백미와 발아현미의 혼합비율이 압출성형 멍쌀가루의 이화학적 특성에 미치는 효과

김지명 · 우맹영 · 신말식[†]

전남대학교 식품영양학과, 생활과학연구소

Effect of Mixing Ratio of White and Germinated Brown Rice on the Physicochemical Properties of Extruded Rice Flours

Ji Myoung Kim, Mengying Yu and Malshick Shin[†]

Department of Food and Nutrition and Home Ecology Research Institute, Chonnam National University

Abstract

To develop the high quality gluten-free rice products with health functionality and desirable texture with moistness, the physicochemical properties of extruded rice flours prepared from the mixture of germinated brown and white rices were investigated. The domestic organic Samgwangbyeon was used to make white and germinated brown rices. White rice (WR) was dried after soaked for 6 h at 15±3°C and mixed with germinated brown rice (GBR) with different mixing ratios (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100). The operating conditions of twin screw extruder were 250 rpm of screw speed, 120°C of barrel temperature, and 25% moisture content of rice flour. The ash, crude protein and crude lipid contents were significantly different ($p < 0.05$) and those of extruded GBR were the highest values, but those of extruded WR were the lowest. The color difference of extruded WR based on white plate showed the lowest among them. The water binding capacity (334.16%), swelling power (8.83 g/g), solubility (33.13%), and total starch (79.50%) were the lowest in extruded GBR. The viscosities of all extruded rice flours by RVA were maintained during heating. The peak and total setback viscosities of extruded rice flours ranged 127-352 and 58.0-85.5 cP, respectively. The novel food biomaterial from germinated brown rice as well as white rice was developed by twin screw extruder. The extruded rice flours control the moistness to improve the texture and also have functional materials, dietary fiber, GABA, and ferulic acid, etc to increase quality of gluten free rice products

Key words : extruded rice flour, twin screw extruder, germinated brown rice, moistness, physicochemical properties

I. 서론

쌀은 우리나라를 비롯한 아시아 국가에서 주식으로 섭취하여 온 곡물로 밀과는 달리 낱알 형태로 밥을 지어 먹어 왔다. 밥은 현미를 도정한 백미를 사용해 왔으며 최근 통곡인

현미에 무기질, 비타민, 지질 및 식이섬유가 함유되어 있어 영양과 기능성을 고려하여 건강에 도움이 되는 현미의 섭취를 권장하고 있다.

현미는 벼의 왕겨를 제거한 것으로 과피(pericarp), 종피(seedcoat) 및 호분층(aleurone layer)으로 구성된 쌀겨층과 쌀알 기부의 작은 부분을 차지하고 있는 배아(embryo)와 나머지 대부분을 차지하는 배유(endosperm)로 이루어져 있다. 현미전립에 대한 각 부분의 중량비는 쌀겨층 5~6%, 배아 2~3%, 배유 92%로서 현미를 정미기로 도정하면 92%의 백미를 얻을 수 있다(Juliano BO와 Bechetel DB 1985). 현미는 백미에 비하여 도정으로 인한 영양분의 손실이 없으므로 식이섬유를 비롯하여 지방, 단백질, 비타민 B가 풍부하여 몸에 좋다는 것

[†]Corresponding author: Malshick Shin, Dept. Food and Nutrition, Chonnam National University
Tel: +82-62-530-1336
Fax: +82-62-530-1339
E-mail: msshin@chonnam.ac.kr

은 잘 알려져 있다(Kim SL 등 2001). 그러나 현미는 조리하기가 어렵고 현미밥이 부드럽게 씹히지 않고 꺼칠하여 식미가 좋지 않기 때문에 밥맛이 좋은 백미를 소비자들은 선호하고 있으며 현미를 발아시킨 발아현미를 개발하여 사용하고 있다. 발아현미는 현미를 발아하는 과정에서 소화성과 맛도 개선될 뿐만 아니라 기능성 물질이 증가하여 GABA(γ -aminobutyric acid), 페룰산(ferulic acid), 식이섬유 등 영양 성분과 기능성 성분이 증가된 우수한 쌀이다(Oh SH 등 2002, Lee YR 등 2007, Komatsuzaki N 등 2007, Moongngarm A와 Saetung N 2010). 발아현미에 증가된 기능성 물질을 가공과정에서 안정하게 유지하기 위해서는 가공처리 방법과 조건에 대한 연구가 필요하다. Ohtsubo K 등(2005)은 발아현미를 twin screw extruder로 처리하였을 때 바이오기능성 물질이 증가함을 확인하였다.

쌀의 가공성을 개선하여 밀가루처럼 사용하기 위해서는 반죽성이 우수한 마른 쌀가루를 제조해야 하기 때문에 제분과 쌀가루의 특성에 대한 연구가 지속적으로 진행되어 왔다(Nishita KD와 Bean MM 1982, Park YK 등 1988, Chiang PY와 Yeh AI 2002, Datant FJ 등 2007, Kim WS와 Shin M 2007, Shin M 등 2007, Kim RY 등 2009, Ngamnikom P와 Songsempong S 2011). 쌀의 수분흡수력을 보완하고 네트워크 구조를 만들기 위해 반건식제분 방법을 사용하지만 쌀가루에 단백질 함량이 낮고 글루텐을 형성하는 단백질이 없어 알레르기 유발 가능성은 낮으나 제품 가공성이 떨어지는 문제점이 있다. 이런 쌀가루는 쌀 품종이나 아밀로오스 함량, 가루 입자크기와 분포에 의해 이화학적 특성이 달라지며 제품에 따른 가공성도 달라지기 때문에 여러 특성을 갖는 쌀가루를 물리적으로 처리하여 제품의 품질을 개선하는 목적으로 사용하는 것이 필요하다. 쌀가루에는 80% 전분이 함유되어 있으며 수화되는 단백질이 없기 때문에 가열과정에서 전분이 호화하기 위해서 필요한 수분을 반죽할 때 공급해야 한다. 하지만 제품에 따라 반죽성(반죽의 점도)이 다르기 때문에 필요한 만큼의 물을 그냥 첨가해서는 품질을 유지할 수 없다. 이런 문제점은 수분흡수력이 우수하면서 제품 가공성에 영향을 주지 않는 물질을 첨가해서 보완할 수 있는데 이중에는 식이섬유 소재나 호화쌀가루, 호화도를 조절한 쌀가루 등이 포함된다.

