

## 유색미 품종별 전분 구조 및 이화학적 특성

박지영<sup>1,†</sup> · 오성환<sup>2</sup> · 한상익<sup>2</sup> · 이유영<sup>1</sup> · 이병원<sup>1</sup> · 함현미<sup>1</sup> · 최용환<sup>1</sup> · 오세관<sup>1</sup> · 조준현<sup>2</sup> · 송유천<sup>2</sup>

## Starch Structure and Physicochemical Properties of Colored Rice Varieties

Ji-Young Park<sup>1,†</sup>, Sung-Hwan Oh<sup>2</sup>, Sang-Ik Han<sup>2</sup>, Yu-Young Lee<sup>1</sup>, Byung-Won Lee<sup>1</sup>, Hyeonmi Ham<sup>1</sup>, Yong Hwan Choi<sup>1</sup>, Sea-Kwan Oh<sup>1</sup>, Jun Hyeon Cho<sup>2</sup>, and You Chun Song<sup>2</sup>

**ABSTRACT** We investigated the physicochemical properties and starch structure of various rice varieties including 15 colored cultivars. NKHC showed the highest level of protein, lipid, and total dietary fiber levels. Reddish brown rice showed higher lipid content than that in black rice cultivars. Apparent amylose content of waxy and non-waxy colored rice varieties was within the range of 3~5% and 15~18%, respectively. IP exhibited the highest total starch (TS) content, whereas, NKHC and HJJ showed lower TS content than that in other cultivars. Pasting temperature of all colored rice cultivars, except IP, was about 68°C. Peak viscosity of IP, JJJ, Hong, and GGHM showed high values of 138, 130, 128, and 124, respectively. All the colored rice cultivars presented A-type X-ray diffraction pattern and polygonal shapes of starch granules were observed using scanning electron micrographs (SEM). Major groups of amylopectin chain lengths were B (12 < DP ≤ 24) and A (DP ≤ 12). SMHC showed the highest B chain content and the lowest A chain content ( $P < 0.05$ ). These experimental results provided useful information for scientists and the food industry regarding colored rice starches.

**Keywords** : colored rice, physicochemical characteristics, starch, varieties

**전분(starch)**은 식물체가 광합성을 통해 생합성하여 에너지를 저장하는 다당류로서, 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 구성되며, 식물의 종에 따라 전분의 크기와 형태가 다양하다. 아밀로오스는 포도당  $\alpha$ -(1, 4)-glycosidic 결합으로 연결된 직쇄사슬의 중합체이며, 아밀로펙틴은 포도당(D-glucose) 분자들이  $\alpha$ -(1, 4)-glycosidic 결합으로 이루어진 주쇄(backbone)상에 약 4~5%의  $\alpha$ -(1, 6)-glycosidic 결합을 분지점(branching point)으로 갖고 있는 생체고분자이다(Aberle *et al.*, 1994; Bello-Perez *et al.*, 1998). 아밀로펙틴의 분지도와 사슬길이는 전분의 결정성에 영향을 주며, 호화온도가 높은 쌀이 낮은 쌀보다 아밀로펙틴의 분자크기가 크다고 보고되어 있다(Juliano, 1982). 아시아의 주요 식량작물인 쌀(*Oryza sativa* L.)의 식미의 특성은 단백질이나 지질 함량에 의하여 영향을 받는다고 보고되었으나, 전분이 쌀의 주요구성성분이므로, 쌀 품종간의 품질차이를 구명하기 위해 전분 호화 및

이화학적 특성 연구가 많이 시도되었다(Shin *et al.*, 1986, Bhattacharya *et al.*, 1978; Kalichevsky *et al.*, 1990).

최근 가공용 및 기능성 품종과 같은 다양한 쌀 품종개발과 더불어 재배방법 개선 등 농업의 발전으로 작물 생산성은 향상되었다(Kim, 2010; Kim *et al.*, 2010). 그러나 식생활이 고급화와 다양화되면서 우리나라 국민의 쌀 소비량은 80년대 120 kg에서 2015년 62.9 kg로, 매년 평균 3 kg씩 감소하는 추세이다(Choi *et al.*, 2006; Statistics Korea, 2016). 이에 따라 쌀의 소비를 증가시키기 위해 밥쌀용뿐만 아니라 가공제품개발 등 용도 다양화를 위한 노력이 이루어지고 있다(Lee, 2013).

건강기능성에 대한 사회적인 관심 증가로 쌀을 현미 상태로 섭취하는 것뿐만 아니라 현미 과피에 색소를 함유한 유색미 소비 또한 크게 증가하였다(Ryu *et al.*, 2005). 품종에 따라 과피의 색이 적갈색, 흑자색, 녹색 등에 이르는 다

<sup>1</sup>국립식량과학원 수확후이용과 (Crop Post-harvest Technology Research Div. NICS, RDA, Suwon 16616, Republic of Korea)

<sup>2</sup>국립식량과학원 논이용작물과 (Paddy Crop Research Div. NICS, RDA, Miryang 50424, Republic of Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Ji-Young Park; (Phone) +82-31-695-0622; (E-mail) [pjy2812@korea.kr](mailto:pjy2812@korea.kr)

<Received 25 June, 2016; Revised 30 August, 2016; Accepted 30 August, 2016>

양한 유색미들은 다양한 천연색소를 함유하고 있다(Kang *et al.*, 2005). 유색미는 보통 일반백미에 비해 단백질, 비타민, 미네랄 등 영양적 가치가 월등히 높다고 보고되어 있으며 이화학적 특성과 가공적성을 평가하기 위해 식혜와 유과 원료 및 혼용밥의 취반특성에 관한 연구들이 수행되었다(Koh *et al.*, 1996; Gu *et al.*, 1992; Kim *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2002; Kimet *al.*, 1998). 유색미 전분에 관련된 연구는 진도지역 흑미, 신규 계통에 한정하여 수행되었지만, 유색미의 가공용 소재 탐색 및 용도 다양화를 위한 품종별 전분의 특성비교에 관해서는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 재배되고 있는 흑미 및 적미의 찰벼와

메벼 품종간 전분의 이화학적, 구조적 특성을 비교하여 유색미 품종의 용도 다양화를 위한 기초자료로서 활용하고자 한다.

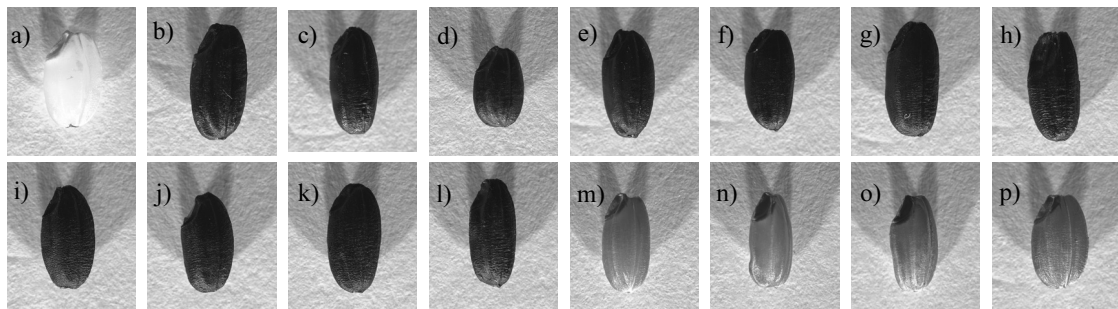
**재료 및 방법**

**실험재료**

본 실험에 사용된 유색미는 총15종으로서 Table 1에 나타내었다. 종피에 색이 있는 유색미는 보통 현미 상태로 가공하거나, 섭취하기 때문에 이러한 유색미 이용특성을 반영하여 현미자체를 시험재료로 이용하였다. 유색미 전분특

