

밥의 텍스처와 쌀 아밀로오스의 분자량 분포에 관한 연구

노은숙·안승요

서울대학교 식품영양학과

Texture of Cooked Rice and Molecular Weight Distribution of Rice Amylose

Eun-Sook Rho and Seung-Yo Ahn

Department of Food and Nutrition, Seoul National University

Abstract

The textural properties of cooked rice and the molecular weight distribution of amyloses of three rice cultivars different in cooking quality were investigated by the method involving rheometry and gel chromatography. The tested rice cultivars were Chunmabyeo (short grain), Yongmunbyeo (medium grain) and Mahatma (long grain). The cooked rice prepared with Mahatma was higher in hardness and lower in adhesiveness than those prepared with the other two cultivars. The molecular weight distribution of amylose from Mahatma was found to be higher than those from the other cultivars.

Key words: cooked rice, texture, amylose, rheometry, gel chromatography

서 론

쌀의 밥맛을 결정하는 인자들을 밝히고자 많은 연구가 수행되어 왔으나 그것에 대해서 부분적으로 이해할 수 있게 되었을 뿐 아직 완전히 해명되지 않고 있다. Ghiasi 등⁽¹⁾은 쌀밥의 이화학적 성질은 전분립 중의 전분분자들의 결합 정도와 결합 형태에 따라 다르다고 하였다. 그리고 Juliano 등^(2,3)은 아밀로오스 함량이 밥의 부드러움, 끈기 및 색깔과 부의 상관관계를 갖는다고 하였고 Kato⁽⁴⁾는 아밀로오스 함량이 밥의 연화 및 수분 함유량과 부의 상관관계를 나타낸다고 보고하였다. 이밖에도 전분의 호화와 노화에 아밀로오스의 함량이 크게 영향을 미친다는 연구결과들⁽⁵⁻⁸⁾이 보고되고 있다. 한편 아밀로오스의 함량이 비슷한 쌀에 있어서도 취반미의 텍스처 차이가 있다고 알려져 있다. 일반적으로 아밀로오스의 함량과 쌀밥의 텍스처와는 부의 관계를 가지나 아밀로오스의 함량이 낮은 쌀밥이 그 함량이 높은 쌀밥보다 더 단단하다고 보고되고 있다.

본 연구에서는 단립종인 천마벼, 중립종인 용문벼, 장립종인 Mahatma 등 세 품종의 쌀로 만든 밥의 특성과 세 품종 쌀의 전분 중에 함유된 아밀로오스의 분

자량과의 관계를 조사하였다.

실험재료 및 방법

재료

농업진흥청 작물시험장에서 1986년 가을에 수확된 단립종인 천마벼(Japonica형), 중립종인 용문벼(Japonica×Indica형), 장립종인 미국 텍사스주의 Riviana Food Inc.에서 생산된 Mahatma(Indica형) 등 3품종의 쌀을 사용하였다.

시료로 사용한 쌀의 크기와 모양은 Table 1과 같다.

Table 1. Grain size and type of rices

Variety	Length (mm)	width (mm)	Length width (mm)	Thickness (mm)	Grain size
Chunmabyeo	4.88	2.83	1.72	2.07	short grain
Yongmunbyeo	5.44	2.60	2.07	1.92	medium grain
Mahatma	6.92	2.15	3.22	1.71	long grain

쌀의 일반성분 분석

쌀의 수분, 조회분, 조단백 및 지방 함량을 AOAC 시험방법⁽⁹⁾에 준하여 분석하였다. 총 지방 함량은 AOAC 방법을 수정하여⁽¹⁰⁾ 측정하였다.

취반 및 텍스처 특성

Corresponding author: Seung-yo Ahn, Department of Food and Nutrition, Seoul National Univ., San 59-1, Shillim-Dong, Kwanak-Gu, Seoul, 151-742

200g의 쌀을 물로 5회 씻은 다음 체에 받쳐 물기를 제거한 후 천마벼와 용문벼는 1.4배, Mahatma는 1.5배의 물에 30분간 침지시켰다. 이것을 전기밥솥(삼성전기밥솥, 3인용)으로 취반하였다. 취반 후 밥솥안에서 1시간 동안 방치시켰다. 만든 밥으로부터 한알씩 Rheometer(SUN KAGAKU Co. Ltd.) table에 놓고 압착시험(compression test)을 실시하였다. 각 시료마다 50회 반복측정 후 최고치와 최저치를 버리고 밥알의 경도(hardness)와 차진정도(adhesiveness)의 평균을 구하였다. 경도와 차진정도는 Szczesniak⁽¹¹⁾의 정의에 따라 측정하였다. Rheometer의 조작조건은 one bite compression test, deformation: 75% of cooked rice, force range: 1kg full scale로 하였다.

