

## 참쌀 전분의 미세구조 및 이화학적 특성 비교

강미영\* · 성유미 · 남석현<sup>1</sup>

경북대학교 사범대학 가정교육과, <sup>1</sup>아주대학교 자연과학대학 기초과학부

**초 록:** 참쌀 14 품종의 전분 미세구조는 효소처리에 의해서 debranching시킨 전분의 glucose chain length 분포 비교에 의해서 수행되었고, 참쌀 품종별로 미세구조상에 차이가 있었다. 짧은 쇄장을 다량 함유하고 있는 찰품종은 병곡이었으며, 상대적으로 긴 쇄장을 다량 함유하고 있는 품종은 TP2579A1이었다. 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 대한 가수분해도는 샤레벼-152-1-B가 가장 높았으며, 산동 47이 가장 낮았다. X선 회절도는 14 품종 참쌀 모두 전형적인 A형이었다. Glucoamylase에 의한 가수분해도의 양상은 품종에 따라 차이가 있었으며, 거창 1 및 병곡은 37°C에서 3시간 작용시킴에 의해 100% 가수분해 되었다. (1999년 12월 8일 접수, 2000년 1월 11일 수리)

### 서 론

최근 쌀알의 다양한 물리화학적 특성과 이를 지배하는 유전자들을 적절히 이용하는 찰벼 신소재 개발이 추진되면서 다양한 품종의 참쌀이 육성되고 있다. 본 연구는 가공식품 제조용 찰벼 신소재 개발의 일환으로 찰벼 유전자원 선발을 위해서 국내 및 중국 재래찰벼 중 고단백 품종, 알카리 붕괴도가 큰 품종, gel consistency 검정에서 단단한 gel을 형성하는 품종등을 선발, 교배시킨 후 수확한 14품종 참쌀을 시료로 찰 전분의 이화학적 특성을 검토한 것이다. 찰쌀 가공품 제조시 요구되는 전분의 이화학적 특성으로 호화 및 노화특성을 들 수 있는데, 이들 특성은 전분분자의 미세구조와 밀접한 연관성이 있으리라 예상할 수 있으며, 실제로 전분분자 미세구조와 전분입자의 호화특성간의 상관성에 대한 연구들이 시도되어, amylopectin을 조성하는 glucose의 중합도와 쌀가공품들의 호화·노화특성에 관한 연구<sup>1,2)</sup> 및 전분분자를 구성하는 glucose중합도가 낮을수록 쌀가공품의 노화지연 효과가 있다는 보고<sup>3)</sup>등이 있다. 전분분자의 미세구조에 관한 연구로는, 아밀로펙틴의 방상구조모형을 제시한 French 및 Whelan의 연구<sup>4,5)</sup>이래 최근 Hisukuri 등의 연구<sup>6,9)</sup>에 이르기까지 debranching시킨 전분분자의 glucose chain length 분포비교와 β-limit dextrin의 glucose chain length 분포비교를 병행한 전분분자의 interior chain 과 exterior chain length 분포 비교에 의한 방법 등이 주로 이용되고 있다.

본 연구에서는 품종별 찰전분분자의 미세구조를 비교하는 방법으로, 찰전분의 amylopectin분자를 isoamylase에 의해서 debranching시킨 후 이들의 glucose chain length 분포를 측정 비교하였다. 또한 아밀로펙틴의 방상구조 모형을 제시하는데 이용하였던 방법 중의 하나로써 Naegeli amylopectin 제조과정 중 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 의해서 쉽게 산 가수분해되는 분획을 아밀로펙틴의 무정형분획이라 하는데,<sup>10)</sup> 찰전분 amylopectin의 무정형성 또한 찰쌀 가공식품의 가공적성에 영향을 미치고 있으리라 기대되므로, 품종별 참쌀 전분을 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 침적함에 따른

산 가수분해도 비교를 실시하였다. 이밖에 전분입자는 구성 전분분자들의 배열특성상 결정성을 가지고 있고<sup>11)</sup> 이러한 결정성과 찰쌀가공품의 가공적성과의 연관성도 기대되므로 전분분자의 결정성을 측정하는 수단으로써 X선 회절도 비교 및 glucoamylase에 의한 가수분해도 비교를 실시하였다.

### 재료 및 방법

#### 시료

CB243, TP2579A1, Beongok, 샤레벼wx-151-1-B, 샤레벼-152-1-B, 샤레벼-156-1-B, Baekna, 산동10, 산동47, 산동71, 동삼성11, 동삼성34, 청향나, Keochang 1 등 14품종 참쌀을 서울대학교 농업생명과학대학 고회종 박사로부터 제공받아 시료로 사용하였다.

#### 전분분획의 제조

Asaoka 등<sup>12)</sup>의 방법을 변형한 알칼리 침지법<sup>13)</sup>에 의하여 분리하였다. 참쌀을 50 mM LiOH 에 침적시킨 후 막자사발에 곱게 갈아서 isoamyl alcohol, acetone, ethyl alcohol의 순서로 단백질 및 지질 분획을 제거하고 물로 잘 수세한 후, 전분침전 물을 얻어 풍건시켜 데시케이터에 보관하면서 사용하였다.

