

아밀로스 함량이 다른 국내산 가공용 쌀가루 블렌드의 비가산적 효과

홍은미^{1,2} · 노신정³ · 김용노^{1,2,3,4*}

¹서울대학교 바이오시스템공학과, ²융합전공 글로벌 스마트팜,
³서울대학교 식품바이오융합연구소, ⁴서울대학교 농업생명과학연구원

Non-Additive Effects of Rice Flour Blends Prepared Using Korean Rice Cultivars with Different Amylose Contents

Eun-Mi Hong^{1,2}, Shin-Joung Rho³, and Yong-Ro Kim^{1,2,3,4*}

¹Department of Biosystems and Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University

²Global Smart farm Convergence Major, Seoul National University

³Center for Food and Bioconvergence, Seoul National University

⁴Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

Abstract

The physicochemical properties of Korean rice flour cultivars (*Saemimyeon* [SM], *Hanareum* No. 4 [HA], and *Milyang* No. 328 [MY]) with different amylose contents were analyzed and the effects of rice flour blending on their physicochemical property changes were investigated in this study. The swelling power of three different cultivars was similar at 60°C, but MY showed significantly enhanced swelling power at 80°C compared to SM and HA. In the pasting profile, MY showed significantly lower final and break-down viscosities than SM and HA due to its weak granular rigidity. In the case of the 1:1 blending of SM-MY and HA-MY, the measured values of swelling power and solubility were greatly decreased at 80°C, and the setback and final viscosity were significantly increased compared to their predicted arithmetic average values, showing the non-additive effects of blending. For the dynamic viscoelastic properties, SM-MY and HA-MY showed significantly decreased G' and increased k' and $\tan\delta$, compared to their predicted average values. In conclusion, the selected rice flour blends had non-additive effects on swelling power, solubility, pasting, and dynamic viscoelastic properties. These results showed the feasibility of the rice flour blending to diversify the physicochemical properties of rice flour for better processing suitability.

Key words: rice flour, blending, swelling power, pasting property, rheological property

서 론

쌀은 우리의 주식으로 국가 식량 작물로서 중요한 역할을 하고 있으나 수입 쌀물량의 증가와 생산 및 수요의 불균형으로 인한 재고누적, 쌀의 고품질화로 인해 쌀 수급 안정과 농가소득 향상에 부담을 주고 있다(Jeon, 2013). 이러한 문제를 해결하기 위하여 쌀 소비 촉진 방안 모색 및 쌀을 이용한 가공식품 개발 연구가 활발히 이루어지고 있다.

쌀을 이용하여 가공제품 개발 시 이용성을 증대 시키는 방법으로 수확 후 가공처리를 이용할 수도 있지만, 육성된

품종 고유의 이화학적 가공특성을 파악하고 각 품종에 맞는 용도를 찾는 연구를 통해 이용성을 증대시킬 수도 있다(Sim et al., 2015). 건조중량의 약 90% 이상이 전분인 쌀은 아밀로스(amylose)와 아밀로펙틴(amylopectin)으로 구성되어 있으며, 호화 및 노화, 물리적 특성은 이들 비율에 따라 영향을 받는다(Lee et al., 2017). 따라서 이러한 특성을 고려하여 용도에 맞는 쌀 품종을 이용해야 하며, 각 품종의 이화학적 특성이나 전분구조 및 형태 등을 파악하는 것이 요구된다(Sim et al., 2015).

쌀가루의 이용도를 높이기 위해 쌀가루의 특성을 다양화하기 위한 새로운 방법이 모색되고 있는데 그 중 하나로 쌀가루 블렌딩을 이용할 수 있다. 블렌딩 방법을 이용하면 천연전분의 기능적 특성을 개선할 수 있으며, 상대적으로 저렴한 전분을 블렌딩 기술로 이용하였을 때는 경제적인 이점도 가질 수 있다(Mais et al., 2008; Waterschoot et al., 2015). 또한 최근 천연 식품에 대한 수요가 증가함에 따라 클린라벨(clean label)에 대한 식품산업에서의 관심이

*Corresponding author: Yong-Ro Kim, Department of Biosystems and Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

Tel: +82-2-880-4607; Fax: +82-2-873-2049

E-mail: yongro@snu.ac.kr

Received October 14, 2020; revised October 28, 2020; accepted October 29, 2020

증가하고 있는데, 이런 전분의 블렌드를 통해 전분 특성을 변화시키는 블렌딩 기술은 클린라벨 전분의 제조 방법으로 활용될 수 있다(Zhang et al., 2011). 전분 블렌딩 방법 이용 사례로 Stute & Kern(1994)은 푸딩 준비를 위해 옥수수와 완두콩 전분의 혼합 사용에 대한 특허를 받았으며, 국수 제조를 위해 다양한 전분과 밀가루 블렌딩의 적합성이 연구되었다(Collado et al., 2001; Noda et al., 2006; Sandhu et al., 2010). Waterschoot et al. (2015)의 연구에서도 전분을 블렌딩 하였을 때 전분의 페이스트 형성능, 겔 특성, 호화 및 노화 특성에 대하여 비가산적 효과가 존재한다고 보고하였다.

그러나 지금까지 다양한 아밀로스 함량을 가진 가공용 쌀가루의 물리화학적 특성 연구는 많이 이루어져 있지 않으며, 쌀가루의 대부분을 이루고 있는 전분의 블렌딩에 대한 비가산적 효과가 쌀가루 블렌딩에서도 나타날 것으로 예상되지만 아직까지 쌀가루 간 블렌딩에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 아밀로스 함량이 다른 가공용 쌀가루와 쌀가루 블렌드의 물리화학적 특성인 팽윤력, 용해도, 페이스트 특성, 동적 점탄성 특성 등을 분석·비교하여 쌀가루 블렌딩을 통하여 나타나는 비가산적 효과를 확인하고 이를 통해 쌀가공 식품 개발을 위한 쌀가루 블렌딩의 적용 가능성을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용된 가공용 개량 쌀품종인 새미면(Saemimyeon, SM)과 한아름4호(Hanareum No. 4, HA), 밀양328호(Milyang No. 328, MY)는 농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부(Suwon, Korea)로부터 제공받았으며 D50 = 75-80 μm 의 규격으로 제분 후 100 mesh의 표준체에 통과시킨 쌀가루를 4°C에 보관하면서 실험에 사용하였다.