전분의 제조

전분은 이 등⁽¹²⁾이 사용한 알칼리 침지법으로 제조하였다.

아밀로오스의 분리

아밀로오스와 아밀로펙틴은 Montgomery 방법⁽¹³⁾을 수정한 Butanol 침전법으로 분리하였다.

아밀로오스의 특성

전분 중 전체 아밀로오스 함량은 Sowbhagya 등⁽¹⁴⁾의 방법에 따라 측정하였으며 가용성 아밀로오스와 불용성 아밀로오스의 함량은 Shanthy⁽¹⁵⁾의 방법에 따라 측정하였다. 아밀로오스의 iodine binding capacity (IBC)는 potentiometric titration 방법⁽¹⁶⁾으로 얻었고 β-amylolysis limit는 Hizukuri 등⁽¹⁷⁾과 Biliaderis 등⁽¹⁸⁾의 방법에 따라 구하였다.

겔 크로마토그래피

앞에서 얻은 아밀로오스와 부탄올 복합체 약 10mg을 30ml의 물에 넣고 80°C에서 Rotary Evaporator를 이용하여 감압하에 부탄올을 제거하고 아밀로오스 용액을 얻었다. 이 용액 중의 아밀로오스 함량을 Phenol-sulfuric acid 방법⁽¹⁹⁾으로 총 당량을 측정하여 농도를 약 5mg/ml이 되도록 조절하였다. 이 용액 1ml를 Sepharose 2B-CL(2.4×100 cm) column에 주입하고 0.02% Sodium azide가 함유된 0.01N NaOH를 18ml/hr의 속도로 용출하였으며 용출액은 4ml씩 분획하였다. 각 분획 중의 아밀로오스 함량을 Phenol-sulfuric acid 방법⁽¹⁹⁾으로 측정하였고 각

분획 중 아밀로오스의 요오드 결합능력과 iodine-amylose complex의 최대 흡수과정은 Biliaderis 방법⁽¹⁸⁾으로 구하였다. Void volume는 Dextran(Sigma 제품, 분자량 5×10⁶~40×10⁶)으로, total volume은 0.2M KCl로, column calibration은 linear Dextran series(Pharmacia Co. Inc., Dextran T-10(M.W.=10,000), Dextran T-40(M.W.=40,000), Dextran T-500(M.W.=500,000))로 구하고, $V_e - V_0 / V_t - V_0$ 로 k_{av} 값을 계산하였다. V_e , V_0 및 V_t 는 각각 elution volume, void volume 및 total volume이다.

결과 및 고찰

쌀의 일반성분 분석

시료로 사용한 쌀의 일반성분은 Table 2와 같다. 천마벼는 조단백질 함량이 다소 낮았으나 다른 성분은 거의 비슷한 값을 나타내었으며 품종간의 성분 조성에 유의한 차는 없었다.

취반미의 텍스처 특성

텍스처 특성 중 경도와 부착성, 부착성/경도는 관능검사의 판정기준에 일치한다는 보고들⁽²⁰⁻²³⁾에 근거하여 취반미의 텍스처로서 이것들을 측정하였다. 세 품종의 쌀로 취반한 밥의 텍스처 특성치들과 실험치의 Duncan의 다중범위 검정결과는 Table 3과 같다.

Table 2. Proximate composition of the rice flour

Variety	Moisture (%)	Protein (N×5.95)(%)	Ash (%)	Lipid(%)	
				Total	Ether Soluble
Chunmabyeo	12.3	6.77	0.45	1.20	0.32
Yongmunbyeo	11.5	8.81	0.40	1.21	0.40
Mahatma	11.9	8.35	0.40	1.16	0.39

Table 3. Analysis of variance and Duncan's multiple range test for instrumental measurement of cooked rice

Variety	Hardness	Adhesiveness	Adhesiveness
			hardness
Chunmabyeo	9.8b ¹⁾	1.09a	0.16b
Yongmunbyeo	10.3ab	1.05a	0.10b
Mahatma	12.1a	0.13c	0.01a
F-value	1.78	35.51**	76.62**

1) means with the same letter are not significantly different.