#### 전분분자의 glucose chain length 비교

전분 30 mg을 2 N NaOH(0.125 ml)에 의해서 알칼리 호화시킨 후, isoamylase (pH 3.5, EC 3.2.1.68, Sigma Chemical Co, St. Louis, USA) 750 unit 첨가하여 40°C에서 24시간 반응시킴으로써 전분분자의 glucose α-1,6 결합을 가수분해시킨 다음 Tosoh TSK-gel G2000PW(7.5 × 300 mm)와 G3000PW(7.5 × 300 mm)의 2개의 column을 연결하여, 용출용매; 0.1 M 인산 buffer(pH 6.0)-0.02% NaN<sub>3</sub>-1.5% CH<sub>3</sub>CN, chart speed; 1 mm/min, running time; 30 min의 조건에서 HPLC(gel permeation high performance liquid chromatography)를 실시하였다. 용출되는 분획을 differential refractometry(RI detector, ERC-7510)로 monitoring하면서 glucose chain length 분포의 chromatogram을 얻었으며, glucose chain의 분자량은 pullulan

찾는말 : 참쌀, 사슬길이분포, X-선 회절도, 글루코아밀라제  
\*연락처 : Tel : 053-952-8263, Fax : 053-952-8263

standard (Shodex standard P-82, Mw; 112000, 22800, 5900) 및 ethylene glycol(Mw; 62)를 이용하여 결정하였으며, glucose chain의 중합도는 분자량을 각각 188(180; glucose분자량 +8; 1/2 -O-)으로 나눈값에 의해서 결정하였다. 본 실험에서 전분분자의 debranching을 시도한 조건은 찹옥수수전분의 α-1,6 glucose chain이 거의 100% 가수분해되는 조건이며,<sup>14)</sup> 쌀,<sup>13)</sup> 보리,<sup>15)</sup> 울무,<sup>16)</sup> 고구마, 바나나,<sup>17)</sup> 옥수수<sup>18)</sup> 등 다양한 기원의 전분분자 glucose chain length 분포 비교에 널리 이용되었던 방법이다.

**산 가수분해도 비교**

전분시료 40 mg을 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3.2 ml에 침지시켜 150 rpm으로 교반하면서 37°C에서 가수분해시켜, 경시적으로 채취한 상층액의 total sugar함량을 phenol-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>법<sup>19)</sup>으로 측정하여 가수분해도를 구하였다.

**X선 회절도 측정**

테시케이터에 보관하였던 참쌀 전분을 X선 회절기(Philips, X'pert PW3710, Netherland)를 이용하여, target; Cu-ka, scanning speed; 0.04° 2θ/s, voltage; 30 kV, current; 20 mA의 조건으로 회절각도(2θ)를 5°에서 40°까지 회절시키면서 분석하여 X선 회절도를 얻었다.

**Glucoamylase에 의한 가수분해도 비교**

전분 100 mg을 0.4 M acetic acid buffer(pH 4.8) 9 ml에 현탁시켜 glucoamylase (EC 3.2.1.3, Sigma Chemical Co, St. Louis, USA) 35 units를 첨가하여 37°C에서 반응시키면서 경시적인 가수분해도를 측정하였다. 즉, 경시적으로 반응액으로부터 100 μl 채취하여 열탕에 넣음으로써 가수분해 반응의 정지와 전분의 호화를 동시에 시도하였으며, 반응액을 적당한 농도로 희석하여 total sugar함량은 phenol-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>법으로, 생성되는

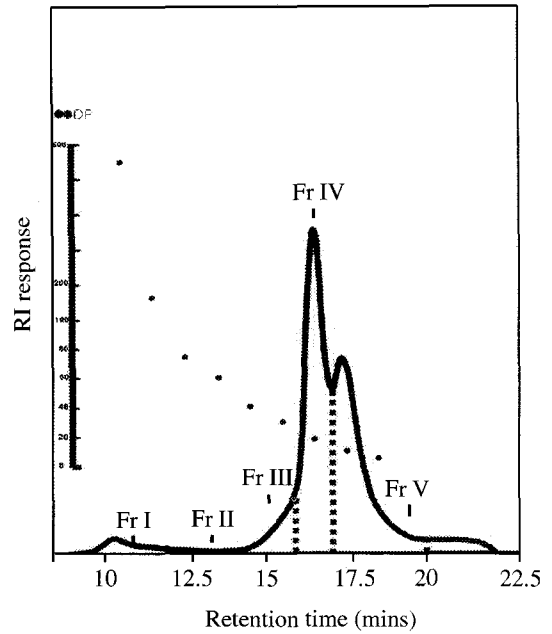


Fig. 1. Chain length distribution of glutinous rice(Beongok) starch by gel-permeation high-performance liquid chromatography.

glucose 함량은 glucose-oxidase peroxidase법<sup>20)</sup>으로 각각 측정하여 가수분해도를 구하였다.

**결과 및 고찰**

**전분분자의 glucose chain length 분포**

전분분자의 glucose α-1,6 결합을 isoamylase에 의해서 가수분해시킨 후 얻은 glucose α-1,4 결합만으로 이루어진 直鎖성 분들을 Tosoh TSK-gel G2000PW 와 G3000PW을 연결시킨 column에 의해서 HPLC(gel permeation high performance

Table 1. Varietal difference in chain length distribution of glutinous rice starches debranched by isoamylase

