Fig. 10과 같다. 생전분에서 아밀로펙틴에 해당하는 부분은 산처리 3시간 후에 크게 감소되고 6시간 후에 완전히 소멸된 것으로 보아 산처리 초기에 아밀로펙틴의 비결정성영역에 있는 가지들이 잘려나가는 것이라 생각된다.

생전분 및 10일 동안 산처리한 전분의 Sephadex G-50겔럼에서의 겔 크로마토그래피 용출양상은 Fig. 11에 나타내었다. 효소처리 이전의 생전분은 void volume 근처에서 용출되었으며, 산처리 기일이 2, 4, 10일로 증가함에 따라 용출되는 조각들(fragments)의 크기와 분포 범위가 모두 감소하였다. 또한 DP 35-55의 긴 사슬이 점차 사라지고 DP 15-25의 사슬이 증가함을 보아 긴 사슬의 아밀로펙틴이 더 쉽게 가수분해 되었다고 생각된다. 이와 같은 사실은 Biliaderis 등<sup>(22)</sup>의 실험에서도 특히 두 연속된 cluster 구조에 걸쳐있는 긴 아밀로펙틴이 초기단계에 빠르게 분해된다고 하였다.

산처리한 전분을 pullulanase로 처리하여 가지를 절단시킨 후의 겔 크로마토그래피 용출양상은 Fig. 11과



**Fig. 11. Elution profiles of native and 2.2 N HCl-treated chestnut starches before and after treatment with pullulanase at different extents of hydrolysis: native (—), 2 days (---), 4 days (···) and 10 days (— · — · —)**  
 Column: Sephadex G-50, flow rate: 18 ml/hr  
 Eluent: 0.01 M phosphate buffer (pH 7.0) with 0.02% sodium azide

같다. 효소처리전의 산처리 10일의 피크(DP 15-25)들도 효소처리후 더욱 짧은사슬인 DP 10-15로 전환되는 것으로 보아 산처리 10일이 경과해도 전분립의 결정영역에는 여전히 가지있는 사슬이 존재한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 밤 전분의 산처리 전분의 결정영역은 주로 DP 10-15의 짧은 사슬들로 이루어져 있고 이들은 산가수분해에 강한 저항성을 지닌다고 생각된다. Biliaderis 등<sup>(22)</sup>은 이렇게 전분립의 결정성영역을 이루는 주요 구성성분은 바로 아밀로펙틴이며 이 부분은 cluster내에서 짧은 사슬들의 적절한 배열에 의해 산가수분해에 저항성을 갖는다고 하였다.

**아밀로오스 함량 및 요오드 반응의 변화**

생전분 및 산처리 전분을 요오드 반응시켜 아밀로오스의 함량, 최대흡수파장, 최대흡수파장에서의 흡광도 및 첨가(680 nm에서의 흡광도)를 측정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 산처리 3시간과 6시간 후의 첨가가 생전분보다 약간 증가된 것은 앞의 겔크로마토그래피에서도 보았듯이 비결정성 영역에 있던 아밀로펙틴 사슬들이 떨어져 나와 상대적으로 linear fraction이 증가되었기 때문이라 여겨진다. 그러나 그 이후로는 아밀로오스 함량, 최대흡수파장, 최대흡수파장에서의 흡광도 및 첨가 등이 감소되었는데 이는 비결정성영역의 아밀로오스가 분해되었기 때문이라 생각된다.



