

## 고단백 쌀가루의 제조 및 이용

차재호 · 권기화\* · 박관화 · 장학길\*

서울대학교 식품공학과, \*농가정학과, \*\*경원대학교 식품영양학과

### Preparation and Utilization of High-Protein Rice Flour

Jae-Ho Cha, Ki-Hwa Kwon\*, Kwan-Hwa Park and Hak-Gil Chang\*\*

*Department of Food Science & Technology, \*Department of Agricultural Home Economics, Seoul National University, Suwon*

*\*\*Department of Food Science & Nutrition, Kyungwon University, Seongnam*

#### Abstract

High-protein rice flour (HPRF) was prepared by an enzymatic process using  $\alpha$ -amylase and glucoamylase without cooking process and the feasibility of HPRF as infants foods was tested. Rice flour slurry was treated with 0.25%  $\alpha$ -amylase and 0.5% glucoamylase at 55°C for 24hrs. After saccharification, the digested rice slurry was centrifuged and the precipitated paste, was then heat-dried to obtain HPRF. The protein content of the HPRF was 20.8%. On the other hand, the supernatant of glucose enriched solution was decolorized, deionized and then isomerised to fructose at 60°C for 100min by using immobilized glucose isomerase column. The high-fructose solution (HFS) contained 56% glucose, 42% fructose and 2% oligosaccharide. The nutritional quality of the HPRF was compared with milk protein and soybean protein in weight gain, feed efficiency ratio (FER), protein efficiency ratio (PER) and liver weight. HPRF was almost the same in all items with milk and soybean protein, but significantly superior to rice flour group.

Key words: high-protein rice flour, high-fructose solution, amylolytic enzymes

#### 서 론

유아의 영양불량은 대부분 단백질의 부족에서 오게 되는데, 우리나라에서는 이유개시기에 처음으로 먹이는 식품의 90% 이상이 쌀을 이용한 식단이며, 우유제품이나 기타 적당한 유아식품은 가격이 비쌀 뿐 아니라 식습관에도 부적합하다<sup>(1)</sup>. 곡물 단백질에는 필수 아미노산이 부족한 것으로 알려져 있으나 쌀은 탄수화물이 80%, 단백질이 6-8%로 단백질 함량은 낮으나 단백질 효율(PER)이 2.18로써 쇠고기의 2.30과 비슷하다. 국제식량 농업기구(FAO)에서 추천한 FAO pattern과 비교할 때 쌀단백질에는 필수아미노산 조성이 오히려 더 높다고 알려졌다<sup>(2)</sup>. 또한 Murata 등<sup>(3)</sup>은 쌀단백질의 영양적인 질이 밀단백질보다 우수하다고 보고한 바 있다. 그러나 쌀은 단백질이 약 6-8% 정도이므로 어린이의 최적 성장 기준으로 추천되어진 20-24%에는 부족되어 이를 해결

하려는 방안들이 연구되고 있다<sup>(2)</sup>.

쌀가루에 콩, 어단백질, 효모, 비타민등을 적절히 첨가하여 동물실험을 통한 영양식품을 개발하였다고 보고한 바 있고<sup>(4,5)</sup> Siegel 등<sup>(6)</sup>은 태국의 전통식품인 쌀 noodle에 지방함량이 많은 콩가루를 첨가하여 단백질이 부족한 식이에 보충하였다. Chang 등<sup>(7)</sup>도 고단백 쌀가루에 제한아미노산인 lysine과 threonine의 첨가로 casein보다 더 높은 PER을 얻을 수 있다고 제안하였다. 또한 Siegel 등<sup>(8)</sup>은 태국 어린이에게 오는 영양부족을 위해 고단백의 쌀 스낵을 만들어 상업적으로 시판되는 snacks보다 영양가가 더 우수하며 값도 싸다는 것을 입증하였다.