Cultivars	Chain length distribution percentage(%)							
	Fr I	Fr II	Fr III	Fr IV	Fr V	FrI+FrII+FrIII	Fr IV+Fr V	FrIV+FrV/ FrI+FrII+FrIII
CB243	1.57±0.22 <sup>a1)</sup>	5.11±0.29 <sup>f</sup>	14.76±0.06 <sup>j</sup>	55.63±0.19 <sup>g</sup>	22.60±0.46 <sup>b</sup>	21.44±0.32 <sup>d</sup>	78.23±0.54 <sup>e</sup>	3.65±0.10 <sup>c</sup>
TP2579A1	6.36±0.03 <sup>f</sup>	7.35±0.06 <sup>b</sup>	15.71±0.24 <sup>k</sup>	40.11±0.20 <sup>b</sup>	30.48±0.28 <sup>b</sup>	29.42±0.23 <sup>j</sup>	70.59±0.49 <sup>a</sup>	2.40±0.20 <sup>a</sup>
Beongok	4.82±0.09 <sup>e</sup>	1.21±0.18 <sup>b</sup>	6.59±0.06 <sup>b</sup>	47.29±0.55 <sup>c</sup>	40.13±0.34 <sup>j</sup>	12.62±0.31 <sup>a</sup>	87.42±0.76 <sup>j</sup>	6.93±0.24 <sup>e</sup>
Sharebyeo-wx-151-1-B	2.34±0.13 <sup>b</sup>	3.95±0.11 <sup>d</sup>	13.59±0.09 <sup>hi</sup>	55.03±0.29 <sup>g</sup>	25.10±0.28 <sup>ef</sup>	19.88±0.35 <sup>b</sup>	80.13±0.57 <sup>i</sup>	4.03±0.17 <sup>d</sup>
Sharebyeo-152-1-B	9.99±0.11 <sup>i</sup>	4.52±0.13 <sup>c</sup>	11.40±0.22 <sup>f</sup>	40.45±0.34 <sup>b</sup>	33.65±0.63 <sup>i</sup>	25.91±0.39 <sup>j</sup>	74.10±1.00 <sup>b</sup>	2.86±0.28 <sup>ab</sup>
Sharebyeo-156-1-B	14.79±0.22 <sup>j</sup>	1.80±0.09 <sup>c</sup>	7.39±0.24 <sup>c</sup>	54.16±0.49 <sup>f</sup>	21.87±0.35 <sup>a</sup>	23.98±0.46 <sup>f</sup>	76.03±0.80 <sup>d</sup>	3.17±0.10 <sup>c</sup>
Baek na	6.64±0.04 <sup>g</sup>	4.80±0.09 <sup>e</sup>	10.87±0.14 <sup>c</sup>	53.14±0.61 <sup>e</sup>	24.55±0.39 <sup>de</sup>	22.31±0.26 <sup>e</sup>	77.69±0.63 <sup>f</sup>	3.48±0.25 <sup>c</sup>
Sandong 10	3.25±0.10 <sup>c</sup>	4.81±0.12 <sup>c</sup>	13.45±0.21 <sup>h</sup>	53.25±0.48 <sup>e</sup>	25.24±0.76 <sup>ef</sup>	21.51±0.40 <sup>d</sup>	78.49±1.10 <sup>g</sup>	3.65±0.28 <sup>c</sup>
Sandong 47	8.98±0.14 <sup>h</sup>	4.60±0.14 <sup>c</sup>	11.19±0.05 <sup>ef</sup>	49.46±0.35 <sup>d</sup>	25.73±0.47 <sup>f</sup>	24.77±0.33 <sup>b</sup>	75.19±0.79 <sup>c</sup>	3.04±0.20 <sup>c</sup>
Sandong 71	9.94±0.24 <sup>i</sup>	4.00±0.06 <sup>d</sup>	10.35±0.45 <sup>d</sup>	47.21±0.53 <sup>c</sup>	28.50±0.28 <sup>g</sup>	24.29±0.69 <sup>h</sup>	75.71±0.85 <sup>c</sup>	3.12±0.12 <sup>c</sup>
Dongsamsung 11	3.36±0.01 <sup>c</sup>	5.83±0.29 <sup>g</sup>	14.97±0.33 <sup>j</sup>	52.89±0.77 <sup>c</sup>	22.95±0.24 <sup>b</sup>	24.16±0.63 <sup>g</sup>	75.84±0.87 <sup>c</sup>	3.14±0.11 <sup>c</sup>
Dongsamsung 34	16.06±0.25 <sup>k</sup>	0.47±0.05 <sup>a</sup>	4.39±0.22 <sup>a</sup>	38.93±0.44 <sup>a</sup>	40.14±0.12 <sup>j</sup>	20.92±0.51 <sup>c</sup>	79.07±0.64 <sup>b</sup>	3.78±0.09 <sup>c</sup>
Chunghyang na	3.67±0.14 <sup>d</sup>	5.16±0.25 <sup>f</sup>	13.87±0.26 <sup>j</sup>	53.12±0.44 <sup>e</sup>	24.19±0.55 <sup>cd</sup>	22.70±0.64 <sup>e</sup>	77.31±1.15 <sup>f</sup>	3.41±0.18 <sup>c</sup>
Keochang 1	6.45±0.10 <sup>g</sup>	4.67±0.18 <sup>c</sup>	12.02±0.30 <sup>g</sup>	53.11±0.44 <sup>e</sup>	23.75±0.45 <sup>c</sup>	23.14±0.56 <sup>f</sup>	76.86±1.00 <sup>e</sup>	3.32±0.16 <sup>c</sup>

Means ± SD.

Each value is mean for three replicates.

<sup>1)</sup>Values with different superscript in the same column are significantly different at P<0.05.