Dancan의 다중범위 검정에 의하면 경도는 천마벼, 용문벼, Mahatma의 순서로 컸으며, 부착성은 천마벼, 용문벼가 컸고 Mahatma가 작았다. 대체로 부착성/경도는 장립종에서 낮고, 단립종과 중립종은 높았다. 그러나 분산분석에서 부착성과 부착성/경도는 1% 수준에서 품종간에 유의한 차를 나타내었으나 경도는 유의한 차가 없었다.

아밀로오스의 특성

총 아밀로오스의 함량, 가용성 아밀로오스의 함량, 불용성 아밀로오스의 함량은 Table 4와 같다. 전분 중 총 아밀로오스 함량과 가용성 아밀로오스 함량은 Mahatma가 천마벼와 용문벼보다 높았다. Juliano^(2,23,24)와 Goodman⁽²⁵⁾에 따르면 아밀로오스 함량은 경도, 용적팽창 정도와는 정의 상관관계를, 부착성, 물의 흡수량과는 부의 상관관계를 가진다고 하였다.

본 실험에 의하면 가용성 아밀로오스 함량이 취반미의 경도와 정의 상관관계를, 부착성과는 부의 상관관계를 나타내었다. 총 아밀로오스의 함량도 경도와 정의 상관관계를 부착성과는 부의 상관관계를 나타내었으나 0.05% 수준에서 유의한 차를 나타내지 않았다. 이는 3품종간에 아밀로오스 함량에 큰 차이가 없기 때문이라고 생각된다. Sowbhagya 등⁽²⁶⁾에 의하면 불용성 아밀로오스도 텍스처에 영향을 준다고 발표하였으며 Bhattacharya⁽²⁷⁾도 불용성 아밀로오스가 텍스처에 영향을 주리라고 생각했으나 그 관계를 밝히지 못하였다. 본 실험에서는 불용성 아밀로오스 함량이 텍스처 특성과 상관관계를 나타내지 않았다.

겔 크로마토그래피로 분리한 아밀로오스의 IBC 값과 β -amylolysis limit는 Table 5와 같다. IBC의 경우 천마벼는 16.53%, 용문벼는 18.16%, Mahatma는 18.19%를 나타내었다. 순수한 아밀로오스는 요오드와의 결합능력이 19~20%라는 결과⁽²⁸⁾로 보아 천마벼의 아밀로오스는 순도가 떨어지고 용문벼, Mahatma의 경우 비교적 순수하게 분리되었다고 생각된다. 분리한 아밀로오스의 β -amylolysis limit는 3품종 모두 77~78%였다. 이 값은 Hizukuri⁽¹⁷⁾와 Juliano⁽²⁹⁾ 등이 쌀의 아밀로오스 실험에서 얻어진 결과와 비슷하였다. 또한 Nelson 등⁽³⁰⁾도 쌀의 아밀로오스는 다른 전분에 비하여 분지된 정도가 커서 낮은 β -amylolysis를 나타낸다고 보고하였다.

Table 4. Amylose content of rice starches

Variety	Total amylose(%)	Soluble amylose(%)	Insoluble amylose(%)
Chunmabyeo	22.2	11.56	10.64
Yongmunbyeo	22.5	11.34	11.16
Mahatma	24.9	13.34	11.56

Table 5. Iodine binding capacity(%) and β -amylolysis limit(%)

Variety	Iodine binding capacity(%)	β -amylolysis limit(%)
Cnunmabyeo	16.53	78.2
Yongmunbyeo	18.16	78.5
Mahatma	18.19	77.2

겔 크로마토그래피

Column의 보정을 위하여 몇가지 Dextran의 겔 크로마토그래피 용출곡선은 Fig. 1과 같고 이로부터 얻은 K_{av} 와 분자량과의 관계는 Fig. 2와 같다.

각 시료 쌀의 겔 크로마토그래피에 의한 아밀로오스의 용출곡선과 각 분획의 요오드 결합정도를 λ_{max} 로 알아 본 결과는 Fig. 3과 같다. 세 품종의 아밀로오스마다 각 분획의 최대 흡수파장이 달랐는데 이것은 아밀로오스의 중합도가 다르기 때문이라고 생각된다. Biliaderis 등⁽³¹⁾에 의하면 iodine complex의 λ_{max} 는 아밀로오스의 중합정도만이 아니라 아밀로오스의 구조적 차이도 반영할 수 있음을 시사하였다. Void volume 근처 분획의 λ_{max} 와 Montgomery 침전법에

