

배유 돌연변이처리로 개발된 연질미 전분의 이화학적 특성

김재숙¹ · 노준희¹ · 신말식^{1,2,*}

¹전남대학교 식품영양과학부, ²전남대학교 문화유산연구소

Physicochemical and pasting properties of rice starches from soft rice varieties developed by endosperm mutation breeding

Jae Suk Kim¹, Junhee No¹, and Malshick Shin^{1,2,*}

¹Division of Food and Nutrition, Chonnam National University

²Culture Heritage Research Institute, Chonnam National University

Abstract The soft rice varieties, Hangaru and Singil, were developed via mutation breeding using N-methyl-N-nitrosourea treatment to obtain dry-milled rice flours. The physicochemical, morphological, and pasting properties of these starches were compared with those of Seolgaeng and Chuchung starches. Singil starch was found to exhibit the highest amylose content and initial pasting temperature, whereas Hangaru starch exhibited the highest water binding capacity and swelling power. Hangaru starch's granule size at d_{50} was the largest among the four different starch types. Some Seolgaeng, Hangaru, and Singil granules were observed to have a round-faced polygon shape. Furthermore, the crystallinity of all four starch types was type A. The peak, trough, and final viscosities of the soft rice starches were also lower than those of normal starches. Notably, Hangaru starch showed the highest breakdown viscosity, but the lowest total setback viscosity among the four starches. From these results, the starch characteristics of the soft rice flours were discovered to be different based on the rice variety.

Keywords: soft rice, MNU mutation breeding, starch, physicochemical property, granular shape, pasting property

서 론

쌀은 동아시아 국가의 주식으로 사용하고 있는 곡류로 도정 후 백미로 밥을 지어 섭취해 왔는데 이는 배유가 단단한 구조를 이루고 있어(Kwak 등, 2017; Nagato, 1962; Tamaki 등, 2007; Webb 등, 1986) 제현과 도정 과정을 통해 낱알로 얻기 용이하기 때문이다. 우리나라를 포함한 동북아시아에서는 세계적으로 쌀 총 생산량에 10%만을 차지하는 자포니카 쌀을 이용하기 때문에(Wikipedia, 2019) 식량자원을 확보하기 위하여 생산량을 증가하려고 노력하여 왔지만 최근 지속적인 쌀 소비량의 감소로(KOSIS, 2019) 쌀 가공산업을 활성화하고 있다. 쌀 가공식품의 원료로 쌀 가루를 사용해야 하는데 밀가루와 달리 제분과정이 복잡하다. 전통적으로 쌀을 수침하여 물기를 빼고 분쇄하는 과정을 거쳐 짓은 쌀가루로 떡을 비롯한 제품을 만들어왔지만 밀가루를 대체하고 저장성을 개선하기 위해서는 다른 쌀가루로 생산되어야 한다. 이를 위해 도정된 쌀알을 건식 제분하거나 습식 제분한 쌀가루를 건조하는 방법으로 쌀가루를 제조하여 왔다(Chiang과 Yeh,

2002; Leewatchararongjaroen과 Anuntagool, 2016; Song과 Shin, 2007). 그러나 현재 건식이나 습식제분방법으로 제조한 쌀가루로는 가공성이 떨어져 밀가루를 대체하기 어렵고 제분과정에서 비용이 많이 발생하기 때문에 밀가루처럼 쉽게 제분할 수 있는 쌀을 육종하는 연구에 관심을 기울이고 있었다.

농촌진흥청에서는 벼 품종을 개량하여 쉽게 분쇄될 수 있는 연질미로 한가루와 신길 품종을 2016년, 2017년에 육성하였다(Nongsaro, 2019). 한가루 품종은 일반계인 고품질 일품 쌀 수정란에 N-methyl-N-nitrosourea (MNU)로 돌연변이 처리한 설갱(Hong 등, 2011; Kwak 등, 2017)과 쌀알의 크기가 큰 대립벼로 교배하여 개발하였고, 신길은 통일계 쌀인 다수성의 한아름을 돌연변이 처리하여 2010년에 개발하였다(Choi 등, 2006; Satoh 등, 2010). 즉 두 품종의 쌀은 바로 제분이 가능한 쌀로 쌀가루를 직접 얻을 수 있도록 배유를 부드럽게 만든 쌀 품종이다(Cho, 2018). 새롭게 개발된 한가루와 신길 쌀가루는 배유가 단단하지 않아 밀과 유사하게 제현이나 도정과정 없이 바로 쌀가루로 제조할 수 있는 건식제분 쌀가루로 제분 시 매우 용이하다. 개발된 두 품종의 쌀가루를 밀가루처럼 사용하기 위해서는 제분된 쌀가루를 공급하였을 때 쌀 가공식품 제조에 활용하기 위해서는 쌀가루의 가공 특성에 대한 검토가 필요하다.