이 외에도 호화된 쌀가루에 효소를 처리하여 단백질이 풍부한 쌀가루를 영양식품으로 이용한 예들이 알려져 있다<sup>(2,9)</sup>. 그러나 이 방법들은 전분을 호화시켜야 하므로 가열공정이 필요하게 된다. 최근 Chen 등<sup>(10)</sup>도 설탕을 증자한 후 효소를 처리하여 고단백 쌀가루 및 고과당 물엿(high fructose rice syrup)을 생산하는 방법을 이용하여 Hansen의 방법을 발전시켰다고 보고하였다. 본 연

Corresponding author: Kwan-Hwa Park, Department of Food Science & Technology, Seoul National University, Suwon 440-744

구는 쌀을 이용하여 무증자방법으로 증자공정을 거치지 않고 직접 쌀가루에 효소를 작용시켜 고단백 쌀가루를 제조하여 영양적인 가치를 알아보고, 부산물로서 당용액의 이용가능성을 보고자 한다.

**재료 및 방법**

**재료**

$\alpha$ -amylase(Termamyl 120L), glucoamylase (Amyloglucosidase 300L) 및 immobilized glucose isomerase (Sweetzyme type Q)는 NOVO 회사 (Denmark) 제품을 사용하였고, dinitrosalicylic acid (DNS)은 Sigma 회사(U.S.A.) 제품을 사용하였다.

**고단백 쌀가루의 제조**

다수제 품종(밀양 23호)을 60mesh로 분쇄한 쌀가루에 증류수를 가하여(쌀가루 : H<sub>2</sub>O=20g : 100ml) pH를 6.0으로 조절한 후,  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase를 각각 0.25% 및 0.5% (원효소액을 v/v%로 희석함) 용액으로 하여 동시에 첨가하여 55°C에서 24시간 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 후 6000rpm에서 30분간 원심 분리한 후, 상등액을 제거하고 침전물만을 모아 열풍건조시킨 다음 얻어진 고단백 쌀가루를 동물실험의 기초 식이로 사용하였다. 이상의 공정을 Fig. 1에 도시하였다.

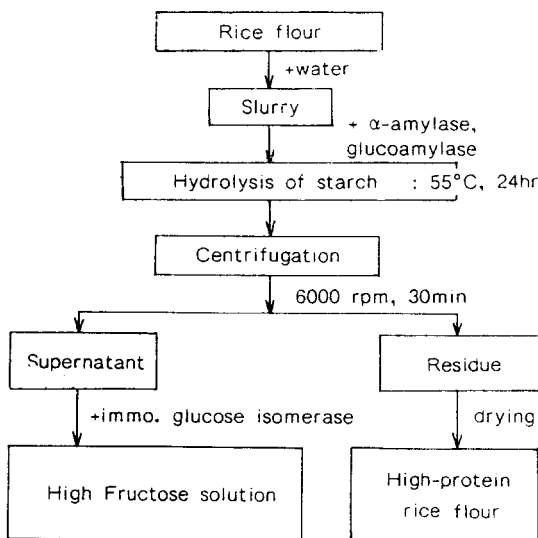


Fig. 1. Flow sheet for the preparation of high-protein rice flour.

**고과당 용액의 제조**

원심분리시켜 얻은 상등액인 glucose 용액을 80°C에서 10분간 활성탄으로 탈색시키고, 양, 음이온 교환수지로 탈이온화 시킨 후 immobilized glucose isomerase로 채워진 column에 통과시켰다. Column은 5g의 효소를 40% glucose 용액에 1시간 swelling시킨 후 packing시켰다. 이성화된 fructose 용액은 다시 탈색 및 탈이온화시켜 고과당 용액을 제조하였다.

**성분분석**

효소농도별 환원당 생성은 DNS 방법<sup>(11)</sup>으로 550nm에서 측정하였고, 고단백 쌀가루의 일반조성은 AOAC 방법<sup>(12)</sup>에 따라 결정하였다. 또한, glucose 용액과 고과당 용액의 조성은 HPLC로 측정하였으며, 작동조건은 다음과 같다.

Model : Pye Unicam

Column : 당분석용(Lichrosorb NH<sub>2</sub>)

Solvent : CH<sub>3</sub>CN/H<sub>2</sub>O(85 : 15)

Flow rate : 1.5ml/min

Detector : RI

**동물사육실험**

실험동물 및 사료 : 생후 43±6일된 sprague-dawley계 albino rat 숫컷 28마리를 7마리씩 4개의 실험으로 나누었다.

