

발아현미의 이화학적 특성 및 취반 특성

조동화¹ · 박혜영¹ · 이석기¹ · 박지영¹ · 최혜선¹ · 우관식¹ · 김현주¹ · 심은영¹ · 원용재¹ · 이동현¹ · 오세관^{1,†}

Differences in Physicochemical and Textural Properties of Germinated Brown Rice in Various Rice Varieties

Dong-Hwa Cho¹, Hye-Young Park¹, Seuk-Ki Lee¹, Jiyoung Park¹, Hye-Sun Choi¹, Koan-Sik Woo¹, Hyun-Joo Kim¹, Eun-yeong Sim¹, Yong-Jae Won¹, Dong-Hyun Lee¹, and Sea-Kwan Oh^{1,†}

ABSTRACT Germinated brown rice (GBR) has received considerable attention over the last decade as a means of enhancing the nutritional value and health-promoting functions of rice. The effect of germination on the physicochemical and textural properties of brown rice (BR) was investigated in different rice varieties (*Samkwang*, *Misomi*, *Chindeul*, and *Hyeonpum*). Cooking properties, such as water absorption, expanded volume, and soluble solids were significantly increased by germination in all rice varieties. Textural properties (hardness, toughness, adhesiveness, and stickiness) of cooked samples were determined using a texture analyzer. Hardness and toughness were decreased by germination, whereas stickiness and adhesiveness increased significantly. These results revealed that germination leads to improvements in the cooking and eating properties of BR. In Rapid Visco Analyzer (RVA), significant reductions were observed for peak viscosity, break down, set back, and final viscosity after germination. Although the amylose content of *Misomi* was slightly decreased by germination, that of other varieties increased significantly. Germination induced no noticeable change in the average chain length of amylopectin in *Misomi*, *Chindeul* and *Hyeonpum*, but led to a significant increase in *Samkwang*.

Keywords : cooking properties, germinated brown rice, physicochemical properties, starch characterization

쌀은 밀, 옥수수과 함께 세계에서 가장 많이 생산 및 소비되는 곡물로 세계 인구 60억 중 약 27억 이상이 주식으로 이용하고 있는 중요한 식량 작물이다(Juliano, 1985). 옥수수나 밀과 대조적으로 쌀은 80% 이상이 사람에게 의해서 소비되며, 동물 사료로 이용되는 경우는 드물다(Müller-Fischer, 2013). 세계 쌀 생산량은 731.2백만톤으로, 이 가운데 91% (662.9백만톤)가 아시아에서 생산된다(FAO, 2013). 세계 쌀 생산량은 점차 증가하고 있는 추세로 2012년 생산량은 2002년, 2010년보다 각각 27%, 6% 증가하였다(Cho & Lim, 2016). 이는 중국, 인도를 비롯한 아시아의 인구증가에 의한 것으로 생각된다. 하지만 한국과 일본을 비롯한 일부 아시아국가에서 쌀 소비량이 차츰 감소하고 있다. 한국의 1인당 연간 양곡 소비량은 1979년 135.6 kg이었지만, 소비량

이 점차 감소하여 2002년에는 87.0 kg, 2015년에는 62.9 kg 수준이었다(Park *et al.*, 2016; Oh *et al.*, 2010). 쌀의 생산량 또한 감소하고 있는 추세에 있지만 소비량 감소 및 수입량 증가 정도가 더 크기 때문에 정부의 다양한 정책에도 불구하고 국내 쌀의 재고량 증가 및 가격 하락 등의 다양한 문제점이 발생하고 있다. 이에 따라 한국에서는 쌀 소비 확대를 위한 다양한 연구 및 기술개발이 시급한 실정이다.

현미(brown rice)는 벼(rough rice)의 왕겨부분을 제거하는 제현과정을 통해 얻어진다. 현미는 미강(bran, 6%), 배(enbryo, 2%) 및 배유(endosperm, 92%)로 구성되어 있으며, 도정을 통하여 미강과 배를 제거하면 백미(polished rice)가 얻어진다. 식이섬유, 기능성 지질, 비타민, 피토스테롤, 페놀산, 감마 오리지놀과 같은 다양한 기능성분은 쌀의 미강

¹농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 (Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon, Gyeonggi 16429, Korea)

[†]Corresponding author: Sea-Kwan Oh; (Phone) +82-31-695-0610; (E-mail) ohskwan@korea.kr

<Received 7 July, 2017; Revised 21 July, 2017; Accepted 2 August, 2017>

과 배에 주로 존재한다. 따라서 영양학적인 관점에서 보면 백미보다는 현미를 주식으로 섭취하는 것이 바람직하다. 하지만 한국을 포함한 많은 아시아 국가에서는 백미를 주식으로 섭취하고 있는데 이는 현미가 가수율이 낮고 식감이 거칠고 딱딱하기 때문이다(Ohtsubo *et al.*, 2005). 따라서 현미를 주식으로 이용하기 위해서는 식감과 수분흡수율을 개선할 수 있는 가공법이 개발되어야 할 것이다.

발아는 종자에서 뿌리와 싹이 나오는 과정으로 정의할 수 있다. Nonogaki *et al.* (2010)은 발아를 세단계로 구분하였다. 첫번째 단계는 씨앗이 휴면타파를 위해 필요한 수분을 흡수하는 단계이다. 두번째 단계는 물을 흡수하여 단백질 합성, DNA 및 미토콘드리아의 합성 및 수복, 효소 활성화와 같은 다양한 생리현상들이 시작되는 단계이다. 세번째 단계는 세포의 확장과 분열을 통하여 뿌리 및 싹이 성장하는 단계이다. 발아동안에는 일어나는 다양한 생리현상은 천연 고분자 화합물의 분해 및 기능성 물질의 합성을 유도한다. 탄수화물 가수분해 효소의 활성화는 전분 소화율을 증가시키고 미강 조직을 연화시킨다(Cho & Lim, 2016). 또한 glutamate decarboxylase나 phenylalanine ammonia lyase의 활성화는 각각 감마-아미노낙산과 페닐알라닌의 함량을 증가시킨다(Ohtsubo *et al.*, 2005; Wakabayashi *et al.*, 2012). 발아현미는 싹이 1~5 mm 자란 현미로 정의하고 있으나(Watanabe *et al.*, 2004), 시중에서 판매중인 발아현미는 대부분 싹의 길이가 1~2 mm 사이인 것으로 알려져 있다. 일반적으로 발아현미는 발아를 최대한 억제 시키면서 물성을 부드럽게 하고 찰기를 향상시켜 밥맛과 식감을 향상시키고 영양성과 기능성을 극대화 하는 목적으로 가공하는 것으로 2000년대에 들어와서는 발아현미가 건강기능성 식품으로 알려지면서 소비자들에게 매우 큰 관심을 받고 있다. 이는 발아에 의해 현미의 각종 생리활성 물질의 함량이 증가될 뿐만 아니라 발아가 저비용, 간편성, 친환경성의 장점이 있기 때문이다. 하지만 아직 발아현미 밥의 취반 및 식감 특성에 대한 체계적인 연구는 진행되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 삼광을 대비 품종으로 하여 고품질 밥쌀용으로 육성된 신품종(미소미, 현품, 친들) 발아현미의 수분흡수율, 취반특성, 취반 후 식감, 호화 점도 및 전분 특성을 조사함으로써 발아현미 밥의 우수성을 증명하고 국내 쌀 소비 촉진에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 시험재료는 밥쌀용 최고품질(삼광, 현

품) 및 고품질(미소미, 친들) 벼 품종으로 2015년 농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부(경기도 수원)에서 재배 및 수확된 것을 2016년 3월에 현미를 제조하여 실험에 사용하였다. 발아현미는 발아현미 가공전문업체인 ㈜미실란(전라남도 곡성)에서 수침(30°C, 12시간) 및 대기 발아(30°C, 24시간) 후 건조하여 제조되었다.