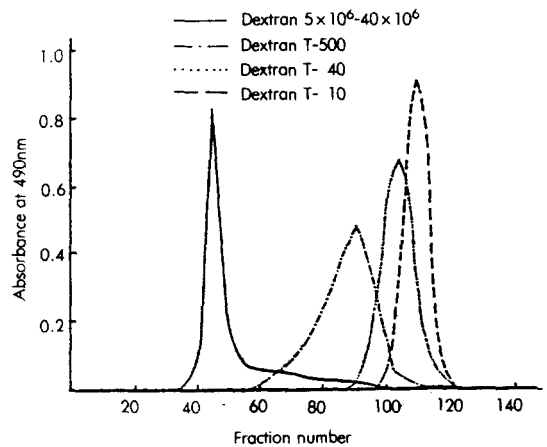


Fig. 1. Gel chromatography of dextran.

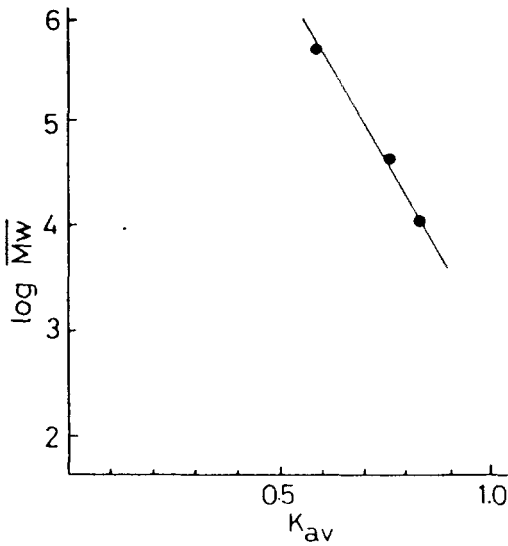


Fig. 2. Calibration curve based on the molecular weight values of the dextran standards.

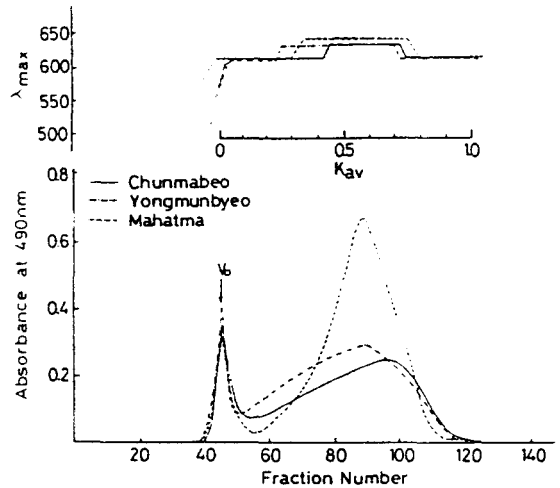


Fig. 3. Gel chromatography of rice amyloses and absorption maxima of iodine complex of amyloses in fractions.

Table 6. Comparison of gel-extruded polysaccharide and isolated amylopectin and amylose of rice starches.

Variety	Extrusion peak polysaccharide			Amylopectin ^{a)}	Amylose ^{a)}
	Fraction number	λ_{max} range	Void volume(%)	λ_{max}	λ_{max}
Chunmabyeo	40 - 51	560 - 610	16.3	555	635
Yongmunbyeo	38 - 48	560 - 610	14.7	550	630
Mahatma	38 - 46	570 - 610	10.9	570	630

a) Isolated by Montgomery precipitation.

의하여 분리한 아밀로펙틴의 λ_{max} , void volume 이 차지하는 면적은 Table 6과 같다.

Void volume 근처 분획의 iodine complex 의 최대 흡수파장은 대체로 540~610 nm로서 이것은 순수 분리하여 얻은 아밀로펙틴의 λ_{max} 보다는 높고 아밀로오스의 λ_{max} 보다는 낮았다. 따라서 void volume에서 용출되는 전분은 분지도가 높은 아밀로오스이거나 또는 시료용액 중에 혼입된 아밀로펙틴에 기인되는 것으로 생각된다. Colonna 등⁽³²⁾, Cragi 등⁽³³⁾, Takeda 등⁽³⁴⁾, Praznik 등⁽³⁵⁾에 의하면 void volume 근처의 분획은 분리조작 중 혼입된 아밀로펙틴에 의한 것이고 Ghiasi 등⁽³⁶⁾은 분리조작 중에 중합된 아밀로오스에 기인되는 것이라고 하였다. 그리고 다른 실험에서도 α -1.6 결합을 가지고 있는 아밀로오스가 앞부분에서 용출되었다^(17,28,37-39)고 보고하였다.

