

Cellulase 처리가 쌀의 이화학적 특성 및 밥의 텍스처 특성에 미치는 영향

김영경 · 안승요
서울대학교 가정대학 식품영양학과

The Effect of Cellulase Treatment on the Physicochemical Properties of Rice and the Texture of Cooked Rice

Young Kyung Kim and Seung Yo Ahn
Department of Food and Nutrition, Seoul National University

Abstract

Effect of the cellulase treatment on the physicochemical properties of three varieties of rice (chucheongbyeol, chosengtongilbyeol and IR 36) and the texture of cooked rice were investigated. The swelling power and solubility of the rice flours were increased and amylographic viscosities, especially cold viscosities were decreased by cellulase treatment in all varieties. Gel chromatography of soluble carbohydrates from cellulase-treated rice flours on sepharose 2B-CL showed a significant increase of low molecular weight (10^4) fraction which might be produced upon hydrolysis in endosperm cell wall constituents. The hardness of cooked rices prepared from cellulase-treated rices significantly decreased.

Key words: rice, cellulase, endosperm cell wall, swelling power, amylogram, DSC, hardness of cooked rice

서 론

쌀의 밥맛에 영향을 미치는 인자들에 대하여 많은 연구가 진행되었으나 아직 명확하게 규명되지는 못하였고 대부분의 연구는 쌀의 주성분인 전분에 대하여 수행되어 왔다. 쌀전분의 아밀로오스 함량이 밥맛에 영향을 미친다고 알려져 있는데⁽¹⁾ 아밀로오스 함량이 증가할수록 밥의 부드러움, 끈기, 색, 윤기 등이 감소하여 밥맛이 떨어진다고 보고되었다^(2,3,4). 그러나 아밀로오스 함량이 비슷한 쌀 품종 간에도 밥맛의 차이가 나타나 아밀로오스 함량만으로는 밥맛을 완전하게 설명할 수 없다. 길 등⁽⁵⁾은 아밀로오스 함량이 비슷한 쌀 전분의 상대적인 전분의 결정화도가 취반 후의 밥의 경도에 영향을 미치며, 김 등⁽⁶⁾은 쌀 또는 쌀가루의 가용성 물질과 가용성 아밀로오스 함량이 밥의 경도와는 부의 상관율, 부착성과는 정의 상관율 보임을 보고하였다. 아밀로오스 뿐만 아니라 아밀로펙틴도 밥맛과 관계가 있는데, 아밀로펙틴의 사슬길이가 노화속

도에 영향을 미치며⁽⁷⁾, Takeda와 Hizukuri⁽⁸⁾는 일본형과 인도형 쌀의 차이는 주로 아밀로펙틴에 기인한다고 하였다.

쌀중의 전분립은 배유세포벽과 불용성 단백질 망(Insoluble protein network)에 의해 싸여있는 구조를 갖고 있다^(9,10). Cellulose, hemicellulose와 그밖의 단백질 등으로 구성되어있는 배유 세포벽⁽¹¹⁾은 쌀전분의 팽윤을 억제하여 취반시 쌀의 호화와 취반미의 텍스처에 영향을 미칠 것으로 생각된다. Shibuya와 Iwasaki⁽¹²⁾는 효소를 이용하여 쌀의 배유세포벽을 부분적으로 파괴하면 취반미의 경도가 감소하고 stickiness는 증가하며 특히 노화과정에서 아밀로그램의 점도가 감소한다고 하였다. Watanabe 등⁽¹³⁾은 저장한 쌀에 protease, cellulase, pectinase 등의 효소를 처리했을 때 취반미의 텍스처가 향상되었다고 하였다.

본 연구에서는 배유세포벽이 쌀의 호화와 밥의 텍스처에 미치는 영향을 밝히기 위하여 밥맛에 차이가 있는 일반계의 추청벼, 다수계의 조생통일벼, 인디카형의 IR 36 등 세 품종의 쌀에 셀룰로오스 가수분해 효소를 처리하여 쌀의 이화학적 특성 및 밥의 경도에 미치는 영향에 대하여 시험하였다.

Corresponding author: Seung Yo Ahn, Department of Food and Nutrition, Seoul National University, San 56-1, Shinlim-dong, Kwanak-gu, Seoul 151-742, Korea

재료 및 방법

실험 재료

쌀은 서울대학교 농생대 시험포장에서 1992년 수확된 일반계 품종인 추청벼, 다수계 품종인 조생통일벼, 인디카 품종인 IR 36을 도정하여 사용하였다. 시료로 사용된 쌀의 크기와 모양은 Table 1과 같다.

쌀가루 제조

쌀가루는 쌀을 마쇄기로 갈아 60메시 체를 통과시켜 제조하여 4°C에서 보관하며 시료로 사용하였다.

일반성분 분석 및 아밀로오스 함량 측정

AOAC법⁽¹⁴⁾에 의해 쌀가루의 수분, 조단백, 조지방, 회분의 함량을 분석하였다. 쌀가루의 총 아밀로오스와 가용성 아밀로오스 함량은 Sowbhagya와 Bhattacharya⁽¹⁵⁾ 및 juliano⁽¹⁶⁾의 비색법으로 정량하였다. 비색법을 위한 표준곡선은 Montgomery와 Senti⁽¹⁷⁾의 방법으로 분리한 쌀 전분의 아밀로오스를 이용하여 작성하였다.

팽윤력과 용해도 측정

Schoch⁽¹⁸⁾의 방법을 보완하여 쌀가루 1g을 증류수 30 ml로 잘 분산시킨 후 60, 70, 80, 90°C에서 30분간 교반하면서 가열하고 2220xG로 30분간 원심분리하였다. 그 상정액을 취하여 페놀-황산법⁽¹⁹⁾으로 총당량을 구한 후 용해도(% solubility)를 계산하고, 침전물의 무게로부터 팽윤력(swelling power)을 구하였다. 효소처리 쌀가루의 경우 쌀가루 1g을 증류수 대신 셀룰라제 효소액 (cellulase 1 mg/ml water) 30 ml에 분산시키고 50°C 수조에서 1시간 동안 반응시킨 후 위와 같은 방법으로 용해도와 팽윤력을 구하였다. 셀룰라제(cellulase : EC 3.2.1.4 from *Trichoderma viride*)는 Sigma사에서 구입하였으며 효소활성은 고품분 mg당 9.0 unit, 활성 최저온도는 40~50°C, 최적 pH는 4.0~5.0이었다.