식품의 압출성형 가공은 적당한 수분함량을 갖는 고분자를 extruder 내부에서 screw의 회전 및 가열에 의하여 조리와 성형이 동시에 이루어지는 기술로 breakfast cereals, 스낵, 유아식, 제면(스파게티)와 알파미분 등이 만들어질 수 있다(Lee YC 등 1990).

전분을 함유한 물질의 압출성형 가공은 압출성형물의 수분 흡수지수, 용해도, break strength와 리올로지적 행동 등의 기능성 특성을 변화시킨다고 알려져 있다(Cho I 등 2008). 또한 Hwang JK(2001)은 단단한 식물성 세포벽을 약하게 하는데 압출성형 가공이 효과적이라고 하였다. 이런 쌀가루 제품 제조에 있어서 나타나는 텍스처를 개선하기 위해서는 압출성형으로 수분함량을 달리한 호화쌀가루를 제조하여 그 특성을 보고하였으며(Jeong SH 등 2011) 그 호화 쌀가루를 첨가하여

쌀가루만으로 글루텐 프리 파운드케이크를 제조하였을 때 거칠고 부서지는 맛과 텍스처를 개선하였다(Jeong SH 2012). Gómez M(2011)은 압출성형한 밀가루를 첨가하면 빵 반죽의 리올로지가 좋아지고 가스 보유력도 커지며 빵의 노화를 억제하며 품질을 개선한다고 하였다.

기능성이 증가된 발아현미를 이용하여 기능성을 높이고 품질을 개선할 수 있는 제품 개발용 압출성형쌀가루를 제조하고자 압출성형기 중에서 온도 조절과 screw speed 및 기능성을 보존할 수 있는 압출성형 조건을 구비한 twin screw extruder를 이용하고자 하였다. 백미와 발아현미의 비율을 조정하여 혼합한 쌀가루로 압출성형하면 분자구조의 변화와 물리적 작용에 의해 새로운 특성을 가진 쌀가루를 제조할 수 있어 영양 및 기능성 첨가 및 수분 보수력으로 품질도 개선할 수 있는 새로운 소재 개발이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 영양과 기능성이 우수한 발아현미와 백미 쌀가루를 일정 비율로 혼합하여 twin screw extruder를 이용하여 압출성형쌀가루를 제조하여 이화학적, 호화 및 가공특성을 비교하였다. 유기농 백미와 발아현미를 0, 25, 50, 75 및 100%로 혼합하여 압출성형 조건을 동일하게 하여 압출성형으로 팽화시킨 후 팽화된 압출성형물을 비교하였고 이를 분쇄하여 100 mesh 체를 통과한 압출성형쌀가루의 일반성분, 이화학적, 호화 및 가공특성을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

시료인 백미와 발아현미는 삼광벼 품종으로 전남 곡성군에서 유기농으로 재배하여 도정과 발아과정을 거쳐 제조된 쌀로 백미는 9분도로 도정하였으며 발아현미는 현미를 발아 후 저온 감압 건조한 것이다.

2. 압출성형 쌀가루의 제조

백미는 Shin M 등(2007)의 방법으로 3번 수세 후 상온에서 6시간 수침하고 난알 상태로 $18 \pm 3^\circ\text{C}$ 로 조절된 방에서 수분함량이 12-14%가 되도록 건조하였다. 발아현미와 수침 건조된 백미를 무게 비로 각각 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100로 혼합한 다음 가루로 분쇄하였다. 분쇄한 쌀가루는 Co-rotating intermeshing type twin-screw extruder(Hankook EM Ltd, Seoul, Korea)를 사용하여 압출성형을 하였다. 압출성형 조건은 모든 쌀가루에 대해 동일하게 스크류 회전 속도 250 rpm, 바렐 온도는 120°C , 수분함량 25%이었다. 압출성형기의 다이로부터 얻어진 extrudate를 분쇄기(DA 282-2, (주)대성 아트론, 한국)로 분쇄하여 100 mesh 체를 통과시킨 다음 실리카겔을 함께 동봉하여 실온에 저장하면서 시료로 사용하였다.

3. 압출성형 쌀가루의 일반성분 측정

압출성형쌀가루의 일반성분은 AOAC (2000)방법으로 측정

하였으며, 수분함량은 105℃ 오븐을 이용한 상압가열법, 단백질은 킬달 질소측정기를 이용한 방법, 조지질은 에테르를 용매로 속시렛법, 조회분은 550℃ 전기로를 이용한 직접회화법으로 측정하였다.