Table 5. Extent of hydrolysis and iodine reactions of acid treated chestnut starch

Hydrolysis time	Extent of hydrolysis(%)	Amylose content(%)	$\lambda_{max}$	Absorbance at $\lambda_{max}$	Absorbance at 680 nm
0	0	18.9	615	0.42	0.38
3hrs	1.4	23.5	595	0.54	0.42
6hrs	3.1	24.5	595	0.56	0.41
12hrs	6.8	21.0	580	0.50	0.33
24hrs	16.0	14.8	570	0.38	0.22
2days	54.0	7.7	555	0.24	0.10
4days	84.4	5.9	540	0.20	0.07
6days	92.0	5.3	538	0.18	0.07
8days	94.3	5.0	535	0.16	0.06
10days	96.0	4.5	533	0.10	0.06

Table 6. Hardness and cohesiveness of chestnut starch gels at various conditions

Concentration (%)	Heating temperature(°C)	Hardness( $\times 10^{-4}$ dyne)		Cohesiveness	
		60% deform	65% deform	60% deform	65% deform
8	75	129.4	147.8	0.84	0.73
	80	112.7	137.2	0.89	0.78
	85	89.2	120.1	0.95	0.90
	90	68.6	98.2	0.93	0.88
	95	53.9	87.3	0.90	0.82
9	75	182.9	232.8	0.78	0.68
	80	115.2	160.1	0.87	0.83
	85	93.1	137.2	0.92	0.87
	90	80.9	122.5	0.90	0.84
	95	61.3	98.0	0.87	0.71
10	75	210.7	264.6	0.48	0.41
	80	191.3	235.2	0.86	0.72
	85	137.3	171.5	0.90	0.86
	90	107.8	144.6	0.88	0.83
	95	68.6	107.2	0.86	0.78

산처리 2일 후부터 첨가가 아밀로펙틴의 첨가인 0.15 이하로 계속 감소하고 최대흡수파장도 아밀로펙틴의 최대흡수파장인 570 nm 이하로 내려가는 것으로 보아산 처리에 의해 아밀로오스 뿐 아니라 아밀로펙틴도 같이 분해됨을 알 수 있었다.

#### 전분겔의 견고성과 응집성

밤 전분겔의 견고성(hardness)을 측정한 결과는 Table 6과 같다. 밤 전분겔의 견고성은 같은 가열온도에서 비교시, 겔 농도가 증가함에 따라 변형률에 관계없이 증가하였다. 또한 같은 겔 농도에서 비교시, 변형률에 관계없이 75°C로 가열하여 만든 전분겔에서 견고성이 가장 높았고 85°C, 95°C로 가열온도가 증가함에 따라 감소하였다. 이렇게 가열온도가 높아짐에 따라 밤 전분겔의 견고성이 감소되는 것은 밤 전분은 앞에서도 확인한 바 결정성이 약해 75°C에서도 대부분의 아밀로오스가 용출되었고 85°C, 95°C로 가열온도가 증가됨에 따라 분자량이 큰 가용성 전분, 즉 아밀로펙틴 일부분들과 intermediate fraction이 많이 용출되어 아밀로오스의 상대적인 양이

감소되었기 때문이거나 입자가 붕괴되기 때문에 견고성이 낮아진다고 생각된다.

한편 밤 전분겔의 응집성(cohesiveness)을 측정한 결과는 Table 6과 같다. 밤 전분의 응집성은 같은 가열온도에서 비교시, 겔 농도가 증가함에 따라 변형률에 관계없이 감소하였다. 또한 같은 겔 농도에서 비교시, 변형률에 관계없이 85°C에서 가장 큰 값을 나타내었다. 이 등<sup>(4)</sup>은 도토리과 밤 전분겔의 물리적 특성 비교연구에서 견고성은 전반적으로 도토리 전분겔이 크나 응집성은 오히려 밤 전분겔이 크다고 보고하였다.

#### 전분겔의 노화속도

9%(w/v, 건량기준) 전분겔의 시간에 따른 견고성의 변화는 Fig. 12와 같으며 이를 Avrami 방정식으로 분석한 Avrami 지수  $n$ 값과 겔의 노화속도는 다음과 같다. 즉, 이들의 Avrami 지수는 0.95~1.12로 실험 오차내에서  $n=1$ 에 가까와 노화시 전분의 결정화 기작이 순간적인 핵 형성과 동시에 막대기 모양의 결정이 생김을 알 수 있었다<sup>(46)</sup>.