아밀로스 함량 및 쌀가루 블렌드 제조

쌀가루의 겉보기 아밀로스 함량은 AACC (2000) 방법을 이용하여 측정하였으며 쌀가루 블렌드는 두 품종의 쌀가루를 각각 1:1 비율로 혼합하여 제조하였다.

팽윤력 및 용해도

팽윤력(swelling power, SP)과 용해도(water solubility, WS)는 각각 Lii et al. (1986)과 Schoch (1964)의 방법을 약간 변형하여 측정하였다. 쌀가루 분산액(2%, w/v)을 60°C와 80°C의 항온수조에서 각각 30분간 교반하면서 호화시킨 다음 10 mL을 취하여 상온에서 원심분리(15,000×g, 30분) 후 고형분(wet sediment)과 상층액(supernatant)의 무게를 측정하였다. 그 후, 상층액을 다시 60°C의 dry

oven에서 하루 동안 건조시킨 후 고형의 무게를 측정하여 식 (1)과 식 (2)로 팽윤력과 용해도를 계산하였다.

$$\text{Water solubility (WS, \%)} = \frac{\text{Dry sediment weight}}{\text{Dry sample weight}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Swelling power (SP, g/g)} \\ = \frac{\text{Wet sediment weight}}{\text{Dry sample weight} \times \left(1 - \frac{\text{WS}(\%)}{100}\right)} \end{aligned} \quad (2)$$

페이스트 형성능 측정

페이스트 형성능은 AACC (2010) 방법에 의하여 신속 점도 측정기(rapid visco-analyzer, Newport Scientific Pty Ltd., Sydney, Australia)를 이용하여 측정하였다. 쌀가루 용액(12%, w/v)을 960 rpm에서 10초 동안 섞고 50°C에서 50초 동안 유지시킨 다음 95°C까지 10°C/min의 속도로 온도를 상승시켰다. 이 후 3분 30초 동안 온도를 유지하다가 50°C까지 10°C/min의 속도로 냉각시키면서 점도를 측정하였다. 호화 온도(pasting temperature), 최고 점도(peak viscosity), 최저 점도(trough), 최종 점도(final viscosity)를 측정하고 이를 통해 강하점도(break-down, 최고점도-최저점도), 치반점도(setback, 최종점도-최저점도) 값을 도출하였다.

동적 점탄성 특성 측정

쌀가루와 쌀가루 블렌드 페이스트의 동적 점탄성 특성(dynamic viscoelastic)은 25°C로 설정된 rheometer (AR 1500ex, TA Instruments Ltd., New castle, Delaware, USA)의 parallel plate system (직경 20 mm, gap 1,000 μm)을 사용하여 측정하였다. 쌀가루 현탁액(10%, w/w)을 95°C의 항온수조에서 10분 동안 호화 시켜 페이스트를 제조하였으며 0.1-10 Hz의 범위 내에서 frequency sweep test (0.5% strain)를 통해 저장탄성률(storage modulus, G'), 손실탄성률(loss modulus, G''), $\tan\delta$ (G'/G'') 값을 측정하였다. 실험하는 동안 측정 시료의 수분 증발을 방지하기 위해 실리콘 오일을 시료 옆면에 얇게 도포하였다. 또한 frequency에 대한 G' 와 G'' 의 관계식 (3)과 (4)로부터 선형회귀에 적용하여 결정된 G' 과 G'' 의 기울기(n' , n''), 절편의 로그 값 $\{\log(k')$, $\log(k'')\}$, 결정계수(R^2)를 도출하였다(Cho et al., 2008; Kim et al., 2000).

$$G' = k'(f)^{n'} \quad (3)$$

$$G'' = k''(f)^{n''} \quad (4)$$

통계분석

모든 실험은 3회 반복 측정하였으며 평균값±표준편차로 나타냈다. 실험결과는 SPSS (IBM SPSS Statistics for windows, Version 25.0, Armonk, NY, USA)를 이용하여

일원배치 분산분석법(One-way ANOVA)으로 분석하였고, Tukey's HSD multiple range test를 통하여 $p < 0.05$ 수준에서 그룹 간의 유의적인 차이를 검증하였다. 쌀가루 블렌드의 측정 값(measured value, MV)과 두 쌀가루의 평균값인 예측 값(predicted value, PV) 간의 유의적 차이는 독립 표본 t -test를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

팽윤력 및 용해도

60°C와 80°C에서 측정된 가공용 쌀가루와 쌀가루 블렌드의 팽윤력과 용해도는 Table 1에 나타내었다. 60°C에서 측정된 팽윤력 값은 쌀가루 품종 별 유의적인 차이를 보이지 않았지만 80°C에서 측정된 팽윤력 값은 아밀로펙틴과 정의 상관관계를 갖고 높은 아밀로스 함량이 팽윤을 억제한다는 기존 연구 결과와 유사하였다(Tester & Morrison, 1990; You et al., 2014). 팽윤력과 용해도 모두 60°C에서 측정된 값보다 80°C에서 측정된 값이 더 높게 나타났으며 특히 밀양328호(Milyang No. 328, MY)의 경우 약 4배 정도 높은 팽윤력과 약 8.7배 높은 용해도 값을 보였다. Leach (1959)은 전분 입자내의 결합력은 팽윤 양상에 영향을 줄 수 있으며 결합력이 약할수록 높은 팽윤력을 나타낸다고 보고하였다. 또한 Kim & Ahn (1997)은 결합정도가 강한 전분은 팽윤에 대하여 강하게 저항하며 입자내의 상대적인 결합강도는 가열에 따른 팽윤력을 비교하여 예측할 수 있다고 보고하였다. 따라서 80°C의 온도에서 밀양328호의 높은 팽윤력과 용해도 값은 다른 쌀 품종에 비하여 가열에 대한 전분 입자내의 결합력이 상대적으로 약한 것에 기인한다고 볼 수 있다.