4. 압출성형쌀가루의 색도 측정

쌀가루의 색도는 색도계(SpectraMagic™ NX, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 Hunter의 L(lightness) 값, $\pm a(\text{redness/greenness})$ 값 및 $\pm b(\text{yellowness/blueness})$ 값을 3회 반복 측정해서 그 평균값을 나타냈다. 색도 측정은 L=96.81, a=-0.08, b=-0.14인 표준 백색판(standard white plate)으로 보정하여 사용하였다.

5. X-선 회절도 분석

쌀가루의 X-선 회절도에 의한 결정형과 결정강도는 X-선 회절기(D/Max-1200, Rigaku Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 기기조건은 target, Cu-K α ; filter, Ni; full scale range, 3000 cps; scanning speed, 8°/min; voltage, 40 kV; current, 20 mA로 회절각(2 θ) 40°~5° 까지 회절시켜 비교하였다.

6. 주사전자현미경을 이용한 형태관찰

압출성형쌀가루의 표면형태 관찰을 하기위하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM, JEOL JAM-540, Japan)을 이용하였다. SEM용 시료는 아세톤으로 깨끗하게 닦은 둥근 stub에 이중 테이프를 잘라 붙이고 여기에 시료쌀가루를 얇게 저며서 놓은 다음 금/백금으로 도금하여 전도성을 갖게 하였다. 주사전자 현미경을 사용하여 가속 전압 20 kV, phototimes 85 sec 조건에서 150배, 350배의 배율로 관찰하였다.

7. 이화학적 특성 측정

1) 물결합능력

시료 쌀가루의 물결합능력은 Medcalf와 Gilles의 방법(1965)에 따라 실시하였다. 50 mL 원심 분리관에 시료 0.5 g(건량 기준)과 증류수 20 mL을 가한 후 마그네틱바(ϕ 3.2 $\times$ 13 mm)를 넣어서 교반기를 이용하여 실온에서 1시간 동안 분산시킨 뒤, 7,000 rpm에서 30분간 원심분리 하였다. 원심 분리관의 상정액을 주사기로 뽑아 제거하고 침전된 잔여물 무게를 측정하여 처음 시료와의 중량비로부터 계산하였다.

2) 팽윤력과 용해도

팽윤력과 용해도는 Schoch의 방법(1964)을 이용하여 80℃에서 측정하였다. 50 mL 원심 분리관에 시료 0.5 g(건량 기준)에 증류수 20 mL과 마그네틱 바를 넣어 분산 시킨 후, 80℃

를 유지하면서 20분간 교반기를 이용하여 저어준 뒤 빨리 얼음에 냉각시켰다. 이 원심 분리관을 7,000 rpm에서 30분간 원심 분리하였다. 미리 항량하여 건조시킨 용기에 상정액을 부어 105℃ 드라이 오븐에서 항량된 건조 무게로 다음의 식을 이용하여 용해도를 계산하였다.

$$\text{용해도}(\%) = \frac{\text{상정액 건조 무게(g)}}{\text{시료의 무게(g)}} \times 100$$

팽윤력은 원심분리 후 침전된 팽화쌀가루의 무게와 계산된 용해도(%)를 이용하여 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{팽윤력(g/g)} = \frac{\text{침전된 쌀가루의 무게(g)}}{\text{시료의 무게(g)} \times (100 - \text{용해도})} \times 100$$

3) 총 전분함량

압출성형 쌀가루의 총 전분 함량은 AACC 76-13의 방법(2000)에 따라 측정하였다(McCleary BV 등 1997). 시료 100 mg(건물당)과 80% 에탄올 0.2 mL를 시험관에 담고 vortex mixer로 잘 혼합하고 thermostable α -amylase solution(300 U/mL, MOPS 완충용액, pH 7.0) 3 mL를 첨가하여 끓는 물에서 7분간 반응시켰다. 반응 후 냉각하고 50℃의 항온수조에 넣어 200 mM sodium acetate buffer(pH 4.5)를 4 mL 더한 뒤, amyloglucosidase 0.1 mL(20 U)을 넣고 50℃에서 30분간 분산시켰다. 분산 후, 100 mL로 정용한 뒤, 원심분리관에 25 mL씩 담아 원심분리기(Hanil Science Industrial Co., Ltd, Supra 22K Seoul, Korea)로 3,000 rpm에서 10분간 원심 분리하였다. 원심 분리한 상정액과 glucose standard, blank로는 증류수 0.1 mL을 취하여 GOPOD reagent 3 mL을 더한 뒤 50℃에서 20분간 반응시켜 510 nm에서 흡광도를 측정하였다.

측정한 흡광도를 이용하여 다음의 식에 의해 총 전분의 함량을 계산하였다.

$$\text{Total starch}(\%) = \Delta A \times \frac{F}{W} \times FV \times 0.9$$

이때 ΔA 는 시료의 흡광도와 blank 흡광도의 차, F는 100(D-glucose의 μg)/100 μg glucose 흡광도, W는 시료의 무게(mg), FV는 최종 시료의 부피(100 mL)이었다.