그러므로 연질미로 개발된 두 품종의 쌀가루의 이화학적 및 가공특성을 이해하기 위하여 쌀가루의 80%를 차지하는 전분의 특성을 비교하고자 하였다. 전분의 형태적 특성과 결정성 및 이화학적, 호화특성을 일반미인 추청 전분과 돌연변이 처리로 전분입자 형태가 밀가루처럼 둥글다고 알려진 설갱 전분을 함께 비교하였다.

*Corresponding author: Malshick Shin, Division of Food and Nutrition, Culture Heritage Research Institute, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

Tel: +82-62-530-1336

Fax: +82-62-530-1339

E-mail: msshin@chonnam.ac.kr

Received February 28, 2019; revised March 21, 2019;

accepted March 23, 2019

재료 및 방법

재료

한가루와 신길 쌀가루는 농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물 연구소(Rural Development Administration, National Institute of Crop Science, Department of Central Area Crop Science, Suwon, Korea)에서 2018년에 수확된 것을 제공받아 사용하였다. 설갱과 추청은 국립식량과학원(Wanju, Korea)에서 백미로 제공 받아 사용하였다.

전분의 분리

쌀 전분은 알칼리 침지법을 이용하여 분리하였다(Jeong과 Shin, 2018; No 등, 2017). 설갱과 추청 백미는 깨끗이 씻어 물에 4h 불린 후 물을 제거하고 0.2% NaOH를 넣어 1h 방치하였다. 한가루 및 신길쌀가루는 0.2% NaOH 용액을 가루가 완전히 잠길 만큼 넣어 1h 방치한 다음 100 mesh와 270 mesh체를 통과시켰다. 백미는 푸드 믹서(Daesung Altron, Paju, Korea)로 마쇄하여 같은 체를 차례로 통과시켰다. 분리된 전분액은 원심분리기(Supra 22K, Hanil Science Industrial Co., Seoul, Korea)를 이용하여 1,630×g에서 10분간 원심분리 하였다. 상층액은 버리고 0.2% NaOH 용액을 넣어 노란색이 없어질 때까지 반복하여 씻었다. 1 N HCl 용액(Ducksan Pure Chemicals Co., Ltd., Ansan, Korea)으로 중화(pH 7.0)시키고 증류수로 씻어 2,730×g에서 10분간 원심분리 하였고 이를 3회 반복하였다. 분리된 전분은 실온에서 풍건하였으며 건조된 전분은 분쇄 후 100 mesh체에 통과시켜 시료로 사용하였다.

전분의 수분함량 및 이화학적 특성 측정

쌀 전분의 수분함량은 AACCI Approved Method 44-15.02 (AACCI, 2012)로 아밀로스 함량은 Williams 등(1970)의 방법으로 측정하였다. 물 결합능력은 Medcal과 Gilles(1965) 방법에 의해 전분 0.5 g (건물당)을 50 mL 원심분리관에 넣고 증류수 20 mL과 마그네틱 바(3.2×13 mm)를 넣어 실온에서 1시간 동안 분산시켰다. 이 현탁액을 원심분리기(VS-21SMT, Vision Scientific Co., Ltd, Seoul, Korea)로 8000 rpm (2,730×g)에서 30분간 원심분리한 후 상징액을 제거하고 침전된 시료의 무게로 물 결합능력을 계산하였다. 팽윤력과 용해도는 Schoch(1964)의 방법으로 80°C에서 측정하였다.

전분입자크기 측정

쌀 전분의 입도분포는 LS Particle Size Analyzer (LS 13 320, Beckman Coulter Inc., Brea, CA, USA)를 이용하여 분석하였다.