쌀가루 블렌드의 경우 60°C에서는 팽윤력과 용해도 모두 두 쌀가루 간의 평균값인 예측 값(PV)과 실제 블렌딩 후 측정된 측정 값(MV) 간의 유의적인 차이는 발견되지 않았다($p > 0.05$). 하지만 80°C에서 밀양328호와 혼합된 쌀가루 블렌드인 새미면-밀양328호(SM-MY)와 한아름4호-밀양328호(HA-MY)의 팽윤력과 용해도 값(MV)은 PV 값에 비해 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 일반적으로, 아밀로펙틴으로만 구성된 찹쌀 전분은 다른 곡류 전분에 비하여 낮은 온도에서 팽윤이 시작되며 가열에 대한 전분 입자내의 결합력이 약하기 때문에 구조가 쉽게 파괴되어 팽윤이 잘 일어난다고 보고 되고 있다(Song & Shin, 1998). 따라서 블렌딩에 찹쌀 품종인 밀양328호를 이용할 경우 상대적으로 먼저 팽윤되어 혼합된 다른 쌀가루가 충분한 물을 보유할 수 없는 환경으로 만들기 때문에 팽윤 억제 현상이 나타난 것으로 보인다. 용해도는 전분 분산액을 일정한도로 가열하였을 때 팽윤되면서 용해된 고형물이 분석된 값으로, 용해도가 높을수록 전분입자로부터 많은 양의 저분자 사슬이 용출되었음을 나타낸다(Oh et al., 2014). 따라서 용해도 또한 블렌딩으로 인하여 감소된 팽윤력의 영향을 받아 유의적으로 감소한 것으로 판단된다($p < 0.05$).

쌀가루 블렌드에 의한 페이스트 형성능 변화

신속 점도 측정기로 분석한 가공용 쌀가루와 쌀가루 블렌드의 RVA viscogram은 Fig. 1에 나타내었으며, viscogram으로부터 분석한 페이스트 점도 지표들은 Table 2에 나타내었다. 쌀가루의 페이스트 형성능은 쌀가루 품종에 따라 다른 경향을 보였으며 호화개시온도(pasting temp.)는 아밀로스 함량이 높은 새미면에서 가장 높은 값을 나타내어 아밀로스 함량과 정의 상관관계를 가진다는 기존 연구결과와

Table 1. Swelling power and water solubility values of rice flours and their 1:1 blends

Sample	Swelling power (g/g)		Water solubility (%)		Apparent amylose content (AAC) (%)	
	60°C	80°C	60°C	80°C		
SM ²⁾	-	3.26±0.11 ^{a1)}	6.42±0.04 ^c	2.50±3.54 ^a	5.00±0.00 ^c	26.9±0.5 ^a
HA ³⁾	-	4.20±0.00 ^a	6.93±0.11 ^c	0.00±0.00 ^a	6.67±2.89 ^e	17.1±0.8 ^b
MY ⁴⁾	-	3.45±0.13 ^a	13.75±0.82 ^a	5.00±0.00 ^a	43.33±2.89 ^a	5.5±0.6 ^c
SM-HA	MV ⁵⁾	4.13±0.23 ^a	6.49±0.10 ^c	2.50±3.54 ^a	3.33±2.36 ^c	-
	PV ⁶⁾	3.73±0.06	6.68±0.07	1.25±1.25	5.83±1.18	-
SM-MY	MV	3.50±0.29 ^a	9.35±0.46 ^{b*7)}	5.00±0.00 ^a	13.33±2.36 ^{b*}	-
	PV	3.36±0.01	10.09±0.43	3.75±1.25	24.17±1.18	-
HA-MY	MV	3.76±0.08 ^a	9.34±0.28 ^{b*}	5.00±0.00 ^a	18.33±2.36 ^{b*}	-
	PV	3.83±0.07	10.34±0.42	2.50±0.00	25.00±2.04	-

¹⁾The values represent mean ± SD for three experiments.

²⁾SM: Saemimyeon

³⁾HA: Hanareum No. 4

⁴⁾MY: Milyang No. 328

⁵⁾MV: Measured value

⁶⁾PV: Predicted arithmetic average value of each rice flour.

⁷⁾The maker (*) indicates significant difference between the MV and PV by t -test. ($p < 0.05$)

^{a-c} Values in the same column with different letters superscripts are significantly different by Tukey's multiple range test. ($p < 0.05$)

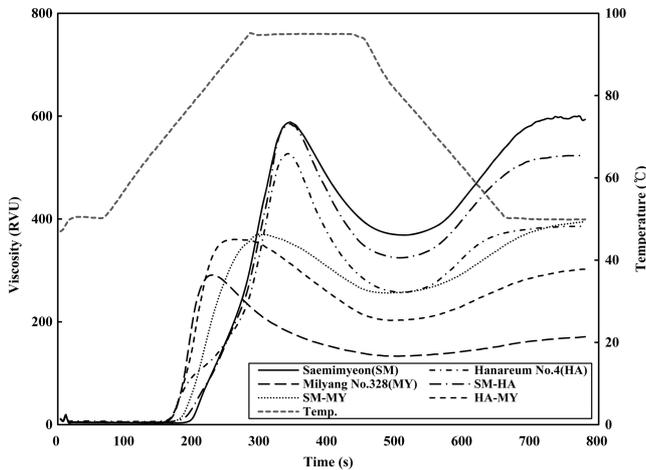


Fig. 1. RVA pasting profiles of rice flours and their 1:1 blends.