Table 2. Time courses of hydrolysis of glutinous rice starch granules in 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at 37°C

Cultivars	Hydrolysis percentage(%)				
	1 day	3 days	5 days	7 days	9 days
CB243	6.60±0.24 <sup>cl</sup>	23.26±0.27 <sup>c</sup>	32.76±0.35 <sup>ef</sup>	35.52±0.49 <sup>e</sup>	35.99±0.40 <sup>e</sup>
TP2579A1	8.55±0.31 <sup>f</sup>	23.54±0.24 <sup>c</sup>	32.46±0.03 <sup>de</sup>	34.87±0.10 <sup>e</sup>	36.70±0.02 <sup>ef</sup>
Beongok	8.00±0.03 <sup>e</sup>	23.08±0.84 <sup>c</sup>	30.08±0.41 <sup>c</sup>	32.57±0.06 <sup>b</sup>	32.57±0.76 <sup>b</sup>
Sharebyeo-wx-151-1-B	5.61±0.09 <sup>b</sup>	18.39±0.17 <sup>b</sup>	28.19±0.20 <sup>b</sup>	34.13±0.23 <sup>b</sup>	34.07±0.17 <sup>c</sup>
Sharebyeo-152-1-B	11.11±0.22 <sup>i</sup>	30.91±0.36 <sup>b</sup>	38.40±0.07 <sup>i</sup>	47.27±0.99 <sup>f</sup>	44.24±0.49 <sup>j</sup>
Sharebyeo-156-1-B	12.05±0.48 <sup>j</sup>	27.48±0.00 <sup>f</sup>	31.99±0.56 <sup>de</sup>	35.12±0.79 <sup>e</sup>	31.94±0.41 <sup>ab</sup>
Back na	9.46±0.25 <sup>g</sup>	23.66±0.10 <sup>cd</sup>	28.89±0.59 <sup>b</sup>	33.64±1.01 <sup>abc</sup>	33.61±0.37 <sup>c</sup>
Sandong 10	5.24±0.10 <sup>ab</sup>	16.48±0.66 <sup>a</sup>	28.60±0.80 <sup>b</sup>	35.39±0.29 <sup>e</sup>	35.04±0.06 <sup>d</sup>
Sandong 47	5.21±0.19 <sup>a</sup>	17.00±0.20 <sup>a</sup>	24.58±0.15 <sup>a</sup>	31.84±1.23 <sup>a</sup>	31.28±0.70 <sup>a</sup>
Sandong 71	10.14±0.02 <sup>h</sup>	24.52±0.70 <sup>de</sup>	33.80±0.03 <sup>f</sup>	40.87±1.06 <sup>e</sup>	37.22±0.49 <sup>f</sup>
Dongsamsung 11	10.29±0.17 <sup>h</sup>	29.75±0.04 <sup>g</sup>	36.11±0.38 <sup>g</sup>	41.67±1.21 <sup>e</sup>	39.74±1.10 <sup>b</sup>
Dongsamsung 34	8.80±0.30 <sup>f</sup>	29.97±0.38 <sup>g</sup>	37.34±0.20 <sup>h</sup>	41.79±1.09 <sup>e</sup>	38.87±0.28 <sup>g</sup>
Chunghyang na	7.26±0.08 <sup>d</sup>	25.26±0.57 <sup>c</sup>	31.61±0.28 <sup>d</sup>	38.12±1.14 <sup>d</sup>	35.90±0.17 <sup>e</sup>
Keochang 1	11.21±0.06 <sup>i</sup>	31.60±0.05 <sup>h</sup>	35.89±0.29 <sup>g</sup>	42.13±0.44 <sup>e</sup>	37.24±0.14 <sup>f</sup>

Means ± SD.

Each value is mean for three replicates.

<sup>1)</sup>Values with different superscript in the same column are significantly different at P<0.05.

liquid chromatography)로 분리하여 14 품종 찹쌀전분 분자의鎖長분포를 비교하였다. Fig. 1에는 14 품종 찹쌀전분 중 병곡의 HPLC chromatogram만을 나타내었으며, Table 1에는 14 품종 찹쌀전분 들의 HPLC chromatogram상의 각 변곡점을 기준으로 분자량이 큰 것부터 fraction I, II, III, IV, V 등 다섯 부분으로 구분하고 각부분의 면적비를 산출함으로써 품종별 찹쌀 전분분자의 glucose 중합도 분포를 정리하였다. 각 부분별 glucose중합도는 Fr. I은 120이상, Fr. II는 60이상, Fr. III는 30이상, Fr. IV는 13이상, Fr. V는 12이하이었다. Julliano 및 Hizukuri 등은 전분분자의 amylopectin 미세구조를 검토할 때 glucose의 중합도에 따라 A chain, B chain의 개념을 도입하여 A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub> chain 분획이라는 표현을 하였는데,<sup>21,22)</sup> 유사한 방법에 의해서 분석한 본 연구결과와 상치시켜 보면, 본 연구결과와 Fr. I은 B<sub>4</sub> chain 분획과, Fr. II는 B<sub>3</sub> chain 분획과, Fr. III는 B<sub>2</sub> chain 분획과, Fr. IV는 B<sub>1</sub> chain 분획과, Fr. V는 A chain 분획과 각각 일치하는 경향이 있었다. 본 연구의 목적이 찹쌀가공품 제조시 가공적성과 찹쌀전분의 미세구조와의 관계를 알아보는데 있으므로 chromatogram의 변곡점을 기본으로 한 glucose chain 중합도 분포의 단순비교도 의미가 있겠지만, amylopectin의 가지쳐진 정도를 나타내는 수치에 의한 비교도 또한 의미가 있으리라 생각된다. 이에 대체로 중합도가 30미만인 Fr. IV, Fr. V의 면적을 합친 수치(short chain length group)를, 중합도가 30이상인 Fr. I, Fr. II, Fr. III의 면적을 합친 수치(long chain length group)로 나눔으로서 가지쳐진 정도를 수치화 하였다.(Table 1) 품종간의 차이가 있으며, 특히 병곡은 6.9로서 상당히 높은 수치를 나타내어 다른 품종들에 비해서 짧은쇄장을 다량 함유하고 있으며, 반면에 TP2579A1은 2.4로서 다른 품종들에 비해서 상대적으로 긴쇄장을 다량 함유하고 있었다. 그밖의 품종은 대체로 3에서 4 정도의 수치를 나타내고 있었다.