Amylography

Amylograph (Brabender OHG. Germany)를 이용하

여 Medcalf와 Giles⁽²⁰⁾의 방법에 준하여 amylogram을 구하였다. 쌀가루 40 g(건물중량)에 증류수 360 ml를 가하여 10% 농도로 현탁한 후 95°C까지 1.5°C/min의 속도로 가열하고 95°C에서 15분간 유지시켰다. 같은 속도로 50°C까지 냉각시키고 15분간 유지하면서 호화 및 노화 특성을 조사하였다. 효소처리 쌀가루는 쌀가루 40 g(건물중량)을 효소액(cellulase 1.67 mg/ml acetate buffer) 120 ml에 분산시켜 50°C 항온수조에서 1시간 교반하면서 반응시켰다. 쌀가루 현탁액을 냉각시켜 효소반응을 끝내고 buffer 240 ml를 가하여 총 10% 농도로 현탁하여 위와 같은 방법으로 실험하였다.

Differential scanning calorimetry (DSC)

DSC에 의한 쌀가루와 효소처리 쌀가루의 호화, 노화 특성은 Donovan⁽²¹⁾의 방법에 따라 실시하였다. Hermetic aluminum pan에 시료와 증류수의 비율이 1:2 (w/w)가 되도록 넣고 밀봉하였다. Reference pan에는 물 대신 glycerol을 사용하였다.

효소처리 쌀가루는 Shibuya 등⁽²²⁾의 방법에 준하여 다음과 같이 조제하였다. 셀룰라제(cellulase) 5 mg을 0.01 M 아세트산 완충액(pH 5.0) 20 ml에 분산시킨 효소액에 쌀가루 1.0 mg을 현탁시켜 50°C 항온수조에서 1시간 동안 교반하면서 반응시켰다. 반응 후 2220xG로 15분간 원심분리하여 상층의 효소액을 버리고 증류수로 수세하였다. 효소처리 시료는 실온에서 건조시킨 후 60메시 체로 분쇄하였다.

Thermogram은 differential scanning calorimeter (Model SSC/5200, Seiko Instrument, Japan)를 이용하여 30°C부터 160°C까지 분당 5°C의 속도로 가열하여 얻었다. 한번 가열된 시료 용기를 4°C에서 24, 48, 96시간 저장한 후 각각 동일 조건으로 재가열하여 얻어진 thermogram으로부터 시료의 노화 특성을 조사하였다.

가용성 탄수화물의 겔 크로마토그래피

쌀가루 0.3 g을 증류수 20 ml에 분산시키고 50°C 항온수조에서 1시간 침지한 후 다시 온도를 95°C로 올려서 30분간 가열하고 2220xG로 30분간 원심분리한 후 상정액을 취하여 Whatman No.42 여과지를 통해 여과하였다. 여과액 2 ml를 Sepharose 2B-CL column에 주입하고 용출액을 분획수집기를 이용하여 4 ml씩 분획하였으며 각 분획의 총당량은 페놀-황산법⁽¹⁹⁾으로, 요오드 반응의 최대흡수 파장은 Biliaderis 등⁽²³⁾의 방법으로 측정하였다. 효소처리 쌀가루는 쌀가루 0.3 g을 효소액(cellulase 0.075 mg/ml water) 20 ml에 분산시

Table 1. Grain size and type of rices

Variety	Length (mm)	Width (mm)	Length/Width	Grain type
Chucheongbyeo	4.68	2.63	1.78	short
Chosengtongilbyeo	5.89	2.89	2.04	medium
IR 36	6.87	2.10	3.27	long

키고 50°C 항온수조에서 1시간 교반하면서 반응시킨 후 위와 같은 방법으로 실험하였다. 한편 void volume은 dextran (Sigma Co., 분자량 5,000,000~40,000,000)을 이용하여 구하고 total volume은 glucose로부터 구하였다^(23,25). Column은 분자량이 알려진 linear dextran series (Pharmacia Co.) dextran T-10 (분자량 10,000), dextran T-40 (분자량 40,000), dextran T-500 (분자량 500,000) 등을 사용하여 보정하였으며 분자량과 Kav간의 관계는 Biliaderis 등⁽²³⁾의 방법에 따라 구하였다.

밥의 경도 측정

쌀 5 g에 증류수 20 ml를 가하여 50°C 항온수조에서 1시간 침지시킨 후 증류수로 3회 수세하고 30분간 물을 뺀 뒤 뚜껑 있는 플라스틱 칭량병(50 ml 용량, Kartell Co. Italy)에 넣고 각각 쌀무게의 1.0배(5 ml)와 1.2배(6 ml)의 증류수를 가하여 전기밥솥에서 취반하였다. 취반시 전기밥솥 바닥에 1 cm 정도 높이로 증류수를 가하고 위의 칭량병을 넣은 후 20분간 가열하고 20분간 뜸을 들였다. 효소처리한 밥은 쌀 5 g에 효소액(cellulase 1.25 mg/ml water) 20 ml를 가하여 50°C 항온수조에서 1시간 교반하면서 효소반응을 시켰다. 반응 후 효소액을 버리고 위와 같은 방법으로 취반하였다.

취반 직후에 모양을 제대로 유지하고 있는 밥 한 알을 핀셋으로 가볍게 집어 Rheometer (Fudoh Kogyo Co., Japan)의 table위에 올려놓고 상하로 움직여서 deformation 50%로 압착시킴으로서 경도(hardness)를 측정하였다. 각 시료마다 50회 반복 시험하였다. 같은 방법으로 취반한 시료를 4°C에서 12시간 동안 저장한

뒤에 Rheometer로 경도를 측정하여 노화된 밥의 텍스처를 측정하였다.