일치하였다(Ha et al., 1999). 강하점도(break-down)는 호화 중 열 및 전단에 대한 저항을 나타내는 값으로 아밀로스 함량과 부의 상관관계를 나타낸다(Sim et al., 2015). 본 연구 결과 역시 아밀로스 함량이 높은 새미면의 강하점도는 219.79 RVU로 한아름4호보다 더 낮은 값을 나타냈다. 특히하게도 밀양328호는 가장 낮은 아밀로스 함량을 가지고 있음에도 불구하고 가장 낮은 최고점도와 강하점도 값을 나타냈다. Vandeputte et al. (2003)는 10% 정도의 전분 호화액 농도일 경우 점도는 아밀로스 함량보다는 입자의 강성에 의해 결정될 수 있다고 보고하였으며, 다른 연구에서도 호화 특성은 아밀로스 함량 뿐만 아니라 아밀로펙틴 사슬 분포, 지질 함량, 단백질 함량 등 여러 요인에 의해 영향을 받는다고 설명하였다(Han & Hamker, 2001; Jane et al., 1999). 찰벼 품종인 밀양328호의 경우 약한 입자 강성

및 이외의 다른 특성들이 점도에 더 크게 영향을 미쳐 최고점도와 강하점도가 가장 낮게 나온 것으로 판단된다. 노화 특성을 나타내는 치반점도(setback)는 새미면 > 한아름4호 > 밀양328호 순으로 높게 나타나 치반점도는 아밀로스 함량과 정의 상관관계를 나타낸다는 기존 연구결과와 일치하였다(Jeong et al., 2013).

쌀가루 블렌딩에 밀양328호를 사용한 새미면-밀양328호와 한아름4호-밀양328호의 호화특성 측정 값(MV)은 평균 예측 값(PV)과 유의적인 차가 있었으며($p < 0.05$), 최고점도와 강하점도는 감소하였고 치반점도와 최종점도는 증가하는 경향을 나타냈다(Table 2, Fig. 1). 이는 상대적으로 전분 내 결합력이 낮고 팽윤력이 높으며 최고점도에 이르는 시간이 가장 짧은 밀양328호의 호화특성에 의한 현상일 수 있다. 즉, 밀양328호와 다른 가공용 쌀가루와의 팽윤력 차이로 인해 서로 물에 대하여 경쟁함으로써 생기는 결과로 보여진다(Waterschoot et al., 2016). 밀양328호가 상대적으로 먼저 전분 내 구조가 파괴되면서 호화를 시작하고 팽윤 되면서 상대적으로 팽윤력이 낮은 쌀가루들의 팽윤을 억제하고, 그 결과 호화가 지연되면서 최고점도와 강하점도를 감소시켜 가열과 전단에 대한 내구력을 가지게 된 것으로 판단된다(Lin et al., 2013; Ronda et al., 2013; Zhang et al., 2011). 이는 앞에서 언급한 밀양328호를 혼합한 쌀가루 블렌드의 팽윤력이 감소된 결과와 일치한다. 특히 새미면-밀양328호의 경우 강하점도가 블렌딩 하지 않은 쌀가루인 새미면, 한아름4호, 밀양328호보다 유의적으로 낮은 값을 보였는데, 이 결과 역시 쌀가루들이 블렌딩 되면서 일어나는 상호작용에 의한 비가산적인 효과로 판단된다. 위에서 언급한 바와 같이 새미면에 비하여 낮은 호화 온도와 높은 팽윤력을 가지는 밀양328호가 새미면의 호화

Table 2. Pasting properties of rice flours and their 1:1 blends

Sample		Viscosity (RVU)					Pasting temp (°C)
		Peak	Trough	Break-down	Setback	Final	
SM ²⁾	-	588.25±8.49 ^{a1)}	368.46±6.89 ^a	219.79±1.59 ^b	225.04±20.92 ^a	593.50±14.02 ^a	76.65±0.00 ^a
HA ³⁾	-	526.96±3.48 ^b	256.83±1.18 ^c	270.13±4.66 ^c	129.08±0.59 ^{bc}	385.92±1.77 ^c	70.13±0.04 ^d
MY ⁴⁾	-	291.21±14.20 ^d	133.17±6.13 ^e	158.04±0.87 ^c	37.75±0.94	170.92±7.07 ^c	70.23±0.04 ^d
SM-HA	MV ⁵⁾	585.46±14.38 ^a	324.33±7.83 ^b	261.13±6.54 ^d	199.38±0.04 ^a	523.71±7.88 ^b	74.18±0.02 ^{b*}
	PV ⁶⁾	557.60±4.23	312.65±2.02	244.96±2.21	177.06±7.60	489.71±5.58	73.39±0.01
SM-MY	MV	370.17±8.42 ^{c*7)}	255.92±7.92 ^c	114.25±0.50 ^{d*}	138.54±2.13 ^{b*}	394.46±10.04 ^{c*}	72.63±0.03 ^{c*}
	PV	439.73±8.02	250.81±4.60	188.92±3.42	131.40±7.06	382.21±2.46	73.44±0.01
HA-MY	MV	360.33±4.17 ^{c*}	202.54±6.71 ^d	157.79±2.54 ^{c*}	99.75±1.67 ^{c*}	302.29±8.38 ^{d*}	70.23±0.13 ^d
	PV	409.08±6.25	195.00±1.75	214.08±4.50	83.42±0.12	278.42±1.88	70.18±0.02

¹⁾The values represent mean ± SD for three experiments.

²⁾SM: Saemimyeon

³⁾HA: Hanareum No. 4

⁴⁾MY: Milyang No. 328

⁵⁾MV: Measured value

⁶⁾PV: Predicted arithmetic average value of each rice flour.