수분흡수율

시료의 수분흡수율은 Medcalf & Gilles (1965) 방법을 변형하여 사용하였다. 시료 1.0 g을 증류수 25 mL에 넣고 항온수조(10°C, 25°C)에서 일정 시간(10분, 20분, 30분, 60분, 90분, 120분, 150분, 15시간)동안 반응시킨 후에 시료를 꺼내어 시료 표면의 수분을 제거하고 시료의 무게를 측정하였다. 수분흡수율은 다음의 식으로 계산하였다.

$$\text{수분흡수율(\%)} = \frac{\text{수침 후 시료의 무게}(g) - \text{수침 전 시료의 무게}(g)}{\text{수침 전 시료의 무게}(g)} \times 100$$

취반특성

증류수 25 mL가 들어 있는 메스실린더에 시료 10 g을 넣고 증가된 부피(a)를 측정하였다. 부피를 증정한 시료는 바로 스테인리스 망에 넣고 증류수 80 mL이 들어 있는 비커에 고정된 다음 150°C에서 40분 동안 취반하고 10분 동안 상온에서 방치하였다. 스테인리스 망에 들어 있는 시료를 꺼내어 무게(b)와 부피(c)를 측정하였다. 취반 후 비커에 남아 있는 용액을 80°C에서 건조하고 남은 고형분의 무게(c)를 측정하여 용출고형물 계산에 사용하였다.

$$\text{취반 후 수분흡수율(\%)} = \frac{\text{취반 후 무게}(b) - \text{시료 및 스테인레스 망의 무게}}{\text{시료 무게}} \times 100$$

$$\text{고형물 용출량 (\%)} = \frac{\text{용출된 고형분 무게}(d)}{\text{시료 무게}} \times 100$$

$$\text{부피팽창율 (\%)} = \frac{\text{취반 후 시료 부피}(c)}{\text{취반 전 시료 부피}(a)} \times 100$$

취반 후 식감 특성

식감 특성은 식감측정기(My Boy-II system, Taketomo Electric Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 취반된 시료 10 g을 무작위로 칭량하여 컨테이너에 넣고 압축 성형하였다. 압축 성형된 시료는 puncture probe (접촉면적

25 mm²)를 이용하여 25 kgw 하중으로 먼저 두께의 25%로 압착하고, 다음 90%로 압착하면서 시료의 식감(경도, 부착성, 탄력성, 찰기)을 측정하였다.

호화점도특성

시료는 분쇄 후 100 mesh sieve (pore size 150 µm)에 통과시켜서 일정 크기 이하의 가루를 얻었다. 시료 가루의 호화점도 특성은 신속점도계(Model RVA-3D, Newport Scientific, Warriewood, Australia)로 측정하였다. 시료 가루 4.5 g (dry basis)을 증류수 25.5 mL가 담긴 용기에 넣고 잘 분산시켜 주었다. 호화점도 측정에 사용된 RVA profile은 다음과 같다. (1) 50°C, 960 rpm 조건에서 10초동안 유지, 이후에는 160 rpm 조건에서 (2) 0.83분동안 50°C 유지, (3) 12.2°C/min로 95°C까지 가열, (4) 2.5분동안 95°C 유지, (5) 12.2°C/min로 50°C까지 냉각, (6) 2분동안 50°C 유지하면서 시료의 호화점도를 측정하였다. 측정된 호화점도는 ThermoLine (Ver. 1.2, Newport Scientific Pty Ltd., Warriewood, NSW, Australia) software에 의해 peak viscosity (최고점도), final viscosity (최종점도), trough (강하점도), breakdown (최저점도), setback (치반점도), pasting temperature (호화개시온도)로 수치화하였다.

전분 특성

시료의 아밀로스 함량은 Juliano (1985)의 요오드 비색법을 사용하여 측정하였다. 시료 가루 100 mg을 에탄올(1 mL)과 1N NaOH (9 mL)에 분산시켰다. 이후 항온수조에서 10분간 반응시키고 증류수를 이용하여 100 mL로 희석하였다. 희석된 용액 5 mL을 acetic acid (1 mL), 2% I₂-KI (2 mL) 및 증류수(92 mL)와 혼합하고 암소에 방치(20 min)한 후, 620 nm에서 흡광도 값을 측정하였다.

시료의 아밀로펙틴 분자 사슬 분포는 high performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detection (HPAEC-PAD, Dionex ICS-5000, Dionex Co., Sunnyvale, CA, USA)로 측정하였다. 시료 가루는 100% 메탄올, 90% 메탄올, 증류수로 2회씩 씻어주고 상온에서 건조하였다. 건조된 시료를 50 mM sodium acetate buffer (pH 3.5)에 분산시키고 isoamylase (EN102, 68,000 U/mg of protein, Hayashibara Biochemical Laboratories, Okayama, Japan) 10 uL을 넣고 37°C에서 24시간동안 반응시켜 아밀로펙틴 분자 가지를 완전히 끊어주었다. 이후 효소 불활성화를 위해 100°C에서 10분간 방치하였다. 효소 불활성화가 완료된 시료는 0.2 µm membrane filter로 여과하고 HPLC로 분석하였다. HPLC 분석용 컬럼으로는 Dionex Carbopac PA100 column, 이동상

으로는 500 mM sodium acetate와 150 mM NaOH를 사용하였다.

통계분석

모든 실험결과는 3회 반복하였으며, 얻어진 측정값은 SPSS 통계 package program (Statistical Package Social Science, Version 12.0)을 이용하여 분산분석(ANOVA test)을 실시하였고, 다중범위시험법(Duncan's multiple range test)로 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

현미 및 발아현미의 수침 수분 흡수율

발아에 따른 현미의 수분흡수특성을 측정한 결과는 Table 1에 나타났다. 수분흡수율은 현미 혹은 발아현미의 표면에 흡착하거나 내부로 침투된 수분을 %함량으로 측정한 것이다. 취반 전 수침을 통하여 쌀의 수분을 균등하게 분포시키는 것은 취반과정동안 열전도율을 높이고 밥의 경도를 감소시켜 식미를 증가시키기 때문에 취반에 앞서 꼭 필요한 단계로 쌀의 수분 흡수 특성을 정확하게 파악하는 것은 매우 중요하다(Yoon *et al.*, 2014). 따라서 본 연구에서는 10°C, 25°C에서 현미 및 발아현미의 수분 흡수 특성을 조사함으로써 최적의 수침 조건을 찾고자 하였다.

현미의 수분흡수율은 수침시간이 길수록, 수침온도가 높을수록 증가하였다. 삼광현미의 초반(0~60 min), 중반(60~120 min), 후반(120 min~15 hr) 수분흡수속도는 10°C에서 각각 6.1%/hr, 2.9%/hr, 0.9%/hr였으며, 25°C에서는 각각 9.2%/hr, 4.1%/hr, 1.1%/hr였다. 수분흡수속도는 수침 초반에는 빨랐지만 수침시간이 길어질수록 감소하였다. 또한 수침 온도는 초반 수분흡수율에 큰 영향을 줬지만 후반(120 min~15 hr)의 수분흡수율에는 큰 영향을 주지 않았다. 또한 10°C에서 120분 동안 수침한 현미의 수분흡수율은 8.8~10.2%로 품종 간 유의적 차이를 관찰할 수 없었으나, 15시간동안 침지하였던 기존 발아현미용으로 보급중인 삼광보다는 다른 세 품종(미소미, 친들, 현품)이 유의적으로 높은 수분흡수율을 보였다. 그러나 25°C에서 120분 동안 수침한 밥쌀용 품종의 수분흡수율은 13.3~16.1%로 10°C 수침군과 비교하여 약 5% 높은 수분흡수율을 보였지만 품종 간 유의적인 차이는 없었다. Park *et al.* (2009)은 온도 및 시간조건을 달리하며 현미의 수분흡수율을 관찰한 결과, 침지 온도가 높을수록, 침지 시간이 길수록 수분흡수율이 높다고 보고하였다.

기존 연구에 따르면 백미 및 쌀가루의 수분흡수율은 초

Table 1. Water absorption ratio (%) of brown rice and germinated brown rice for different rice varieties.