**Table 1.** Various colored rice cultivars used in this study.

	Type of pericarp color	Rice cultivars	Maturing type	The number
Non - waxy	White	Ilpum (IP)	mid-late	1
		Shintoheugmi (STHM)	mid-late	
		Joeunheugmi (JEHM)	early	
	Black	Heuggwang (HG)	medium	6
		Heugseol (HS)	medium	
		Heuginjubyeo (HJJ)	early	
		Heughyang (HH)	mid-late	
	Reddish - brown	Geonganghongmi (GGHM)	mid-late	3
		Jeogjinju (JJJ)	early	
		Hongjinju (Hong)	medium	
Waxy	Black	Nunkeunheugchal (NKHC)	early	5
		Shinongheugchal (SNHC)	mid-late	
		Shinmyeongheugchal (SMHC)	mid-late	
		Josaengheugchal (JSHC)	early	
		Cheongpungheukchal (CPHC)	mid-late	
Reddish - brown	Jeogjinjuchal (JJJC)	early	1	
Total				16



**Fig. 1.** Grain shape and color of 16 rice varieties. a) IP, b) STHM, c) JEHM, d) HG, e) HS, f) HJJ, g) HH, h) NKHC, i) SNHC, j) SMHC, k) JSHC, l) CPHC, m) GGHM, n) JJJ, o) JJJC, and p) Hong.

성을 비교하기 위해 대조품종으로 일반 백미인 일품을 현미상태로 분석하여 총 16품종을 시험재료로 이용하였다. 유색미 15품종 중 메벼로는 신토흑미(STHM), 조은흑미(JEHM), 흑광(HG), 흑설(HS), 흑진주(HJJ), 흑향(HH)으로 흑미 6종, 적미는 건강홍미(GGHM), 적진주(JJJ), 홍진주(HJJ)로 3품종을 분석하였다. 찰벼로는 눈큰흑찰(NKHC), 신농흑찰(SNHC), 신명흑찰(SMHC), 조생흑찰(JSHC), 청풍흑찰(CPHC) 등 흑미 5종, 적미는 적진주찰(JJJC) 1종을 사용하였다. 적진주찰은 종피가 적색인 국내 유일한 찰벼이다(Yang *et al.*, 2012). 본 연구재료는 농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부에서 2014년에 표준재배법에 의하여 생산되었다(Fig. 1). 조생종은 각 품종 출수 후 45일에 수확하였고, 중만생종은 각 품종 출수 후 50일에 수확하였다. 품종별 생태형은 Table 1에 나타내었다. 분석시료 조제는 정조를 건조기에서 40°C 72시간 건조시킨 후, 왕겨를 제거한 현미를 분쇄하여 냉장 보관하며 분석에 사용하였다.

#### 일반성분 및 식이섬유 함량

유색미의 일반성분인 수분, 회분, 조단백질, 조지방을 AOAC 방법에 따라 분석하였다. 수분정량은 상압건조방법으로 105°C에서 건조하여 정량하였고, 조회분은 600°C 직접회화법으로 측정하였다. 조지방은 Soxhlet 추출기(Soxtec System HT 1043 extraction unit, Foss Tecator)를 사용하여 diethyl ether로 추출하여 정량하였으며, 조단백질은 semimicro-Kjeldahl 법으로 자동 단백질 분석기(Kjeltec 2400 AUT, Foss Tecator)로 분석하였다. 식이섬유 분석은 AOAC 방법에 의한 효소중량법으로 불용성식이섬유(IDF), 수용성식이섬유(SDF)를 더하여 총식이섬유(TDF)로 나타내었다(AOAC, 2000).

#### 겉보기 아밀로오스, 가용성전분, 저항전분, 총 전분 함량

겉보기 아밀로오스 함량(apparent amylose)은 비색정량법에 따라 시료 100 mg에 95% 에탄올과 1N sodium hydroxide를 가한 후 호화시킨 전분 호화액에 1N acetic acid와 0.2% I<sub>2</sub>-KI 용액을 첨가하여 요오드 정색반응 후 분광광도계를 통한 620 nm파장에서의 흡광도를 측정하였다(Juliano, 1985). 가용성, 저항전분, 총전분 함량은 AOAC 방법에 의한 Megazyme kit을 Megazyme International Ireland Ltd. (Wicklow, Ireland)에서 구입하여 측정하였다(McCleary *et al.*, 2002). 시료 100 mg에 pancreatin  $\alpha$ -amylase로 37°C에서 16시간 반응하였고, 침전물에 2M KOH 용액을 첨가하여 분산 및 용해시켰다. pH 3.8인 1.2 M sodium acetate buffer와 amyloglucosidase을 첨가하여 50°C에서 30분 반응시킨 후 가수분해된 glucose양에 따라 가용성 전분과 저항전분을 각각 환

산하여 구하였다. 총전분 함량은 가용성 전분과 저항전분 함량의 값을 더하여 계산하였다.

#### 신속점도분석기(RVA)에 의한 호화 특성

유색미 쌀가루의 호화특성은 신속점도측정기(Rapid Viscosity Analyzer, Model RVA-4, Newport Scientific Pty, Ltd, Warriewood, Australia)를 이용하여 현미가루 3 g에 증류수 25 mL을 가하여 측정하였다. 시료 3 g을 25의 증류수에 분산시켜 처음 1분간은 50°C로 유지시킨 후, 95°C로 12°C/min의 가열속도로 가열하고 95°C에서 2분 30초간 유지시킨 후 다시 50°C로 12°C/min의 속도로 냉각시켜 2분간 유지시키면서 점도를 측정하였다. RVA viscogram으로부터 최고(peak), 최저(trough), 최종(final), 강하(break down), 치반(setback) 점도, 호화시간(peak time) 및 호화온도(pasting temp)를 산출하였으며, 점도 단위는 Rapid Viscosity Unit (RVU)로 표시하였다.

#### 전분 입자 외형관찰

유색미의 전분 입자(granule)를 관찰하기 위해 종자를 절단하고, 종자 단면을 금으로 도금하여 전도성을 갖게 한 후 주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM-3000, Hitachi, Japan)을 이용하여 진공상태에서 1000배 확대하여 전분 표면 및 입자 구조를 관찰하였다.

#### X선 회절기를 이용한 결정구조 특성

쌀 전분의 결정 구조는 X-선 회절기(X-ray diffractometer, D8 ADVANCE with DAVINCI, BRUKER, German)를 이용하여 분석하였다. 기기분석 조건은 다음과 같다. 검출기는 LYNXEYE XE를 이용하였고, generator: 40 kV, 40 mA로 회절각도는 (2 $\theta$ ) 3-50° scanning speed: 5.0 sec/step, wavelength ( $\lambda$ ): Cu ka1 - 1.5418 Å로 회절각도의 피크위치와 높이로부터 결정형을 비교하였다.

#### 아밀로펙틴의 사슬길이 분석

아밀로펙틴사슬길이 분포는 HPAEC-PAD (high performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detection)으로 분석하였다(Hanashiro *et al.*, 1996). 시료 6 mg에 90% methanol 처리 후, 중탕 가열한 호화액에 sodium azide 용액과 600 mM sodium acetate buffer (pH4.4), isoamylase를 첨가하여 37°C에서 24시간 반응 후 분석용으로 사용하였다. 분석에 사용한 컬럼은 CarboPac TMPA-1 column (2.0 × 250 mm, Dionex, USA), 이동상 용매는 150 mM sodium hydroxide와 500 mM sodium acetate를 분당 1.0 ml의 유

속으로 흘러 분리하였고, 기체는 질소를 사용하였다.