### 산 가수분해도

Amylopectin의 방상구조 모델을 제시하는데 이용하였던 방법 중의 하나로써, 전분입자를 실온에서 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 침적시켜 두면 전분입자의 기원에 따라 가수분해도 및 속도에 차이는 있으나 최종적으로 약 40~50% 정도까지만 가수분해되며, 가수분해 잔사를 현미경으로 관찰하면 전분입자의 형태는 구형을 유지한 채 동심원이 보이는 Naegeli amylopectin이 제조된다. 이렇게 Naegeli amylopectin이 제조과정 중 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 의해서 쉽게 산 가수분해되는 분획을 아밀로펙틴의 무정형부분이라 하며,<sup>10)</sup> 무정형 부분의 비교에 의해서 아밀로펙틴 분자의 cluster 구조의 무질서도를 유추하기도 한다.<sup>23,24)</sup> 이러한 맥락에서, 14

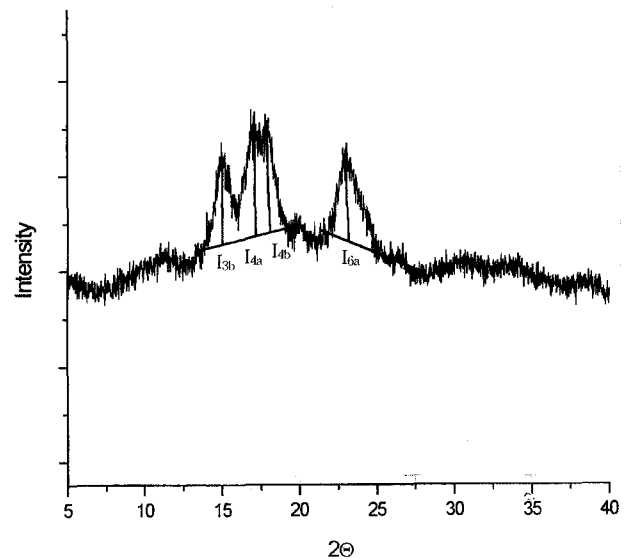


Fig. 2. Diagrammatic representation of X-ray diffractogram of glutinous rice starches. I3b to I6a indicate X-ray diffraction intensity measured from the background line.

종류 찰전분의 amylopectin의 무정형 분획의 품종간 비교를 시도하고자 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 대한 가수분해도 비교를 실시하여 Table 2에 나타내었다. 모든 품종에서 초기단계에서도 산에 의한 가수분해도에 차이가 있으며, 시간이 경과함에 따른 가수분해속도도 다른 것을 알 수 있다. 대체로 모든 품종에서 7일째 부터 산 가수분해의 한계에 도달하고 있었으며, 최종 가수분해도는 품종간에 차이가 있어 샤레벼-152-1-B가 47%로써 산에 의해 가수분해되는 부분이 가장 많았다. 즉, 무정형 부분의 비율이 많거나 아밀로펙틴을 구성하고 있는 cluster구조가 다른 품종들에 비해서 어느정도 무질서한 구조를 하고 있으리라 예상 할 수 있겠다. 반면에 산동 47은 가장 낮은 수치인 31%로써 산에 의해 가수분해 받기 어려운 상태 즉 아밀로펙틴의 cluster구조가 다른 품종들에 비해서 어느정도 질서있게 나열되

어 있는 구조로 유추할 수 있겠다.

**X선 회절도**

X선 회절도는 일반적으로 전분입자의 결정화도를 비교하는데 이용하는 한 방법이다. 즉 X선 회절도의 peak가 날카로울수록 결정화도가 크다는 것을 의미하며, peak의 형태에 의해서 A, B, C, Vtype 등으로 구분한다.<sup>25)</sup> 14품종 참쌀전분들은 Fig. 2에 나타내고 있듯이 X선 회절도상에 3b, 4a, 4b, 6a의 peak가 뚜렷하게 구분되는 전형적인 지상전분의 형태인 A type들이었다.(data는 미제공) Table 3에는 14품종 참쌀전분입자의 X선 회절도 각 peak의 intensity를 정리하였으며, Zhang 등<sup>26,27)</sup> 및 Owusu-Ansah 등<sup>28)</sup>의 방법에 따라 각 peak의 intensity로부터 discriminant score를 구하여 품종별로 나타내었다. 이렇게