광학현미경에 의한 전분입자 관찰

쌀 전분은 종류에 따라 50% glycerol에 분산시켜 광학현미경용

슬라이드 글라스에 스포이드로 집중한 다음 커버 글라스로 공기가 없도록 밀착하여 덮어 시료표본을 만들었다. 시료표본은 광학현미경(Light microscope, Leica DM 2500, Wetzlar, Germany)으로 배율 1000×로 관찰하였으며 부착된 디지털 카메라(eXcope X3, DIXI Optics, Daejeon, Korea)로 촬영되었다.

주사전자현미경에 의한 전분입자 관찰

쌀 전분입자의 모양과 크기는 주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM; JSM-7500F+EDS, JEOL, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다. 전분 시료는 데시케이터에서 건조하였고 양면테이프를 붙인 stub에 시료를 놓고 금/백금으로 코팅하여 전도성을 갖게 한 후 진공처리 하였다. 시료는 가속전압 15 kV, phototime 85 sec, 배율은 2000×와 5000×로 관찰하였다.

X선 회절기에 의한 결정형 비교

전분의 X선 회절도에 의한 결정형과 세기는 x-선 회절기(3D high resolution X-ray diffractometer, Empyrean, PANalytical Co., Almelo, Netherland)로 측정하였다. 기기 측정조건은 target, Cu-K α ; filter, Ni; 3000 cps; scanning speed 8°/min; diffraction angle (2 θ) 5-40°; 34 mA; 40 kV이었다.

전분의 호화 특성 측정

쌀 전분의 호화특성은 신속점도측정기(RVA-TecMaster, Perten, Hgersten, Sweden)로 쌀 전분(3 g, 12%, mb)을 시료 통에 넣고 증류수 25 mL를 넣어 패들로 혼합한 다음 실시하였다. 초기 960 rpm으로 혼합한 다음 전분액을 160 rpm으로 진탕하면서 50°C에서 95°C로 12°C/min 속도로 가열, 95°C에서 3 min, 95°C에서 50°C로 12°C/min로 냉각, 50°C에서 2 min 유지하였다. 위의 결과로부터 호화개시온도, 피크점도(P), 최저점도(T), 최종점도(F), breakdown (P-T)와 total setback (F-T) 점도를 측정하였다.

통계처리

모든 실험은 적어도 3회이상 반복하여 측정하였으며, 평균과 표준편차로 표기하였다. 모든 실험의 결과는 SPSS 12.0K (SPSS INC., Chicago IL, USA)를 이용하여 ANOVA test를 통하여 통계 처리하였고, Duncan's multiple-range test로 유의성($p < 0.05$) 검증하였다.

결과 및 고찰

전분의 이화학적 특성 및 입자크기

연질미인 한가루와 신길전분과 설갱 및 추청 전분의 수분과 아밀로스 함량, 물결합능력, 팽윤력과 용해도 및 입자분포도로부터 50% 누적된 입자크기는 Table 1과 같았다. 수분함량은 9.0-11.3% 이었으며 아밀로스 함량은 설갱, 추청, 한가루와 신길이 각각 16.5,

Table 1. Moisture contents and physicochemical properties of rice starches

Rice cultivars	Moisture content (%)	Amylose content (%)	Water binding capacity (%)	Swelling power at 80°C (g/g)	Solubility at 80°C (%)	Granule size (d ₅₀) (μm)
Hangaru	11.3±0.5 ^{a1)}	19.5±0.93 ^b	125.5±3.8 ^a	11.0±0.5 ^a	5.8±0.5 ^b	8.26
Singil	10.5±0.3 ^{ab}	27.1±0.3 ^a	119.0±4.7 ^b	7.6±0.1 ^c	7.1±0.3 ^a	6.65
Chuchung	9.6±0.1 ^{bc}	18.8±0.4 ^b	103.3±2.7 ^c	9.5±0.2 ^b	3.8±0.1 ^c	7.78
Seolgaeng	9.0±0.2 ^c	16.5±0.6 ^c	113.7±4.0 ^{bc}	9.9±0.1 ^b	3.6±0.0 ^c	6.78

Data represents mean±SD.