결과 및 고찰

일반성분 및 아밀로오스 함량

세 품종 쌀의 일반성분 및 아밀로오스 함량은 Table 2와 같다. 시료의 일반성분 중 쌀가루의 단백질은 6.7~7.7%, 회분은 0.4~0.7%, 지방은 0.5~0.9%이었다. 총 아밀로오스는 쌀가루의 경우 추청벼와 조생통일벼가 각각 20.36%, 20.63%로서 김 등⁽²⁶⁾이 보고한 우리나라 쌀의 아밀로오스 함량 수준(일반계 18.5%, 다수계 18.3~22.0%)에 속하며, IR 36은 24.56%로서 아밀로오스 함량이 높았다.

팽윤력 및 용해도

쌀가루와 효소처리 쌀가루의 팽윤력과 용해도의 결과는 각각 Fig. 1 및 4와 같다. 60°C에서의 팽윤력은 추청벼가 가장 크고 조생통일벼, IR 36순으로 낮아졌으나 70°C 이상에서는 추청벼와 조생통일벼가 큰 차이를 보이지 않고 IR 36만이 두 품종에 비해 팽윤력이

Table 2. Proximate composition and amylose content of rices

Variety	Moisture (%)	Protein (%)	Ash (%)	Lipid (%)	Total amylose (%)	Soluble amylose (%)
Chucheongbyeo	12.60	6.67	0.39	0.56	20.36	19.52
Chosengtongilbyeo	12.41	7.28	0.46	0.65	20.63	19.62
IR 36	14.53	7.71	0.65	0.91	24.56	22.28

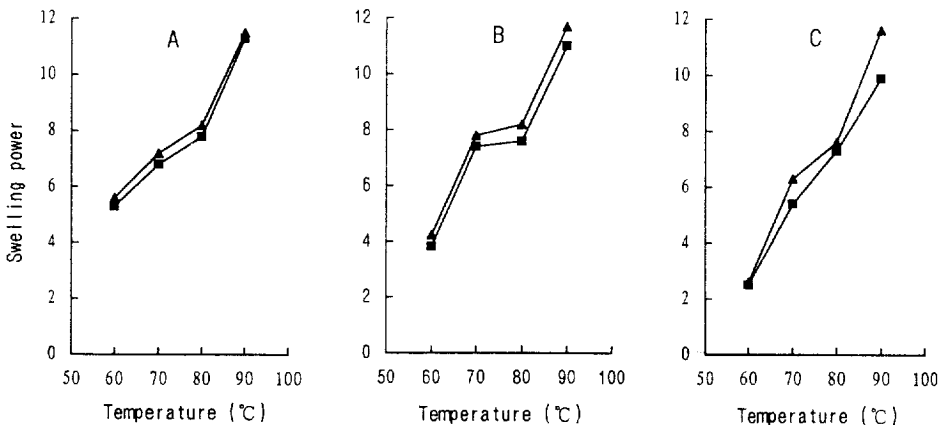


Fig. 1. Swelling power of native and cellulase-treated rice flours A: Chuchenongbyeo; B: Chosengtongilbyeo; C: IR36; ■—■: native; ▲—▲: cellulase-treated

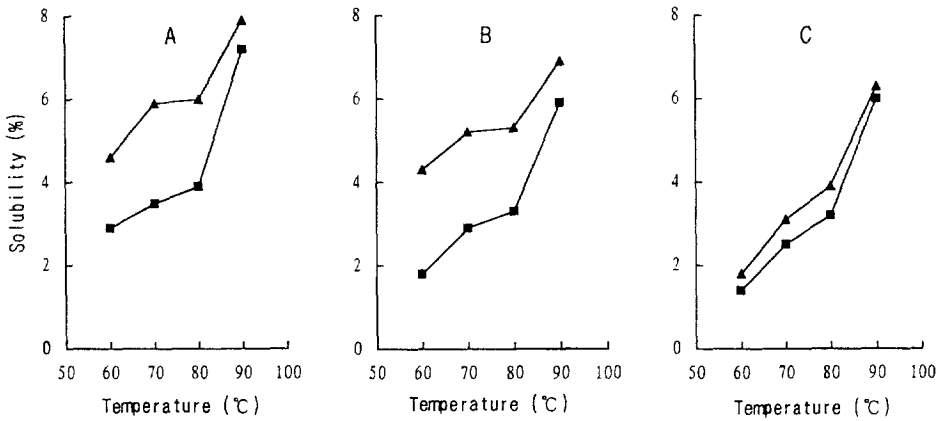


Fig. 2. Solubility of native and cellulase-treated rice flours A: Chuchenongbyeog; B: Chosengtongilbyeog; C: IR36; ■—■: native; ▲—▲: cellulase-treated

낮았다. Leach 등⁽²⁷⁾은 온도에 따른 팽윤 양상이 전분립 내부의 전분 분자의 회합 정도에 따라 다르며 전분립 내의 결합력이 강하면 팽윤력이 강하게 저항한다고 하였고, Wong과 Lelievre⁽²⁸⁾는 입자 크기가 작을수록 팽윤력이 크고 비슷한 크기에서는 입자내의 결정성이 클수록 팽윤력이 낮다고 보고하였다. 따라서 IR 36은 다른 시료에 비해 전분립 내의 결합력이 강하고 추청은 낮은 온도에서의 팽윤력이 크므로 결정성이 더 낮음을 알 수 있다. 효소처리 쌀가루의 경우 모든 시료에서 팽윤력이 증가함을 볼 수 있는데 이는 Shibuya와 Iwasaki⁽²²⁾가 보고한 바와 같이 가열시 전분립의 자유로운 팽윤을 억제하는 배유세포벽이 셀룰라제에 의하여 붕괴되었기 때문이라고 할 수 있다.

용해도는 세 품종 모두 70~80°C까지는 완만히 증가하였으나 60~70°C와 80~90°C범위에서는 급증하는 경향을 보였다. 그리고 전 온도범위에서 추청의 용해도가 가장 크고 조생통일, IR 36순으로 작아졌다. 효소처리한 쌀가루는 세 품종 모두 용해도가 증가하였는데 이는 배유세포벽의 손상으로 전분립으로의 수분침투가 용이해졌기 때문으로 생각된다. IR 36은 효소처리에 의한 용해도의 증가폭이 가장 적었는데 이것은 팽윤력의 경우와 마찬가지로 IR 36의 전분립내 결합력이 가장 강하기 때문이라고 생각된다.