Variety	Sample	Soaking Temp.	Water absorption ratio (%)						
			10 min	20 min	30 min	60 min	90 min	120 min	15 hr
Samkwang	BR	10°C	3.7±0.6 ^g	5.0±1.4 ^{gh}	5.3±1.2 ^h	6.1±0.5 ⁱ	7.5±0.9 ^h	9.0±2.1 ⁱ	20.6±0.6 ^h
	GBR		11.6±0.9 ^d	13.6±0.8 ^e	16.6±2.0 ^f	22.11.0 ^e	25.2±1.3 ^d	27.5±1.2 ^f	43.6±1.2 ^d
Misomi	BR		3.7±0.9 ^g	4.5±0.9 ^h	5.9±0.3 ^{gh}	6.2±0.3 ⁱ	8.4±0.9 ^h	8.8±1.4 ⁱ	23.5±0.5 ^g
	GBR		12.2±1.2 ^d	14.9±1.0 ^e	17.3±2.9 ^f	22.1±0.8 ^e	28.0±3.1 ^d	31.0±1.6 ^e	48.4±1.1 ^{bc}
Chindeul	BR		4.0±0.5 ^{fg}	4.7±0.6 ^h	5.8±0.5 ^{gh}	7.5±2.1 ^{hi}	9.3±1.0 ^{gh}	10.2±0.7 ⁱ	23.8±0.7 ^g
	GBR		16.0±1.1 ^c	21.9±1.3 ^b	23.7±2.1 ^c	31.1±2.9 ^{bc}	34.8±1.3 ^b	38.6±2.0 ^{bc}	51.6±1.6 ^a
Hyeonpum	BR		3.7±0.8 ^g	4.3±0.9 ^h	5.3±0.7 ^h	6.4±1.7 ⁱ	8.7±0.7 ^{gh}	9.1±1.0 ⁱ	23.0±0.2 ^g
	GBR		15.7±1.3 ^c	20.4±1.2 ^c	21.3±1.0 ^{de}	25.3±0.8 ^d	29.3±1.2 ^c	33.1±1.2 ^d	47.1±1.7 ^c
Samkwang	BR	25°C	4.4±0.7 ^{fg}	5.3±0.5 ^{gh}	5.5±2.8 ^h	9.2±0.4 ^{gh}	11.5±0.8 ^{fg}	13.3±1.0 ^h	27.8±1.4 ^f
	GBR		12.5±0.9 ^d	17.5±1.4 ^d	20.3±1.5 ^e	27.1±2.2 ^d	30.7±2.2 ^c	32.9±1.0 ^d	44.7±0.7 ^d
Misomi	BR		5.1±1.0 ^{ef}	6.6±0.6 ^f	7.4±1.4 ^{gh}	10.1±1.8 ^{fg}	13.0±0.9 ^{ef}	14.9±1.2 ^{gh}	30.5±1.1 ^e
	GBR		15.3±1.2 ^c	19.6±1.6 ^c	23.2±0.8 ^{cd}	30.0±1.6 ^c	34.7±1.7 ^b	37.6±1.2 ^c	49.1±1.0 ^b
Chindeul	BR		5.5±0.7 ^e	6.5±0.2 ^f	7.9±0.8 ^g	11.6±1.3 ^f	14.8±0.4 ^e	16.1±0.5 ^g	28.1±0.6 ^f
	GBR		19.8±1.7 ^a	26.3±1.2 ^a	31.7±1.6 ^a	36.3±1.3 ^a	41.8±1.1 ^a	44.0±1.1 ^a	51.8±1.9 ^a
Hyeonpum	BR		4.9±0.6 ^{fg}	6.2±0.4 ^{fg}	6.9±0.6 ^{gh}	10.2±1.4 ^{fg}	12.7±0.8 ^{ef}	14.5±0.6 ^{gh}	28.8±1.1 ^f
	GBR		17.9±0.6 ^b	22.1±1.5 ^b	27.1±3.0 ^b	33.0±3.4 ^b	37.5±2.4 ^b	39.9±3.4 ^b	47.6±0.9 ^{bc}

^{a-i}Different letters in the same row indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$).

BR; brown rice, GBR; germinated brown rice.

기에 급격하게 증가하지만 3시간 이후에는 큰 변화가 없는 것으로 보고되고 있다(Shin *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2009). 백미 및 쌀가루가 수침 3시간 이후에 큰 변화가 없다는 보고와는 대조적으로 현미는 수침 15시간까지 수분흡수율이 증가하였다. 이는 현미의 미강층이 수분의 흡수를 지연시키기 때문으로 사료된다. 현미 미강층은 지질, 섬유질, 단백질과 같은 소수성 물질을 다량 함유하고 있다(Khatoon & Gopalakrishna, 2004). Desikachar *et al.* (1965)은 미강의 일부(2~3%)만 도정하여도 현미의 수분흡수율이 증가한다고 하였다. 이는 현미 외피의 왁스층이 제거됨으로써 수분의 침투 및 확산이 쉬워지기 때문이다(Champagne *et al.*, 1990). 하지만 Roy *et al.* (2008)은 도정 유무는 수분흡수율 변화에 큰 영향을 주지만 도정 정도는 수분흡수율에 큰 영향을 주지 않는다고 보고하였다.

밥의 품질은 품종, 전분 특성, 단백질 함량, 도정도, 저장 조건, 조리법 등 다양한 요소에 영향을 받는다. 특히 취반은 일종의 전분 호화반응으로 볼 수 있기 때문에 수분흡수율은 취반밥의 품질에 큰 영향을 준다. Kim & Back (2012)은 수분흡수율이 높을수록 밥의 경도가 낮아지고 부피가 증가하기 때문에 취반에 적합하고 식감 특성이 뛰어나다고

하였다. 미강층을 가진 현미는 백미와 비교하여 수분흡수율이 낮기 때문에 호화가 상대적으로 어렵고 식감특성이 나쁠 것으로 생각된다. 또한 일반적으로 가정에서 현미를 섭취할 때는 현미밥으로 이용하기 보다는 백미-현미 혹은 백미-현미-잡곡 혼반 형태로 섭취하는 경우가 많다. 이때, 현미의 낮은 수분흡수율은 수침시간과 조리시간을 늦추기 때문에 현미의 이용성을 떨어트리게 된다. 따라서 백미보다 영양 및 기능성이 뛰어난 현미를 밥으로 이용하기 위해서는 낮은 수분흡수율을 개선시킬 방법이 필수적으로 개발되어야 한다.

실험에 사용된 4품종의 현미는 모두 발아함에 따라 수분흡수율이 증가하였다. 삼광 발아현미의 초반(0~60 min), 중반(60~120 min), 후반(120 min~15 hr) 수분흡수속도는 10°C에서 각각 22.1%/hr, 5.4%/hr, 1.2%/hr였으며, 25°C에서는 각각 27.1%/hr, 5.8%/hr, 0.9%/hr였다. 삼광 발아현미의 초반 수분 흡수속도는 삼광 현미(9.2%/hr)보다 약 3배 빨랐으나 수침시간이 길어짐에 따라 그 차이가 줄어들어 후반에는 삼광현미와 수분흡수속도가 비슷하였다. 이와 같은 경향은 미소미, 친들, 현품에서도 동일하게 나타났다.

발아에 따른 수분흡수율 증가는 발아동안 미강 조직의

연화, 건조과정에서 발아현미 표면에서 형성되는 균열(crack), 가수분해효소에 의한 전분 및 단백질의 저분자화에 기인하는 것으로 사료된다. 발아동안 활성화된 전분 및 단백질 분해효소는 전분입자의 붕괴를 유도하여 전분입자가 매끄럽지 못하고 불균일한 구조를 가지게 한다(Moongngarm, 2011). 쌀가루의 수분흡수력은 전분의 손상도가 높을수록, 수침시간이 길어질수록, 입자크기가 작을수록 높아진다(Kim *et al.*, 2009). 또한 발아 후 건조과정에서 생성되면 현미 표면의 균열은 낱알 내부로의 수분 확산 속도를 증가시킬 것이다. 발아는 현미의 수분흡수특성을 개선시키기 때문에 취반 시 침지시간을 단축시켜줌으로써 취반의 어려움을 해소시켜 줄 뿐만 아니라 백미와의 혼반 또한 용이하게 할 것이다.

현미 및 발아현미의 취반 특성

현미 및 발아현미의 취반특성(취반 후 수분흡수율, 부피팽창율, 용출고형물 함량)은 Table 2에 나타났다. 밥쌀용 품종 현미의 취반 후 수분흡수율 범위는 142.8~151.1%로 품종간 유의적인 차이는 없었다. 이는 네 품종 모두 밥쌀용으로 개발된 품종이기 때문에 아밀로스 및 단백질 함량이 유사하기 때문으로 생각된다. 특히 아밀로스 함량은 밥의 취반 특성에 매우 큰 영향을 미치는 요소로 아밀로스 함량이 높으면 수분흡수가 느리고 호화가 힘들다(Kim *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2009).