¹⁾Values with different superscripts in the same column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

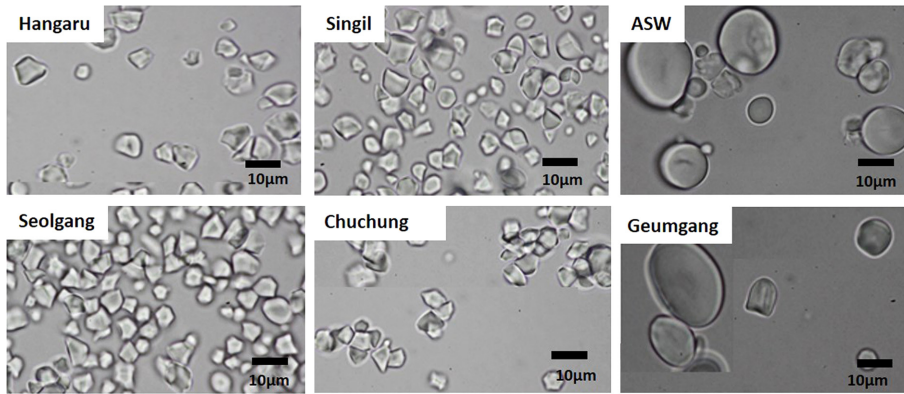


Fig. 1. Light microphotographs of soft rice and wheat starches.

18.8, 19.5와 27.1%이었다. 일반벼인 설갱과 추청 및 연질미인 한가루는 아밀로스 함량이 16.5-19.5%로 보통 아밀로스 함량을 가지고 있었는데 신길전분은 27.1%로 고아밀로스 함량을 가졌다. 물결합 능력은 한가루 전분이 125.5%로 가장 높은 값을 보였으며 다음은 신길 전분으로 일반벼보다 연질미 전분의 물결합능력이 컸다. 추청과 설갱 전분의 팽윤력과 용해도는 각각 9.5와 9.9 g/g, 3.8과 3.6%로 유의적인 차이가 없었다. 이와 달리 한가루 전분의 팽윤력과 용해도는 11.0 g/g와 5.8%, 신길전분은 7.6 g/g와 7.1%로 두 전분이 다른 경향을 보였다. 물결합능력이 높았던 한가루가 팽윤력이 가장 높았고 신길전분은 용해도가 가장 높았다. 전분입자크기 분포도로부터 50번째 입자의 크기는 설갱과 신길이 6.78, 6.65 µm로 유사하였으며 추청은 7.78, 한가루 전분은 8.26 µm로 한가루 전분입자의 크기가 가장 컸다. 전분입자의 크기는 물결합능력이나 팽윤력에 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되어 한가루 전분입자가 커서 물결합능력과 팽윤력이 높은 것으로 생각되었다.

전분입자의 형태적 특성

광학현미경에 의한 쌀 전분의 입자 형태는 Fig. 1과 같이 추청 쌀 전분입자는 모두 다면체 입자로 되어 있으나 한가루, 신길, 설갱의 쌀 전분입자는 다면체 입자 외에 반원형이나 한 면이 둥근 입자가 일부 혼합되어 있어 일반적인 쌀 전분의 복합 전분립에서 분리된 형태와는 달랐다. 찹쌀은 아니지만 설갱이 찹쌀처럼 젓빛의 불투명하게 보이는 것이 바깥 표면에 미세기공과 작은 구멍을 가지기 때문이라고 하였다. 설갱 낱알이 젓빛으로 보이는 것은 전분질 배유의 많은 기공에 의해 분산된 빛을 비추기 때문이라고 하였으며 낱알에 많은 공간에 의해서 쉽게 체분이 가능하다고 하였다(Kwak 등, 2017). 또한 낱알의 단면을 주사전자현미경으로 보았을 때 자포니카와 인디카형의 쌀 전분 아밀로스 함량이 다른 찰전분과 멥쌀전분은 모두 세포에 다면체형의 전분입자가 있던 아밀로플라스트를 보였지만 설갱 낱알은 표면이 둥근 모양으로 기존의 쌀 낱알의 단면과는 달랐다. 이에 대해 밀 전분과 같은 둥근 형의 전분입자를 가져 쉽게 분쇄가 될 수 있다고 보고하였다(Kwak 등, 2017; Yoon 등, 2011). 그러나 아밀로프라스트의 표면을 보았을 때 둥글게 보인 전분입자는 분리하면 한 면만 둥글게 보이거나 다면체를 그대로 유지한 형태를 보였기 때문에 돌연변이 과정에서 쌀의 복합전분립 형태가 일부 변화하는 것으로 생각되었다.