4) 손상전분 함량

시료 쌀가루의 손상전분 함량은 AACC 방법 76-31에 따라 측정하였다(Evers AD와 Stevens DJ 1985). 시료 100 mg을 원심관에 담아 40℃의 항온수조에서 5분간 예열하였고, fungal α -amylase solution(50 U/mL)은 40℃에서 10분간 예열하였다. 각 원심관에 예열된 fungal α -amylase solution(50 U/mL) 1.0 mL을 넣고 5초간 vortexing 후 40℃에서 10분간 반응시켰다. 정확히 10분 반응 후 0.2%(v/v) 황산 용액 8 mL을 넣어 반응을 정지시켰고, 3,000 rpm에서 5분간 원심분리 하였다. 원심 분리한 상정액 0.1 mL과 glucose standard 및 blank(증류수)

0.1 mL을 취해 0.1 mL의 amyloglucosidase solution(2 U)을 가하여 40℃ 항온수조에서 10분간 반응시켰다. 각 시험관에 GOPOD reagent 용액 4.0 mL을 넣고 40℃에서 20분간 반응시켜 510 nm에서 흡광도를 측정하였다.

측정한 흡광도를 이용하여 다음 식에 의해 손상전분 함량을 계산하였다.

$$\text{Damaged starch (\%)} = \Delta E \times \frac{F}{W \text{ (mg)}} \times 8.1$$

이때 ΔE 는 blank와 시료의 흡광도 차, F는 150(μ g of glucose)/glucose 150 μ g의 흡광도, W는 시료의 무게(mg)이었다.

8. RVA에 의한 호화 특성 측정

쌀가루의 호화특성은 신속점도 측정기(RVA, Rapid Visco Analyzer, model 3D, Newport Scientific Pty, Ltd, Warriwood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 시료 3 g(수분함량 12% 기준)을 RVA용 canister에 담고 증류수 25 mL을 가하여 0~1분간은 50℃, 1.0~4.45분은 95℃까지 상승, 4.45~7.15분은 95℃로 유지, 7.15~11.06분은 50℃까지 냉각, 11.06~12.30분은 50℃를 유지하면서 점도를 측정하였다. 신속 점도계의 측정치는 최고점도(peak viscosity, P), trough viscosity(T), 50℃에서의 냉각점도(cold viscosity, C)를 나타냈고, total setback(C-T)과 breakdown(P-T) viscosity를 계산하였다.

9. 통계처리

SPSS 12.0을 사용하여 ANOVA에 의해 분산분석을 실시하였고, $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test로 유의성을 보았다.

III. 결과 및 고찰

1. 일반 성분

발아현미(GBR, germinated brown rice)와 백미(white rice)의 비율을 달리하여 제조한 압출성형 쌀가루의 일반성분 함량은 Table 1과 같다. 배합비를 달리한 압출성형쌀가루는 백미를 기준으로 백미 25%와 발아현미 75% 혼합한 경우 WR25, 각각 50%씩 혼합한 경우 WR50, 백미 75% 발아현미 25% 혼합한 경우 WR75로 표시하였다. 모든 시료의 수분함량은 2.47~2.96%로 압출성형 후 다이를 통해 팽창되면서 건조가 일어나 낮은 수분함량을 보였다. 회분, 조단백질과 조지질 함량은 모두 유의적인 차이를 보였는데 GBR의 회분, 조단백질, 조지질은 각각 1.21, 6.64, 0.79%이며 WR은 0.38, 5.90, 0.13%로 (압출성형전 GBR: 1.04, 6.67, 2.20 WR:0.38, 5.97, 0.27)압출성형 과정에서 조지질만 감소하는 경향을 보였다. 배합비를 달리하여 제조한 압출성형쌀가루의 경우도 일반성분 함량은

혼합비율에 따라 그 변화 없이 측정되어 압출성형 과정에서 일반성분의 변화는 거의 없음을 알 수 있었다.

Table 1. General composition of extruded rice flours with different mixing ratio of germinated brown rice and white rice(%)

Sample ²⁾	Moisture	Ash	Crude protein	Crude lipid
GBR	2.83±0.10 ^{bc1)}	1.21±0.04 ^a	6.64±0.05 ^a	0.79±0.02 ^a
WR	2.96±0.09 ^a	0.38±0.04 ^c	5.90±0.01 ^b	0.13±0.03 ^c
WR75	2.70±0.12 ^b	0.63±0.05 ^d	6.10±0.09 ^b	0.23±0.01 ^d
WR50	2.47±0.04 ^c	0.78±0.02 ^c	6.44±0.11 ^a	0.48±0.01 ^d
WR25	2.70±0.05 ^b	0.94±0.02 ^b	6.50±0.09 ^a	0.69±0.03 ^b

Data represents mean±SD.

¹⁾Means within columns with the different superscripts are significantly different at $p < 0.05$.

²⁾GBR(germinated brown rice), WR(white rice), WR25(GBR:WR=25:75), WR50(GBR:WR=50:50), and WR75(GBR:WR=75:25) mean extruded rice flours from germinated brown rice, white rice and rice mixtures.

2. 압출성형 쌀가루의 색도

백미와 발아현미의 혼합 비율에 따른 압출성형 쌀가루의 색도는 Table 2와 같다. 혼합비율에 따라 쌀가루의 L값(lightness), $\pm a$ (redness/greenness)값 및 $\pm b$ (yellowness/blueness)값이 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 명도인 L값은 WR가 가장 밝아 89.34이었으며 GBR은 84.01로 가장 낮았다. 적색도 값은 명도와 다른 경향을 보여 WR이 -0.78로 녹색도가 높았으며 녹색도의 변화는 WR50과 WR75사이에서 큰 변화가 있었다. 황색도는 WR가 6.02로 가장 낮았고 GBR이 가장 높았는데 b값도 WR75와 WR50 사이에 변화가 가장 큰 변화를 보였다. 백색관에 대한 색차(ΔE)를 계산한 결과 WR과 WR75의 차이가 가장 컸으며 압출성형 쌀가루는 모두 연한 갈색을 띠고 있었다.