식이의 조성은 Table 1과 같이 고단백쌀가루(HPRF)식이군, 우유단백질(MP)식이군, 콩단백질(SP)식이군과 쌀가루(RF)식이군의 4군으로 나누었으며, 각각의 단

Table 1. Composition of diets for animal experiment

Component	Diet (g/3kg)			
	HPRF	MP	SP	RF
Rice protein	600	-	-	210
Casein	-	690	-	-
Soybean protein	-	-	732	-
Soybean oil	214	220	216	193
	1135	1051	1007	1552
Glucose	835	835	835	835
Vitamin mix.	60	60	60	60
Mineral mix.	120	120	120	120
Cellulose	30	30	30	30

HPRF=High-protein rice flour

MP=Milk protein

SP=Soybean protein

RF=Rice flour

백질 함량은 20%를 기준으로 조절하였다(단, RF 식이군은 제외). 다른 영양소는 HPRF 군의 일반조성에 준하여 성분비례를 결정하였다<sup>(13)</sup>.

**사육방법** : 사육실의 온도는 20°C, 상대습도 70% 하에서 3주간 사육하였다.

- 사료섭취량 ; 첫 3일간은 사료와 환경에 적응시키기 위하여 어느 실험군을 막론하고 같은 쥐장에서 sugar-casein diet로 적응시킨 후에 각 실험식을 제한없이 주어 섭취량을 매일 측정하였다.

- 체중증가량 ; 체중은 실험기간 동안 매주 한번씩 일정한 기간을 정하여 같은 저울로 측정하였다.

- 사료의 효율(Feed efficiency ratio) ; 매 주일마다 섭취한 사료량과 그 동안의 체중 증가량으로 산출하였다.

$$F. E. R. = \frac{\text{체중 증가량(g)}}{\text{섭취 사료량(g)}}$$

- 단백질 효율(Protein efficiency ratio) ; 매 주일마다 섭취한 단백질의 양과 그 동안의 체중 증가량으로 산출하였다.

$$P. E. R. = \frac{\text{체중 증가량(g)}}{\text{섭취 단백질량(g)}}$$

- Liver weight ; 실험기간이 끝난 후 ether로 마취시켜 해부하고, 즉시 liver weight 측정을 하였다.

실험결과의 유의성 검정은 LSD 방법<sup>(14)</sup>에 의하여 검토하였다.

## 결과 및 고찰

### 고단백 쌀가루의 제조

생전분에  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase가 동시에 작용하면 가수분해가 촉진된다는 보고<sup>(15)</sup>에 따라 쌀 생전분 분해는 김<sup>(16)</sup>의 방법에 준하였다.  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase의 최적농도를 결정하기 위하여 농도별로 환원당의 생성량을 측정하였다.  $\alpha$ -amylase는 분해속도가 농도에 따라 별 차이가 없었으나 glucoamylase는 큰 차이를 보였고,  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase의 경우 모두 24시간이 경과되었을 때 생성된 환원당의 양에 큰 0.5%, 반응시간은 24시간으로 결정하였다. 이상의 조건하에서 생성된 고단백 쌀가루의 일반 조성은 Table 2와 같다. 전분은 효소에 의해 분해되어 당용액으로 빠져나갔으므로 본래의 쌀가루보다 34.3%로 크게 감소하였으며, 상대적으로 단백질은 20.8%로 3배 이상 증가되었

고 지방의 함량도 역시 증가되었다. 당 함량은 일반 쌀가루에서는 거의 없었으나 전분의 분해후 용액으로 빠져나가지 못한 당류가 고단백 쌀가루에 남아 있었고 HPLC로 분석한 결과 대부분이 glucose(95.3%)이었다. 고단백 쌀가루의 단백질 함량은 Chen 등<sup>(10)</sup>과 Hansen<sup>(2)</sup> 및 Chang 등<sup>(7)</sup>의 보고보다 약간 낮았는데, 이는 시료용 쌀의 품종 및 효소농도와 반응시간의 상관관계에 따라 달라진 것으로 생각되며 전체적인 일반 조성비에서는 거의 비슷하였다. 제조된 고단백 쌀가루의 각 아미노산 함량은 원료 쌀가루의 함량에 비하여 증가는 하였으나 조성에서는 거의 변화가 없었다(Table 2).