### 통계처리

자료분석은 SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) PC package를 이용하였다. 실험결과는 2번 이상 반복값을 구하여 평균±표준편차로 나타내었으며, 각 변수에 대해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 사후검정으로는 Duncan's multiple range test를 적용하였으며,  $\alpha=0.05$  수준에서 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 일반성분 및 식이섬유 함량

국내에서 재배되는 유색미 품종별 일반성분 함량은 Table 2와 같다. 일품과 유색미 15종 현미가루의 수분함량은 10.35~11.84%의 범위를 보였다. 조단백질 함량은 흑진주, 흑광, 눈큰흑찰. 건강홍미 순으로 높았고, 각각 8.58, 8.53, 8.27, 8.08%의 함량을 나타내었다. Fitzgerald *et al.* (2006)에 의하면 쌀 단백질의 함량이 높은 쌀이 낮은 쌀에 비해 경도가 높다고 하였고, 이는 유색미 품종별 물리적 특성 및 가공적성에 영향

을 줄 것으로 판단된다. 조지방 함량은 1.52~2.88%의 분포를 나타내었으며, 적진주찰, 조생흑찰, 눈큰흑찰 순으로 높은 함량을 보였다. 지방함량이 높은 쌀은 모두 찰벼로서 적미품종인 건강홍미, 적진주, 홍진주가 전체적으로 일품과 흑미 메벼인 신토흑미, 조은흑미, 흑광, 흑설, 흑진주, 흑광에 비해 지방함량이 높은 경향을 나타내었다. 흑미의 미강에 대한 연구는 많이 되어있으나, 적미의 성분 구명에 대한 연구는 미흡하여 향후 적미의 영양성분구명에 대한 추가 연구가 필요하다. 회분은 일품과 모든 유색미 품종에서 1%대의 함량을 나타내었다. 쌀가루의 총 식이섬유 조성은 불용성 식이섬유(IDF)가 거의 대부분을 차지하고, 수용성 식이섬유(SDF)는 1%미만 함유를 보였다. 보통 백미가루는 3% 이하를 함유한다고 보고되었지만, Table 2의 결과에 의하면 백미품종인 일품 현미가 4.29%로 가장 낮았고, 유색미 품종들은 6~9% 식이섬유를 함유하였다. 이는 Lee *et al.* (1988)이 현미가 백미에 비해 2배 가량의 식이섬유를 함유한다고 하였기 때문에 백미가루에 비해 백미 품종이라 하더라도 일품 현미의 식이섬유 함량이 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한 Lee *et al.* (2006)이 녹색과 흑자색의 유색미가 흰색에 비해 높은 식이섬유 함량을 나타낸 것과 같이

**Table 2.** General analysis (%) of colored rice varieties.

	Moisture	Crude protein	Crude fat	Ash	Diatery fiber <sup>2)</sup>		
					IDF	SDF	TDF
IP	11.33 <sup>bc</sup>	6.20±0.01 <sup>h</sup>	2.09±0.03 <sup>ef</sup>	1.17±0.00 <sup>i</sup>	3.78 <sup>g</sup>	0.51 <sup>b</sup>	4.29 <sup>f</sup>
STHM	10.66 <sup>fg</sup>	7.43±0.00 <sup>e</sup>	2.14±0.04 <sup>def</sup>	1.24±0.00 <sup>h</sup>	5.66 <sup>f</sup>	0.53 <sup>b</sup>	6.19 <sup>e</sup>
JEHM	10.66 <sup>fg</sup>	7.45±0.01 <sup>e</sup>	2.27±0.14 <sup>cde</sup>	1.23±0.01 <sup>h</sup>	5.71 <sup>f</sup>	0.47 <sup>c</sup>	6.19 <sup>e</sup>
HG	10.98 <sup>de</sup>	8.53±0.08 <sup>a</sup>	1.52±0.27 <sup>g</sup>	1.27±0.01 <sup>fg</sup>	6.57 <sup>d</sup>	0.31 <sup>d</sup>	6.89 <sup>d</sup>
HS	11.10 <sup>cde</sup>	8.23±0.12 <sup>b</sup>	1.70±0.21 <sup>g</sup>	1.59±0.00 <sup>a</sup>	7.56 <sup>b</sup>	0.12 <sup>f</sup>	7.68 <sup>c</sup>
HJJ	10.35 <sup>h</sup>	8.58±0.00 <sup>a</sup>	1.65±0.06 <sup>g</sup>	1.37±0.01 <sup>d</sup>	6.87 <sup>c</sup>	0.17	7.04 <sup>c</sup>
HH	11.27 <sup>bcd</sup>	7.16±0.04 <sup>f</sup>	1.98±0.04 <sup>f</sup>	1.27±0.02 <sup>fg</sup>	7.08 <sup>bc</sup>	0.11 <sup>f</sup>	7.19 <sup>c</sup>
NKHC	11.80 <sup>a</sup>	8.27±0.03 <sup>b</sup>	2.83±0.08 <sup>a</sup>	1.46±0.00 <sup>b</sup>	9.53 <sup>a</sup>	0.12 <sup>f</sup>	9.65 <sup>a</sup>
SNHC	11.84 <sup>a</sup>	6.79±0.01 <sup>g</sup>	2.41±0.02 <sup>bcd</sup>	1.33±0.00 <sup>c</sup>	7.98 <sup>b</sup>	0.44 <sup>c</sup>	8.42 <sup>b</sup>
SMHC	11.72 <sup>a</sup>	8.00±0.04 <sup>c</sup>	2.65±0.07 <sup>ab</sup>	1.41±0.00 <sup>c</sup>	7.07 <sup>bc</sup>	0.67 <sup>a</sup>	7.74 <sup>c</sup>
JSHC	11.24 <sup>cde</sup>	7.21±0.04 <sup>f</sup>	2.84±0.03 <sup>a</sup>	1.29±0.00 <sup>fg</sup>	7.85 <sup>b</sup>	0.63 <sup>a</sup>	8.48 <sup>b</sup>
CPHC	11.58 <sup>ab</sup>	7.14±0.06 <sup>f</sup>	2.40±0.05 <sup>bcd</sup>	1.30±0.01 <sup>ef</sup>	7.22 <sup>b</sup>	0.17 <sup>ef</sup>	7.38 <sup>cd</sup>
GGHM	11.76 <sup>a</sup>	8.08±0.08 <sup>c</sup>	2.30±0.02 <sup>cde</sup>	1.18±0.01 <sup>i</sup>	6.83 <sup>c</sup>	0.12 <sup>f</sup>	6.95 <sup>d</sup>
JJJ	10.43 <sup>gh</sup>	7.41±0.09 <sup>e</sup>	2.51±0.16 <sup>bc</sup>	1.27±0.00 <sup>g</sup>	6.59 <sup>d</sup>	0.14 <sup>f</sup>	6.73 <sup>d</sup>
JJC	11.33 <sup>bc</sup>	7.44±0.06 <sup>e</sup>	2.88±0.06 <sup>a</sup>	1.29±0.05 <sup>fg</sup>	6.59 <sup>d</sup>	0.14 <sup>f</sup>	6.73 <sup>d</sup>
Hong	10.93 <sup>ef</sup>	7.79±0.03 <sup>d</sup>	2.41±0.23 <sup>bcd</sup>	1.29±0.02 <sup>fg</sup>	6.08 <sup>e</sup>	0.21 <sup>e</sup>	6.29 <sup>e</sup>

<sup>1)</sup>Means with different letters (a-k) within a column are significantly different ( $P < 0.05$ ) by using Duncan's multiple range test.