⁷⁾The maker (*) indicates significant difference between the MV and PV by *t*-test. ($p < 0.05$)

^{a-c} Values in the same column with different letters superscripts are significantly different by Tukey's multiple range test ($p < 0.05$).

를 억제하고, 그 결과 최고점도를 감소시켜 강하점도 또한 낮은 값을 가지게 된 것으로 보인다(Fig. 1). 호화 특성에서 이와 같은 블렌딩을 통한 비가산적 효과는 새미면과 밀양328호와 같이 호화 온도가 크게 차이나는 경우, 그 효과가 확연히 드러난다고 알려져 있다(Waterschoot et al., 2015).

일반 메벼 품종인 한아름4호와 새미면-밀양328호 블렌드의 호화특성을 비교한 결과 최종점도는 유의적으로 차이가 나지 않으나 새미면-밀양328호 블렌드의 강하점도는 확연히 낮았고 치반점도는 높게 나타났다. 이러한 결과는 쌀가루 블렌딩 만으로도 유사한 최종점도를 가지면서 열 및 전단, 노화에 대한 더 좋은 가공적성을 지닌 새로운 호화특성을 만들 수 있음을 시사한다(Waterschoot et al., 2015), 따라서 쌀가루 가공 시 다양한 특성을 지닌 쌀가루를 블렌딩하여 호화특성을 조절하는 기술 또한 식품가공 및 조리 특성 개선에 이용 가능할 것으로 생각된다.

가공용 쌀가루와 쌀가루 블렌드 페이스트의 동적 점탄성 특성

가공용 쌀가루와 쌀가루 블렌드의 frequency (0.1-10 Hz)에 대한 G', G''값은 Fig. 2에 나타내었으며, 1 Hz frequency 조건에서 탄성적 성질을 나타내는 저장탄성률(G'), 점성적 성질을 대표하는 손실탄성률(G'')와 점탄성 성질을 나타내는 tanδ (G''/G')의 값은 Table 3에 나타내었다. 가공용 쌀가루의 G'값은 아밀로스 함량과 양의 상관관계를 보이면서 고아밀로스 품종인 새미면이 가장 높게 측정되었다(Biliaderis & Juliano, 1993). 이러한 현상은 쌀가루가 페이스팅 된 후 상온으로 냉각되었을 때 아밀로스 함량이 높을 경우 아밀로스 분자들 사이의 수소결합으로 높은 정도의 가교영역이 형성되어 상대적으로 단단한 겔을 형성하고, 반대로 아밀로스 함량이 낮을 경우 가교영역을 빠르게 형성하지 못하여 점조성이 높은 졸(sol)을 형성하기 때문으로 판단된다(Kim, 2014; BeMiller, 2007). 이러한 경향은 본 실험의 페이스트 특성 중 최종점도의 순서와도 일치하였다. 점탄적 거동으로 평가되는 값인 G''과 G'의 비율인 tanδ 값은 1보다 작으면 탄성적 성질이 크고, 1보다 크면 점성적 성질이 크다는 것을 나타낸다(Choi et al., 2016; Lii et al., 1995). 동적 점탄성 특성을 1 Hz frequency에서 보았을 때 모든 가공용 쌀가루의 tanδ 값은 1보다 작은 값을 나타내어 점성적 성질보다 탄성적 성질이 더 크다는 것을 확인하였으며(Table 3), 이러한 결과는 기존의 쌀가루 점탄성 거동과 일치하였다(Kim et al., 2017). Frequency에 대한 G'과 G''의 관계식으로부터 선형회귀에 적용하여 결정된 G', G''의 기울기(n', n'')와 절편의 로그 값 {log(k'), log(k'')} 및 결정계수(R²)는 Table 4에 나타내었다. G'의 n'값은 0.058-0.271, G''의 n''값은 0.137-0.314 사이로 나타났으며 R² 수치(0.89-0.99)로 직선관계를 나타내었다. 모든 시료에 대해서 1 Hz frequency에서 G'값은 G''값보다

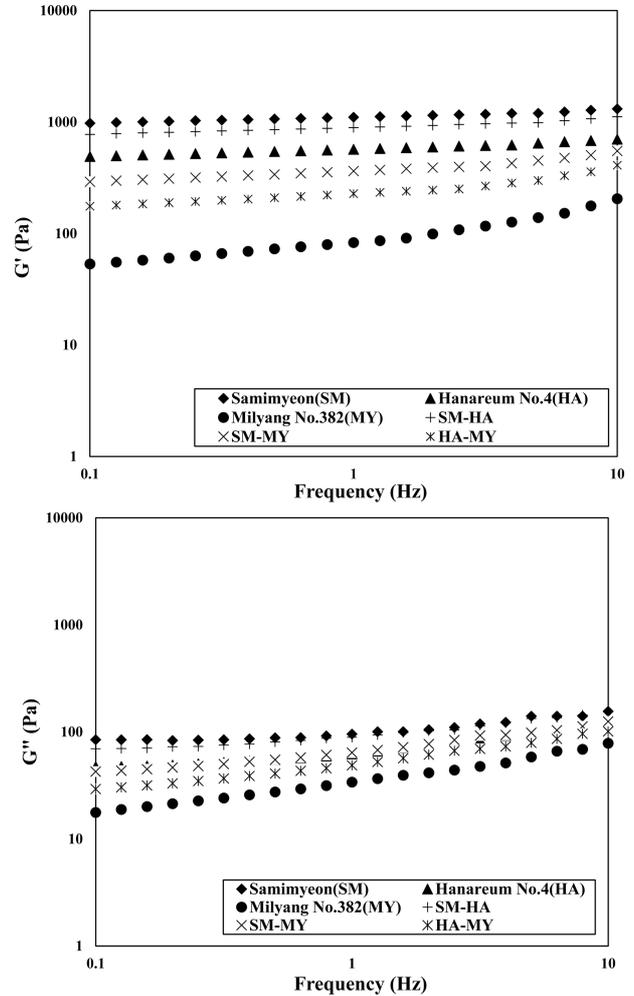


Fig. 2. Plot of G' (storage modulus), G'' (loss modulus) vs. frequency (Hz) for rice flours and their 1:1 blends at 25°C.