실험에 사용된 4품종의 취반 후 수분흡수율은 모두 발아함에 따라 증가하였다. 밥쌀용 품종 발아현미의 취반 수분흡수율 범위는 168.2~181.7%였다(Table 2). 발아 후 수분흡수율이 가장 높은 품종은 친들로 가장 낮은 수분흡수율을 보인 현품 발아현미(168.2%)보다 8.0% 높았다. 발아에 따라 취반흡수율이 가장 많이 증가한 품종은 친들로 22.6%

증가했으며, 다음으로 미소미(18.0%) > 현품(17.8%) > 삼광(16.9%) 순서였다.

취반 수분흡수율의 증가는 발아 후 건조과정에서 발생하는 낱알의 균열에 의한 것으로 생각된다. Srisang *et al.* (2011)은 발아 후 건조과정에서 현미에는 미세한 균열이 발생하며, 이는 발아현미의 물성에 큰 영향을 준다고 보고하였다. Kim & Beak (2012)은 칼집으로 현미 낱알에 미세한 균열을 주어 현미의 물성을 개선하고자 하였다. 칼집을 낸 현미는 수분침투가 잘될 뿐만 아니라 조직감이 백미와 유사하게 부드러워졌으며, 이는 수분이 배유에 쉽게 흡수되어 열전달이 균일하게 이루어졌기 때문이라고 보고하였다.

실험에 사용된 4품종 현미와 발아현미의 용출 고형분 함량 범위는 각각 5.1~7.5%, 8.2~10.8%로 모든 품종에서 발아에 의해 용출 고형분 함량이 증가하였다. 발아에 따라 취반흡수율이 가장 많이 증가한 품종은 현품으로 78.4% 증가했으며, 다음으로 친들(44.0%) > 미소미(37.1%) > 삼광(34.4%) 순서였다. 발아에 따른 용출 고형분 함량 변화는 수분흡수율과 그 양상이 비슷하여 모든 품종에서 발아함에 따라 용출고형분 함량이 증가하였다. 발아현미의 용출 고형분 함량 범위는 8.2~10.8%였으며, 현품은 발아함에 따라 용출고형분 함량이 가장 많이 증가한 품종(78.4%)이었다. Kang & Lho (1998)은 취반 용출고형분 함량이 밥의 식감에 큰 영향을 준다고 보고하였다. 용출 고형분, 특히 용출되는 전분이 많으면 밥의 찰기가 증가하여 식감이 우수할 것이다.

현미 및 발아현미 밥의 부피팽창율은 각각 128.3~129.3%, 131.9~134.9%였다. 모든 품종의 현미가 발아에 의해 부피팽창율이 유의적으로 증가하였다. 하지만 발아에 따라 용출고형분 함량과 수분흡수율이 네 품종 평균 48.5, 18.8%

Table 2. Cooking characteristics of brown rice and germinated brown rice in different rice varieties.

Variety	Sample	Water absorption ratio (%)	Expensibility (%)	Soluble solid (%)
Samkwang	BR	151.1±1.5 ^c	128.9±0.7 ^c	6.1±0.3 ^c
	GBR	176.6±3.7 ^{ab}	133.7±0.2 ^a	8.2±0.4 ^c
Misomi	BR	151.0±2.4 ^c	129.3±0.2 ^c	6.2±0.2 ^c
	GBR	178.2±6.3 ^a	134.7±1.0 ^a	8.5±0.5 ^c
Chindeul	BR	148.2±3.7 ^c	129.0±0.6 ^c	7.5±0.2 ^d
	GBR	181.7±6.6 ^a	134.9±1.3 ^a	10.8±0.2 ^a
Hyeonpum	BR	142.8±6.4 ^c	128.3±1.3 ^c	5.1±0.1 ^f
	GBR	168.2±5.3 ^b	131.9±0.6 ^b	9.1±0.4 ^b

^{a-c}Different letters in the same row indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$).

BR; brown rice, GBR; germinated brown rice.

증가한 것과는 달리 부피팽창율은 3.8%만 증가하였다. 발아에 따른 부피팽창율 변화가 거의 없다는 것은 발아에 따라 조직의 연화 및 균열이 있음에도 불구하고 발아현미 낱알의 형태가 취반 후에도 붕괴되지 않고 유지되고 있음을 의미하는 것이라 생각된다.

현미 및 발아현미 밥의 식감

취반 밥의 식감 특성은 사람이 턱을 이용하여 밥을 씹는 것과 유사한 방법으로 식감을 측정할 수 있도록 고안된 물성측정기(My Boy-II system, Taketomo Electric Co., Tokyo, Japan)로 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 탄력성(toughness) 및 찰기(stickiness)를 측정하였다.

밥쌀용 품종인 삼광, 미소미, 친들, 현품 현미의 경도는 58.8~96.5 dyne/cm²였다(Table 3). 미소미의 경도는 96.55 dyne/cm²로 실험에 사용된 품종 중에서 가장 높았으며, 그 다음으로 현품(88.88 dyne/cm²), 삼광(67.42 dyne/cm²), 친들(58.83 dyne/cm²) 순서였다. 친들 현미는 밥용으로 많이 이용되고 있는 삼광과 비교하여 유의적으로 낮은 경도를 보였으며 이는 친들 현미가 삼광보다 식감 특성이 우수할 수 있음을 의미한다. 반면 미소미와 현품 현미는 삼광보다 경도가 유의적으로 낮았다. 기계적으로 측정되는 경도는 어금니로 시료(취반밥)를 압축할 때 드는 힘을 의미한다(Kim *et al.*, 2012). 경도와 부착성은 밥의 품질을 결정하는데 매우 중요한 역할을 하는 요소이며, 한국 사람은 일반적으로 경도가 낮고 부착성이 높은 식감을 선호한다(Park *et al.*, 2016). 즉, 경도가 낮고 부착성이 높을수록 밥의 식감이 뛰어나다.

밥의 경도는 전분 구조에 큰 영향을 받는 것으로 보고된다(Ong & Blanshard, 1995; Reddy *et al.*, 1993). 아밀로스

함량과 아밀로펙틴 중합도가 높으면 호화온도가 높고 취반 후 노화속도가 빠르기 때문에 밥의 경도가 높아 식감이 떨어진다. 하지만 실험에 사용된 네 품종은 밥쌀용으로 개량된 품종으로 전분 특성이 유사(Table 5, 6)함에도 경도가 큰 차이를 보였다. 이는 경도가 전분 특성 뿐만 아니라 다양한 요소에 영향을 받기 때문이라 생각된다. 특히 현미는 백미와 달리 단단하고 거친 미강층으로 둘러싸여 있기 때문에 미강 구조에 큰 영향을 받을 것으로 생각되며, 미강구조와 현미밥 식감의 상호연관성에 대한 심도 깊은 연구가 필요할 것이다.

경도는 발아에 의해 유의적으로 감소하는 경향을 보였다(Table 3). 특히 미소미의 발아 전 경도는 네 품종 중에서 가장 높았지만, 발아 후에는 친들과 함께 가장 낮은 경도를 보였다. Oh *et al.* (2014)는 발아에 따른 삼광 및 큰눈벼의 경도를 관찰하였으며 두 품종의 현미 모두 발아에 의해 경도가 감소하였다고 보고하였다. 밥의 경도는 단백질, 식이 섬유, 수분흡수율을 비롯한 다양한 요소에 영향을 받으나(Kim *et al.*, 2012; Bhattachaya & Sowbhagya, 1971; Park *et al.*, 2016), 발아에 따른 경도의 급격한 감소는 발아현미의 높은 수분흡수율과 발아동안 활성화된 세포벽 분해효소에 의한 것으로 생각된다. 발아에 의해 증가된 수분흡수율(Table 1)은 취반 시 열전달을 용이하게 하여 전분 호화를 촉진시킴으로써 경도를 감소시킬 것이며, 발아동안 활성화된 세포벽 분해효소(Xylanase, arabinase, β -glucanase)는 미강을 부드럽게 만들어 밥의 경도를 감소시킬 것이다.

현미 및 발아현미의 탄력성은 경도와 유사한 경향을 보였다. 실험에 사용된 4품종 현미와 발아현미의 탄력성 범위는 각각 27.64~34.36%, 25.11~28.13%로 삼광을 제외한 모든 품종에서 유의적으로 감소하였다. 기계적으로 측정되는

Table 3. Textural properties of cooked brown rice and germinated brown rice in different rice varieties.