<sup>2)</sup>Insoluble dietary fiber (IDF), soluble dietary fiber (SDF), and total dietary fiber (TDF) content were analyzed using the AOAC method 991.43 (2000).

본 연구에서도 유색미가 일품에 비해 높은 식이섬유 함량을 나타내었고, 그 중 눈큰흑찰이 9.65%로 가장 높았다. Hinton *et al.* (1948)에 의하면 찌눈이 종자의 2~3%만 차지하지만 지질, 단백질, 비타민, 무기성분 함량이 배유보다 높다고 보고가 되어있으므로 거대배 품종인 눈큰흑찰의 지방 함량이 다른 품종에 높다고 생각되며, 식이섬유와의 관계에 대해서는 좀 더 세밀한 연구가 필요하다(Juliano, 1985).

**겉보기 아밀로오스, 가용성전분, 저항전분, 총 전분 함량**

국내 재배되는 품종별 겉보기 아밀로오스 및 가용성전분, 저항전분, 총 전분 함량을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 일반적으로 대부분 아밀로펙틴으로 이루어져있는 것을 찹쌀이라고 하고, 일반 멥쌀은 약 20% 아밀로오스를 함유하고 있다(Kim *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 2011). 본 연구결과에서도 찹벼는 3~5%, 메벼는 10%대의 아밀로오스 함량을 나타내었다. Lee *et al.* (2013)이 국내 쌀 품종별 아밀로스 함량을 보고한 연구결과에서 일품은 21%로 나타내었는데, 이는 Kim *et al.* (2004)의 지역별 유통 쌀의 품질비교를 검토한 논문보다 2%가량 높게 나타났다. 본 연구결과에서는 일품의 아밀로스 함량은 17.48%였고, Lee *et al.* (2013)의 선행 결과보다 일품아밀로스 함량이 약 3% 정도 낮게 측정

되었다. 이는 본 실험에서는 유색미 품종과 비교하기 위해 일품을 현미상태로 분석하였기 때문에 백미로 분석한 선행 연구결과보다 낮게 나타났다고 판단되며, 선행 연구에서 조사된 유색미 품종결과와는 비슷하거나 1~2%가량 낮은 결과를 나타내었다.

유색미의 유용소재 탐색을 위한 전분조성을 분석하였는데, 가용성 전분(비저항전분), 저항전분, 이 2가지를 더한 것을 총 전분 함량으로 나타내었다. 저항전분(Resistant starch, RS)은 건강한 사람의 소장에서 흡수되지 못하는 전분과 전분분해산물이라고 1990년 정의되었다(EUREST, 1992). 일품과 유색미 전체 품종이 1%미만의 저항전분을 함유하였고, 전분 함량의 거의 대부분이 산이나 효소에 의해 가수분해가 잘되는 가용성 전분이었다. 일품은 가용성 전분이 79.9%로 가장 높은 함량을 나타내었으며 가장 낮은 눈큰흑찰 보다 9.09% 높았다. 총 전분 함량이 일품, 신농흑찰, 청풍흑찰 순으로 높았고, 각각 80.00, 77.62, 76.13%를 함유하였다. 적미에서는 건강홍미가 75.59%로 가장 높았고, 그 외 3품종은 73%를 함유하였다. 총 전분함량이 가장 낮은 품종은 눈큰흑찰과 흑진주로 각각 70.93, 71.68%를 나타내었다. 눈큰흑찰은 눈이 다른 품종에 비해 커서 단백질, 지질, 식이섬유의 조성이 높은 경향이였기 때문에 상대적으로 전분

**Table 3.** Apparent amylose, soluble starch, resistant starch and total starch content of colored rice varieties.

	Amylose	Soluble starch	Resistant starch	Total starch <sup>2)</sup>
IP	17.48±0.98 <sup>ab1)</sup>	79.9±1.52 <sup>a</sup>	0.1±0.01 <sup>defg</sup>	80.00±1.53 <sup>a</sup>
STHM	17.84±0.55 <sup>a</sup>	74.24±0.71 <sup>bcd</sup>	0.12±0.02 <sup>bcd</sup>	74.36±0.73 <sup>bcd</sup>
JEHM	14.67±1.55 <sup>c</sup>	73.65±0.89 <sup>bcd</sup>	0.14±0.02 <sup>abcd</sup>	73.79±0.91 <sup>bcd</sup>
HG	15.95±1.70 <sup>bc</sup>	72.37±0.19 <sup>cde</sup>	0.16±0.01 <sup>ab</sup>	72.53±0.20 <sup>cde</sup>
HS	15.15±1.13 <sup>c</sup>	73.67±0.07 <sup>bcd</sup>	0.11±0.01 <sup>cdef</sup>	73.78±0.07 <sup>bcd</sup>
HJJ	15.41±0.75 <sup>c</sup>	71.56±1.16 <sup>de</sup>	0.12±0.03 <sup>bcd</sup>	71.68±1.18 <sup>de</sup>
HH	18.07±1.43 <sup>a</sup>	72.96±0.03 <sup>cde</sup>	0.14±0.04 <sup>abcd</sup>	73.10±0.07 <sup>cde</sup>
NKHC	4.29±0.70 <sup>de</sup>	70.81±0.6 <sup>e</sup>	0.12±0.02 <sup>bcd</sup>	70.93±0.62 <sup>e</sup>
SNHC	4.20±0.08 <sup>de</sup>	77.55±2.49 <sup>ab</sup>	0.07±0.02 <sup>fgh</sup>	77.62±2.51 <sup>ab</sup>
SMHC	5.74±1.31 <sup>d</sup>	74.46±2.67 <sup>bcd</sup>	0.06±0.02 <sup>gh</sup>	74.52±2.69 <sup>bcd</sup>
JSHC	3.96±0.38 <sup>e</sup>	72.79±0.44 <sup>cde</sup>	0.09±0.02 <sup>efgh</sup>	72.88±0.46 <sup>cde</sup>
CPHC	4.23±0.19 <sup>de</sup>	76.08±2.67 <sup>bc</sup>	0.05±0.02 <sup>h</sup>	76.13±2.69 <sup>bc</sup>
GGHM	18.98±0.83 <sup>a</sup>	75.46±4.04 <sup>bcd</sup>	0.13±0.01 <sup>bcd</sup>	75.59±4.05 <sup>bcd</sup>
JJJ	17.82±0.44 <sup>a</sup>	73.59±0.47 <sup>bcd</sup>	0.15±0.01 <sup>abc</sup>	73.74±0.47 <sup>bcd</sup>
JJC	3.96±0.11 <sup>e</sup>	73.26±1.42 <sup>cde</sup>	0.1±0.01 <sup>defg</sup>	73.36±1.43 <sup>cde</sup>
Hong	18.22±0.35 <sup>a</sup>	72.89±0.46 <sup>cde</sup>	0.18±0.01 <sup>a</sup>	73.07±0.46 <sup>cde</sup>

<sup>1)</sup>Means with different letters (a-k) within a column are significantly different ( $P < 0.05$ ) by using Duncan 's multiple range test.

<sup>2)</sup>Soluble starch, resistant starch, and total starch contents were determined using a Megazyme kit

함량이 낮게 나타났으며, Park *et al.* (2015)에 따르면 흑진주는 출수 후 수확시기 35, 40, 45, 50, 55일에 안토시아닌 함량 및 항산화 활성의 변화에 있어 유의성이 없는 것으로 보아 등숙기에 전분의 축적이 다른 품종에 비해 적다고 판단했었는데, 본 실험에서도 흑진주가 다른 품종에 비해 전분함량이 낮았으며, 흑진주의 영양성분 조성 및 수량성에 관한 종합적인 연구 필요성이 있다고 생각된다.