**Table 3. Classification of glutinous rice starches based on X-ray diffraction pattern**

Cultivars	Ratio of X-ray diffraction intensity scales			Discriminant score <sup>2)</sup>
	3b/4b*	4a/4b <sup>†</sup>	6a/4b <sup>†</sup>	
CB243	0.700±0.000 <sup>b1)</sup>	1.110±0.000 <sup>b</sup>	0.840±0.000 <sup>e</sup>	-6.251±0.000 <sup>b</sup>
TP2579A1	0.759±0.002 <sup>e</sup>	0.960±0.000 <sup>d</sup>	0.880±0.000 <sup>f</sup>	2.132±0.017 <sup>f</sup>
Beongok	0.730±0.001 <sup>cd</sup>	0.923±0.003 <sup>c</sup>	0.769±0.001 <sup>c</sup>	4.885±0.009 <sup>e</sup>
Sharebyeo-wx-151-1-B	0.736±0.014 <sup>d</sup>	0.957±0.005 <sup>d</sup>	0.869±0.009 <sup>f</sup>	2.495±0.446 <sup>f</sup>
Sharebyeo-152-1-B	0.725±0.008 <sup>c</sup>	0.885±0.009 <sup>b</sup>	0.762±0.004 <sup>c</sup>	7.231±0.596 <sup>b</sup>
Sharebyeo-156-1-B	0.801±0.002 <sup>e</sup>	1.003±0.006 <sup>ef</sup>	0.803±0.004 <sup>d</sup>	-0.555±0.376 <sup>d</sup>
Baek na	0.732±0.002 <sup>cd</sup>	1.344±0.018 <sup>i</sup>	0.670±0.005 <sup>a</sup>	-19.957±1.087 <sup>a</sup>
Sandong 10	0.730±0.001 <sup>cd</sup>	0.923±0.000 <sup>c</sup>	0.769±0.001 <sup>c</sup>	4.885±0.009 <sup>e</sup>
Sandong 47	0.695±0.001 <sup>ab</sup>	0.923±0.017 <sup>c</sup>	0.766±0.024 <sup>c</sup>	5.173±1.066 <sup>e</sup>
Sandong 71	0.703±0.006 <sup>b</sup>	1.053±0.006 <sup>e</sup>	0.800±0.000 <sup>d</sup>	-2.771±0.390 <sup>c</sup>
Dongsamsung 11	0.703±0.000 <sup>b</sup>	1.008±0.000 <sup>f</sup>	0.826±0.000 <sup>e</sup>	-0.152±0.000 <sup>d</sup>
Dongsamsung 34	0.704±0.000 <sup>b</sup>	0.991±0.000 <sup>e</sup>	0.791±0.000 <sup>d</sup>	0.953±0.000 <sup>c</sup>
Chunghyang na	0.691±0.003 <sup>a</sup>	0.795±0.003 <sup>a</sup>	0.714±0.021 <sup>b</sup>	13.018±0.256 <sup>g</sup>
Keochang 1	0.768±0.003 <sup>f</sup>	0.913±0.000 <sup>c</sup>	0.838±0.003 <sup>c</sup>	5.009±0.014 <sup>e</sup>

Means±SDEach value is mean for three replicates.

\*Score I, † Score II, ‡ Score III.

<sup>1)</sup>Values with different superscript in the same column are significantly different at P<0.05.

<sup>2)</sup>Discriminant score : Z = -7.79(ScoreI)-59.74(ScoreII)-3.02(Score III)+68.05

**Table 4. Time course of degradation of starch granules of fourteen varieties of glutinous rice starches by glucoamylase**

Cultivars	Hydrolysis percentage(%)			
	5 mins	30 mins	60 mins	180 mins
CB243	10.84±0.16 <sup>d1)</sup>	35.94±0.37 <sup>f</sup>	55.60±0.21 <sup>d</sup>	93.53±0.32 <sup>de</sup>
TP2579A1	13.62±0.20 <sup>e</sup>	36.65±0.13 <sup>e</sup>	54.67±0.32 <sup>c</sup>	90.31±0.29 <sup>a</sup>
Beongok	11.40±0.11 <sup>e</sup>	46.85±0.30 <sup>j</sup>	65.11±0.19 <sup>e</sup>	99.59±0.53 <sup>j</sup>
Sharebyeo-wx-151-1-B	11.76±0.08 <sup>c</sup>	38.99±0.23 <sup>h</sup>	49.27±0.30 <sup>a</sup>	96.83±0.21 <sup>i</sup>
Sharebyeo-152-1-B	8.01±0.02 <sup>b</sup>	33.36±0.19 <sup>d</sup>	52.08±0.16 <sup>b</sup>	95.83±0.30 <sup>h</sup>
Sharebyeo-156-1-B	5.32±0.04 <sup>a</sup>	29.00±0.25 <sup>a</sup>	49.23±0.22 <sup>a</sup>	94.78±0.11 <sup>g</sup>
Baek na	8.84±0.09 <sup>b</sup>	32.47±0.11 <sup>c</sup>	52.89±0.09 <sup>b</sup>	94.57±0.23 <sup>g</sup>
Sandong 10	9.56±0.03 <sup>c</sup>	34.99±0.06 <sup>c</sup>	55.86±0.24 <sup>d</sup>	95.13±0.15 <sup>h</sup>
Sandong 47	8.27±0.02 <sup>b</sup>	31.80±0.17 <sup>b</sup>	68.17±0.07 <sup>e</sup>	91.14±0.07 <sup>b</sup>
Sandong 71	14.86±0.31 <sup>h</sup>	54.19±0.08 <sup>k</sup>	66.59±0.13 <sup>f</sup>	93.79±0.32 <sup>ef</sup>
Dongsamsung 11	13.58±0.21 <sup>g</sup>	39.59±0.06 <sup>i</sup>	52.68±0.27 <sup>b</sup>	90.01±0.29 <sup>a</sup>
Dongsamsung 34	16.47±0.16 <sup>i</sup>	63.02±0.18 <sup>m</sup>	82.86±0.47 <sup>i</sup>	92.37±0.33 <sup>c</sup>
Chunghyang na	34.07±0.36 <sup>j</sup>	64.19±0.23 <sup>n</sup>	71.50±0.39 <sup>b</sup>	93.07±0.41 <sup>d</sup>
Keochang 1	12.67±0.05 <sup>f</sup>	58.28±0.20 <sup>l</sup>	88.30±0.44 <sup>j</sup>	99.92±0.19 <sup>j</sup>

Means ± SD.