주사전자현미경으로 입자의 표면을 관찰 한 결과는 Fig. 2와 같이 타원형이 반으로 나뉜 것 같은 반원형 입자가 다면체 입자

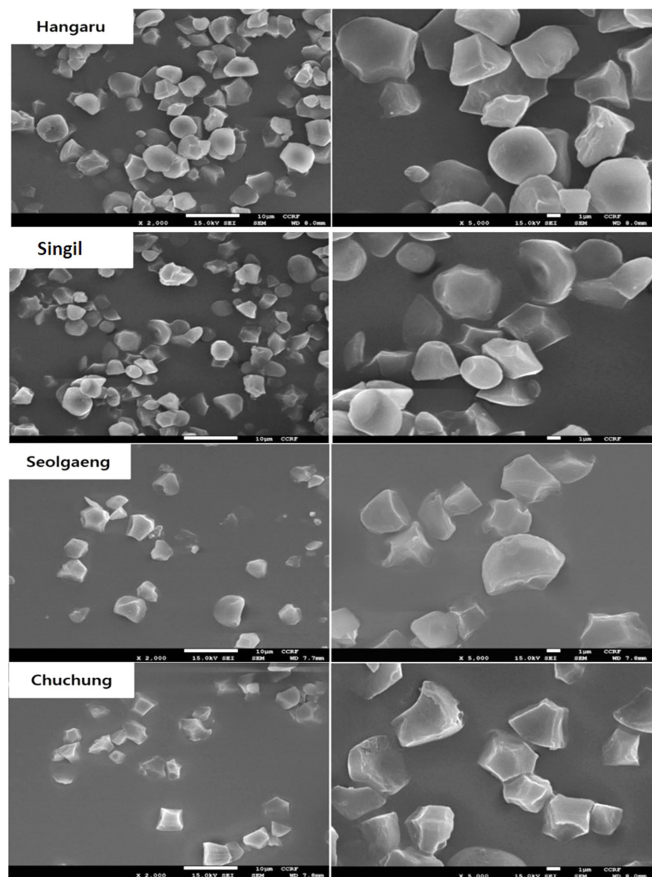


Fig. 2. Scanning electron microphotographs of rice starches with different magnification (2,000× and 5,000×).

와 같이 보였으며 설갱전분보다 한가루나 신길 전분입자에서 더 많이 보였다. 이를 설명하기 위해 쌀의 배유에서 전분의 합성과정에서 일어날 수 있는 돌연변이에 대해 조사한 연구를 검토하였다. 전분을 합성하기 위해서 필요한 Starch synthase (SS)를 6가지로 나누는데 쌀에는 하나의 SSI, 3개의 SSII, 두 개의 SSIII, 두 개의 SSIV, 하나의 SSV와 두 개의 GBSS isozymes을 갖는다. 다수의 mutant lines을 이용하는데 쌀의 배유에서 전분을 생성하기 위해서는 적어도 SSI 또는 SSIIIa가 요구됨을 확인하였다고 보고하였다(Fujita 등, 2011). Fujita(2014)는 SSIIIa/SSIVb double mutant lines의 쌀과 같은 곡류의 종자는 젓빛을 띠며 모계와는

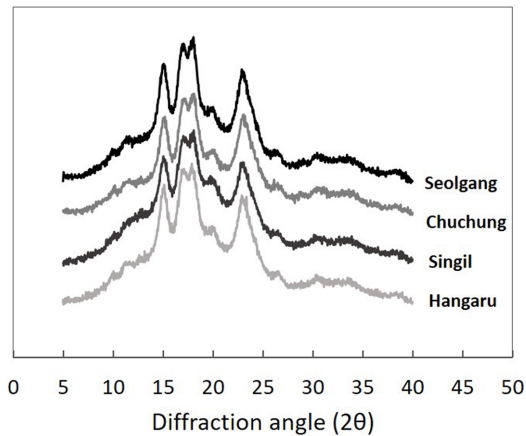


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of soft rice and normal rice starches.