Amylography

쌀가루와 효소처리한 쌀가루(10% 농도)의 아밀로그래프는 Fig. 3~5와 같으며 각 특성치들은 Table 3과 같다. 전 온도범위에서 추청, 조생통일, IR 36 순으로 아밀로그래프 점도가 증가하였으며, 효소처리한 쌀가루의 경우 세 품종 모두 점도가 감소하였는데 특히 노화 경

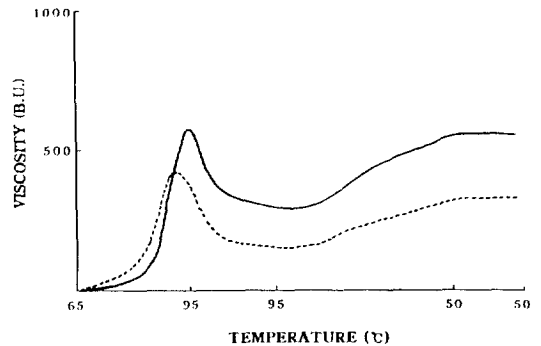


Fig. 3. Amylogram of native and cellulase treated flour from Chucheongbyeog —: native; ···: cellulase-treated

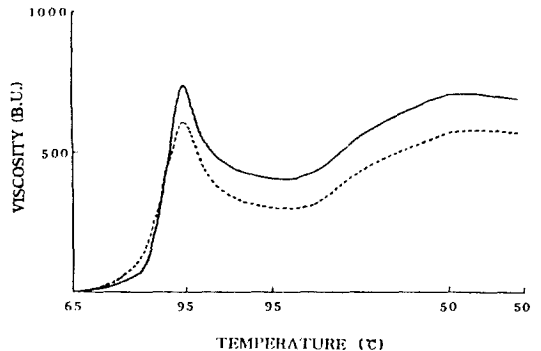


Fig. 4. Amylogram of native and cellulase treated flour from Chosengtongilbyeog —: native; ···: cellulase-treated

향을 나타내는 냉각점도의 감소 경향이 뚜렷하였다. 호화개시 온도는 추청벼와 조생통일벼가 각각 76.3°C와 75.8°C로 비슷하였고 IR 36은 80.0°C로 더 높았다. 호화개시 온도는 아밀로오스 함량⁽³⁰⁾ 및 무정

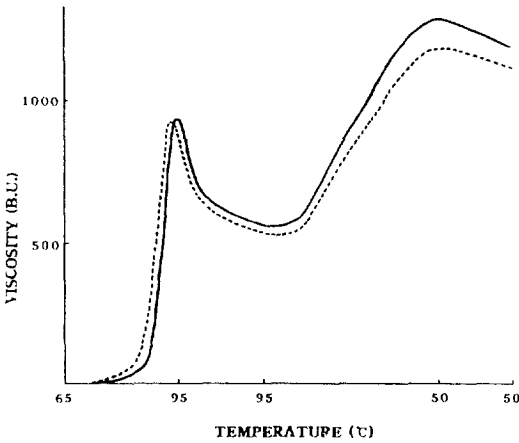


Fig. 5. Amylogram of native and cellulase treated flour from IR 36 —: native; ···: cellulase-treated

형 부분에서의 분자간 회합 정도⁽³¹⁾ 등이 영향을 미치며 전분입자의 내부구조가 치밀할수록 가열시 느리게 팽윤되어 높은 호화온도를 갖는다고 하였다⁽³²⁾. 따라서 호화개시 온도가 높은 IR 36이 추청벼나 조생통일벼보다 결정구조가 치밀하고 분자간 회합정도가 더 크리라는 것을 알 수 있다. 효소처리 쌀가루의 경우 세 품종 모두 호화개시 온도가 낮아졌으며 그 차이는 추청벼가 가장 컸다.

최고점도(P)와 hot paste viscosity(H)는 일반계 쌀인 추청벼가 가장 낮고 조생통일벼, IR 36 순으로 높아졌다. 효소처리 쌀가루의 최고점도(P)와 hot paste viscosity (H)는 추청벼가 가장 낮고 조생통일벼, IR 36순으로 높아져 그 순은 효소처리 전과 같았으나 모든 품종에서 그 값이 감소하였다. 아밀로그래프의 점도는 전분입자의 팽윤 정도와 팽윤된 전분입자의 열과 전단에 대한 저항도, 가열 중 입자로부터 용출된 가용성 전분의 존재, 팽윤된 입자끼리의 상호작용 또는 응집성 등에 의하여 좌우된다.

95°C에서 15분 가열한 다음의 점도 변화 (breakdown, P-H)는 쌀가루 paste의 안정성이나 깨짐성을 나타내는데 본 실험결과를 보면 점도가 많이 감소하여 깨짐성이 큰 곡류의 전형적인 점도 변화를 보여주고 있다.

Shibuya와 Iwasaki⁽¹²⁾는 세포벽을 손상시키는 효소에 의해서 쌀가루의 아밀로그래프 점도가 감소한다고 하였다. 이는 배유세포벽이 약해져서 호화되거나 노화된 전분립 간의 상호작용이 약해져 blade의 교반에 대한 저항력(resistance)이 감소되었기 때문이라고 설명하였다.