Table 3. Storage (G'), loss modulus (G''), and tanδ values at 1Hz frequency of rice flours and their 1:1 blends

Sample		G' (Pa)	G'' (Pa)	tanδ
SM ²⁾	-	1,105.5±10.5 ^{a 1)}	95.4±6.2 ^a	0.09 ^d
HA ³⁾	-	569.3±46.6 ^c	62.2±2.5 ^b	0.11 ^{cd}
MY ⁴⁾	-	82.9±12.2 ^e	33.9±1.9 ^d	0.41 ^a
SM-HA	MV ⁵⁾	891.0±45.5 ^b	89.0±3.8 ^a	0.10 ^{cd}
	PV ⁶⁾	822.1±5.4	78.7±1.6	0.10
SM-MY	MV	363.6±24.4 ^{d*7)}	64.1±1.2 ^b	0.18 ^{bc*}
	PV	594.2±0.8	64.6±2.2	0.11
HA-MY	MV	227.6±20.4 ^{de*}	48.7±4.1 ^{bc}	0.21 ^{b*}
	PV	310.8±16.8	47.9±2.5	0.15

¹⁾The values represent mean ± SD for three experiments.
²⁾SM: Saemimyeon
³⁾HA: Hanareum No. 4
⁴⁾MY: Milyang No. 328
⁵⁾MV: measured value
⁶⁾PV: predicted arithmetic average value of each rice flour.
⁷⁾The maker (*) indicates significant difference between the MV and PV by t-test. (p<0.05)
^{a-c}Values in the same column with different letters superscripts are significantly different by Tukey's multiple range test. (p<0.05)

Table 4. Slopes (n', n'') and intercepts (k', k'') of G', G'' versus f (frequency, Hz) data for rice flours and their 1:1 blends

Sample		n'	log (k')	R ²	n''	log (k'')	R ²
SM ²⁾	-	0.058±0.002 ^{c1)}	3.05±0.01 ^a	0.98	0.137±0.002 ^d	2.01±0.08 ^a	0.89
HA ³⁾	-	0.073±0.004 ^{bc}	2.76±0.03 ^b	0.99	0.208±0.004 ^c	1.82±0.12 ^b	0.95
MY ⁴⁾	-	0.271±0.047 ^a	1.95±0.05 ^c	0.96	0.314±0.047 ^a	1.54±0.02 ^c	0.99
SM-HA	MV ⁵⁾	0.071±0.001 ^{bc}	2.95±0.02 ^a	0.97	0.177±0.001 ^d	1.97±0.03 ^a	0.96
	PV ⁶⁾	0.067±0.002	2.89±0.01	-	0.171±0.002	1.91±0.00	-
SM-MY	MV	0.122±0.002 ^b	2.57±0.03 ^{c*7)}	0.95	0.236±0.002 ^{bc}	1.83±0.03 ^b	0.99
	PV	0.165±0.025	2.50±0.02	-	0.225±0.025	1.77±0.00	-
HA-MY	MV	0.158±0.008 ^{bc}	2.37±0.03 ^{d*}	0.93	0.274±0.008 ^{ab}	1.90±0.02 ^b	0.99
	PV	0.174±0.025	2.34±0.03	-	0.259±0.025	1.68±0.02	-

¹⁾The values represent mean ± SD for three experiments.

²⁾SM: Saemimyeon

³⁾HA: Hanareum No. 4

⁴⁾MY: Milyang No. 328

⁵⁾MV: Measured value

⁶⁾PV: Predicted arithmetic average value of each rice flour.

⁷⁾The maker (*) indicates significant difference between the MV and PV by *t*-test. ($p < 0.05$)

^{a-c}Values in the same column with different letters superscripts are significantly different by Tukey's multiple range test. ($p < 0.05$)

높은 값을 나타냈다. 따라서 가공용 쌀가루와 쌀가루 블렌드는 약한 겔과 같은 거동을 보여주고 있다(Cho et al., 2008). 구조적 측면에서 강한 겔인 경우 기울기 값이 '0'에 근접하지만 가공용 쌀가루와 쌀가루 블렌드의 경우 약한 겔과 같은 구조를 가져 양(+)의 기울기를 나타낸 것으로 보인다(Yoo et al., 2005).

새미면-밀양328호와 한아름4호-밀양328호 블렌드의 경우 1Hz frequency에서 G' 측정 값(MV)이 PV 값보다 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 이는 앞에서도 설명하였듯이 밀양328호의 높은 팽윤력으로 인해 두 쌀가루가 물과 경쟁을 하는 환경이 형성되었기 때문에 판단된다(Edward et al., 1999). 새미면-밀양328호와 한아름4호-밀양328호 블렌드의 $\tan\delta$ 측정 값은 예측 값에 비하여 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 이는 다른 쌀가루들에 비하여 매우 낮은 G' 값과 높은 $\tan\delta$ 을 가지고 있는 밀양328호가 첨가되어 희석된 결과인 것으로 판단된다. G'의 절편의 로그값 {log(k')}은 밀양328호와 블렌딩할 경우 유의적으로 증가하여 밀양328호의 혼입이 블렌딩된 쌀가루 간의 조밀한 입자 사이의 상호 결합을 강하게 만든 것을 확인할 수 있었다(Kim et al., 2017).