### 신속점도분석기(RVA)에 의한 호화 특성

일품과 유색미 15품종의 쌀가루 호화특성을 조사하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 호화개시온도는 일품이 가장 낮았고, 67.95°C였으며, 그 외 유색미 모든 품종은 68°C대를 보였다. 이는 Song *et al.* (2008)이 보고한 일품의 호화개시온도의 68.5°C에 비하면 약 0.5°C 낮은 수치이다. 최고점도는 일품이 가장 높았으며, 적진주, 홍진주, 건강홍미 순으로 메벼 품종이 높았고, 그중에서도 흑미 품종에 비해 적미 품종이 유의하게 높은 최고점도를 나타내었다. 찰벼 품종은 메벼품종에 비해 최고점도가 낮았지만, 적진주찰은 흑미 찰벼 5개 품종보다 최고점도가 높게 확인되었다. 노화 정도를 나타내는 치반(Setback)점도의 경우 찰벼품종인 눈큰흑찰, 신농흑찰, 신명흑찰, 조생흑찰, 청풍흑찰, 적진주찰

은 36.63~55.09RVU로 메벼품종에 비해 월등히 낮았으며, 조은흑미의 경우 -3.88RVU의 값을 나타내어 찰벼가 아닌 다른 유색미 품종에 비해 냉각과정에서 전분구조형성이 낮고, 점도변화가 적다고 할 수 있다. 유색미-가루의 호화특성을 조사한 결과 Lee *et al.* (2013)이 보고한 최고점도보다 전체적으로 낮은 경향이었는데, 이는 본 실험에서는 백미가루가 아닌 현미가루를 분석하였기 때문이라 생각되며, 전분층 외의 호분층에 존재하는 다른 영양성분들이 호화특성에 영향을 준 것으로 판단된다. 현미에 포함된 단백질과 지방, 식이섬유 등 전분 외 성분들이 백미에 비해 풍부하여 호화에 영향을 준다고 하였다(Fitzgerald *et al.*, 2003). Yoon *et al.* (2015)이 보고한 결과에서도 쌀가루와 전분가루의 호화특성 차이를 비교한 결과 지방, 단백질 등 다른 성분과 혼합되어 있는 쌀가루의 호화점도가 낮은 것을 확인할 수 있었다.

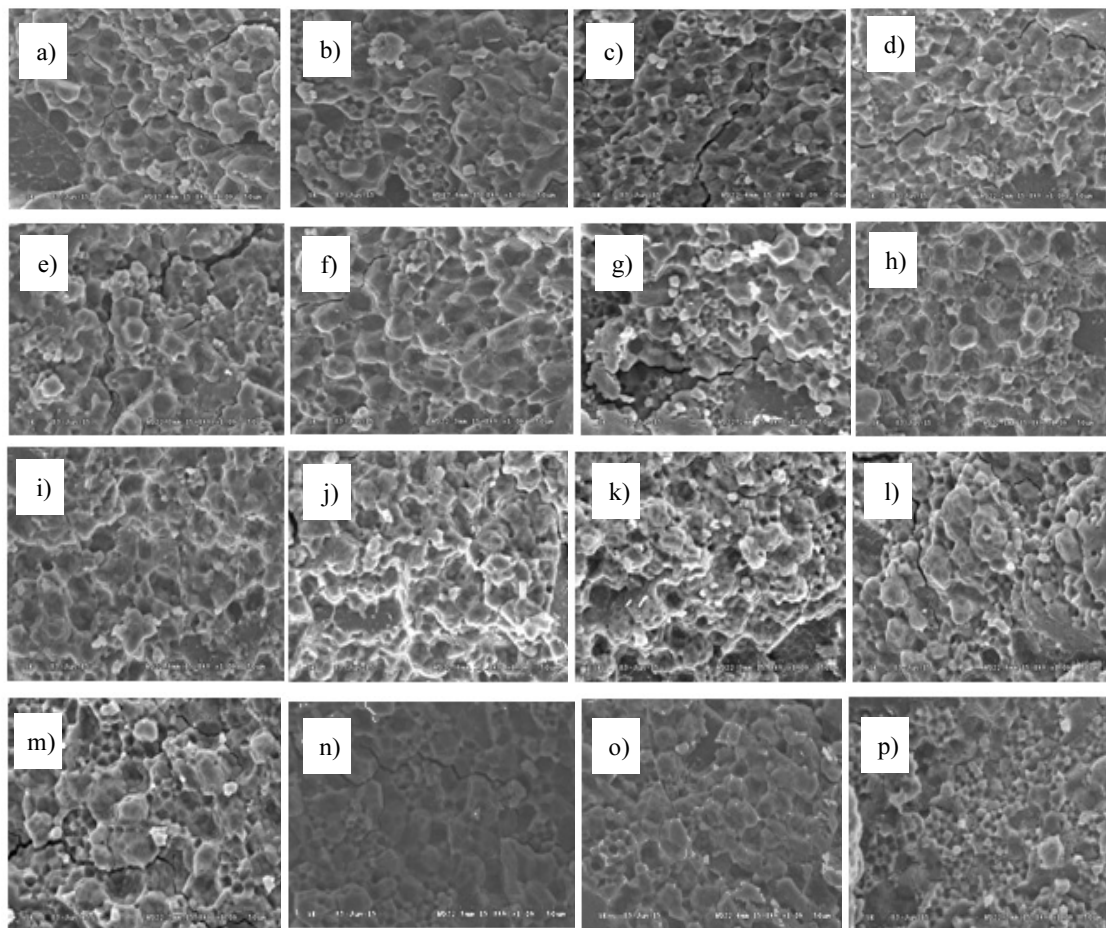
### 주사전자현미경을 이용한 유색미 전분 입자 형태

유색미 전분의 외형을 관찰한 결과를 Fig. 2와 같이 나타내었다. 쌀 종자 단면을 촬영하였으며 일품을 포함한 전체 유색미의 전분이 단단하고 매끄러운 결정성을 갖고 치밀하게 조직을 구성하고 있는 것을 볼 수 있다. 쌀 전분 입자의