Table 3. Brabender viscographic values¹⁾ of native and cellulase-treated rice flours

Variety	Initial pasting (B.U.) temp.	P (B.U.)	H (B.U.)	C (B.U.)	P-H	C-H	C-P
Chucheongbyeon							
Native	76.3	565	297	540	243	268	-25
Cellulase-treated	68.4	418	153	316	163	265	-102
Chosengtongilbyeon							
Native	75.8	730	402	700	298	328	-30
Cellulase-treated	70.5	604	300	563	263	304	-41
IR 36							
Native	80.0	930	563	1274	711	367	344
Cellulase-treated	76.6	925	538	1170	632	387	245

¹⁾P: Peak viscosity, H: Hot paste viscosity C: Cold viscosity, P-H: Breakdown, C-H: Consistency, C-P: Setback

50°C의 냉각점도(C)는 노화 경향을 반영하며, 호화액의 냉각시 아밀로오스 분자들이 분자간의 보다 많은 수소 결합을 통해 회합체를 이룸으로써 점도가 증가하게 된다⁽³³⁾. 시료 쌀가루의 경우 냉각점도가 추청벼, 조생통일벼, IR 36 순으로 높아지며, 특히 IR 36은 가용성 아밀로오스의 함량이 가장 많아 이들의 회합으로 높은 냉각점도를 나타내었다. 효소처리한 쌀가루의 경우 모든 품종의 냉각점도가 낮아졌는데 다른 온도 범위보다 그 감소가 현저하였다. Consistency (or total setback, C-H)와 setback (C-P)도 노화의 정도를 반영하며 값이 클수록 노화되기 쉽다. 추청벼, 조생통일벼, IR 36 순으로 consistency와 setback이 증가하여 IR 36이 가장 노화 경향이 클 것으로 예상된다. 효소처리한 경우 모든 품종에서 그 값이 낮아져서 냉각점도와 비슷한 경향을 보였다. 따라서 쌀가루의 배유세포벽이 효소 처리에 의한 손상으로 인하여 쌀가루 paste의 노화가 지연되었다고 생각된다.

Differential scanning calorimetry (DSC)

쌀가루와 효소처리 쌀가루를 30°C부터 160°C까지 가열하여 얻은 DSC thermogram은 Fig. 6 및 7과 같으며, 1회 가열한 sample pan을 4°C에서 24, 48, 96시간 저장하면서 얻은 DSC 특성치들을 Table 4 및 5에 나타내었다.

쌀가루의 DSC thermogram의 첫 번째 peak는 호화의 상전이 현상을 나타내는 것으로 호화개시온도(T₀)는 추청벼(56.1°C), 조생통일벼(60.5°C), IR 36 (66.7°C) 순으로 높았다. 두 번째 peak는 온도 95°C~105°C 범위에서 나타났는데 이는 호화가 진행되는 동안 amylose-lipid complex가 형성되었다가 고온에서 용해되면서

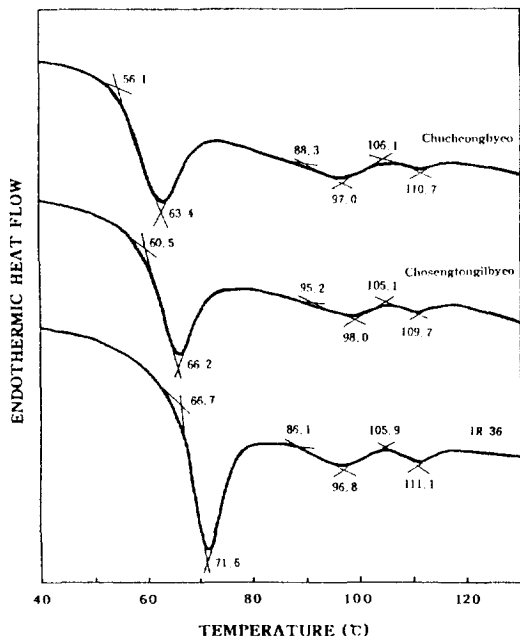


Fig. 6. DSC thermograms of the native rice flours

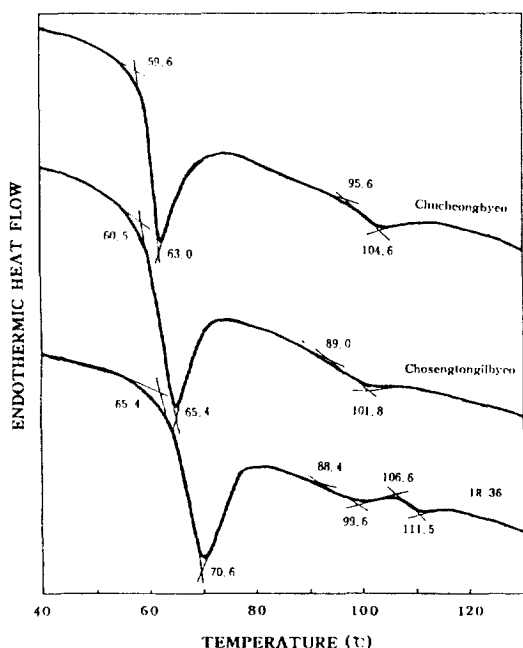


Fig. 7. DSC thermograms of the cellulase treated rice flours

endothermic peak를 나타낸 것이다^(34,35). 110°C 부근에서는 두 번째 peak와 연결되어 세 번째 peak가 나타났다. Park과 Hyun⁽³⁶⁾은 이 peak는 쌀에 존재하는 starch-protein complex에 기인하는 것으로 추측하였다. 효소

Table 4. DSC characteristics of native rice flours stored at 4°C

Variety	Storage time (hr)	Onset (To) (°C)	Peak (Tp) (°C)	Enthalpy (mJ/mg)
Chucheongbyeo	0	56.1	63.4	9.4
	24	-	-	0
	48	-	-	0
	96	46.5	51.9	0.5
Chosengtongilbyeo	0	60.5	66.2	9.4
	24	-	-	0
	48	50.3	53.7	0.5
	96	47.5	51.7	0.8
IR 36	0	66.7	71.6	11.0
	24	51.4	55.9	0.5
	48	50.9	55.7	0.7
	96	48.9	55.1	1.0

Table 5. DSC characteristics of cellulase-treated rice flours stored at 4°C

Variety	Storage time (hr)	Onset (To) (°C)	Peak (Tp) (°C)	Enthalpy (mJ/mg)
Chucheongbyeo	0	59.6	63.0	10.4
	24	57.0	62.2	0.3
	48	48.8	52.5	0.4
	96	49.2	54.3	0.5
Chosengtongilbyeo	0	60.5	65.4	9.4
	24	48.9	53.5	0.3
	48	50.0	54.1	0.7
	96	50.6	54.1	1.1
IR 36	0	65.4	70.6	10.5
	24	52.2	55.7	0.6
	48	49.9	58.1	1.0
	96	49.4	54.7	1.4

처리 쌀가루의 경우 쌀가루와 같은 경향을 나타내었고, 추청벼와 조생통일벼의 thermogram에서는 세 번째 peak가 관찰되지 않았다.