3. X선 회절도

압출성형 쌀가루의 X선 회절도 양상은 Fig. 1과 같다. 전분의 결정형은 곡류전분이 A형, 감자, 바나나와 고아밀로오스 전분은 B형의 결정형을 가지며 두류나 구근 전분의 일부는 A와 B형이 혼합된 C형을 보인다고 알려져 있다(Kulp K와 Lorenz K 1981). 전분은 부분적 결정형 고분자로 물이 충분한 상태에서 호화되면 무정형으로 변하며 아밀로오스와 지질을 함유한 전분은 가열과정 중에 아밀로오스 지질 복합체를 만들어 회절각도(2θ) = 20°에서 피크를 보이는 V형을 갖는다. 지질과 아밀로오스 복합체 형성은 압출성형 가공에서 중요한 반응으로 이는 압출성형물의 텍스처나 구조 형성에 영향을 준다고 하였다(De Pilli T 등 2011).

쌀은 A형의 결정형을 갖는 곡류로 현미와 백미 모두 $2\theta =$

15.2°, 17-18°, 23° 에서 피크를 나타내었다. 압출성형 쌀가루의 경우 $2\theta = 13.5^\circ$ 와 20° 피크가 나타났으며 GBR과 GBR이 75% 포함된 WR25의 경우에는 $2\theta = 18.5^\circ$ 에서도 나타나 백미와 발아현미 압출성형 쌀가루가 차이가 있음을 확인하였다. 회절각도(2θ) = 20° 의 피크는 전분의 아밀로오스와 지질간의 복합체에 의한 피크로 해석되나 다른 위치에서 나온 피크에 대해서는 더 연구가 필요할 것으로 생각되었다. 백미로 스크류 속도는 250 rpm, 바렐온도를 160℃로 수분함량은 24, 27, 30%로 하였을 때 제조한 압출성형쌀가루의 x-선 회절도는 $2\theta = 18.5^\circ$ 에서 피크를 보였는데 낮은 수분함량이 더 날카로웠다(Jeong SH 2011). 조지방질의 함량이 GBR에 비해 WR이 낮게 나타난 것과는 관련이 있을 것으로 생각되었다. 본 압출성형 조건은 수분함량은 25%로 하였고 바렐온도를 낮추어 120℃로 하였기 때문에 백미와 현미쌀가루가 어떤 구조적인 변화가 일어났는지 정확히 알 수 없으나 전분의 호화, 전분의 분해, 단백질의 변성 등과 전분, 단백질, 지질과 식이섬유 간에 상호작용이 있을 것으로 미루어 짐작할 수 있다.

Fig. 1. X-ray diffraction patterns of extruded rice flours with different mixing ratio of germinated brown rice and white rice.

GBR(germinated brown rice), WR(white rice), WR25(GBR:WR=25:75), WR50(GBR:WR=50:50), and WR75(GBR:WR=75:25) mean extruded rice flours from germinated brown rice, white rice and rice mixtures.

4. 주사전자현미경을 이용한 쌀가루 형태

주사전자현미경으로 압출성형쌀가루를 150배, 350배율로 확대하여 표면과 모양을 관찰한 결과는 Fig. 2와 같다. 압출성형 발아현미 쌀가루(GBR)는 작은 입자들이 표면에 거칠게 붙어 있는 형태를 보였지만 압출성형 백미쌀가루(WR)에서는 표면에 작은 입자들이 미세하게 붙어있어 매끄럽고 깨끗한 표면을 관찰할 수 있었다. 압출성형과정 중에서 쌀가루가 무정형의 덩어리로 되었다가 다이를 빠져나오면서 압력하에 의해 팽화되면서 수분이 증발하여 유리질 상태로 분쇄 후에도 덩

어리 형태를 보이는 것으로 생각하였다. 분쇄에 대한 저항성은 쌀가루에 함유된 조지방 함량에 영향을 받을 수 있기 때문에 발아현미쌀가루가 더 부서짐이 보이는 덩어리로 분쇄되었을 것으로 생각되었다. 즉 발아현미첨가량이 많아질수록 입자의 표면이 점점 작은 입자들의 수가 증가하며 매끄럽지 못한 형태를 확인할 수 있었다.

Fig. 2. Scanning electron microphotographs of extruded rice flours with different mixing ratio of germinated brown rice and white rice (×150, ×350).

GBR(germinated brown rice), WR(white rice), WR25(GBR:WR=25:75), WR50(GBR:WR=50:50), and WR75(GBR:WR=75:25) mean extruded rice flours from germinated brown rice, white rice and rice mixtures.

5. 이화학적 특성

압출성형은 전분의 호화, 부분적 또는 완전한 결정구조의 붕괴, 전분고분자의 분자의 절단, 단백질 변성, 전분과 지질의 복합체 형성, 단백질과 지질간의 복합체 형성 등 다양한 반응이 일어나 새로운 식품을 개발하는데 사용될 수 있는 우수한 기술이다(Camire ME 등 1990, Yeh AI와 Jaw YM 1999, Hagenimana A 등 2006).