Table 2. Composition of high-protein rice flour (HPRF)

Nutrient	HPRF (%)	Rice flour (%)
Protein	20.8*	6.7
Starch	34.3	75.6
Sugar	30.1 (glucose)	0.2
Fat	7.6	1.2
Fiber	1.0	0.8
Ash	0.6	0.8
Water	5.6	14.7

\*: amino acid composition (mg/100mg); lysine, 0.69; histidine, 0.45; arginine, 1.80; aspartic acid, 2.17; threonine, 0.66; serine, 0.81; glutamic acid, 5.02; proline, 0.90; glycine, 0.89; alanine, 1.16; valine, 1.36; methionine, 0.47; isoleucine, 0.80; leucine, 1.77; tyrosine, 0.88; phenylalanine, 1.01.

### 고과당 용액의 제조

전분분해시 생성된 당 용액의 yield와 조성을 알아보기 위하여 DNS와 HPLC 방법을 병행한 결과 DNS 방법에서는 15.9%, HPLC에서는 14.5%로 서로 비슷하였으며, 98%가 glucose임으로 보아 생전분에  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase가 작용하여 glucose 단위로 분해되었다는 것을 알 수 있었다. Fig. 2는 당함량이 15.9%인 상등액으로부터 immobilized glucose isomerase column을 이용하여 fructose 용액을 생산한 그림이다. 최고 50%에 가까운 변환율을 보이고 있으나 고농도에서는 fructose로 변환되는 속도가 떨어짐을 알 수 있었다. 식품산업에서 일반적으로 사용되는 42% fructose syrup<sup>(17)</sup>을 제조하기 위하여 Table 3과 같이 최적 조건을 정하였다. 이 때 사용한  $Mg^{2+}$ 은 고정화 효소를 활성화하는데 도움을 준다고 알려져 있으므로<sup>(15)</sup>  $4 \times 10^{-3}M$ 의 농도를 첨가하였다. 최종 생성된 고과당 용액

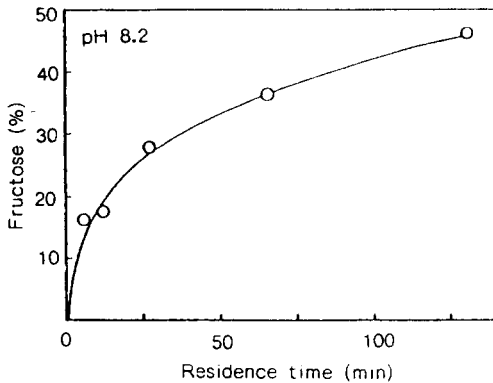


Fig. 2. Production of fructose as a function of residence time.

Table 3. Composition of high-fructose solution for glucose isomerase column

Column input	Conditions	Column output
98% glucose	pH 8.2	42% fructose
2% oligosaccharides	$4 \times 10^{-3} M Mg^{2+}$	56% glucose
	60°C	2% oligosaccharides
	15.9% sugar solids	
	100min	

의 조성은 56% glucose, 42% fructose, 2% oligosaccharide 이었다.

흰쥐 성장에 미치는 영향

고단백 쌀가루를 흰 쥐에 먹여 3주간 사육한 결과를 MP, SP 그리고 RF 식이군과 비교하였다(Table 4, 5). 사료섭취량은 3주간에 434.7-409.7g 으로서 MP 식이군을 제외한 세 군간에는 큰 차이가 없었으나 MP 식이군

의 섭취량은 유의하게 낮았다( $p < 0.01$ ).