다른 형질을 갖는다고 하는데 보통 다면체의 입자이지만 SSIIIa/SSIVb lines의 전분입자는 완전히 구형이었다고 보고하였다. 일반적으로 쌀 배유의 전분 입자는 하나의 아밀로플라스트에 여러 개가 축적된 복합전분립으로 있어 분리되면 다면체로 되지만 SSIIIa/SSIVb double mutant lines의 구형 전분입자는 다른 전분입자처럼 하나의 아밀로플라스트에 하나의 전분입자를 갖도록 변화되었다고 추정하였다. 이는 SSIVb가 복합전분립의 전분입자 사이에 격막 같은 구조를 만들어서 나타나는 것으로 추측하였다(Yun과 Kawagoe, 2010). 광학현미경을 통해 보았을 때 한가루와 신길전분입자의 경우에도 다면체의 입자와 반원형의 입자가 혼합되어 있어 있으며 다면체입자가 많은 것으로 보아 SSIIIa/SSIVb double mutant lines가 완전하지 않은 상태로 돌연변이가 일어난 것으로 생각되었다. 완전한 돌연변이가 일어나지 않았다는 것은 Fig. 2에서 국내 및 호주산 밀로부터 분리한 전분의 형태와 비교하였을 때 완전한 둥근 입자인 금강밀과 호주표준밀의 전분입자와는 다르다는 것을 확인하였다.

전분의 x-선 회절도에 의한 결정 특성

쌀 전분의 x-선 회절도에 의한 결정피크 양상은 Fig. 3과 같다. 쌀 전분 입자의 모양은 다면체인 일반 쌀과 차이를 보여 반원형의 입자로 일부 바뀌었지만 결정형은 회절각(2θ)=15.0, 17.3, 18.2, 23.0°에서 피크를 보이는 전형적인 A 형을 나타냈다. 일반적으로 전분입자의 결정부분은 아밀로펙틴의 결정성 부분에 의해 나타나므로 돌연변이 처리했을 경우에도 아밀로펙틴의 결정성 영역에는 변화가 없었을 것으로 생각되었다. 한가루를 돌연변이 처리하여 개발한 품종인 신길전분은 고아밀로스 전분으로 일품벼로 돌연변이 처리한 고아미2호 전분의 B형과는 달랐고 이런

차이는 가공특성에 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되었다.

쌀 전분의 호화특성

돌연변이 처리하여 얻은 쌀과 일반 자포니카 쌀 전분의 신속점도측정기로 측정된 호화특성은 Table 2와 같았다. 전분의 호화개시온도는 추청과 한가루 전분이 73.9와 73.4°C로 가장 낮았으며 신길전분은 92.1°C로 가장 높았다. 전분 호화액의 점도 양상은 쌀 품종에 따라 유의적인 차이를 보였으며 일반벼 전분 호화액의 피크(P), 최저(T) 및 최종(F) 점도가 모두 높은 점도를 나타내었고 추청 전분이 가장 높았다. 아밀로스 함량이 높은 신길전분의 호화개시온도가 92.1°C로 가열온도조건인 95°C까지 가열하였을 때 호화가 시작되는 온도 비슷하여 호화진행이 잘 안되어서 피크점도가 87.3 RVU로 매우 낮았다. 연질미인 한가루는 호화개시온도가 73.9°C로 낮아서 피크 점도가 205.3 RVU로 상대적으로 높았다. 한가루 전분의 최종점도는 피크점도와 유사하였고 다른 전분은 일반적인 경향인 최종점도가 피크점도보다 높아 이 차이를 나타내는 total setback 점도가 신길전분 127.7 RVU에서 추청 전분 151.5 RVU이었다. 피크점도와 최저점도의 차이를 나타내는 breakdown점도는 한가루가 가장 높아 101.5 RVU이었고 신길전분이 45.7 RVU로 가장 낮았다. 한가루와 신길 품종은 모두 연질미이지만 호화양상이 매우 달라 이들 전분을 함유한 쌀가루의 호화 및 가공특성도 달라질 것으로 예측되었다. 신길전분은 충분한 전분의 호화를 위해서는 가열온도를 높이거나 아니면 가열시간이 길어야 점도를 상승시킬 수 있을 것으로 생각되었다. 한가루 전분은 추청이나 설갱보다 낮은 호화점도 및 breakdown 점도가 크고 냉각시 점도의 상승이 적은 특성을 가지고 있어 이 특성에 맞는 제품으로 개발이 되어야 할 것으로 생각되었다.