쌀가루 블렌딩의 비가산적 효과

쌀가루 블렌딩을 통한 비가산적 효과에 대해서는 Table 5에 나타냈으며 MV와 PV의 유의적 차이를 비교함으로써 쌀가루 블렌딩의 비가산적 효과를 평가하였다. 쌀가루를 블렌딩 했을 때 80°C에서 측정된 팽윤력과 용해도의 경우 밀양328호가 혼입된 쌀가루 블렌드에서 비가산적으로 감소하는 것을 확인하였다. 페이스트 특성에서는 밀양328호가 혼입된 쌀가루 블렌드의 최고점도와 강하점도가 감소하였

고 치반점도와 최종점도는 증가하는 효과를 보였다. 동적 점탄성 특성은 1 Hz frequency 조건에서 밀양328호가 포함된 쌀가루 블렌드의 G' 값이 감소하였으며, $\tan\delta$ 값과 절편의 로그값 {log(k')}은 증가하는 경향을 보였다. 따라서 가공용 쌀가루 간의 블렌딩을 통해 물리화학적 특성에 비가산적인 효과가 있음을 확인하였고, 이러한 효과는 기존의 쌀가루와 다른 새로운 특성을 부여할 수 있다. 뿐만아니라 쌀가루 블렌딩은 특성의 다양화로 인해 기존에 사용되는 밥쌀 이용 쌀가루의 품질 한계를 개선할 수 있으며, 특성 변화를 위한 추가적인 처리 없이 기존 쌀가루와 가공용 쌀의 혼합에 따라 품질 경쟁력과 함께 원가 경쟁력을 가질 수 있을 것이라고 판단된다.

요 약

본 연구에서는 아밀로스 함량이 다른 국내산 가공용 쌀가루의 물리화학적 특성을 비교하고 그들의 특성이 쌀가루 블렌드의 이화학적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 가공용 쌀가루의 60°C에서 측정된 팽윤력 값은 세가지 품종 모두 유의적인 차이가 없었다. 그러나 80°C에서는 찰벼 품종인 밀양328호의 팽윤력이 급격히 상승하면서 가장 높은 값을 나타냈으며 약한 입자 강성으로 인해 다른 품종의 쌀가루보다 최종점도 및 강하점도가 유의적으로 낮게 나타났다.

밀양328호를 사용하여 쌀가루를 1:1 블렌딩 할 경우 팽윤력과 용해도의 측정값이 예측 값에 비해 유의적으로 감소하였으며 치반점도와 최종점도가 증가하는 효과를 나타내었다. 동적 점탄성 특성의 경우 1 Hz frequency 조건에서 보았을 때 새미면-밀양328호와 한아름4호-밀양328호의

Table 5. Blending effects on physicochemical properties of rice flours.

Properties	Parameters	RF	SM ¹⁾	HA ²⁾	MY ³⁾
(a) SP and WS	SP ⁴⁾ (60°C)	SM		-	-
		HA	- ⁶⁾		-
		MY	-	-	
	WS ⁵⁾ (60°C)	SM		-	-
		HA	-		-
		MY	-	-	
	SP (80°C)	SM		-	↓ ⁷⁾
		HA	-		↓
		MY	↓	↓	
	WS (80°C)	SM		-	↓
		HA	-		↓
		MY	↓	↓	
Peak-viscosity	SM		-	↓	
	HA	-		↓	
	MY	↓	↓		
Trough viscosity	SM		-	-	
	HA	-		-	
	MY	-	-		
(b) Pasting property	Break-down	SM		-	↓
		HA	-		↓
		MY	↓	↓	
Setback	SM		-	↑ ⁸⁾	
	HA	-		↑	
	MY	↑	↑		
Final viscosity	SM		-	↑	
	HA	-		↑	
	MY	↑	↑		
G' (Pa)	SM		-	↓	
	HA	-		↓	
	MY	↓	↓		
n'	SM		-	-	
	HA	-		-	
	MY	-	-		
(c) Rheological property at 1 Hz frequency	log(k')	SM		-	↑
		HA	-		↑
		MY	↑	↑	
G'' (Pa)	SM		-	-	
	HA	-		-	
	MY	-	-		
n''	SM		-	-	
	HA	-		-	
	MY	-	-		
log(k'')	SM		-	-	
	HA	-		-	
	MY	-	-		
tanδ	SM		-	↑	
	HA	-		↑	
	MY	↑	↑		

¹⁾SM: Saemimyeon
²⁾HA: Hanareum No. 4
³⁾MY: Milyang No. 328
⁴⁾SP: swelling power
⁵⁾WS: water solubility
⁶⁾- : represents additive effect
⁷⁾↓ : represents non-additive effect (antagonistic)
⁸⁾↑ : represents non-additive effect (synergistic)

1:1 블렌드는 예측 값에 비해 G'는 유의적으로 감소하였고 log(k')값과 tanδ는 증가되었다. 따라서 가공용 쌀가루 간의 블렌딩을 통하여 팽윤력 및 용해도, 페이스팅 특성, 동적 점탄성 특성에 대하여 비가산적 효과가 존재함을 확인하였으며, 기존의 가공용 쌀가루가 가지지 않는 새로운 특성을 보여줄 수 있음을 확인하였다. 더 많은 쌀가루 품종과 블렌딩 비율, 쌀가루의 농도에 대한 추가 연구를 통한 데이터가 기반이 된다면 쌀가루 블렌딩만으로도 쌀가루의 물리 화학적 특성을 고유한 특성과 다르게 다양화하여 가공 적합성을 개선할 수 있으며 그러한 특성을 조절하여 조리 및 가공에 용이하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ014 2172019)의 지원에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