Void volume에 이어 용출되는 아밀로오스의 분자량 분포는 Table 7과 같다. Mahatma 품종은 다른 두 품종에 비하여 분자량이 4×10^4 이하의 아밀로오스

함량이 낮은 반면 4×10^4 이상의 아밀로오스의 함량이 높았다. Mahatma의 전분립은 비교적 높은 분자량의 아밀로오스로 구성되었고 천마씨의 경우에는 비교적 작은 분자길이를 가진 아밀로오스로 구성되었다. 장쇄상의 Mahatma는 텍스처 측정시 높은 경도를 나타내었고 길이가 짧은 천마씨의 경우에는 낮은 경도를 나타내는 것은 장쇄상의 아밀로오스 분자가 전분립내에서 분자끼리 또는 아밀로펙틴과 더 많은 수소결합을 통하여 안정된 회합체를 형성하기 때문이라고 생각된다.

Table 7. Percentage distribution of molecular weight for rice amyloses

Variety	2×10^6 - 5×10^5	5×10^5 - 4×10^4	4×10^4 - 1×10^4	$< 1 \times 10^4$
Chunmabyeo	57.7	29.4	5.7	7.2
Yongmunbyeo	66.8	25.4	3.9	3.9
Mahatma	66.9	32.3	1.2	1.2

요 약

단립종인 천마벼, 중립종인 용문벼, 장립종인 Mahatma 등 3품종 쌀에 대한 취반미의 텍스처 특성과 아밀로오스의 분자량 분포를 rheometer와 겔 크로마토그래피 방법을 통하여 연구하였다. Mahatma 품종 쌀로 만든 밥은 천마벼나 용문벼로 만든 밥보다 경도가 컸고 부착성이 낮았다. 가용성 아밀로오스는 경도와 정의 상관관계가 있었으나 총 아밀로오스 함량이나 불용성 아밀로오스 함량과는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다. 분리한 아밀로오스의 β -amylolysis limit는 77.2~78.5%였으며 iodine binding capacity는 16.5~18.2%였다. 겔 크로마토그래피에 의하여 분리한 아밀로오스의 분자량 분포는 천마벼, 용문벼, Mahatma의 순으로 컸다.

문 헌

- Ghiasi, R., Hosney, R.C. and Varriano-Marston, E.: Gelatinization of Wheat Starch. 2. Starch-surfactant interaction. *Cereal Chem.* **59**, 86 (1982)
- Juliano, B.O.: Properties of Rice Starch in Relation to Varietal Differences in Processing Characteristics of Rice Grain. *J. Jpn. Soc. Sci.* **29**(4), 305 (1982)
- Juliano, B.O.: Proceeding of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality. p.69 (1979)
- Kato, S.: Rheology of Food (Part a) Retrogradation of Boiled Rice. *J. of Home Economics of Jpn.* **30**(6), 497 (1979)
- Miles, M.J. et al.: The Roles of Amylose and Amylopectin in the Gelation and Retrogradation of Starch. *Carbohydrate Research* **135**, 271 (1985)
- Miles, M.J. et al.: Gelation of Amylose. *Carbohydrate Research* **135**, 257 (1985)
- Ott, M. and Elizabeth Hester, E.: Gel Formation as Related to Concentration of Amylose and Degree of Starch Swelling. *Cereal Chem.* **41-42**, 476 (1964-1965).
- Whistler, R.L. and Johnson, C.: Effect of Acid Hydrolysis on the Retrogradation of Amylose. *Cereal Chem.* **25**, 418 (1948)
- Horwitz, W.: *AOAC Methods of Analysis* (13th ed.), Association of Official Analytical Chemists, Washington (1984)
- Schoch, T.J.: Determination of Fat in Starch, In "Method in Carbohydrate IV", pp.59-62 (1964)
- Malcolm, C.B.: Texture Profile Analysis (TPA), In "Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement", pp. 114-117 (1982)
- 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규: 쌀 전분의 현탁액과 호화액의 유동 거동. *한국식품과학회지* **16**, 29(1984)
- Montgomery, E.H. and Sont, F.R.: Separation of Amylose from Amylopectin of Starch, by an Extraction-Sedimentation Procedure. *J. Polymer Sci.* **28**, 1 (1958)
- Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R.: Simplified Determination of Amylose in Milled Rice. *Stärke* **31**(5), 159 (1979)
- Shanthy, A.P. et al.: Simplified Determination of Water Insoluble Amylose Content of Rice. *Stärke* **32**(12), 409 (1980)
- Schoch, T.J.: Iodimetric Determination of Amylose-Methods in Carbohydrate Chemistry. Vol. IV., Academic Press, New York, pp.157-160
- Hizukuri, S., Takeda, Y., and Yasuda, M.: Multi-branched Nature of Amylose and the Action of Debranching Enzymes. *Carbohydrate Research* **94**, 205 (1981)
- Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Molecular Weight Distributions of Legume Starches by Gel Chromatography. *Cereal Chem.* **56**(5), 475 (1979)
- Dubios, M., Gillis, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F.: Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Anal. Chem.* **28**, 350 (1956)
- 山夜善正, 高川美知子, 福井義明: 日本食品工業學會誌, **19**, 280(1972)
- Endo, I., Yanase, H. and Chikubu, S.: Production of a New Arm (Magnify Adhesiveness) in a Texturometer for Simplification of Palatability Evaluation of Cooked Rice and Comparison with an Ordinary Arm. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **27**(2), 92 (1980)
- Juliano, B.O. et al.: International Cooperative Comparison of Instrument Methods for Cooked Rice Texture. *J. of Texture Studies*, **12**, 17 (1981)