**Table 4.** Pasting properties of colored rice varieties by using a Rapid Visco Analyzer.

Cultivar	Viscosity (RVU)					Peak Time (min)	Pasting Temp (°C)
	Peak viscosity	Trough	Break down	Final viscosity	Setback		
IP	138.63±1.35 <sup>a1)</sup>	87.63±2.65 <sup>a</sup>	51.00±4.00 <sup>de</sup>	176.50±2.01 <sup>a</sup>	37.88±3.36 <sup>a</sup>	6.20±0.10 <sup>a</sup>	67.95±0.07 <sup>b</sup>
STHM	91.84±0.12 <sup>f</sup>	43.00±0.95 <sup>e</sup>	48.84±0.83 <sup>ef</sup>	106.13±1.35 <sup>f</sup>	14.30±1.24 <sup>d</sup>	5.50±0.04 <sup>f</sup>	68.10±0.07 <sup>a</sup>
JEHM	102.63±1.24 <sup>d</sup>	40.92±0.47 <sup>f</sup>	61.71±1.71 <sup>ab</sup>	98.75±0.47 <sup>g</sup>	-3.88±0.77 <sup>g</sup>	5.40±0.00 <sup>g</sup>	68.08±0.04 <sup>ab</sup>
HG	84.59±1.89 <sup>g</sup>	38.00±0.47 <sup>g</sup>	46.58±1.41 <sup>fg</sup>	92.17±1.18 <sup>h</sup>	7.58±0.71 <sup>e</sup>	5.37±0.05	68.15±0.07 <sup>a</sup>
HS	69.88±0.88 <sup>i</sup>	31.17±0.35 <sup>h</sup>	38.71±0.53 <sup>i</sup>	82.75±0.35 <sup>i</sup>	12.88±0.53 <sup>d</sup>	5.53±0.00 <sup>ef</sup>	68.18±0.11 <sup>a</sup>
HJJ	99.96±1.24 <sup>e</sup>	44.30±0.88 <sup>e</sup>	55.67±0.35 <sup>c</sup>	104.59±1.18 <sup>f</sup>	4.63±0.06 <sup>f</sup>	5.60±0.00 <sup>de</sup>	68.10±0.07 <sup>a</sup>
HH	90.71±1.12 <sup>f</sup>	46.79±0.06 <sup>d</sup>	43.92±1.06 <sup>gh</sup>	116.71±0.88 <sup>e</sup>	26.00±0.24 <sup>c</sup>	5.67±0.00 <sup>cd</sup>	68.10±0.00 <sup>a</sup>
NKHC	54.46±0.88 <sup>j</sup>	12.38±0.18 <sup>l</sup>	42.08±0.71 <sup>h</sup>	17.84±0.47 <sup>n</sup>	-36.63±0.42 <sup>h</sup>	3.20±0.00 <sup>i</sup>	68.15±0.14 <sup>a</sup>
SNHC	79.00±1.17 <sup>h</sup>	17.67±0.00 <sup>jk</sup>	61.34±1.18 <sup>ab</sup>	24.46±0.30 <sup>l</sup>	-54.54±1.47 <sup>kl</sup>	3.17±0.05 <sup>i</sup>	68.10±0.00 <sup>a</sup>
SMHC	78.50±0.71 <sup>h</sup>	19.34±0.83 <sup>j</sup>	59.17±0.12 <sup>b</sup>	26.34±1.29 <sup>kl</sup>	-52.17±0.59 <sup>jk</sup>	3.30±0.04 <sup>h</sup>	68.10±0.00 <sup>a</sup>
JSHC	78.21±1.47 <sup>h</sup>	19.46±0.53 <sup>j</sup>	58.75±0.95 <sup>b</sup>	27.09±0.94 <sup>k</sup>	-51.13±0.53 <sup>j</sup>	3.30±0.04 <sup>h</sup>	68.05±0.00 <sup>ab</sup>
CPHC	70.05±0.53 <sup>i</sup>	15.67±0.37 <sup>k</sup>	54.38±0.18 <sup>c</sup>	21.79±0.6 <sup>m</sup>	-48.25±0.11 <sup>i</sup>	3.13±0.00 <sup>i</sup>	68.18±0.04 <sup>a</sup>
GGHM	124.71±1.71 <sup>c</sup>	71.67±1.18 <sup>b</sup>	53.05±0.53 <sup>cd</sup>	157.71±1.12 <sup>b</sup>	33.00±0.59 <sup>b</sup>	5.84±0.05 <sup>b</sup>	68.15±0.00 <sup>a</sup>
JJJ	130.75±0.00 <sup>b</sup>	66.71±1.00 <sup>c</sup>	64.04±1.00 <sup>a</sup>	146.29±0.41 <sup>c</sup>	15.54±0.41 <sup>d</sup>	5.73±0.00 <sup>c</sup>	68.10±0.00 <sup>a</sup>
JJC	86.46±1.82 <sup>g</sup>	23.21±0.06 <sup>i</sup>	63.25±1.77 <sup>a</sup>	31.38±0.18 <sup>j</sup>	-55.09±2.00 <sup>l</sup>	3.13±0.00 <sup>i</sup>	68.13±0.04 <sup>a</sup>
Hong	128.59±0.23 <sup>b</sup>	65.17±1.06 <sup>c</sup>	63.42±1.29 <sup>a</sup>	143.92±1.29 <sup>d</sup>	15.34±1.53 <sup>d</sup>	5.73±0.00 <sup>c</sup>	68.08±0.04 <sup>ab</sup>

<sup>1)</sup>Means with different letters (a-k) within a column are significantly different ( $P < 0.05$ ) by using Duncan's multiple range test.

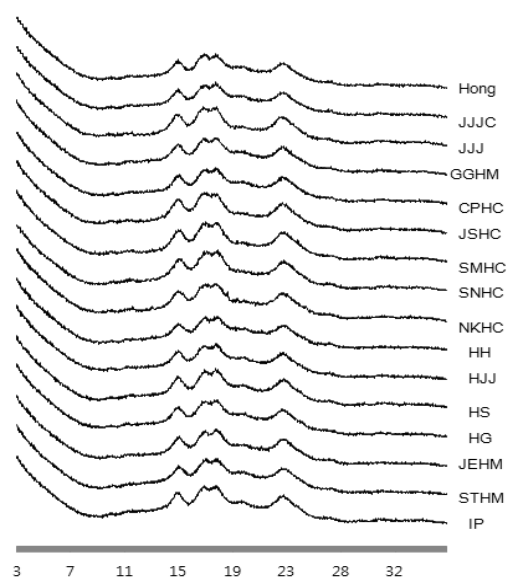


**Fig. 2.** Grain shape and color of colored rice varieties. a) IP, b) STHM, c) JEHM, d) HG, e) HS, f) HJJ, g) HH, h) NKHC, i) SNHC, j) SMHC, k) JSHC, l) CPHC, m) GGHM, n) JJJ, o) JJJC, and p) Hong.

크기는 1~10  $\mu\text{m}$  범위 내에서 보통 2~5  $\mu\text{m}$ 가 대부분인 것으로 관찰되지만 다양한 크기의 다각형인 전분 입자가 불규칙적으로 배열되어 있었다.

### X선 회절기를 이용한 결정구조특성

유색미 가루의 X선 회절도를 측정하여 전분의 결정형태를 Fig. 3에 나타내었다. 일품을 포함한 유색미 16품종은 회절각이 17-18°에서 분리되지 않은 두 개의 피크와 15, 23°에서의 각각의 피크를 보이는 A형의 회절 양상을 보였다. 본 연구에서 분석한 모든 품종의 회절양상은 비슷하였으나 상대적 결정성은 차이를 보였다. 결정성은 일품에서 43%로 가장 낮았고, 상대적으로 유색미 품종은 높게 측정되어 청풍흑찰, 적진주찰, 조생흑찰 순으로 각각 53.7, 53.1, 52%를 나타내었다(Cheetham *et al.*, 1998). 결정성에 영향을 주는 요인은 아밀로펙틴 중합도의 차이인 것으로 알려져 있으며, 아밀로오스는 결정구조를 약화시키는 것으로



**Fig. 3.** X-ray diffractograms of sixteen colored rice varieties.

보고되어있다. 따라서 아밀로오스 함량이 높은 메벼 품종이 찰벼 품종에 비해 결정성이 낮은 본 연구결과와 부합하였다. 하지만 찰벼 품종 중 조생흑찰과 신농흑찰, 신명흑찰은 각각 49.7, 46.3%로 유색미 메벼 품종의 결정성 범위인 43.7~49.7%와 비슷하였다.