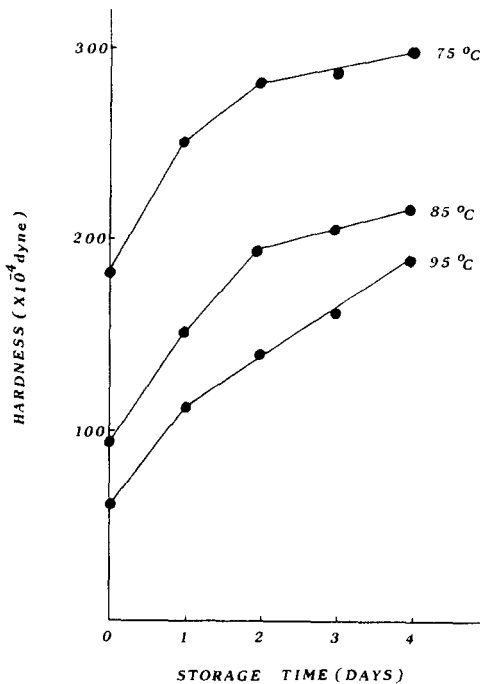


Fig. 12. Hardness changes of 9%(w/v, dry basis) chestnut starch gels at 4°C for 4 days

75°C로 가열하여 제조한 전분겔의 속도상수와 시간상수는 각각 0.68(day<sup>-1</sup>)과 1.47(day)로 가장 빨랐고, 85°C로 가열했을 때에 0.48(day<sup>-1</sup>)과 2.08(day), 95°C로 가열했을 때 0.45(day<sup>-1</sup>)과 2.22(day)였다. 밤 전분의 노화속도가 비교적 빠른데 대해 Takeda 등<sup>(29)</sup>은 분자구조적인 측면에서 밤 전분의 아밀로오스 크기가 비교적 작고 가지가 별로 없어 분자간의 회합이 쉽기 때문이라 하였다.

## 요 약

밤 전분의 이화학적 성질, 분자구조적 성질, 산처리 전분의 성질, 전분겔의 특성에 대하여 시험하였다.

아밀로오스 함량은 18.9%였고 X-선 회절도는 C<sub>2</sub>형을 나타내었다. 팽윤력은 65°C~75°C까지 급격히 증가하고 그보다 높은 온도에서는 완만히 증가하였고, 용해도는 70°C까지는 직선적으로 증가하나 그보다 높은 온도에서는 완만히 증가하였다. 가열온도를 75°C, 85°C, 95°C로 달리한 아밀로그래프에서 50°C에서의 냉각점도는 가열 온도가 증가함에 따라 낮아졌다.

밤 전분 아밀로오스의 최대흡수파장은 640 nm, β-아밀라아제 분해한도는 84.2%, 중합도는 951이었고 아밀로펙틴의 최대흡수파장은 570 nm, β-아밀라아제 분해한도는 58.2%, 중합도는 1371, 평균사슬길이는 22.6이었다. 전분 및 아밀로오스의 겔 크로마토그래피 용출결과 저분자량(<5×10<sup>5</sup>)의 분자들이 각각 4.0%, 11.5%로 용출

되었다. 75°C, 85°C, 95°C 등 세 온도에서 용출한 가용성 전분의 겔 크로마토그래피 용출양상에서 높은 온도에서 용출한 것일수록 큰 분자량의 전분이 많이 용출되었다. 아밀로펙틴을 pullulanase로 분해시켰을 때 얻어진 가지 부분들의 분자량분포에서 피크II(DP 35-45)에 대한 피크III(DP 10-15)의 비율은 2.2였다.