1회 가열한 sample pan을 4°C에서 일정 기간 저장하면서 저장시간에 따른 DSC 특성치들을 얻었다. Table 4에서와 같이 저장시간이 길어질수록 호화 enthalpy가 커지는 것을 볼 수 있었다. 호화 enthalpy는 endothermic peak의 면적을 측정하여 얻어지며 노화의 정도를 나타낸다. 추청벼는 96시간 경과후에 호화 enthalpy가 나타나 노화 경향이 가장 작았으며 IR 36은 저장후 24시간 경과시 호화 enthalpy가 0.5 mJ/mg으로 나타났고 96시간 경과시에는 1.0 mJ/mg으로 증가해 노화 경향이 가장 컸다. 이 결과는 아밀로그래프 같은 경향을 보였다.

효소처리 쌀가루의 경우 Table 5에서와 같이 효소처

리하지 않은 쌀가루와 마찬가지로 추청벼, 조생통일벼, IR 36 순으로 노화 경향이 약간 증가하였다. 이는 효소처리에 의해 생성된 세포벽 분해물들이 제거되고 세포벽 내에 갇혀 있던 전분립들이 외부로 노출되기 때문인 것으로 추측된다.

가용성 탄수화물의 겔 크로마토그래피

쌀가루와 효소처리 쌀가루의 가용성 탄수화물의 용출 양상은 Fig. 8, 9, 10, Table 6과 같다. 효소처리 쌀

Table 6. Distribution of molecular weight of soluble rice carbohydrate leached at 95°C (%)

Variety	Molecular weight			
	$>5 \times 10^5$	$5 \times 10^5 \sim 4 \times 10^4$	$4 \times 10^4 \sim 10^4$	$<10^4$
Chucheongbyeo				
Native	80.74	13.48	2.86	2.92
Cellulase-treated	72.57	17.26	2.74	7.43
Chosengtongilbyeo				
Native	76.30	17.12	3.64	2.94
Cellulase-treated	69.79	19.96	3.71	6.54
IR 36				
Native	77.09	16.43	3.47	3.01
Cellulase-treated	68.81	19.34	4.92	6.93

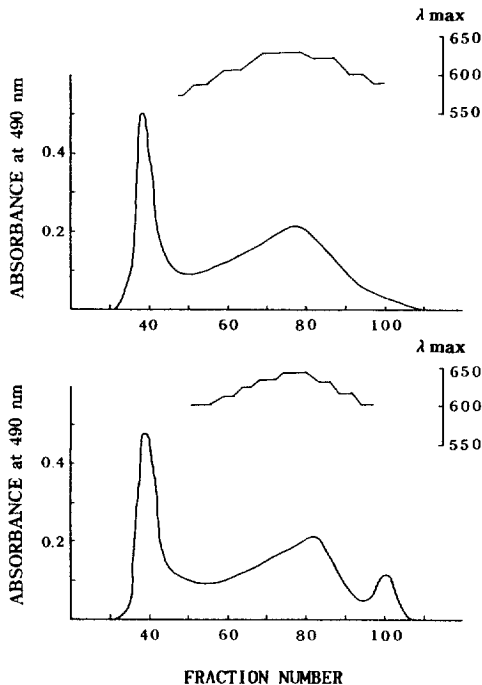


Fig. 8. Gel chromatography of the soluble carbohydrate of rice flour (upper) and cellulase treated flour(lower) from Chucheongbyeo

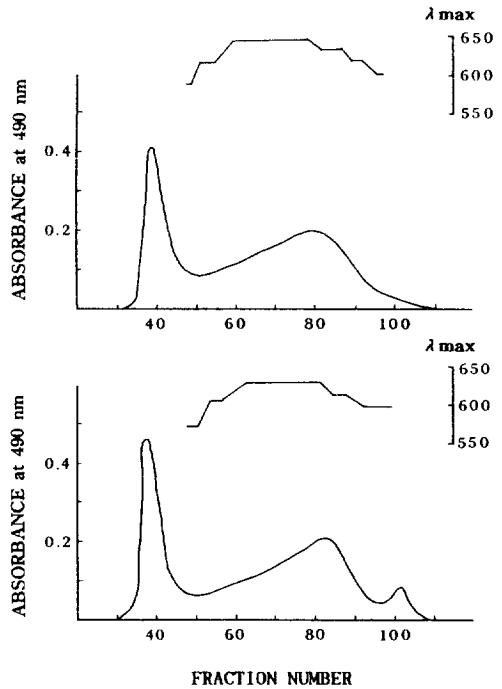


Fig. 9. Gel chromatography of the soluble carbohydrate of rice flour (upper) and cellulase treated flour (lower) from Chosengtongilbyeo

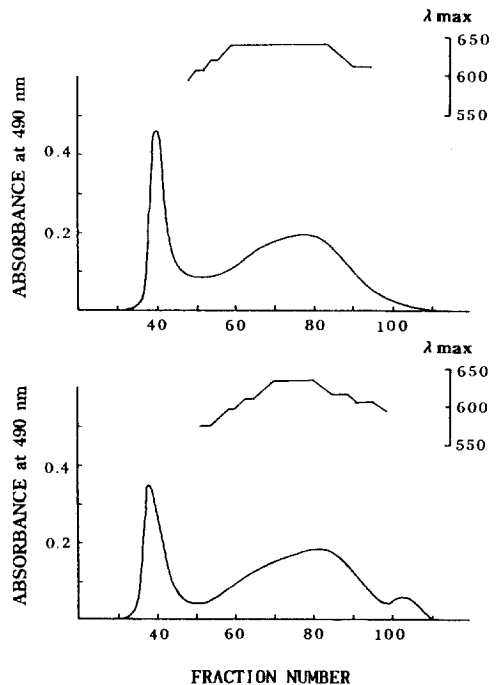


Fig. 10. Gel chromatography of the soluble carbohydrate of rice flour (upper) and cellulase treated flour (lower) from IR 36