Each value is mean for three replicates.

<sup>1)</sup>Values with different superscript in the same column are significantly different at P<0.05.

discriminant score를 산출 비교한 이유는, 일본산 찹쌀 12종의 경우 discriminant score가 0이하인 group이 0이상인 group에 비해서 glucoamylase 및  $\alpha$ -amylase에 의해 쉽게 가수분해된다는 등, 전분구조의 결정성을 연구하는 방편으로써 X선 회절도를 이용하는 선행연구들<sup>26-28)</sup>이 있으므로 본 연구에서도 14품종 찹쌀의 미세구조 비교의 방편으로 활용하고자 하였다. 찹쌀전분들의 discriminant score는 Table 3에 나타내고 있듯이 품종별로 차이가 있었으며 시험에 이용한 14품종의 찹쌀들은 일본산 찹쌀 12종의 경우와 마찬가지로 discriminant score가 0이상인 것들과 0이하인 것들로 grouping하였다.

### Glucoamylase에 의한 가수분해도

14 품종 찹쌀전분의 이화학적 특성 비교를 위한 수단 및 결정화도를 유추하기 위해서 생 전분입자의 glucoamylase에 의한 가수분해도를 비교하였다. Glucoamylase는 전분분자의 환원성 말단으로부터 순차적으로 작용하여 최종적으로 glucose 단위까지 가수분해하는 exo-type의 효소이다. 실제로 생전분입자에 glucoamylase를 작용시키면 생전분입자는 입자의 표면으로부터 넓은 범위에 걸쳐 가수분해가 진행되므로 SEM 사진에서, 전분분자의 표면이 너와집의 지붕과 같은 형태가 관찰된다.<sup>29)</sup> 이는 SEM 사진에서 전분분자의 표면에 pin hole을 형성하면서 가수분해되고, 전분입자를 부수어뜨리면 계단상의 층상구조가 보이는 endo-type의  $\alpha$ -amylase<sup>30,31)</sup>와는 다른 특성이라는 점에서 이들 효소 가수분해 양상의 비교에 의해 전분의 분자구조의 결정화도를 유추하는 수단으로 삼기도 한다.<sup>32-34)</sup> 즉 glucoamylase에 의한 초기 가수분해도가 높다는 것은 전분입자의 표면으로 환원성 말단의 수가 많다는 것을 의미한다고 할 수도 있다. 14 품종 찹쌀 전분입자의 glucoamylase에 의한 가수분해도는 Table 4에 나타내고 있듯이 37°C에서 3시간 작용시키면, 품종에 따라 차이가 있기는 하지만 거의 90%이상 가수분해 되었으며, 청향 나는 초기의 가수분해는 다른 품종들에 비해서 높으나 점차 가수분해 속도가 낮아져서 오히려 최종적인 가수분해도는 낮은 편이며, 거창 1, 동삼성 34, 병곡등은 초기의 가수분해도는 그다지 높지 않으나 경시적으로 가수분해도가 크게 증가하는 경향이 있으며, 거창 1 및 병곡은 생전분이지만 100% 가수분해되었다.

한편 X선 회절도 분석에서의 discriminant score와 glucoamylase에 의한 가수분해도 간에는 Zhang등<sup>27)</sup>의 보고와는 달리, 본시험에 사용한 14 품종의 찹쌀간에는 상관성이 없었다.

### 감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발과제 연구비에 의해서 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- Perez, C. M., Villareal, C. P., Juliano, B. O. and Biliaderis, C. G. (1993) Amylopectin-staling of cooked nonwaxy milled rice and starch gels. *Cereal Chem.* **70**, 567-571.
- Villareal, C. P., Juliano, B. O. and Hizukuri, S. (1993) Varietal

- differences in amylopectin staling of cooked waxy milled rices. *Cereal Chem.* **70**, 753-758.
- Lu, S., Chen L.-N. and Lii, C.-Y. (1997) Correlation between the fine structure physicochemical properties, and retrogradation of amylopectins from Taiwan rice varieties. *Cereal Chem.* **74**, 34-39.
- French, D. (1972) Fine structure of starch and its relationship to the organization of starch granules. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* **19**, 8-25.
- Lee, E. Y., Mercier, C. and Whelan, W. J. (1968) A method for the investigation of the fine structure of amylopectin. *Arch. Biochem. Biophysic.* **125**, 1028-1035.
- Hizukuri, S. (1986) Polymodel distribution of the chain length of amylopectins and its significance. *Carbohydr. Res.* **147**, 342-347.
- Hizukuri, S., Takeda, T. and Maruta, N. (1989) Molecular structures of rice starches. *Carbohydr. Res.* **189**, 227-235.
- Takeda, C., Takeda, Y. and Hizukuri, S. (1989) Structure of amylopectin amylose. *Cereal Chem.* **66**, 22-25.
- Takeda, C., Takeda, Y. and Hizukuri, S. (1993) Structure of the amylopectin fraction of amylopectin. *Carbohydr. Res.* **246**, 273-281.
- Robin, J. P., Mercier, C., Charbonniere, R. and Guilbot, A. (1974) Lintnerized starches. Gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chem.* **51**, 389-406.
- Zobel, H. F., Young, S. W. and Rocca, L. A. (1988) Starch gelatinization. an X-ray diffraction study. *Cereal Chem.* **65**, 443-446.
- Asaoka, M., Okuno, K., Sugimoto, Y., Kawakami, J. and Fuwa, H. (1984) Effect of environmental temperature during development of rice plants on some properties of endosperm starch. *Staerke* **36**, 189-194.
- Yamamoto, K., Sawada, S. and Onkai, T. (1973) Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* **20**, 99-104.
- Ikawa, Y., Glover, D. V., Sugimoto, Y. and Fuwa, H. (1981) Some structural characteristics of starches of maize having a specific genetic background. *Staerke* **33**, 9-13.
- Kang, M. Y., Sugimoto, Y. and Fuwa, H. (1985) Some properties of starch of large and small granules of barley endosperm. *Agric. Biol. Chem.* **19**, 1291-1297.
- Ikawa, Y., Kang, M. Y., Sugimoto, Y. and Fuwa, H. (1983) Some properties of starch of job's tears. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* **30**, 5-12.
- Sugimoto, Y., Nishihara, K., Inoue, M. and Fuwa, H. (1982) Some properties of starch granules from different plants species. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* **29**, 1926.
- Inouhi, N., Glover, D. V., Sugimoto, Y. and Fuwa, H. (1984) Developmental changes in starch properties of several endosperm mutants of maize. *Staerke* **36**, 8-13.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* **28**, 350-356.
- Loyd, J. B. and Whelan, W. J. (1969) An improved method for enzymic determination of glucose in the presence of maltose. *Anal. Biochem.* **30**, 467-470.