23. Juliano, B.O. and Perez, C.M.: Major Factors Affecting Cooked Milled Rice Hardness and Cooking Time. *J. of Texture Studies*, **14**, 235 (1983)
24. Juliano, B.O.: The Chemical Basis of Rice Grain Quality-Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality. *International Rice Research Institute*, Los Angeles, Philippines, p.69 (1979)
25. Goodman, D.E. and Rao, R.M.: Amylose Content and Puffed Volume of Gelatinized Rice. *J. of Food Science* **49**, 1204 (1984)
26. Bhattacharya, K.R., Sowbhagya, C.H. and Induhara Swamy, Y.H.: Importance of insoluble Amylose as a Determinant of Rice Quality, *J. Sci. Food Agric.* **29**, 359 (1978)
27. Bhattacharya, K.R., Sowbhagya, C.H. and Induhara Swamy, Y.M.: Quality Profile of Rice: A Tentative Scheme for Classification, *J. of Food Sci.* **47**, 564 (1982)
28. Lill, C.Y. and Lineback, D.R.: Characterization and Comparison of Cereal Starches. *Cereal Chem.* **54**(1), 138 (1977)
29. Juliano, B.O., Hizukuri, S., Enevoldsen and Blakey: Beta-amylolysis Limit (Table 7)-Rice: Chemistry and Technology. AACC Inc. Str. Paul, Minnesota, USA, p.77 (1985)
30. Nelson, N. *et al.*: Somogy: Micro Copper Method (Calorimetric Method)-Methods in Carbohydrate Chemistry. Vol. I. Academic Academic Press, pp.386-388 (1964)
31. Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Molecular Weight Distribution of Legume Starches by Gel Chromatography. *Cereal Chem.* **56**(5), 475 (1979).
32. Colonna, P. and Mercier, C.: Macromolecular Structure of Wrinkled and Smooth Pea Starch Component. *Carbohydrate Research* **126**, 233 (1984)
33. Craig, S.A.S. and Stark, J.R.: A Composition of the Molecular Properties of Sorghum Starches of Different Origins Starch. *Stärke* **36**, 127 (1984)
34. Takeda, Y., Shirasaka, K. and Hizukuri, S.: Examination of the Purity and Structure of Amylose by Gel-Permeation Chromatography. *Carbohydrate Research*, **132**, 83 (1984)
35. Praznik, W., Burdick, G. and Beck, R.H.F.: Molecular Weight Analysis of Starch Polysaccharides Using Cross-Linked Allyldextran Gels. *J. of Chrom.* **357**, 216 (1986)
36. Ghiasi, K., Hosney, R.C. and Varriano-Marston, E.: Gelatinization of Wheat Starch. I. Excess-Water Systems. *Cereal Chem.* **59**(2), 81 (1982)
37. Hizukuri, S., Shirasaka, K., Juliano, B.O. and Los Banos: Phosphorus and Amylose Branching in Rice Starch Granules. *Stärke* **35**(10), 348 (1983)
38. Takeda, Y., Tokunaga, N., Takeda, G. and Hizukuri, S.: Physicochemical Properties of Sweet Potato Starches. *Stärke* **38**(10), 345 (1986)
39. 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**(6), 496 (1981)

(1989년 3월 20일 접수)