요 약

건식제분 쌀가루를 제조하기 위해 MNU로 돌연변이 처리하여 육종한 한가루와 신길의 가공적성을 확인하기 위하여 쌀의 80%를 차지하는 전분의 이화학적, 형태적 및 호화특성을 일반벼인 추청과 설갱 전분과 비교하였다. 신길전분의 아밀로스 함량은 27.1%로 나머지 쌀 전분은 16.5-19.5%이었다. 물결합능력과 팽윤력은 한가루 전분이 가장 높았고 전분입자의 크기(d_{50})도 가장 컸다. 전분입자의 형태는 설갱, 한가루, 신길전분의 전분입자 형태는 일부 한 면이 둥근 입자가 다면체 입자와 혼합되어 있었다. X-선 회절도에 의한 결정형은 모두 A형이었으며 호화개시온도는 신길전분이 92.1°C로 가장 높고 한가루와 신길전분 호화액의 피크, 최저 및 최종점도가 추청과 설갱 전분보다 낮았다.

한가루 전분은 breakdown점도가 가장 컸으며 total setback점도는 가장 낮았다. 이와 같은 결과로부터 연질미 쌀가루의 전분 특

Table 2. Pasting viscosities of soft rice and normal rice starches

Rice cultivars	Initial pasting temp. (°C)	Viscosity (RVU)				
		Peak (P)	Trough (T)	Final (F)	Breakdown (P-T)	Setback (F-T)
Hangaru	73.9±0.1 ^c	205.3±2.3 ^c	103.8±3.2 ^c	208.0±5.5 ^c	101.5±0.9 ^a	104.2±2.3 ^d
Singil	92.1±0.0 ^a	87.3±0.5 ^d	41.5±0.7 ^d	169.3±0.9 ^d	45.7±1.1 ^c	127.7±1.6 ^c
Chuchung	73.4±0.1 ^c	308.3±0.6 ^a	239.8±3.7 ^a	391.3±2.6 ^a	68.5±3.1 ^b	151.5±1.1 ^a
Seolgaeng	75.1±0.0 ^b	279.2±12.9 ^b	225.3±6.2 ^b	367.6±7.0 ^b	53.9±6.7 ^c	142.3±0.8 ^b

Data represents mean±SD.

¹⁾Values with different superscripts in the same column are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

성은 품종에 따라 다름을 확인하여 품종 별 쌀가루 특성과 가공성을 연구하여 전분과의 상관성을 비교해야 될 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(316069-3).