21. Villareal, C. P., Hizukuri, S. and Juliano, B. O. (1997) Amylopectin staling of cooked milled rices and properties of amylopectin and amylose. *Cereal Chem.* **74**, 163-167.
22. Takeda, Y., Hizukuri, S. and Juliano, B. O. (1987) Structure of amylopectin with low and high affinities for iodine. *Carbohydr. Res.* **168**, 287-294.
23. Kainuma, K. and French, D. (1971) Naegeli amylopectin and its relationship to starch granule structure(I). *Biopolymers* **10**, 1673-1681.
24. Kainuma, K. and French, D. (1971) Naegeli amylopectin and its relationship to starch granule structure(II). *Biopolymers* **11**, 2241-2249.
25. Hizukuri, S. (1971) X-ray diffractometric studies on starches. *Agric. Biol. Chem.* **25**, 45-52.
26. Zhang, Q., Abe, T., Ando, H. and Sasahara, T. (1993) Classification of glutinous rice (*Oryza sativa* L.) starches based on X-ray diffraction pattern. *Annals of Botany* **72**, 551-557.
27. Zhang, Q., Abe, T., Takahashi, T. and T. Sasahara (1996) Variations in *in vitro* starch digestion of glutinous rice flour. *J. Agric. Food Chem.* **44**, 2672-2674.
28. Owusu-Ansah, J., Van Devoort, F. R. and Stanley, D. W. (1982) Determination of starch gelatinization by X-ray diffractometry. *Cereal Chem.* **59**, 167-171.
29. Fuwa, H., Nakajima, M. and Hamada, A. (1977) Comparative susceptibility to amylases of starches from different plant species and several single endosperm mutants and their double-mutant combination with OPAQUE-2 inbred Oh 43 maize. *Cereal Chem.* **54**, 230-237.
30. Takaya, T., Sugimoto, Y., Wako, K. and Fuwa, H. (1979) Degradation of starch granules by  $\alpha$ -amylase of *Streptomyces pre-cox* NA-273. *Staerke* **31**, 205-208.
31. Takaya, T., Sugimoto, Y., Imo, E. and Fuwa, H. (1979) Degradation of starch granules by  $\alpha$ -amylase of fungi. *Staerke* **30**, 289-293.
32. Roy, L. W., James, N. B. and Eugene, F. P. (1984) In 'Starch: Chemistry and technology', French, D., 2nd Ed., Chap 7, Academic press INC, 188-193.
33. Fukui, T., Fujii, M. and Nikuni, Z. (1964) Digestion of raw starch granules by the action of amylases, particularly on the rice starch granule. *Nippon Nogeikagaku Kaishi* **38**, 262-266.
34. Fuwa, H. (1977) Digestion of various starch granules by amylases. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* **24**, 128-140.

---

**The Fine Structure of Amylopectin and Physicochemical Properties of Starch Granules from Endosperm Varieties in Glutinous Rice**

Mi-Young Kang\*, You-Me Sung and Seok-hyun Nam<sup>1</sup>(*Department of Home Economics, Teacher's College, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea; <sup>1</sup>Division of Natural Science, College of Natural Science, Aju University, Suwon 442-749, Korea*)

**Abstract :** Fourteen varieties of glutinous rices were examined on amylopectin fine structure and physicochemical properties of starch granules. The amylopectin chain length distribution and short chain/long chain ratio were investigated by enzymatic treatments followed by high-performance size-exclusion chromatographic separation. Chain length distribution profiles of the isoamylase-debranched amylopectins showed distinct patterns according to varieties. Beongok showed the highest short chain/long chain ratio, while TP2579A1 showed the lowest one. Sharebyeo-152-1-B showed the highest hydrolysis rate to 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, while Sandong 47 showed the lowest one. Fourteen varieties of rice starch granules showed A-type pattern on X-ray diffractograms. Non-gelatinized starch granules from Keochang 1 and Beongok had almost 100% hydrolysed by glucoamylase for 3 hrs at 370°C.

---

Key words : glutinous rice, chain length distribution, X-ray diffractogram, glucoamylase

\*Corresponding author