References

AACC. 2000. Approved Method of the American Society of Cereal Chemists. Americal Society of Cereal Chemistry. Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
AACC. 2010. AACC Method 76-21.01. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser 11th ed.. ST. Paul, Minnesota: AACCI.
Bemiller, James N. 2007. Carbohydrate chemistry for food scientists. AACC International.
Billiaderis CG, Juliano BO. 1993. Thermal and mechanical properties of concentrated rice starch gels of varying composition. Food Chem. 48: 243-250.
Cho SA, Yoo BS. 2008. Rheological properties of sweet potato starch-sucrose composite. Korean J. Food Sci. Technol. 40: 184-189.
Choi MK, Heo HM, Jin YI, Chang DC, Kim MS, Lee YS, Chang YH. 2016. Rheological properties of cross-linked potato starch. Korean J. Food & Nutr. 45: 1525-1531.
Collado LS, Mabesa LB, Oates CG, Corke H. 2001. Bihon-type noodles from heat-moisture-treated sweet potato starch. J. Food Sci. 66: 604-609.
Edwards NM, Dexter JE, Scanlon MG, Cenkowski S. 1999. Relationship of creep-recovery and dynamic oscillatory measurements to durum wheat physical dough properties. Cereal Chem. 76: 638-645.
Han XZ, Hamaker BR. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. J. Cereal Sci. 34: 279-284.
Ha TY, Park SH, Lee SH, Kim DC. 1999. Gelatinization properties of pigmented rice varieties. Korean J. Food Sci. Technol. 31: 564-567.
Jane JL, Chen YY, Lee LF, McPherson AE, Wong KS, Radosavljevic M, Kasemsuwan T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chem. 76: 629-637.

- Jeong JM, Jeung JU, Lee SB, Kim MK, Kim BK, Sohn JK. 2013. Physicochemical properties of rice endosperm with different amylose contents. *Korean J. Crop Sci.* 58: 274-282.
- Jeon NS. 2013. Research on new growth industrialization plan of functional rice and rice processing industry. Policy focus. Gyeonnam Development Institute. pp. 1-53.
- Kim HS, Ahn SY. 1997. Effect of amylose and amylopectin on the texture of Mook. *Korean J. Hum. Ecol.* 6: 157-166.
- Kim HS. 2014. Impact of xanthan-locust bean gum mixtures on pasting/paste characteristics and freeze-thaw stabilities of waxy rice starch. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46: 593-600.
- Kim SY, Choi YR, Kim KS, Lee SJ, Chang YH. 2017. Rheological properties of calrose rice and effect of thawing methods on quality characteristics of frozen turmeric rice. *Korean J. Food & Nutr.* 46: 771-777.
- Kim YC, Yoo BS. 2000. Rheological properties of traditional kochujang. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 1313-1318.
- Leach HW, McCowen DL, Schoch TJ. 1959. Structure of starch granules. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.* 36: 534-544.
- Lee S, Lee EJ, Chung HJ. 2017. Structural and physicochemical characterization of starch from Korean rice cultivars for special uses. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 1-7.
- Lii CY, Chang SM, Yang HL. 1986. Correlation between the physico-chemical properties and the eating quality of milled rice in Taiwan. *Bull. Inst. Chem. Academia Sinica.* 55-62.
- Lii CY, Shao YY, Tseng KH. 1995. Gelation mechanism and rheological properties of rice starch. *Cereal Chem.* 72: 393-400.
- Lin JH, Kao WT, Tsai YC, Chang YH. 2013. Effect of granular characteristics on pasting properties of starch blends. *Carbohydr. Polym.* 98: 1553-1560.
- Mais A, Brennan CS, Jijofs. 2008. Characterisation of flour, starch and fibre obtained from sweet potato (kumara) tubers, and their utilisation in biscuit production. *Int. J. Food Sci.* 43: 373-379.
- Noda T, Fujikami S, Miura H, Fukushima M, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Kim SJ, Hashimoto N, Yamauchi H. 2006. Effect of potato starch characteristics on the textural properties of Korean-style cold noodles made from wheat flour and potato starch blends. *Food Sci. Technol. Res.* 12: 278-283.
- Oh SM, Jun HN, Shin MS. 2014. Gelatinization properties and molecular structure of waxy rice starches isolated from Korean japonica and indica cultivars. *Korean J. Food Cook. Sci.* 30: 716-725.
- Ronda F, Pérez-Quirce S, Angioloni A, Collar C. 2013. Impact of viscous dietary fibres on the viscoelastic behaviour of gluten-free formulated rice doughs: a fundamental and empirical rheological approach. *Food Hydrocoll.* 32: 252-262
- Sandhu KS, Kaur M. 2010. Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties. *LWT - Food Sci. Technol.* 43: 1289-1293
- Schoch T. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. *Methods in carbohydrate chemistry.* 4: 106-108
- Sim EY, Chung SK, Cho JH, Woo KS, Park HY, Kim HJ, Oh SG, Kim WH. 2015. Physicochemical properties of high-amylose rice varieties. *Food Eng. Prog.* 19: 392-398
- Song JY, Shin MS. 1998. Solubility patterns and gelatinization properties of waxy rice starches. *Appl. Biol. Chem.* 41: 516-521
- Stute R, Kern H. 1994. Starch mixtures as pudding starches. USA Patent No. 5324532
- Tester RF, Morrison WR. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem.* 67: 551-557
- Vandeputte GE, Derycke V, Geeroms J, Delcour JA. 2003. Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *J. Cereal Sci.* 38: 53-59
- Waterschoot J, Gomand SV, Delcour JA. 2016. Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches. *Food Hydrocoll.* 52: 69-77
- Waterschoot J, Gomand SV, Fierens E, Delcour JA. 2015. Starch blends and their physicochemical properties. *Starch-Stärke.* 67: 1-13
- Yoo D, Kim C, Yoo B. 2005. Steady and dynamic shear rheology of rice starch-galactomannan mixtures. *Starch-Stärke.* 57: 310-318
- You SY, Lee EJ, Chung HJ. 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
- Zhang Y, Gu Z, Hong Y, Li Z, Cheng L. 2011. Pasting and rheologic properties of potato starch and maize starch mixtures. *Starch-Stärke.* 63: 11-16

Author Information

홍은미: 서울대학교 바이오시스템공학과 대학원생(석사과정)

노신정: 서울대학교 식품바이오융합연구소 연구부교수

김용노: 서울대학교 바이오시스템공학과 교수