압출성형 쌀가루의 물결합능력, 팽윤력, 용해도, 총 전분, 손상전분 함량은 Table 3과 같다. 물결합능력은 함유된 전분

Table 3. Physicochemical properties and total and damaged starch contents of extruded rice flours with different mixing ratio of germinated brown rice and white rice

Sample ²⁾	Water binding capacity (%)	Swelling power at 80°C (g/g)	Solubility at 80°C (%)	Total starch (%)	Damaged starch (%)
GBR	334.16±0.14 ^{d1)}	8.83±0.01 ^c	33.13±0.11 ^d	79.50±0.67 ^c	12.15±0.08 ^b
WR	465.29±0.16 ^a	11.34±0.22 ^a	50.84±1.59 ^a	83.54±1.70 ^a	12.48±0.62 ^b
WR75	389.39±2.08 ^b	10.26±0.47 ^{ab}	40.99±2.89 ^b	83.00±0.75 ^a	12.29±0.29 ^b
WR50	389.19±1.38 ^b	9.34±0.78 ^{bc}	39.56±0.64 ^{ab}	82.51±0.68 ^{ab}	12.69±0.26 ^b
WR25	350.12±1.41 ^c	9.13±0.10 ^c	36.52±1.48 ^{bc}	80.35±0.00 ^{bc}	13.71±0.47 ^a

Data represents mean±SD.

¹⁾Means within columns with the different superscripts are significantly different at p<0.05.

²⁾GBR(germinated brown rice), WR(white rice), WR25(GBR:WR=25:75), WR50(GBR:WR=50:50), and WR75(GBR:WR=75:25) mean extruded rice flours from germinated brown rice, white rice and rice mixtures.

이 수분을 결합할 수 있는 능력을 나타내는 지표로 이때 결합되는 물은 전분입자의 무정형부분으로 침투되거나 전분입자의 표면 흡착 된다고 보고되었다(Halick JV와 Kelly VJ 1959). 본 연구에서는 물결합능력은 WR이 465.29%로 가장 높게 나타났고 GBR은 334.16%로 가장 낮았다. Jeong SH 등의 백미 압출성형쌀가루의 물결합능력은 348.59-397.18%로 쌀 품종과 압출성형 조건에 따라 물결합능력이 차이를 보임을 알 수 있었다. 이는 제품의 수분보수력을 조절하기 위해 압출성형쌀가루를 사용할 때 압출성형 조건이나 쌀 품종 등이 영향을 주기 때문에 쌀 베이커리제품의 배합비를 결정할 때 원료의 제조조건이 중요함을 알게 되었다. 생전분일 때는 전분의 손상도가 물결합능력을 높이지만 압출성형을 통해 무정형으로 바뀐 상태에서는 구성물질이나 구조가 영향을 받을 것으로 생각되었다. 압출성형쌀가루의 80°C의 팽윤력도 물 결합능력과 마찬가지로 백미쌀가루가 높고 발아현미쌀가루가 낮았으며 용해도도 같은 경향을 보였다. 백미 압출성형 쌀가루의 용해도는 50.84%로 물에 쉽게 풀어지거나 용해될 수 있는 물질로 전환되었기 때문으로 같은 온도에서 팽윤력은 용해된 물질이외에 남은 쌀가루에 의하기 때문에 낮은 값을 보인 것으로 생각되었다. 이 경향은 Jeong SH 등의 결과와 유사하며 같은 압출성형조건에서 발아현미쌀가루가 백미쌀가루보다 낮은 팽윤력과 용해도를 나타낸 것은 물결합능력과 같이 현미에 함유된 전분 이외의 성분에 의해 영향을 받은 것으로 생각되었다. 생쌀가루의 경우 팽윤력과 용해도는 전분 입자의 결정형 영역과 전분 사슬의 무정형 간의 상호작용의 크기를 평가하는 증거로, 이들 전분의 아밀로오스-지질 복합체나 강한 분자 네트워크 결합, 아밀로펙틴 분자구조 등의 아밀로오스와 아밀로펙틴의 특성에 의한 영향을 받는다. 그러나 압출성형쌀가루는 압출성형 조건, 압출성형기, 스크류 종류, 원료의 종류 등 따라 이화학적 특성이 차이를 보여 새로운 가공용 소재로 압출성형쌀가루를 소재화 하기 위해서는 좀 더 체계적인 연구가 되어야 한다고 생각된다. 일반적으로 압출성형기는 대량 생산을 위해 좋은 가압조리 가공이 가능한 기기이나 식품의 구조변화나 물리적 화학적 변화 양상 및 물성과 관련된 부분에 대해 더 많은 연구가 필요하다고 생각하였다.

압출성형쌀가루의 총 전분 및 손상전분 함량은 GBR이 가장 낮은 79.50%이며 WR은 83.54%이었다. 이는 원료인 백미와 현미가 함유한 전분 함량과 같으며 손상전분 함량은 백미와 발아현미쌀가루와 관계없이 압출성형 조건이 거의 유사하게 처리되었음을 알 수 있었다. 현미에는 식이섬유로 인해 압출성형시 스크류의 흐름속도가 저항을 받을 것으로 생각하였으나 본 실험결과 발아현미도 백미와 같은 조건에서 압출성형이 가능함을 알 수 있었고 기능성 소재개발과 가공성의 개선목적으로 발아현미를 압출 성형하여 사용한다면 제품의 안정성을 향상시키기 위한 좋은 방법이라고 생각되었다.