2.2 N HCl로 35°C에서 10일간 산처리한 밤 전분의 가수분해율은 96%에 이르렀고 가수분해는 4일째를 경계로 두 단계의 다른 가수분해 속도를 나타내었다. 산처리 전분의 겔 크로마토그래피 용출양상에서 초기 6시간 후에 아밀로펙틴 피크가 완전히 사라졌고 산처리 기일이 증가함에 따라 DP 10-15의 짧은 사슬로 분해되었다. 아밀로오스 함량은 산처리 6시간 후까지는 증가하다가 그 이후는 감소하였다.

밤 전분겔의 견고성은 75°C로 가열하여 만든 전분겔에서 가장 높았고 응집성은 85°C로 가열하여 만든 전분겔에서 가장 높았다. 전분겔의 노화속도는 비교적 빨랐으며 특히 75°C로 가열하여 만든 전분겔에서 가장 빨랐다.

## 문 헌

1. 서기봉, 한관주, 이성중: 한국식품과학회지, 6, 98 (1974)
2. 이종욱, 김재욱: 밤 지질성분의 분석. 제1보. 내과육 및 외과육의 지질조성. 한국농화학회지, 25, 239 (1982)
3. 박인순, 김성근, 김춘수: 밤전분의 이화학적 특성. 한국농화학회지, 25, 218 (1982)
4. 이혜성, 이혜수: 도토리과 밤 전분겔의 물리적 특성비교. 한국조리과학회지, 7, 11 (1991)
5. 손경희, 문수재: gel상 식품에 관한 조리적 검토. 각종 전분의 교질성을 이용한 식품. 연세논총, 15, 191 (1978)
6. 김향숙, 권미라, 안승요: 동부전분의 이화학적 특성. 한국식품과학회지, 19, 18 (1987)
7. American Association of Cereal Chemists: AACC Approved Methods. vol.II. (1983)
8. Williams, P.C., Kuzina, F.D. and Hlynka, I.: A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.*, 47, 411 (1970)
9. Montgomery, E.M. and Senti, F.R.: Separation of amylose from amylopectin of starch by an extraction-sedimentation procedure. *J. Polymer Sci.*, 28, 1 (1964)
10. Schoch, T.J.: Swelling power and solubility of granular starches. In *Methods in Carbohydrate Chemistry*. vol. IV. Academic Press, p.106 (1964)
11. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Robers, P.A. and Smith, F.: Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Anal. Chem.*, 25, 1656 (1953)
12. Medcalf, D.G. and Gilles, K.A.: Wheat starch. I. comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.*, 42, 558 (1965)
13. Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Structural characterization of legume starches. I. Studies on amylose, amylopectin and beta-limit dextrins. *Cereal Chem.*, 58, 496 (1981)