References

- AACCI. Approved Method of the American Association of Cereal Chemists 11th ed. AACCI International, St. Paul, MN, USA (2012)
- Chiang PY, Yeh AI. Effect of soaking on wet-milling of rice. *J. Cereal Sci.* 35: 85-94 (2002)
- Cho JH. 'Singil rice' is easy to make rice flour and it could be improved value of products. Available from: <http://www.hortitimes.com/news/articleView.html?idxno=8337>. Accessed Oct. 15, 2018.
- Choi HC, Ahn SN, Hong HC, Kim YK, Hwang HG, Kim TY. New mutants of specialty rice induced from Ilpumbyeo, a high-quality rice cultivar, by MNU (N-methyl-N-nitrosourea) treatment on fertilized egg cells. *Korean J. Breed. Sci.* 38: 154-160 (2006)
- Fujita N. Starch biosynthesis in rice endosperm. *Agri. Bioscience Monographs* 4: 1-18 (2014)
- Fujita N, Satoh R, Hayashi A, Kodama M, Itoh R, Aihara S, Nakamura Y. Starch biosynthesis in rice endosperm requires the presence of either starch synthase I or IIIa. *J. Exp. Bot.* 62: 4819-4831 (2011)
- Hong HC, Moon HP, Choi HC, Hwang HG, Kim YG, Kim HY, Yea JD, Shin YS, Kang KH, Choi YH, Cho YC, Back MK, Yang CI, Choi IS, Ahn SN, Yang SJ. A lodging tolerant, opaque rice cultivar 'Seolgaeng'. *Korean J. Breed. Sci.* 43: 532-537 (2011)
- Jeong O, Shin M. Preparation and stability of resistant starch nanoparticles, using acid hydrolysis and cross-linking of waxy rice starch. *Food Chem.* 256: 77-84 (2018)
- Korean statistical information service (KOSIS). 2019. Food Grain Consumption Survey Report in 2018 http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01 Accessed Jan. 22, 2019.
- Kwak J, Yoon MR, Lee JS, Lee JH, Ko S, Tai TH, Won YJ. Morphological and starch characteristics of the Japonica rice mutant variety Seolgang for dry-milled flour. *Food Sci. Biotechnol.* 26: 43-48 (2017)
- Leewatcharongjaroen J, Anuntagool J. Effect of dry-and wet-milling on chemical, physical and gelatinization properties of flour from nine rice *Oryza sativa* L. cultivars. *Rice Sci.* 23: 274-281 (2016)
- Medcalf DG, Gilles KA. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.* 42: 558-568 (1965)
- Nagato K. On the hardness of rice endosperm. *Japanese J. Crop Sci.* 31: 102-107 (1962)
- No J, Lee CE, Shin M. Granular morphology and thermal properties of acid-hydrolyzed rice starches with different amylose contents. *Korean J. Food Cook. Sci.* 33: 307-315 (2017)
- Nongsaro. Rice breed information of Singil. Available from: http://www.nongsaro.go.kr/portal/remoteFileView.do?url=http://atis.rda.go.kr/rdais/commonModule/fileDownloadToApp.vw?file_name=%2Fatis%2Fspciesoutput. Accessed Nov. 20, 2018.
- Nongsaro. Rice breed information of Hangaru. Available from: <http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psz/psza/contentMain.ps?menuId=PS00112&pageIndex=1&pageSize=10&tabAt=FC&cntntsNo=&sCropsCode=FC&sCropsNm=&sMtrtSeCode=&sSkillSeCode=&sGrdlSeCode=&sUnbrngYear=&sSrchType=&oriPrdlstCtgCode=&viewType=ajaxLst&chkType=notYear&sText=%ED%95%9C%EA%B0%80%EB%A3%A8&sType=sNmSjInfo&detSchCode=N>. Accessed Jan. 30, 2019.
- Satoh H, Matsusaka H, Kumamaru T. Use of N-methyl-N-nitrosourea treatment of fertilized egg cells for saturation mutagenesis of rice. *Breeding Sci.* 60: 475-485 (2010)
- Schoch TJ. Swelling power and solubility of granular starches. Vol IV. pp. 106-108. In: *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Whistler RL (ed). Academic Press, New York, NY, USA (1964)
- Song JY, Shin M. Effects of soaking and particle sizes on the properties of rice flour and gluten-free rice bread. *Food Sci. Biotechnol.* 16: 759-764 (2007)
- Tamaki M, Kurita S, Toyomaru M, Tsuchiya T. Hardness distribution and endosperm structure on polishing characteristics of brewer's rice kernels. *Plant Prod. Sci.* 10: 481-487 (2007)
- Yoon MR, Chun A, Oh S, Ko S, Kim D, Hong H, Choi I, Lee J. Physicochemical properties of endosperm starch and breadmaking quality of rice cultivars. *Korean J. Crop Sci.* 56: 219-225 (2001)
- Yun MS, Kawagoe Y. Septum formation in amyloplasts produces compound granules in the rice endosperm and is regulated by plastid division proteins. *Plant Cell Physiol.* 51: 1469-1479 (2010)
- Webb BD, Pomeranz Y, Afework S, Lai FS, Bollich CN. Rice grain hardness and its relationship to some milling, cooking, and processing characteristics. *Cereal Chem.* 63: 27-30 (1986)
- Wikipedia. Japonica rice. Available from: <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%9E%90%ED%8F%AC%EB%8B%88%EC%B9%B4%EC%8C%80>. Accessed Jan. 30, 2019.
- Williams PC, Kuzina FD, Hlynka I. Rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.* 47: 411-420 (1970)