6. 호화특성

압출성형쌀가루의 신속점도 측정기에 의한 호화양상은 Table 4와 같다. 압출성형 쌀가루는 온도변화에 따른 점도 변화가 거의 미미하였으며 쌀가루에 따라 점도 양상이 다르게 나타났다. RVA는 생전분이 물에 충분한 조건에서 가열에 의해 호화되면서 나타나는 점도의 변화양상을 보고 전분을 함유한 가루의 가공가능성을 검토하는 기기로 압출성형에 의해서는 모든 쌀가루가 물을 흡수하여 풀어지고 온도가 상승함에 따라 적지만 점도가 감소하였고 냉각하면서 증가하는 경향을 보였지만 RVA 결과를 가공성에 적용하기에는 어려움이 있다. 이런 변화는 압출성형으로 조리한 Hagenimama A 등(2006)의 결과와 같은 경향으로 가열온도에 따른 호화액의 점도 변화는 거의 없었다. Jeong SH 등(2011)은 압출성형 쌀가루는 전반적으로 점도가 낮게 나타나는 것은 전분이 압출성형되는 과정 중 일부 분해가 일어났기 때문이라고 생각되며 수분 흡수력이 좋으나 토크에 의해 힘이 주어지면 제 형태를 이루지 못하고 물에 분산됨을 알 수 있었고 분산질인 팽화 쌀가루는 긴 사슬분자로 구성되지 못하여 거의 점도를 나타내지 않음을 확인하였다. 신속점도측정기에 의한 점도로 볼 때 압출성형 쌀가루는 백미나 발아현미와 관계없이 낮은 점도를 보이고 겔화가 일어나지 않으며 수분보수력이 커서 촉촉한 텍스처를 필요로 하는 제품 개발에 사용할 수 있을 것으로 생각되었다. Cai W 등(1995)은 스크류 속도가 증가함

Table 4. Pasting properties of extruded rice flours with different mixing ratio of germinated brown rice and white rice

Sample ²⁾	Viscosity (cP)				
	Peak (P)	Trough (T)	Cold (C)	Breakdown (P-T)	Setback (C-T)
GBR	127.0±2.8 ^{b1)}	66.5±14.9 ^a	138.0±15.6 ^a	60.5±12.0 ^d	71.5±0.7 ^{bc}
WR	352.0±4.2 ^a	32.5±12.0 ^b	90.5±14.9 ^{bc}	319.5±16.3 ^a	58.0±.8 ^d
WR75	169.0±8.5 ^b	39.5±7.8 ^b	116.5±6.4 ^{ab}	129.5±0.7 ^c	77.0±1.4 ^b
WR50	211.0±17.0 ^b	16.5±3.5 ^b	84.0±7.1 ^c	194.5±13.4 ^b	67.5±3.5 ^c
WR25	139.5±3.5 ^b	22.5±.36 ^b	108.0±9.9 ^{abc}	117.0±2.8 ^c	85.5±3.5 ^a

Data represents mean ±SD.

¹⁾Means within a column with the different superscripts are significantly different at p<0.05.

²⁾GBR(germinated brown rice), WR(white rice), WR25(GBR:WR=25:75), WR50(GBR:WR=50:50), and WR75(GBR:WR=75:25) mean extruded rice flours from germinated brown rice, white rice and rice mixtures.

에 따라 높은 전단력으로 인하여 압출성형물의 분해가 증가되는 반면 온도는 전분을 호화시키기 때문에 더 많은 분해를 초래할 수 있으나 압출성형물의 점도는 감소시킨다고 하였다. 특히 냉해동 안정성이 필요하거나 점도변화는 없이 수분함량을 조절해야 하는 경우에 알레르기가 적은 소재로 사용될 수 있을 것으로 생각되었다. 또한 발아현미는 twin screw extruder로 압출성형 하였을 때 식이섬유, GABA, 페놀산 등의 기능성 성분이 더 증가한다(Ohtsubo K 등 2005)는 보고로부터 기능성을 향상한 병인식이나 노인이나 아동을 위한 제품을 개발할 때 좋은 소재로 사용될 수 있을 것으로 생각되었다. 팽화쌀가루는 점도의 변화 없이 수분 흡수력이 우수하므로 gluten-free 제품의 촉촉한 느낌을 부여하여 텍스처를 개선하는 소재로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

IV. 요약 및 결론

기능성이 강화하고 보수력과 텍스처를 조절하여 우수한 글루텐 프리 쌀가루 가공제품을 개발하기 위해서 발아현미와 백미의 혼합비율을 달리하여 압출성형 쌀가루를 제조하여 이화학적 및 가열특성을 비교하였다. 백미와 발아현미는 국내산 유기농 삼광벼로 제조하였으며 수침한 백미는 저온 건조하여 발아현미와 일정 비율로 혼합한 다음 분쇄하여 twin screw extruder로 스크류 속도 250 rpm, 바렐온도 120℃, 수분함량 25%로 조절하여 압출성형한 쌀가루의 이화학적 특성을 비교하였다. 압출성형쌀가루의 회분과 조단백질, 조지질 함량은 유의적인 차이를 보였으며 발아현미 쌀가루가 가장 높은 함량을 백미쌀가루가 낮은 함량을 가졌다. 압출성형 쌀가루의 색차를 백색판과 비교하였을 때 백미쌀가루가 가장 차이가 적었다. 발아현미 압출성형쌀가루의 물 결합능력(334.16%), 팽윤력(8.83 g/g), 용해도(33.13%)와 총 전분함량(79.50%)은 가장 낮은 값을 보였고 손상전분함량은 차이가 없었다. 신속점도측정기에 의한 가열에 따른 점도변화는 127-352 cp(7.9-22 RVU)

로 온도변화에 따라 거의 변화가 없어 total setback 점도가 58.0-85.5 cp(3.6-5.3 RVU)이었다. 백미뿐만 아니라 100%의 발아현미도 압출성형쌀가루를 제조 할 수 있고 혼합비율에 따라 이화학적 성질을 조절할 수 있으므로 발아현미를 백미와 적절하게 혼합하여 기능성과 보수력 및 텍스처를 조절할 수 있는 쌀가루 소재가 가능함을 확인하였다.