Table 7. Effect of enzyme treatment on hardness of the cooked rice

Variety	Hardness ¹⁾			
	0-hr storage		12-hr storage at 4°C	
	1.0 ²⁾	1.2 ²⁾	1.0 ²⁾	1.2 ²⁾
Chucheongbyeo				
Native	381.3	394.8	549.0	401.2
Cellulase-treated	317.5	254.4***	368.0*** ³⁾	
Chosengtongilbyeo				
Native	460.0	430.5	562.3	458.5
Cellulase-treated	287.4***	242.6***	397.1***	
IR 36				
Native	687.1	498.9	778.9	713.4
Cellulase-treated	449.6***	431.6***	728.4***	

¹⁾Arbitrary rheometer units²⁾Water to rice ratio (W/R)³⁾***: Significantly different at p<0.001

가루는 용출양상이 쌀가루와 다르게 분자량 5×10^5 부분의 비율이 약간 감소하고 대신 분자량 $4 \times 10^4 \sim 5 \times 10^5$ 부분이 증가하였다. 이는 Shibuya와 Iwasaki⁽²²⁾가 보고한 바와 같이 배유 세포벽이 효소에 의해 손상되어 가용성 전분의 용출이 쉬워진 것으로 생각된다. 효소 처리한 쌀가루의 팽윤력과 용해도가 증가한 실험결과도 이를 뒷받침하고 있다. 또한 효소처리한 쌀가루에서는 분자량 10^4 미만의 저분자 탄수화물의 용출이 증가하였는데 이것은 셀룰라제에 의하여 세포벽의 주성분인 셀룰로오스가 glucose, cellobiose 등의 저분자 물질로 분해되어 용출된 것으로 보인다.

밥의 경도

효소처리한 쌀과 효소처리하지 않은 쌀을 가수량을 달리하여 취반한 밥을 취반 직후와 4°C에서 12시간 저장한 후 rheometer를 이용하여 측정된 경도를 Table 7에 나타내었다. 추청벼의 경우 가수량 1.0배일 때는 효소처리한 밥과 효소처리하지 않은 밥간에 유의적인 차이(P<0.001)가 없었으나 가수량 1.2배일 때는 효소처리한 밥의 경도가 감소하여 유의적인 차이(P<0.001)가 있었다. 12시간 저장한 후에도 가수량 1.0배의 경우 경도가 감소하여 노화 경향이 지연됨을 알 수 있었으나 가수량 1.2배의 경우에는 효소처리에 의해 경도가 유의적으로 차이(P<0.001)가 나지 않았다. 조생통일벼와 IR 36은 12시간 저장한 가수량 1.2배의 밥을 제외하고는 효소처리에 의해 유의적으로(P<0.001) 경도가 감소하여 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 Watanabe 등⁽¹³⁾의 결과와 일치하며, Shibuya와 Iwasaki⁽¹²⁾는 배유세포벽이 손상되어 약화됨으로써

Table 8. Analysis of variance test for hardness of the cooked native rice

Variety	Hardness ¹⁾			
	0-hr storage		12-hr storage at 4°C	
	1.0 ²⁾	1.2 ²⁾	1.0 ²⁾	1.2 ²⁾
Chucheongbyeo	381.3 ^{cs)}	394.8 ^b	549.0 ^b	401.2 ^b
Chosengtongilbyeo	460.0 ^b	430.5 ^b	562.3 ^b	458.5 ^b
IR 36	687.1 ^a	498.9 ^a	778.9 ^a	713.4 ^a
F value	40.02*** ⁴⁾	7.03*** ⁴⁾	18.49***	57.98***

¹⁾Arbitrary rheometer units²⁾Water to rice ratio (W/R)³⁾Means with the same letter are not significantly different⁴⁾Significantly different at P<0.01(**) and P<0.001(***), respectively**Table 9. Analysis of variance test for hardness of the cellulase-treated and cooked rice**

Variety	Hardness ¹⁾			
	0-hr storage		12-hr storage at 4°C	
	1.0 ²⁾	1.2 ²⁾	1.0 ²⁾	1.2 ²⁾
Chucheongbyeo	317.5 ^{bs)}	254.4 ^b	368.0 ^b	427.9 ^b
Chosengtongilbyeo	287.4 ^b	242.6 ^b	397.1 ^b	439.7 ^b
IR 36	449.6 ^a	431.6 ^a	728.4 ^a	684.8
F value	17.82*** ⁴⁾	29.07***	45.48***	22.94***

¹⁾Arbitrary rheometer units²⁾Water to rice ratio (W/R)³⁾Means with the same letter are not significantly different⁴⁾Significantly different at P<0.001(***)

밥을 연화시킨다고 보고하였다.

품종별 밥의 경도 차이는 Table 8과 Table 9에 나타내었다. 취반 직후 가수량 1.0배의 밥은 세 품종의 경도가 유의적으로 차이(P<0.001)가 있었으며, 가수량 1.2배 밥과 12시간 저장한 밥의 경우 추청벼와 조생통일벼는 비슷하였고, IR 36은 다른 두 품종보다 더 단단하여 유의적인 차이(P<0.01)가 있었다. 이는 아밀로오스 함량이 밥의 경도와 정의 상관관계를 보인다는 Juliano⁽²⁾의 보고와 일치하는 결과이다. Table 9를 보면 효소처리한 밥의 경우 추청벼와 조생통일벼 간에는 유의적인 차이(P<0.001)가 없었으나 IR 36은 다른 두 품종과 차이가 있었다.

요 약

추청벼, 조생통일벼, IR 36 등 세 품종의 쌀에 셀룰라제(cellulase) 처리가 팽윤력, 용해도, 아밀로그래프, differential scanning calorimetry (DSC), 가용성 탄수화물 용출 및 밥의 경도 등에 미치는 효과에 대하여 시험하였다.