14. Nelson, N.: A photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.*, **153**, 375 (1944)
15. Potter, A.L. and Hassid, W.Z.: Starch I. End-group determination of amylose and amylopectin by periodate oxidation. *J. Am. Chem. Soc.*, **70**, 3488 (1948)
16. Greenwood, C.T. and Thomson, J.: Physicochemical studies on starches. Part XXIV. The fractionation and characterization of starches of various plant origins. *J. Am. Chem. Soc.*, **222** (1962)
17. French, D.: Fine structure of starch and its relationship to the organization of starch granules. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **19**, 8 (1972)
18. Greenwood, C.T.: Viscosity-molecular weight relations. In *Methods in Carbohydrate Chemistry*. vol.IV, Academic Press, p.179 (1964)
19. Huggins, M.L.: The viscosity of dilute solutions of long chain molecules. IV. Dependence on concentration. *J. Am. Chem. Soc.*, **64**, 2716 (1942)
20. Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Molecular weight distribution of legume starches. *Cereal Chem.*, **56**, 475 (1979)
21. Ghiasi, K., Hosney, R.C. and Varriano-Martson, E.: Gelatinization of wheat starch. I. Excess-water systems. *Cereal Chem.*, **59**, 81 (1981)
22. Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Structural characterization of legume starches. II. Studies on acid treated starches. *Cereal Chem.*, **58**, 502 (1981)
23. Robin, J.P., Mercier, C., Charbonniers, R. and Guilbort, A.: Lintnerized starches, filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chem.*, **51**, 389 (1974)
24. Maningat, C. and Juliano, B.O.: Properties of lintnerized starch granules from rices differing in amylose content gelatinization temperature. *Stärke*, **31**, 5 (1979)
25. Meyer, K.H., Bernfeld, P., Boissonnas, R.A., Gurtler, P. and Noelting, G.: Starch solutions and pastes and their molecular interpretation. *J. Physical and Colloid Chem.*, **53**, 100 (1949)
26. Nikuni, Z.: Studies on starch granules. *Stärke*, **30**, 105 (1978)
27. French, D.: Fine structure of starch and its relationship to the organization of starch granules. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **33**, 80 (1986)
28. 이해성, 이혜수: 도토리과 밤전분의 이화학적 특성연구. 한국조리과학회지, **6**, 1 (1991)
29. Takeda, C., Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Structure and properties of chestnut starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **34**, 31 (1987)
30. Ghiasi, K., Varriano-Marston, E. and Hosney, R.C.: Gelatinization of wheat starch. IV. Amylograph viscosity. *Cereal Chem.*, **59**, 262 (1982)
31. 권미라, 김성란, 임경숙, 안승요: 묵형성 전분의 특성에 관한 연구. 한국농화학회지, **35**, 92 (1992)
32. 권미라: 두류전분의 분자구조와 겔 특성. 서울대학교 박사학위논문 (1992)
33. Hizukuri, S., Takeda, Y., Maruta, N. and Juliano, B.O.: Molecular structure of rice starch. *Carbohydr. Res.*, **148**, 299 (1986)
34. Reeve, R.M.: Histological survey of conditions influencing texture in potatoes. II. Observations on starches in treated cells. *Food Res.*, **19**, 333 (1954)
35. Hallo, J. and Szeittli, J.: The reaction of starch with iodine. In *Starch and its Derivatives*, Radley, J.A.(4th ed.), Chapman, London, p.203 (1968)
36. 노은숙: 쌀전분의 아밀로오스 특성과 텍스처 특성과의 관계. 서울대학교 석사학위논문 (1989)
37. Macgregor, A.W. and Morgan, J.E.: Structure of amylopectin isolated from large and small starch granules of normal and waxy barley. *Cereal Chem.*, **61**, 222 (1984)
38. Hood, C.F.: Molecular structure of unmodified and chemically modified manioc starches. *Carbohydr. Res.*, **61**, 53 (1978)
39. Suzuki, K., Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Relationship between the molecular structures and retrogradation properties of tapioca, potato and kuzu starches. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **32**, 205 (1985)
40. Mervyn, J.M., Victor, J.M., Paul, D.O. and Stephan, G.R.: The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr. Res.*, **135**, 271 (1985)
41. 김성란: 분질 및 점질 고구마전분의 이화학적 특성과 아밀로펙틴의 분자구조적 특성. 서울대학교 석사학위논문 (1990)
42. 강길진: 우리나라 쌀전분과 분획의 분자구조적 특성. 전남대학교 박사학위 논문 (1993)
43. 송효남: 산처리 두류전분의 이화학적 특성. 서울대학교 석사학위 논문 (1992)
44. Kainuma, K. and French, D.: Nägeli amylopectin and its relationship to starch granule structure. I. Preparation and properties of amylopectin from various starch types. *Biopolymers*, **10**, 1673 (1971)
45. Wu, H.C.H. and Sarko, A.: The double helical molecular structure of crystalline  $\beta$ -amylose. *Carbohydr. Res.*, **61**, 7 (1978)
46. McIver, R.G., Axford, D.W.E., Colwell, K.H. and Elton, G.A.H.: Kinetics study of retrogradation of gelatinized starch. *J. Sci. Fd. Agric.*, **19**, 560 (1968)

---

(1995년 9월 26일 접수)