V. 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(PJ007542062011) 지원에 의해 시행된 것이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- AACC. 2000. Approved Methods of the American Association Cereal Chemists, 10th ed., The Association, St. Paul, MN, USA
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA
- Cai W, Diosady LL, Rubin LJ. 1995. Degradation of wheat starch in a twin-screw extruder, J Food Eng 26: 289-300
- Camire ME, Camire A, Krumhar K. 1990. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion, Food Sci Nutr 29: 35-57
- Chiang PY, Yeh AI. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice, J Cereal Sci 35:85-94
- Choi I, Song J, Lee CK, Kim KJ, Suh SJ, Son JR, Ryu GH, Kim JH.

- 2008, Effects of moisture and barrel temperature of extrusion process on physicochemical and functional properties of specialty rice cultivars, *Food Sci Biotechnol* 17: 319-323
- Dautant FJ, Simancas K, Sandoval AJ, Müller AJ. 2007, Effect of temperature, moisture and lipid content on the rheological properties of rice flour, *J Food Eng* 78: 1159-1166
- De Pilli T, Derossi A, Talja RA, Jouppila K, Severini C. 2011, Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology, *Innovative Food Sci Emerging Technol* 12: 610-616
- Evers AD, Stevens DJ. 1985, Starch damage in *Advances in Cereal Science and Technology*, American Association of Cereal Chemists Inc, Vol. II pp 321-349
- Gómez M, Jiménez S, Ruiz E, Oliete B. 2011, Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality, *LWT Food Sci Technol* 44: 2231-2237
- Hagenimana A, Ding X, Fang T. 2006, Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking, *J Cereal Sci* 43: 38-46
- Halick JV, Kelly VJ 1959, Gelatinization and pasting characteristics of rice varieties as related to cooking behavior, *Cereal Chem* 36: 91-96
- Jeong SH, Kang WS, Shin MS. 2011, Physicochemical properties of high yielding non-waxy rice flours extruded with different moisture contents, *Korean J Food Cookery Sci* 27(6):745-753
- Juliano BO, Bechetel DB. 1985, The rice grain and its gross composition, In *Rice Chemistry and Technology*, The American Association of Cereal Chemists pp 17-58
- Kim RY, Kim CS, Kim HI. 2009, Physicochemical properties of non-waxy rice flour affected by grinding methods and steeping times, *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1076-1083
- Kim SL, Son YK, Rok J, Hur HS. 2001, Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice, *Korean J Crop Sci* 46(3):221-228
- Kim WS, Shin M. 2007, The properties of rice flours prepared by dry- and wet-milling of soaked glutinous and normal grains, *Korean J Food Cookery Sci* 23: 908-918
- Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, Suzuki T, Shimizu N, Kimura T. 2007, Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice, *J Food Eng* 78: 556-560
- Kulp K, Lorenz K. 1981, Heat-moisture treatment of starches I, Physicochemical properties, *Cereal Chem* 58:46-52
- Lee SH, Shin M. 2009, Characteristics of preparation of rice Manju and rice flours with soaking and different particle sizes, *Korean J Food Cookery Sci* 25: 427-434
- Lee YC, Ha YC, Bock JY, Shin DB, Lee KH. 1990, Effects of raw material and extrusion cooking conditions on physical and chemical properties of the puffed rice extrusion, *Korean J Food Sci Technol* 22: 105-109
- Lee YR, Kim JY, Woo KS, Hwang IG, Kim KH, Kim KJ, Kim JH, Jeong HS. 2007, Changes in the chemical and functional components of Korean rough rice before and after germination, *Food Sci Biotechnol* 16: 1006-1010
- McCleary BV, Gibson TS, Mugford DC. 1997, Collaborative evaluation of a simplified assay for total starch in cereal products, *Cereal Foods World* 42: 476-480
- Medcalf F, Gilles KA. 1965, Wheat starches. I, Comparison of physicochemical properties, *Cereal Chem* 42:558-568
- Nishita KD, Bean MM. 1982, Grinding methods: Their impact on rice flour properties, *Cereal Chem* 59: 46-49
- Moongngarm A, Saetung N. 2010, Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice, *Food Chem* 122: 782-788
- Ngamnikom P, Songsempong S. 2011, The effects of freeze, dry, and wet grinding process on rice flour properties and their energy consumption, *J Food Eng* 104: 632-638
- Oh SH, Kim SH, Moon YJ, Choi WG. 2002, Changes in the levels of γ -aminobutyric acid and some amino acids by application of a glutamic acid solution for the germination of brown rice, *Korean J Biotechnol Bioeng* 17: 49-53
- Park YK, Seog HM, Nam YJ, Shin DH. 1988, Physicochemical properties of various milled rice flours, *Korean J Food Sci Technol* 20: 504-510
- Schoch TJ. 1964, Whole starches and modified starches, In: *Methods in Carbohydrate Chemistry* Vol. IV pp106-108, Whistler RL, (ed), Academic Press, NY, USA
- Shin M, Gang DO, Song JY. 2010, Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread, *Food Sci Biotechnol* 19: 951-956
- Yeh AI, Jaw YM. 1999, Effects of feed rate and screw speed on operating characteristics and extrudate properties during single-screw extrusion cooking of rice flour, *Cereal Chem* 76: 236-242