Variety	Sample	Hardness	Toughness	Adhesiveness	Stickiness
Samkwang	BR	67.42±4.18 ^c	27.64±0.72 ^c	17.20±5.05 ^d	12.83±1.17 ^d
	GBR	61.46±6.58 ^{cd}	28.13±0.85 ^c	34.96±4.18 ^b	19.86±2.72 ^b
Misomi	BR	96.55±5.87 ^a	30.65±0.94 ^b	14.79±3.99 ^d	10.24±0.72 ^c
	GBR	46.52±5.97 ^e	25.38±1.17 ^d	39.53±3.75 ^{ab}	20.26±2.01 ^b
Chindeul	BR	58.83±8.89 ^d	29.91±2.32 ^b	23.08±5.88 ^c	17.27±1.65 ^c
	GBR	45.17±2.89 ^e	25.11±0.61 ^d	44.22±5.18 ^a	22.64±1.31 ^a
Hyeonpum	BR	88.88±6.65 ^b	34.36±1.56 ^a	14.94±2.29 ^d	13.63±2.47 ^d
	GBR	54.61±3.47 ^d	27.25±0.64 ^c	35.45±2.55 ^b	19.68±2.99 ^b

^{a-c}Different letters in the same row indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, *p*<0.05).

BR; brown rice, GBR; germinated brown rice.

경도가 시료를 씹을 때 드는 힘을 표현한 것이라면 탄력성은 씹는 작용에 반발하는 힘을 의미하며, 경도와 탄력성은 식미 측정에서 유사한 성격을 가진다(Kim *et al.*, 2012; Nishinari, 2004). 또한 기계적 식감 측정과 패널을 통한 식감 검사 모두에서 경도와 탄력성은 유사한 경향을 나타낸다(Nakamura *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2012).

밥의 끈기를 결정하는 부착성은 경도와 함께 식감에서 중요한 요소 중 하나이다. 실험에 사용된 현미밥의 부착성은 14.8~23.1 dyne/cm²였다. 친들 현미는 삼광을 비롯한 다른 밥쌀용 품종과 비교하여 부착성이 높을 뿐만 아니라 경도도 낮기 때문에 식감이 우수할 것으로 생각된다. 부착성은 4품종 모두에서 발아함에 따라 유의적으로 증가하였다. 특히 미소미 현미는 대비품종인 삼광보다 낮은 부착성을 보였으나 발아 후에는 부착성이 167.3% 증가하여 대비품종인 삼광 발아현미보다 부착성이 높았다.

식감에서 경도-부착성 비율은 식미를 결정하는 중요한 인자로, 부착성이 높고 경도가 낮아 부착성/경도의 비율이 높을수록 밥의 식감은 우수하다(Okabe, 1979; Kim *et al.*, 2012). 본 연구에 이용된 모든 품종은 발아함에 따라 부착성은 증가하고 경도는 감소하여 부착성/경도 비율이 증가하였다(Table 3). 이는 발아가 현미의 거칠고 단단한 식감을 개선하는데 매우 효과적인 방법임을 증명한다. 밥쌀용 품종에서 부착성/경도 값은 친들 > 삼광 > 현품 > 미소미 순서였으나, 발아후에는 친들 > 미소미 > 현품 > 삼광 순서였다. 삼광은 발아현미 적합 품종으로 널리 알려져 있을 뿐만 아니라 이미 상업용 발아현미로 많이 이용되고 있는 품종이다. 하지만 기계적으로 측정된 식감을 기준으로 보면 친들이 취반용 현미 및 발아현미 품종으로 가장 적합하다고 판단된다. 또한 미소미 현미의 식감(부착성/경도 비율)은 밥쌀용 품종 중 가장 나빴으나 발아 후에는 대비품종인 삼광보다 뛰어났다. 이와 같은 결과로부터 본 연구에서 사용된 품종(친들, 미소미, 현품)은 기존 발아현미용 적합품종으로 보급되고 있는 삼광보다 취반 및 식감특성이 우수하여 신규 발아현미 가공용으로 보급이 가능할 것으로 보인다.

현미 및 발아현미의 찰기는 부착성과 유사한 경향을 보였다. 부착성과 마찬가지로 친들이 밥쌀용 품종 중에서 찰기가 가장 높았다. 미소미는 밥쌀용 품종 중에서 찰기가 가장 낮았으나 발아 후에는 대비품종인 삼광보다 높았다. 발아에 따른 부착성과 찰기의 증가는 발아 후 건조과정에서 발생하는 균열에 의하여 배유의 전분 일부가 용출되어 나오기 때문이다. 현미는 두꺼운 미강층이 배유(전분층)를 둘러싸고 있기 때문에 백미처럼 호화된 전분이 직접 외부로 드러나지 않는다. 따라서 백미보다 찰기 및 부착성이 낮을

수밖에 없다. 하지만 발아현미는 발아 후 건조 과정에서 발생하는 균열로 호화된 전분이 낱알 외부로 일부 유출되면서 밥의 부착성과 찰기를 증가시킨다. Srisang *et al.* (2010, 2011)은 발아 후 건조과정에서 일어나는 발아현미의 균열에 대하여 연구하였다. 발아 후 건조과정에서 발생하는 발아현미 내외부의 온도 및 수분함량 차이(구배)는 낱알 내부의 팽창계수, 밀도, 점도 등의 물성차이를 유발하며, 이는 낱알의 균열을 만들기에 충분한 스트레스를 유발한다(Srisang *et al.*, 2010). Srisang *et al.* (2011)은 건조동안 발생하는 발아현미의 균열은 밥의 경도 및 찰기에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 발아현미 건조 방법에 대한 심도 깊은 연구가 필요하다고 하였다.

발아는 현미의 경도와 부착성을 감소시키고 탄력성과 찰기를 증가시켰다. 이는 현미의 거친 식감이 발아에 의해 부드러운 식감으로 변화되었음을 의미한다. 물론 소비자의 기호도는 식감뿐만 아니라 식미 등 다양한 요인에 영향을 받기 때문에 식감만으로 발아현미 밥의 품질이 뛰어나다고 할 수는 없다. 하지만 현미가 취반밥으로 이용됨에 있어 가장 큰 단점으로 여겨지는 거친 식감과 낮은 가수율은 발아에 의하여 분명히 개선되었음을 본 연구를 통하여 알 수 있었다. 또한 식감과 함께 밥의 소비자 기호도에 큰 영향을 주는 발아현미의 식미에 대한 연구는 아직 부족한 실정이며 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

현미 및 발아현미 가루의 호화 점도

현미 및 발아현미 가루의 호화 점도는 신속점도계(Rapid Visco-Analyzer)로 측정되었으며, 결과는 Table 4와 Fig. 1에 나타났다. 실험에 사용된 4품종 현미의 최고점도, 최종점도, 호화개시온도는 각각 2653.0~2734.0 cp, 3197.3~3632.7 cp, 65.7~67.6°C로 품종에 따른 유의적인 차이는 있었지만 모든 품종이 전형적인 쌀가루의 호화양상을 보였다. 쌀 전분 및 가루의 치반점도는 쌀의 노화를 나타내는데 매우 중요한 요소이다. 네 품종의 치반점도는 1421.0~1642.7cp로 품종간 차이는 있었지만, 그 차이가 크지는 않았다.

4품종 발아현미의 최고점도, 최종점도, 호화개시온도는 각각 162.7~223.3 cp, 50.0~63.7 cp, 65.3~66.6°C이며, 모든 품종의 현미는 발아함에 따라 점도가 급격하게 감소하였다(Table 4, Fig. 1). 발아 가공용으로 많이 이용되고 있는 삼광 발아현미의 최고점도와 최종점도는 각각 223.3 cp, 63.5 cp로 일반현미의 8.2%, 2.0% 수준이었다. Xu *et al.* (2012)는 발아에 의해 현미 가루의 호화점도는 35% 감소하였지만, 분리된 전분에서는 오직 17%만 감소하였다고 보고하였다. 이는 발아에 따른 호화점도의 감소가 전분 이외

Table 4. Pasting properties of brown rice and germinated brown rice in different rice varieties.