### 아밀로펙틴의 사슬길이 분포

일품과 유색미 아밀로펙틴 사슬 길이 분포도는 HPAEC-PAD를 이용하여 분석하여 그 결과를 Table 5에 나타내었다. Hanashiro *et al.* (1996)에 의하면 아밀로펙틴의 사슬길이 즉, 중합도(degree of polymerization)에 따라 A (DP 6-12), B1 (DP 13-24), B2 (DP 25-36), B3+ (DP ≥37) 사슬로 나눌 수 있다고 보고하였는데 본 연구에서도 이에 근거하여 A~D까지로 나누어 정리하였다. 일품과 유색미 15개의 품종에서 12<DP≤24인 B사슬 함량이 50%이상을 차지하였고, 다음으로 가장 짧은 사슬인 A 함량이 대부분 33~35% 함량을 나타내었다. 한편, 신명흑찰이 유일하게 A사슬함량이 31.51로 가장 낮았으며, B사슬함량이 모든 품종 중에서 가장 높은 것으로 나타났다. 한편, 아밀로펙틴의 짧은 사슬인 DP 10-13의 함량이 높을수록 낮은 결정성을 나타낸다고 보고되었는데 앞에서 기술한 눈큰흑찰과 신농흑찰의 경우 본 결과에서는 A사슬함량이 다른 품종과 비슷하기 때문에

결정성과 아밀로펙틴길이의 상관성은 크지 않다고 판단된다(Cheetham *et al.*, 1998). 하지만 청풍흑찰과 적진주찰은 A사슬함량이 유의하게 높았고, 결정성도 가장 높았는데 이는 짧은 사슬함량이 높을수록 낮은 결정성을 나타낸다는 선행연구결과와는 상반된다고 할 수 있고, 이에 대해 세밀한 연구가 필요하다. 아밀로펙틴 가지의 길이가 가장 긴 D 사슬의 함량은 적미품종들이 일품과 흑미 품종에 비해 낮은 경향이었다.

### 적 요

유색미 가공소재 탐색 및 용도 다양화를 위해 일품을 포함하여 흑미 메벼 6품종, 적미 메벼 3품종, 흑미 찰벼 5품종, 적미 찰벼 1품종으로 일품과 유색미 15개의 품종의 전분 이화학적·구조적 특성을 분석하여 가공용도 다양화를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

1. 유색미의 일반성분을 분석한 결과, 눈큰흑찰이 조단백, 조지방, 식이섬유이 함량이 다른 품종에 비해 높은 경향이었고, 적미의 모든 품종은 조지방이 흑미에 비해 높은 함량을 나타내었다.
2. 유색미 가루를 이용한 찰벼 품종의 아밀로스 함량은

**Table 5.** Amylopectin chain length distribution in sixteen colored rice varieties.

	DP≤12 (A, %)	12<DP≤24 (B, %)	24<DP≤36 (C, %)	36<DP (D, %)
IP	34.27±0.05 <sup>a1)</sup>	53.79±0.08 <sup>cd</sup>	9.28±0.04 <sup>bcd</sup>	2.65±0.04 <sup>a</sup>
STHM	34.37±0.06 <sup>a</sup>	53.90±0.10 <sup>cd</sup>	9.21±0.02 <sup>bcd</sup>	2.51±0.04 <sup>b</sup>
JEHM	33.64±0.12 <sup>a</sup>	54.97±0.09 <sup>abcd</sup>	8.87±0.03 <sup>cdef</sup>	2.52±0.00 <sup>b</sup>
HG	33.32±0.07 <sup>ab</sup>	55.07±0.03 <sup>abc</sup>	9.18±0.05 <sup>bcd</sup>	2.45±0.06 <sup>bc</sup>
HS	34.00±0.17 <sup>a</sup>	54.78±0.03 <sup>abcs</sup>	8.87±0.10 <sup>cdef</sup>	2.36±0.05 <sup>cde</sup>
HJJ	34.28±0.48 <sup>a</sup>	54.22±0.42 <sup>bcd</sup>	9.17±0.05 <sup>bcd</sup>	2.32±0.01 <sup>de</sup>
HH	34.21±0.10 <sup>a</sup>	54.57±0.15 <sup>bcd</sup>	8.90±0.04 <sup>cdef</sup>	2.32±0.07 <sup>de</sup>
NKHC	34.66±0.04 <sup>a</sup>	53.53±0.08 <sup>d</sup>	9.51±0.07 <sup>ab</sup>	2.32±0.03 <sup>de</sup>
SNHC	34.49±0.05 <sup>a</sup>	53.82±0.04 <sup>cd</sup>	9.42±0.03 <sup>bc</sup>	2.27±0.03 <sup>e</sup>
SMHC	31.51±4.33 <sup>b</sup>	56.12±3.05 <sup>a</sup>	9.98±1.12 <sup>a</sup>	2.39±0.16 <sup>cd</sup>
JSHC	34.52±0.27 <sup>a</sup>	54.51±0.21 <sup>bcd</sup>	8.82±0.06 <sup>def</sup>	2.15±0.02 <sup>f</sup>
CPHC	35.17±0.07 <sup>a</sup>	54.04±0.10 <sup>cd</sup>	8.81±0.04 <sup>def</sup>	1.97±0.03 <sup>g</sup>
GGHM	34.36±0.01 <sup>a</sup>	55.26±0.09 <sup>abc</sup>	8.43±0.06 <sup>f</sup>	1.97±0.03 <sup>g</sup>
JJJ	34.55±0.04 <sup>a</sup>	54.98±0.02 <sup>abcd</sup>	8.52±0.02 <sup>f</sup>	1.93±0.03 <sup>g</sup>
JJC	35.00±0.06 <sup>a</sup>	54.59±0.02 <sup>bcd</sup>	8.62±0.04 <sup>ef</sup>	1.79±0.01 <sup>g</sup>
Hong	34.01±0.09 <sup>a</sup>	55.68±0.06 <sup>ab</sup>	8.38±0.01 <sup>f</sup>	1.93±0.02 <sup>g</sup>

<sup>1)</sup>Means with different letters (a-k) within a column are significantly different ( $P < 0.05$ ) by using Duncan's multiple range test.



3~5%, 메벼 품종의 아밀로스 함량은 15~18%를 나타내었고, 메벼 품종 중 조은흑미는 14%대로 다소 낮은 함량을 나타내었다. 또한 일품이 80%로 가장 높은 총 전분 함유량을 보였고, 눈큰흑찰과 흑진주가 70, 71%로 가장 낮은 총 전분 함량을 나타내었다.