체중 증가량은 HPRF 식이군이 MP, SP 식이군에 비하여 높게 나타났으나 유의성은 없었다. FER 과 liver weight 역시 큰 차이는 없었다. PER 의 경우, MP 식이군이 HPRF 식이군보다 유의하게 높았고 ( $p < 0.05$ ), HPRF 식이군과 SP 식이군, MP 식이군과 SP 식이군 간에는 유의성이 없었다. 전체적인 결과로 볼 때 3군간에는 큰 차이가 없는 것으로 보아 고단백 쌀가루의 영양 성분은 casein이나 대두 단백질과 비슷함을 알 수 있었다. 한편, RF 식이군과 비교하여 볼 때 사료섭취량을 제외한 FER, 체중 증가량, liver weight 에서 모두 HPRF 식이군이 월등히 우수하였다( $p < 0.01$ ). 이것은 RF 식이군의 단백질 함량이 훨씬 낮았기 때문에 단백질이 흰쥐 성장에 중요한 역할을 한다는 것을 보여주고 있다. RF 식이군의 PER 이 상대적으로 높은 ( $p < 0.05$ )이유는 단백질이 적은데 비하여 사료섭취량은 대등하기 때문인 것으로 생각된다.

이상과 같이 동물실험을 통하여 볼 때 MP 식이군, SP 식이군에 뒤떨어지지 않으므로 성장기 아동들의 이유보

Table 4. Feed intake, FER, PER analysis of HPRF, MP, SP and RF group

Treatment	Feed intake(g/21days)	FER	PER
HPRF	*434.7±25.6 <sup>A2)</sup>	0.33±0.02 <sup>A</sup>	1.69±0.18 <sup>b3)</sup>
MP	375.8±27.9 <sup>B</sup>	0.34±0.03 <sup>A</sup>	1.94±0.16 <sup>a</sup>
SP	439.3±52.3 <sup>A</sup>	0.31±0.03 <sup>A</sup>	1.71±0.29 <sup>ab</sup>
RF	409.7±33.0 <sup>A</sup>	0.14±0.02 <sup>B</sup>	2.06±0.34 <sup>a</sup>

\* Mean ± S.D.

1) Non significant

2) Means with different superscripts in the same column are significantly different ( $p < 0.01$ )

3)  $p < 0.05$

Table 5. Weight gain and Liver wt. analysis of HPRF, MP, SP and RF group

Treatment	Initial wt.(g)	Final wt.(g)	Weight gain (g)	Liver wt.(g/100g)	Liver wt.(g/final wt.)
HPRF	160.1±8.3 <sup>N.S1)</sup>	304.5±9.6 <sup>A</sup>	144.4±10.8 <sup>A</sup>	3.1±0.3 <sup>A</sup>	9.5±0.7 <sup>A</sup>
MP	160.1±12.2	290.7±15.4 <sup>A</sup>	130.6±18.8 <sup>A</sup>	3.4±0.1 <sup>A</sup>	9.8±0.7 <sup>A</sup>
SP	159.8±15.7	196.4±30.3 <sup>A</sup>	136.5±28.0 <sup>A</sup>	3.1±0.3 <sup>A</sup>	9.1±1.1 <sup>A</sup>
RF	160±7.5	220.6±19.6 <sup>B</sup>	60.4±14.1 <sup>B</sup>	2.4±0.1 <sup>B</sup>	5.3±0.4 <sup>B</sup>

충식에 이용 가능함을 알 수 있다. 또한 고단백 쌀가루는 제조가 간단하며, 가격이 저렴하고, 동양인의 식습관에 적합할 뿐만 아니라 특히 우유중의 lactose를 분해 못하는 동양인에 적합하다고 생각된다. 부산물인 glucose 용액은 고과당 용액 (high-fructose solution)으로 제조하여 식품산업에 감미료로서 이용할 수 있으리라 생각된다.