Variety	Sample	Peak viscosity	Trough	Breakdown	Final viscosity	Setback	Pasting Temp. (°C)
<i>Samkwang</i>	BR	2,734.0±13.2 ^a	1,776.3±51.3 ^c	957.7±48.2 ^a	3,197.3±27.0 ^c	1,421.0±31.2 ^d	66.5±0.0 ^b
	GBR	223.3± 7.5 ^d	13.5± 5.0 ^e	209.8± 6.3 ^d	63.5±10.4 ^d	50.0±12.2 ^e	66.6±0.1 ^b
<i>Misomi</i>	BR	2,687.0±17.3 ^b	1,838.3± 5.8 ^b	848.7±11.5 ^b	3,481.0±48.5 ^b	1,642.7±49.7 ^a	67.6±0.0 ^a
	GBR	162.7± 5.5 ^f	14.3± 2.9 ^e	148.3± 8.1 ^e	63.7± 2.9 ^d	49.3± 2.9 ^e	66.5±0.1 ^b
<i>Chindeul</i>	BR	2,678.7±10.4 ^b	1,707.3±35.5 ^d	971.3±42.5 ^a	3,200.7±31.0 ^c	1,493.3±15.2 ^c	66.5±0.1 ^b
	GBR	203.3± 6.4 ^e	16.7± 2.9 ^e	186.7± 5.5 ^{de}	50.0± 8.7 ^d	33.3± 5.8 ^e	66.4±0.1 ^b
<i>Hyeonpum</i>	BR	2,653.0± 0.0 ^c	2,080.7± 2.9 ^a	572.3± 2.9 ^c	3,632.7± 5.8 ^a	1,552.0± 8.7 ^b	65.7±0.7 ^c
	GBR	196.0 ±8.7 ^e	16.7± 7.6 ^e	179.3±10.4 ^{de}	63.3± 2.9 ^d	46.7±10.4 ^e	65.3±0.1 ^c

^{a-g}Different letters in the same row indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$).

BR; brown rice, GBR; germinated brown rice.

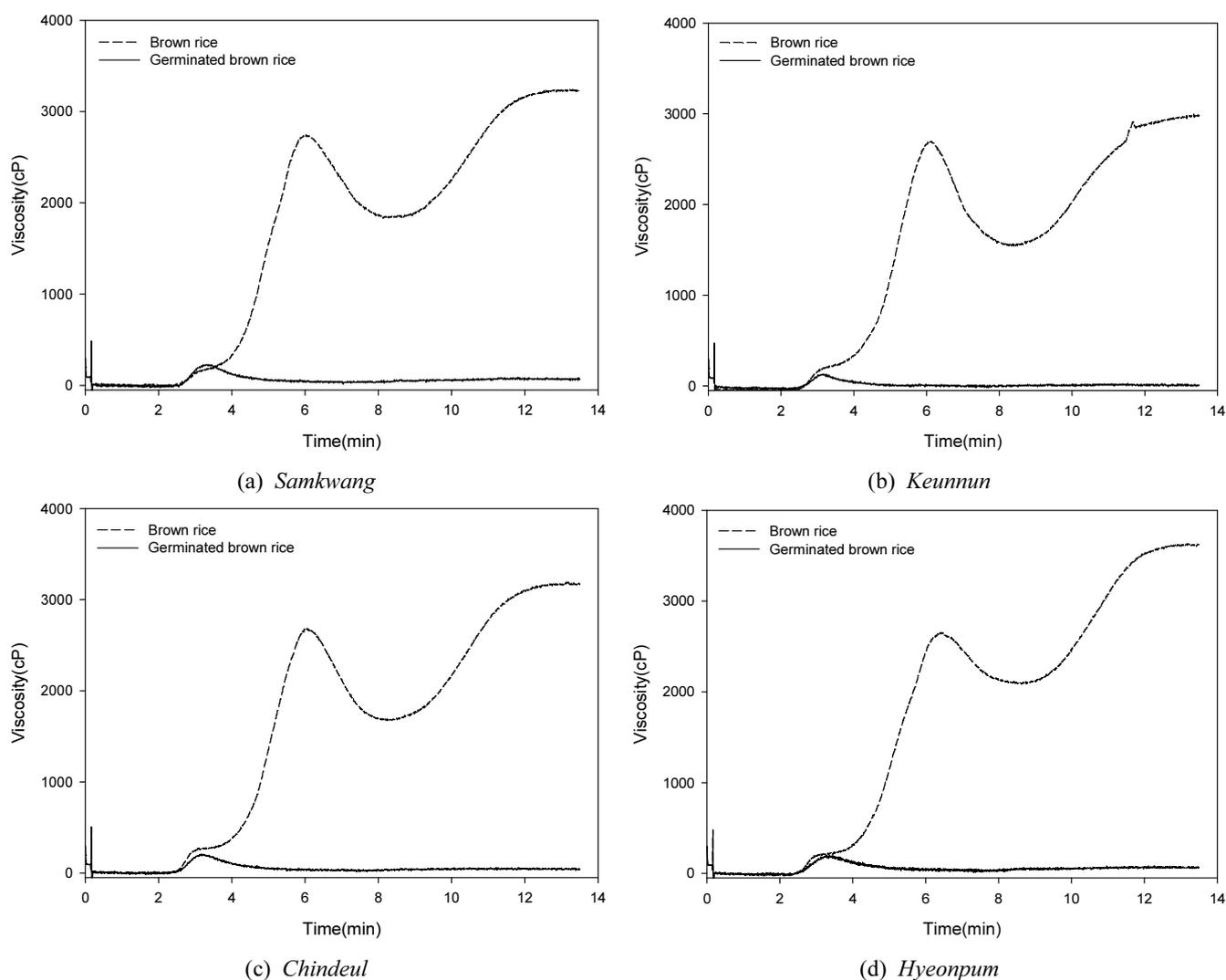


Fig. 1. Pasting viscosity of brown rice and germinated brown rice by different rice varieties.

의 다른 요소에도 영향을 받음을 의미한다.

곡류 가루의 호화점도는 전분함량과 구조(아밀로스/아밀로펙틴 비율, 아밀로펙틴 분자사슬 분포) 뿐만 아니라 단백질, 지질, 단당류, 인(phosphorus) 등 다양한 요소에 영향을 받기 때문에 급격한 점도 감소의 원인을 추측하는 것은 매우 힘든 일이다. 하지만 발아현미의 급격한 호화 점도 감소는 분해효소에 의한 전분 및 단백질의 저분자화에 의한 것으로 생각된다. 발아 동안 활성화된 전분 분해효소(α -amylase, β -amylase, α -glucosidase)는 전분을 가수분해할 것이며(Palmiano & Juliano, 1972; Moongngarm & Saetung, 2010), 이는 호화 점도의 감소에 큰 영향을 준다(Fincher, 1989).

단백질 분해효소도 발아과정동안 활성화되며 현미 내 단백질의 저분자화 및 이황화 결합(disulfate linkage)의 파괴를 유도한다. 단백질은 전분호화에서 전분과 함께 망상구조(network)를 형성하여 전분 입자가 팽창 후 파괴(breakdown)되는 것을 지연시킨다. 하지만 저분자화된 단백질은 망상구조 형성이 힘들기 때문에 스웰링(swelling)된 전분의 파괴 및 아밀로스 용출(amylose leaching)을 쉽게하고 RVA 상에서 최고 점도를 낮게 한다(Xie *et al.*, 2008). Xu *et al.* (2012)는 발아동안 활성화된 단백질 및 전분 분해효소에 의하여 전분표면의 단백질체(protein body)가 떨어져 나가고 공동(cavity)과 채널(channel)이 형성되는 것을 전자주사현미경으로 관찰하였다.

발아현미 가루는 발아에 의해 급격하게 낮아진 점도 때문에 노인식 및 환자식과 같은 가공식품의 주원료로 이용되기에 적합할 것이다. 또한 발아현미 가루는 현미가루와 비교하여 GABA 등의 기능성 성분을 다량 함유하고 있어 생리활성이 뛰어나지만, 발아에 따른 급격한 점도 감소는 빵이나 면과 같은 일부 가공 식품에 이용되기는 부적합할 수 있다. 따라서 발아현미 가루를 다양한 가공제품에 이용하기 위해서는 후처리를 활용한 점도 회복에 대한 연구 또한 진행되어야 할 것이다.

현미 및 발아현미의 전분 특성

현미 및 발아현미의 아밀로스 함량은 Table 5에 나타났다. 실험에 사용된 4품종(삼광, 미소미, 친들, 현품)의 현미와 발아현미의 아밀로스 함량은 각각 18.6~20.4%, 18.4~21.7%였으며, 삼광, 친들, 현품은 발아에 따라 아밀로스 함량이 유의적으로 증가하였다. Kim *et al.* (2012)는 발아함에 따라 현미의 아밀로스 함량이 증가한다고 보고하였다. 취반밥의 품질은 단백질 함량, 전분 함량, 아밀로스 함량, 아밀로펙틴 전분 사슬 분포 등 다양한 요소에 영향을 받으나 이들 중 아밀로스 함량은 특히나 중요한 요소로 알려져 있으며, 한국의

Table 5. Amylose content (%) of brown rice and germinated brown rice in different rice varieties.