효소처리에 의하여 세 품종의 쌀에서 모두 팽윤력과 용해도가 증가하였으며 아밀로그래프 점도는 모두 감소하였다. 시차 주사 열량계(DSC)를 이용한 밥의 노화 시험에서는 효소 처리의 뚜렷한 효과가 없었다. 효소처리한 쌀의 가용성 탄수화물의 겔 크로마토그래피에서 분자량 10,000미만의 세포벽 분해산물이 확인되었다. Rheometer로 측정된 밥의 경도는 효소처리한 모든 품종의 쌀에서 감소하였다.

감사의 말

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구과제 연구비에 의하여 수행되었습니다.

문헌

- Juliano, B.O.: The chemical basis of rice grain quality. In *Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality*. IRRI, Los Banos, Philippines. p. 69 (1979)
- Juliano, B.O.: Relation of starch composition, protein content, gelatinized temperature to cooking and eating qualities of milled rice. *Food Tech.*, **19**, 1006 (1965)
- Reyes, A.C., Albano, E.L., Briones, V.P. and Juliano, B. O.: Varietal differences in physicochemical properties of rice starch and its fractions. *J. Agr. Food Chem.*, **13**, 438 (1965)
- Mossman, A.P., Feller, D.A. and Suzuki, H.: Rice stickiness I. Determination of rice stickiness with an Instron tester. *Cereal Chem.*, **60**, 286 (1983)
- 길복임, 임양순, 안승요: 쌀전분의 이화학적 성질과 쌀 밥의 경도. *한국농화학회지*, **31**, 249 (1988)
- 김관, 강길진, 김성곤: 쌀의 열수 가용성 물질과 밥의 텍스처와의 관계. *한국식품과학회지*, **23**, 498 (1991)
- 김성곤, 한태홍, 이양희: 통일 및 팔달 쌀 전분의 이화학적 성질에 관한 연구. *한국식품과학회지*, **10**, 157 (1978)
- Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Structure of rice amylopectin with low and high affinities for iodine. *Carbohydr. Res.*, **168**, 79 (1989)
- Little, R.R. and Dawson, E.H.: Histology and histochemistry of raw and cooked rice kernels. *Food Res.*, **25**, 611 (1960)
- Bechtel, D.B. and Pomeranz, Y.: Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis. The starchy endosperm. *Am. J. Bot.*, **65**, 684 (1978)
- Shibuya, N. and Iwasaki, T.: Polysaccharides and glycoproteins in the rice endosperm cell wall. *Agric. Biol. Chem.*, **42**, 2259 (1978)
- Shibuya, N. and Iwasaki, T.: Effect of cell wall degrading enzymes on the texture of cooked rice. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **31**, 656 (1984)
- Watanabe, M., Arai, E., Honma, K. and Fuke, S.: Improving the cooking properties of aged rice grains by pressurization and enzymatic treatment. *Agric. Biol. Chem.*, **55**, 2725 (1991)
- Association of Official Analytical Chemists: *Official Method of Analysis*, 15th ed., Washington D.C. (1990)
- Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R.: Simplified determination of amylose in milled rice. *Starch*, **31**, 159 (1979)
- Juliano, B.O.: A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today*, **16**, 334 (1971)
- Montgomery, E.M. and Senti, F.R.: Separation of amylose from amylopectin of starch by an extraction-sedimentation procedure. *J. Polymer Sci.*, **28**, 1 (1958)
- Schoch, T.J.: Swelling power and solubility of granular starch. In *Method in Carbohydrate Chemistry*, Vol IV, Academic Press, p.106 (1964)
- Dubois, M.K., Gilles, 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)
- Medcalf, D.G. and Giles, K.A.: Wheat starch. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.*, **42**, 558 (1965)
- Donovan, J.W.: Phase transition of the starch-water system. *Biopolymers*, **18**, 263 (1979)
- Shibuya, N. and Iwasaki, T.: Effect of the enzymatic removal of endosperm cell wall on the gelatinization properties of aged and unaged rice flours. *Starch*, **34**, 300 (1982)
- Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Molecular weight distribution of legume starches by gel chromatography. *Cereal Chem.*, **56**, 475 (1979)
- Chinnaswamy, R. and Bhattacharya, K.R.: Characteristics of gel chromatographic factors of starch in relation to rice and expected rice product qualities. *Starch*, **38**, 51 (1986)
- Kobayashi, S., Schwartz, S.J. and Lineback, D.R.: Rapid analysis of starch, amylose and amylopectin by high performance size-exclusion chromatography. *J. Chromatog.*, **319**, 205 (1985)
- 김성곤, 한기연, 박홍현, 채제천, 이정행: 백미의 수분 흡수 속도. *한국농화학회지*, **28**, 62 (1985)
- Leach, H.W., McCrowen, L.D. and Schoch, T.J.: Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.*, **36**, 534 (1959)
- Wong, R.B.K. and Lelievre, J.: Comparison of the crystallinities of wheat starches with different swelling capacities. *Starch*, **34**, 159 (1982)
- Takeda, Y. and Hizuri, S.: Characterization of the heat dependent pasting behavior of starches. *Nippon Nogai Kagaku Kaishi*, **48**, 663 (1974)
- Faki, H.A., Deskacha, H.S.R., Paramachans, S.V. and Tharanathan, R.N.: Physicochemical characteristics of starches from chick pea, cowpea, hirsegram. *Starch*, **35**, 118 (1983)
- Ghiashi, K., Varriano-Marston, E. and Hosney, R.C.: Gelatinization of wheat starch IV. Amylograph viscosity. *Cereal Chem.*, **59**, 262 (1982)
- Leelavathi, K., Indrani, D. and Sidhu, J.S.: Amylograph

- pasting behavior of cereal and tuber starches. *Starch*, **39**, 378 (1987)
33. Kugimiya, M. and Donovan, J.W.: Calorimetric determination of amylose content of starches based on formation and melting of the amylose-lysolecithin complex. *J. Food Sci.*, **46**, 765 (1981)
34. Kugimiya, M., Donovan, J.W. and Wong, R.Y.: Phase transitions of amylose-lipid complexes in starches. A calorimetric study. *Starch*, **32**, 265 (1980)
35. Park, K.H. and Hyun, C.K. : Differential scanning calorimetry of rice starch. *Proc. Int. Congr. Food Sci. Technol.*, Singapore, (in press) (1988)
-
- (1996년 4월 22일 접수)