## 요 약

효소를 이용하여 증자공정 없이 쌀가루를 분해시켜 고단백 쌀가루를 제조하고 그 이용성에 대하여 연구하였다. 증자하지 않은 쌀가루 slurry를 0.25%  $\alpha$ -amylase, 0.5% glucoamylase로 55°C에서 24시간 동안 효소반응시켰다. 가수분해된 전분용액은 원심분리하고 침전물은 열풍 건조시켜 단백질 함량이 20.8%인 고단백 쌀가루를 제조하였고 원심분리한 상등액은 glucose 용액은 고정화된 glucose isomerase를 이용하여 60°C에서 100분간 이성화시켜 고과당 용액 (high-fructose solution)을 제조하였다. 이때 제조된 고과당 용액의 조성은 glucose 56%, fructose 42%, oligosaccharide가 2%이었다. 고단백 쌀가루의 영양적인 질을 측정하기 위하여 우유단백질, 콩단백질, 쌀가루식이균과 동물실험을 통하여 체중증가량, FER, PER, liver weight 등을 비교하였다. 고단백 쌀가루, 우유단백질 및 대두단백질 식이균은 모든 항목에서 비슷하였으나 쌀가루식이균보다는 월등히 우수하였다.

이상의 결과로 보아 고단백 쌀가루는 성장기 아동들의 영양식품으로서 이용가능성이 크다고 볼 수 있으며, 부산물은 고과당으로 제조하여 감미원으로 이용될 수 있다.

## 문 헌

1. 최홍식, 권태완 : 유아 및 성장기 아동을 위한 영양식품 개발에 관한 연구(1), 한국식품과학회지, 2(1), 96(1970)
2. Hansen, L.P., Hosek, R., Callan, M. and Jones, F.T. : The development of high-protein rice flour for early childhood feeding. *Food Technology*, 35, 38(1981)
3. Murata, K., Tanaka, Y. and Kawaguchi, T. : Comparison between nutritional value of rice and wheat protein. *Nutrition Reports International*, 7, 93(1973)
4. 권태완, 최홍식, 김숙희, 이현금 : 유아 및 성장기 아동을 위한 영양식품 개발에 관한 연구(4), 한국영양학회지, 3(3,4), 129(1970)
5. 호진희, 김숙희 : 유아 및 성장기 아동을 위한 영양식품 개발에 관한 연구(원위 성장에 미치는 영향), 한국영양학회지, 3(2), 95(1970)
6. Siegel, A., Bhumiratana, A. and Lineback, D.R. : Development, acceptability and nutritional evaluation of high-protein soy-supplemented rice noodles for Thai children. *Cereal Chem.*, 53, 801(1975)
7. Chang, K.C., Lee, C.C. and Brown, G. : Production and nutritional evaluation of high-protein rice flour. *J. Food Sci.*, 51(2), 464(1986)
8. Siegel, A., Lineback, D.R. and Bhumiratana, A. : Development, acceptability and proximate analyses of high-protein, rice-based snacks for Thai children. *J. Food Sci.*, 41, 1184(1976)
9. Murata, K., Kitagawa, T. and Juliano, B.O. : Protein quality of a high protein milled rice in rats. *Agric. Biol. Chem.*, 42, 565(1978)
10. Chen, W.P. and Chang, Y.C. : Production of high fructose rice syrup and high-protein rice flour from broken rice. *J. Sci. Food Agric.*, 35, 1128(1984)
11. Miller, G.L. : Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, 31, 426(1959)
12. A.O.A.C. : *Official Methods of Analysis*, 12th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., (1975)
13. 이연숙 : 실험동물용 이용한 영양실험법, 문교부 대학원 중점 지원 육성 연구비 보고서, p.1364(1981)
14. 채영암, 이영만, 구자옥 : 생물통계학, 정민사 (1985)
15. G.M.A. van Beynum and Roels, J.A. : Enzyme degradation of starch. In *Starch Conversion Technology*, Marsel Dekker, Inc., New York, p.109(1985)
16. 김해영, 박관화 : 쌀전분 분해물 분석에 의한 세균성  $\alpha$ -amylase의 작용 특성. 한국농화학회지, 29(3), 248(1986)
17. Crocco, S. : A closer look at the new "higher" fructose syrups. *Food Engineering Int'l.*, 41 (1977)

(1988년 8월 4일 접수)