	<i>Samkwang</i>	<i>Misomi</i>	<i>Chindeul</i>	<i>Hyeonpum</i>
BR	18.6±0.1 ^c	19.2±0.1 ^d	18.8±0.1 ^c	20.4±0.1 ^b
GBR	19.9±0.4 ^c	18.4±0.0 ^c	19.7±0.4 ^c	21.7±0.1 ^a

^{a-c}Different letters in the same row indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$).

BR; brown rice, GBR; germinated brown rice.

고품질 쌀 품종 선발기준에서 아밀로스 함량은 17~20%가 적당하다고 규정하고 있다(Park *et al.*, 2016). 삼광, 미소미, 친들의 현미 및 발아현미는 모두 해당 조건을 만족하였다.

현미 및 발아현미의 아밀로펙틴 분자사슬 분포는 HPAEC-PAD로 측정되었으며, 분자사슬의 길이에 따라 A사슬(DP 6-12), B1사슬(DP 13-24), B2사슬(DP 25-36), B3사슬(DP ≥ 37)로 분류하여 Table 6에 나타났다. 4품종 현미 및 발아현미의 아밀로펙틴 분자사슬은 B1사슬(DP 13-24) > A사슬(DP 6-12) > B2사슬(DP 25-36) = B3사슬(DP ≥ 37) 순서로 많이 존재하였다. You *et al.* (2014)는 자포니카 일부 품종에 대한 아밀로펙틴 분자사슬 분포에 대해서 연구하였으며, 우리와 유사한 결과를 보였다. 밀을 비롯한 다양한 식량자원에서도 아밀로펙틴의 단쇄사슬(A, B1 사슬) 비율이 장쇄사슬(B2, B3사슬)보다 높은 것으로 알려져 있다(Eliasson, 2004; Kowittaya & Lumdubwon, 2014).

4품종 모두에서 아밀로펙틴 분자사슬 평균길이는 발아에 의해 증가하는 경향을 보였다. 발아현미의 아밀로펙틴 구조에 대한 연구는 일부 연구자들에 의해 진행되었다(Lee *et al.*, 2016; Pinkaew *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2012; Oh *et al.*, 2012). Lee *et al.* (2016)은 발아에 의해 단쇄사슬(DP 6-24)의 비율이 증가한 반면 중합도 25 이상의 장쇄사슬의 비율은 감소하였다고 보고하였다. 이와 대조적으로 Pinkaew *et al.* (2016)과 Xu *et al.* (2012)는 발아함에 따라 단쇄 사슬(DP 6-24)의 비율이 감소하고 장쇄사슬의 비율이 증가하였다고 보고하였다. 이들은 발아과정에서 활성화된 전분분해효소가 아밀로펙틴 구조에 영향을 주며, 특히 전분입자의 겉면에 높은 비율로 존재하는 단쇄사슬이 주로 가수분해되기 때문에 단쇄사슬의 비율이 줄어든다고 보고하고 있다(Tester *et al.*, 2004). 하지만 아직은 발아에 따른 전분 구조의 변화에 대한 체계적인 연구가 부족한 실정이다. 전분은 현미의 물성과 영양성에 큰 영향을 미치기 때문에 발아에 따른 전분 변화 메커니즘에 대한 심도 깊은 연구가 발아현미 이용에 앞서 선행되어야 할 것이다.

Table 6. Amylopectin branched chain length distribution of brown rice and germinated brown rice in different rice varieties.

Variety	Sample	Average chain length	Distribution (%)			
			A chain (DP 6-12)	B1 chain (DP 13-24)	B2 chain (DP 25-36)	B3 chain (DP ≥ 37)
<i>Samkwang</i>	BR	20.3±0.1 ^{cd}	27.7±0.1 ^b	47.9±0.4 ^a	12.8±0.2 ^{ab}	11.5±0.3 ^d
	GBR	21.8±0.4 ^a	27.0±0.6 ^b	44.3±1.0 ^c	13.4±0.6 ^a	15.3±0.9 ^a
<i>Misomi</i>	BR	19.8±0.9 ^d	30.3±3.6 ^a	45.6±1.1 ^{bc}	12.4±1.1 ^{ab}	11.7±1.3 ^d
	GBR	20.3±0.0 ^{cd}	27.4±0.0 ^b	47.4±0.0 ^a	12.8±0.1 ^{ab}	12.3±0.1 ^{cd}
<i>Hyeonpum</i>	BR	20.4±0.0 ^{bcd}	27.8±0.0 ^b	46.7±0.2 ^{ab}	12.7±0.5 ^{ab}	12.8±0.3 ^{cd}
	GBR	20.2±0.1 ^{cd}	28.2±0.1 ^{ab}	46.9±0.5 ^{ab}	12.9±0.2 ^{ab}	12.0±0.3 ^{cd}
<i>Chindeul</i>	BR	20.8±0.1 ^{bc}	29.0±0.4 ^{ab}	45.3±0.3 ^{bc}	12.2±0.1 ^b	13.4±0.0 ^{bc}
	GBR	21.3±0.1 ^{ab}	28.3±0.9 ^{ab}	44.6±0.7 ^c	12.7±0.2 ^{ab}	14.5±0.0 ^{ab}

^{a-d}Different letters in the same row indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$). BR; brown rice, GBR; germinated brown rice.

적 요

본 연구에서는 취반용으로 적합한 삼광, 미소미, 친들, 현품 발아현미의 취반 및 식감특성을 조사함으로써 발아현미밥의 우수성 및 이용 가능성을 증명하고자 하였다.

1. 발아함에 따라 수침 수분흡수율이 유의적으로 증가하였다.
2. 취반에 따른 수분흡수율, 부피팽창율 및 용출고형분 함량은 품종간 큰 차이를 보였으며, 발아함에 따라 모두 증가하는 경향을 보였다. 이는 발아에 따라 취반 특성이 향상됨을 의미한다.
3. 발아현미밥은 현미밥과 비교하여 경도와 부착성이 낮았고 탄력성과 찰기는 높았다. 밥의 식감특성에서 매우 중요한 요소인 부착성/경도 비율은 실험에 사용된 모든 품종에서 증가하였으며, 이는 현미의 거칠고 딱딱한 식감이 발아에 의해 부드럽고 차진 식감으로 전환되었음을 의미한다.
4. 현미의 소화점도는 발아에 의해 급격하게 감소하였는데 이는 현미 혹은 전분 표면에 존재하는 단백질(protein body)가 발아과정에서 활성화된 단백질 분해효소에 의해 분해되기 때문으로 생각된다.
5. 전분특성(아밀로스 함량, 아밀로펙틴 분자사슬분포)은 발아에 따른 변화가 매우 작았을 뿐만 아니라 일괄된 변화양상도 관찰할 수 없었다.

본 연구를 통하여 삼광을 대비로 분석한 결과 신품종(친들, 미소미, 현품)은 모두 발아가 현미의 취반 및 식감특성

을 향상시키는데 효과적임을 알 수 있었으며, 금후 발아현미 가공용 적합품종으로 보급이 가능할 것으로 보인다. 따라서 이와 같은 결과가 발아현미, 나아가서 쌀의 이용 및 소비 촉진에 이바지할 것이다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호: PJ011676)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

Bhattacharya, K. R. and C. M. Sowbhagya. 1971. Water uptake by rice during cooking. *Cereal Sci. Today*. 16(12) : 420-424.

Champagne, E. T., W. E. Marshall, and W. R. Goynes. 1990. Effects of degree of milling and lipid removal on starch gelatinization in the brown rice kernel. *Cereal Chem.* 67 : 570-574.

Cho, D. H. and S. T. Lim. 2016. Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chem.* 196 : 259-271.

Desikachar, H. S. R., S. N. Raghavendra Rao, and T. K. Ananthachar. 1965. Effect of degree of milling on water absorption of rice during cooking. *J. Food Sci. Tech.* 2 : 110-112.

Eliasson, A. C. (Ed.). 2004. *Starch in food: Structure, function and applications*. CRC Press.