3. 유색미 가루의 호화특성을 분석한 결과, 모든 유색미의 호화개시온도는 68°C였으며, 일품의 호화개시온도인 67.95°C와 비슷하였다. 최고점도는 일품이 가장 높았으며, 적진주, 홍진주, 건강홍미 순으로 적미 메벼 품종이 흑미 품종과 적진주 찰에 비해 높은 것으로 나타났다. 치반점도 값으로 본 노화정도 찰벼 품종에서 느린 것으로 확인되었고, 조은흑미는 메벼품종 중에서 노화정도가 느린 것으로 분석되었다.
4. 유색미의 전분외형은 대부분 2~5 μm 크기의 다각형의 치밀한 입자로 이루어져있으며, 결정성 분석에서는 모두 A type의 전분구조를 이루고 있었지만 결정성은 품종마다 다소 차이를 보였다.
5. 아밀로펙틴의 체인 길이 분석에서는 16개의 품종에서 12<DP≤24인 B사슬 함량이 50%이상을 차지하였고, 다음으로 DP<12 함량이 대부분 33~35%함량을 나타내었다. 중합도 36개 이상의 장쇄사슬은 흑미가 적미에 비해 함량이 높은 경향이였다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립식량과학원 농업과학기술사업(과제번호: PJ01125302)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Aberle, T., W. Burchard, W. Vorweg, and S. Radosta. 1994. Conformational contributions of amylose and amylopectin to the structural properties of starches from various sources. *Starch/Staerke* 46 : 329-335.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC Intl. 17th ed. Method 991. 43. *Association of Official Analytical communities*, Washington, DC, USA
- Bello-Perez, L. A., P. Roger, and B. Baud. 1998. Colonna P. Macromolecular features of starches determined by aqueous high-performance size exclusion chromatography. *J. Cereal Sci.* 27 : 267-278.
- Bhattacharya, K. R., C. M. Sowbhagya, and Y. M. Indudhara-SWamy. 1978. Importance of insoluble amylose as adeterminant of rice quality. *J. Sci. Food Agric.* 29 : 359-364.
- Choi, Y. H., K. H. Kim, H. C. Choi, Y. K. Kim, K. J. Kim, and Y. T. Lee. 2006. Anallysis of Grain Quality Properties in Korea-bred Japonica Rice Cultivars. *Korean J. Crop. Sci.* 51 : 624-631.
- Cheetham, N. W. H. and L. Tao. 1998. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohyd. Polym.* 36 : 277-284.
- EUREST (European Flair Concerted Action on Resistant Starch). 1992. Asp N.-G. Preface resistant starch. *Eur. J. Clin. Nutri.* 46 : S I.
- Fitzgerald, M. A., M. Martin, R. M. Ward, W. D. Park, and H. J. Shead. 2003. Viscosity of rice flour: A rheological and biological study. *J. Agric. Food Chem.* 51 : 2295-2299.
- Fitzgerald, M. A. and R. F. Reinke. 2006. Rice Grain Quality III. A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation. *RIRDC Publication No. 06/056 RIRDC Project No DAN-183A.*
- Gu, D. and X. Meiyu. 1992. A study on special nutrient of purple black glutinous rice. *Scientia Agric. Sinica* 25 : 36-41.
- Hanashiro, I., J. Abe, and S. Hizukuri. 1996. A periodic distribution of the chain length of amylopectin as revealed by high-performance anion-exchange chromatography. *Carbohyd. Res.* 283 : 151-159.
- Hinton, J. J. C. 1948. The distribution of vitamin B1 in the rice grain. *Br. J. Nutr.* 2: 237-241. Juliano BO. 1985. Rice chemistry and technology. *AACC Monograph Series* 17-174.
- Juliano, B. O. 1982. properties of rice starch in relation to varietal differences in processing characteristics of rice grain. *J. Jap. Soc. Starch Sci.* 29 : 305-309.
- Juliano, B. O. 1985. Polysaccharide, proteins, and lipids of rice. In Rice chemistry and technology. *The American Association of Cereal Chemists, Inc.*, St. Paul, MN, USA. 59-174.
- Kalichevsky, M. T., P. D. Orford, and S. G. Ring. 1990. The retrogradation and gelation of amylopectins from various botanical sources. *Carbohydr. Res.* 198 : 49-55.
- Kang, M. Y., Y. J. Nam, and S. H. Nam. 2005. Screening of antioxidation related functional components in brans of the pigmented rices. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem* 48 : 233-239.
- Kim, D. W., J. B. Eun, and C. O. Rhee. 1998. Cooking conditions and textural changes of cooked ice added with black rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30 : 562-568.
- Kim, M. S., T. R. Hahn, and H. H. Yoon. 1999. Saccharification and sensory characteristics of Sikhe made of pigmented rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31 : 672-677.
- Kim, K., G. C. Choi, K. J. Kang, Y. H. Lee, and S. K. Kim. 1992. Molecular Structural Properties of Waxy Rice Starch. *Korean J. Food sci. technol.* 24 : 568-573.
- Kim, Y. K. 2010. Status and prospects of development of rice varieties. *Food Preservation and processing* 9 : 75-85.
- Kim, Y. K. and A. Chun. 2010. Status and prospects of rice varieties for processing. *Food Preservation and Processing Industry* 9 : 3-12.
- Kim, Y. D., M. S. Shin, B. K. Kim, J. I. Choung, M. K. Oh, J. H. Lee, J. K. Ko, and J. K. Lee, 2004. Granin Quality in Circulated

- Brand Rices of Different Regional Production. *Korean J Breed Sci* 36 : 266-267.
- Koh, H. J., Y. J. Won, G. W. Cha, and M. H. Heu. 1996. Varietal variation of pigmentation and some nutritive characteristics in colored rice. *Korean J. Crop Sci* 41 : 600-607.
- Lee, H. H., H. Y. Kim, H. J. Koh, and S. N. Ryu. 2006. Varietal Difference of Chemical Composition in Pigmented Rice varieties *Korean J. Crop Sci* 51 : 113-118.
- Lee, Y. T. and Y. Y. Kim. 2011. Physicochemical Properties of Brown Rice Flours Differing in Amylose Content Prepared by Different Milling Methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 40 : 1797-1801.
- Lee, H. J., S. M. Byun, and H. S. Kim. 1988. Studies on the Dietary Fiber of Brown Rice and Milled Rice. *Korean J. Food sci. Technol.* 20 : 576-584.
- Lee, N. Y. 2013. Starch and quality characteristics of Korean rice cultivar with waxy and non-waxy type. *Korean J. Crop Sci.* 58 : 226-231.
- Lee, Y. S., H. O. Jung, and C. O. Rhee. 2002. Quality characteristics of yukwa added with pigmented rice. *Korean J. Soc. Food Cookery Sci.* 18 : 529-533.
- Park, D. S., U. H. Hwang, S. K. Park, J. H. Lee, S. I. Han, J. H. Cho, J. Y. Lee, S. H. Oh, K. C. Jang, W. D. Seo, and D. J. Shin. 2015. A waxy black giant embryo earley maturing rice variety 'Nunkeunheugchal', *Korean J Breed Sci* 47 : 68-74.
- Park, J. Y., S. I. Han, Y. J. Hur, Y. Y. Lee, B. W. Lee, E. Y. Sim, H. M. Ham, B. J. Kim, C. W. Lee, S. J. Lee, and S. H. Oh. 2015. Changes in physicochemical properties and antioxidant activities according to different harvest times in black rice (*Oryza sativa* L.). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44 : 1653-1659.
- Ryu, S. N., S. Z. Park, and S. S. Kang. 2005. Studies on exploration and expansive use of genetic variation of functional substances in rice. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Song, J., J. H. Kim, D. S. Kim, C. K. Lee, J. T. Youn, S. L. Kim, and S. J. Suh. 2008. Physicochemical properties of starches in Japonica rice of different amylose content. *Korean J. Crop Sci.* 53 : 285-291.
- Shin, H. S. and J. Y. Rhee. 1986. Comparative studies on the lipid content and neutral lipid composition in nonglutinous and glutinous rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 18 : 137-142.
- Statistics Korea. 2016. Food Grain Consumption Survey Report. ISSN 1599-2381.
- Yang, C. I., S. B. Lee, J. M. Jeong, M. K. Kim, K. S. Lee, J. H. Lee, H. G. Hwang, Y. H. Choi, Y. G. Kim, Y. S. Shin, O. Y. Jung, H. C. Hong, A. R. Chun, S. K. Oh, J. U. Jung, K. H. Kang, and C. Y. Kim. 2012. New Early Maturing, Reddish Pericarp and High Antioxidants Glutinous Rice Variety 'Jeogjinjuchal' *Kor. J. Breed. Sci* 44 : 637-642.
- Yoon, M. R., J. S. Lee, J. E. Kwak, J. H. Lee, J. B. Chun, C. I. Yang, J. H. Cho, M. J. Kim, C. K. Lee, B. K. Kim, and W. H. Kim. 2015. Starch and Pasting Characteristics in Relation to Stickiness of Rice Cake Using Glutinous Rice Varieties. *Korean J. Breed. Sci.* 47(3) : 199-208.