FAO. 2013. *FAO rice market monitor*. <<http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en>>. Accessed 19.04.17

Fincher, G. B. 1989. Molecular and cellular biology associated with endosperm mobilization in germinating cereal grains.

- Annu. Rev. Plant Biol. 40 : 305-346.
- Juliano, B.O. 1985. Rice: Chemistry and Technology (B.O. Juliano, Ed.). American Association of Cereal Chemists, Inc, St. Paul, Minnesota, USA.
- Kang, K-J. and I-H. Lho. 1998. Hydration and hot-water solubilization of milled rice during cooking. Korean J. Food Sci. Technol. 30 : 502-508.
- Khatoon, S. and A. G. Gopalakrishna. 2004. Fat-soluble nutraceuticals and fatty acid composition of selected Indian rice varieties. J. Am. Oil Chem. Soc. 81 : 939-943.
- Kim, Y. S., Y. T. Lee, and H. M. Seoi. 1999. Physicochemical properties of starches from waxy and non-waxy hull-less barleys. J. Korean Soc. Appl. Bi. 42 : 240-245.
- Kim, R-Y., C-S. Kim, and H-I. Kim. 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, D. J., S. K. Oh, J. H. Lee, M. R. Yoon, I. S. Choi, D. H. Lee, and Y. G. Kim. 2012. Changes in quality properties of brown rice after germination. Korean J. Food Sci. Technol. 44 : 300-305.
- Kim, H. W., S. K. Oh, D. J. Kim, M. R. Yoon, J. H. Lee, I. S. Choi, Y. G. Kim, and K. N. Cha. 2012. Changes in contents of nutritional components and eating quality of brown rice by pericarp milling. Korean J. Crop Sci. 57 : 35-40.
- Kim, J-Y. and S-H. Baek. 2012. Hydration and cooking properties of brown rice scratched with a knife. Korean J. Food Sci. Technol. 44 : 722-727.
- Kowittaya, C. and N. Lumdubwong. 2014. Molecular weight, chain profile of rice amylopectin and starch pasting properties. Carbohydr. Polym. 108 : 216-223.
- Lee, M-J., Y-K. Kim, J-W. Seo, J-G. Kim, and H-S. Kim. 2009. Cooking and pasting characteristics of non-waxy and waxy pearled barley products from Korea. Korean J. Food Preserv. 16 : 661-668.
- Lee, K-H., S-D. Yoon, J-H. Lee, Y-J. Won, I. Choi, H-Y. Park, K-S. Woo, and S-K. Oh. 2016. Studies on the degree of polymerization of amylopectin and texture analysis test of brown rice after germination. Korean J. Crop Sci. 61 : 1-8.
- Medcalf, D. G. and K. A. Gilles. 1965. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. Cereal Chem. 42 : 558-568.
- Moongngarm, A. and N. Saetung. 2010. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. Food Chem. 122 : 782-788.
- Moongngarm, A. 2011. Influence of germination conditions on starch, physicochemical properties, and microscopic structure of rice flour. International Conference on Biology, Environment and Chemistry. 1 : 78-82.
- Müller-Fischer, N. 2013. Agricultural sustainability. In G. S. Bhullar and N. K. Bhullar (Eds.), Nutrient-focused processing of rice (pp. 197-220). London: Elsevier Inc.
- Nakamura, S., K. Suzuki, and K. Ohtsubo. 2009. Characteristics of bread prepared from wheat flours blended with various kinds of newly developed rice flours. J. Food Sci. 74 : E121-E130.
- Nishinari, K. 2004. Rheology, food texture and mastication. J. Texture Stud. 35 : 113-124.
- Nonogaki, H., G. W. Bassel, and J. D. Bewley. 2010. Germination—still a mystery. Plant Sci. 179 : 574-581.
- Oh, S-K., D-J. Kim, A. Cheun, M-R. Yoon, H-C. Hong, I-S. Choi, Y-J. Oh, K-B. Oh, and Y-K. Kim. 2010. Quality evaluation of Juanbyeo as Aseptic-packaged cooked rice. Korean J. Food Sci. Technol. 42 : 721-726.
- Oh, S-K., J-H. Lee, M-R. Yoon, D-J. Kim, D-H. Lee, I-S. Choi, J-S. Lee, I-H. Kim, and J-S. Lee. 2012. Physicochemical properties of germinated brown rice. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41 : 963-969.
- Oh, S-K., J-H. Lee, Y-J. Won, D-H. Lee, and C-K. Kim. 2014. Changes of physicochemical properties according to the shoot length in germinated brown rice. Korean J. Crop Sci. 59 : 223-229.
- Ohtsubo, K., K. Suzuki, Y. Yasui, and K. Kasumi. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. J. Food Comp. Anal. 18 : 303-316.
- Okabe, M. 1979. Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality. J. Texture Stud. 10 : 131-152.
- Ong, M. H. and J. M. V. Blanchard. 1995. Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. J. Cereal Sci. 21 : 251-260.
- Palmiano, E. P. and O. J. Juliano. 1972. Biochemical changes in the rice grain during germination. Plant Physiol. 49 : 751-756.
- Park, J-W., S. Chae, and S. Yoon. 2009. The effects of steeping and cooking pressure on qualities of cooked brown rice. Korea J. Food Culture. 24 : 69-76.
- Park, H-Y., D-S. Shin, K-S. Woo, E-Y. Sim, H-J. Kim, S-K. Lee, Y-J. Won, S-B. Lee, and S-K. Oh. 2016. Mechanical quality evaluation of rice cultivars that could potentially be used to produce processed cooked rice. Korean J. Crop Sci. 61 : 145-152.
- Pinkaew, H., M. Thongngam, Y. J. Wang, and O. Naivikul. 2016. Isolated rice starch fine structures and pasting properties changes during pre-germination of three Thai paddy (*Oryza sativa* L.) cultivars. J. Cereal Sci. 70 : 116-122.
- Reddy, K. R., S. Z. Ali, and K. R. Bhattacharya. 1993. The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. Carbohydrate polym. 22 : 267-275.
- Roy, P., T. Ijiri, H. Okadome, D. Nei, T. Orikasa, N. Nakamura,

- and T. Shiina. 2008. Effect of processing conditions on overall energy consumption and quality of rice (*Oryza sativa* L.). *J. Food Eng.* 89 : 343-348.
- Shin, D-S., H-Y. Kim, H-C. Hong, S-G. Oh, and S-M. Yoo. 2014. The effects on the quality of Tteokbokki tteok by different types cultivars of Rice. *Korean J. Food Cook. Sci.* 30 : 271-277.
- Srisang, N., S. Prachayawarakorn, W. Varanyanond, and S. Soponronnarit. 2010. Germinated brown rice drying by hot air fluidization technique. *Dry. Technol.* 29 : 55-63.
- Srisang, N., W. Varanyanond, S. Soponronnarit, and S. Prachayawarakorn. 2011. Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice. *J. Food Eng.* 107 : 385-392.
- Tester, R. F., J. Karkalas, and X. Qi. 2004. Starch—composition, fine structure and architecture. *J. Cereal Sci.* 39 : 151-165.
- Wakabayashi, K., K. Soga, and T. Hoson. 2012. Phenylalanine ammonia-lyase and cell wall peroxidase are cooperatively involved in the extensive formation of ferulate network in cell walls of developing rice shoots. *J. Plant Physiol.* 169 : 262-267.
- Watanabe, M., T. Maeda, K. Tsukahara, H. Kayahara, and N. Morita. 2004. Application of pregerminated brown rice for breadmaking. *Cereal Chem.* 81 : 450-455.
- Xie, L., N. Chen, B. Duan, Z. Zhu, and X. Liao. 2008. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *J. Cereal Sci.* 47 : 372-379.
- Xu, J., H. Zhang, X. Guo, and H. Qian. 2012. The impact of germination on the characteristics of brown rice flour and starch. *J. Sci. Food. Agr.* 92 : 380-387.
- You, S-Y., E-J. Lee, and H-J. Chung. 2014. Study of molecular and crystalline structure and physicochemical properties of rice starch with varying amylose content. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46 : 682-688.
- Yoon, M-R., J-S. Lee, J-H. Lee, J. Kwak, A. Chun, Y-J. Won, and B-K. Kim. 2014. Comparison of textural properties in various types of brown rice. *Korean J. Food & Nutr.* 27 : 294-301.