

단백질과 트란스글루타미나제 첨가 글루텐 프리 쌀빵의 품질에 대한 친수콜로이드의 효과

황순옥·김지명¹·신말식[†]

전남대학교 식품영양학과, ¹㈜올라이스

Effects of Hydrocolloids on the Quality of Protein and Transglutaminase Added Gluten-free Rice Bread

Sun Ok Hwang · Ji Myoung Kim¹ · Malshick Shin[†]

Department of Food and Nutrition Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

¹Allrice Co. Ltd., Nano Bio Research Center, Jeonnam 57248, Korea

Abstract

Purpose: To improve the quality of basic gluten-free rice bread composed of white rice flour, salt, sugar, yeast, skim milk powder, olive oil, and water, the effects of transglutaminase (TGase), whey protein (WP), propylene glycol alginate (PGA), and hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) were investigated. **Methods:** TGase, WP, PGA, and HPMC were added to rice flour cumulatively. The pasting properties of rice flour blends as well as volume, shape, color value, textural properties and sensory evaluation of basic rice bread (RB1) RB1+TGase (RB2), RB1+TGase+WP (RB3), RB1+TGase+WP+PGA (RB4), and RB1+TGase+WP+PGA+HPMC (RB5) were compared. **Results:** Consistency of rice batter increased upon addition of TGase, WP and PGA, and RB3 and RB4 had higher specific volumes than others. PGA improved volume, crumb air cell uniformity, and resilience but lowered elasticity and moistness of RB. HPMC increased, hardness, moistness and softness, and slightly reduced volume. **Conclusion:** Therefore, it is suggested that hydrocolloids, PGA and HPMC may be necessary to improve volume, crumb structure, textural properties and overall eating quality of gluten-free rice bread.

Key words: gluten-free rice bread, non-waxy rice flour, propylene glycol alginate, hydroxypropylmethylcellulose, quality improvement

I. 서론

우리나라 국민은 주식으로 밥을 먹어왔지만 교통과 통신의 발달 및 사회적인 변화로 세계 각국의 생활문화가 유입되면서 밀가루 등 다양한 식품을 자유롭게 사용하기 시작함에 따라 밀가루를 이용한 식품의 소비가 급격히 증가하고 있다. 특히 빵은 밀을 주식으로 하는 나라인 미국, 유럽 및 호주 등의 주요 식품일뿐만 아니라 세계 각 나라에서 여러방법으로 응용되고 있는 인기식품이다. 2016년 우리나라의 연간 1인당 쌀소비량이 61.9 kg(Korean Statistical Information Service 2017)으로 계속 감소하고 있으나 연간 1인당 밀가루의 소비는 약 33-34 kg으로 하

루 세끼 식사 중 적어도 한끼 식사는 밀가루를 사용한 음식을 섭취하고 있는 실정이다. 국내에서 우리밀을 재배하고 있으나 전체 밀가루 사용량의 5%를 넘지 못하고 있어 소비되고 남은 쌀을 이용하여 베이커리 제품을 제조 및 활용하려는 많은 시도가 진행되고 있다.

글루텐은 밀가루에 함유된 불용성 단백질인 글리아딘과 글루테닌이 물과 함께 반죽되면서 형성되는 점탄성을 가진 단백질로 빵을 제조할 때 삼차원 그물망 구조력을 갖기 때문에 빵을 부풀게 한다. 빵반죽의 이스트에 의한 발효과정에서 생성된 이산화탄소와 반죽에 함유된 물을 수증기로 하고 반죽할 때 포함되는 공기 등의 기체를 포집할 수 있는 능력을 가지고 있으며(Yano H 2010,

[†]Corresponding author: Malshick Shin, Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, 77, Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4982-0697>

Tel: +82-62-530-1336, Fax: +82-62-530-1339, E-mail: msshin@chonnam.ac.kr



Kittisuban P 등 2014) 가스 팽창에 의해 늘어나고 단백질의 가열변성에 의해 고정화되면서 빵의 구조, 부피와 텍스처에 기여한다. 빵의 제조에 중요한 역할을 하는 글루텐은 밀 알러지와 셀리악병의 원인이 되는 단백질로 알려지면서 많은 주목을 받게 되었다(Hischenhuber C 등 2006, Battais F 등 2008, Sapone A 등 2012). 글루텐은 밀 이외에 보리, 호밀에 함유되어 있어 글루텐에 기인되는 면역적인 질환인 알러지나 셀리악병이 의심되는 경우, 평생동안 글루텐이 함유되어 있지 않은 글루텐 프리 식품 섭취를 권하고 있다(Nelsen Jr DA 2002, Moore MM 등 2006, Torbica A 등 2010). 밀 관련 질환에 글루텐이 원인 단백질이라는 것이 알려진 후 소비자들의 글루텐 프리 식품에 대한 관심이 증가하고 있으며 이를 개발하려는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(Yano H 2010, Park SJ 등 2012, Kim JM & Shin M 2014, Hager AS 등 2014, Kittisuban P 등 2014, Matos ME 등 2014, Cornejo F & Rosell CM 2015).

쌀은 세계 인구의 반 이상이 섭취하고 있는 중요한 작물로 주로 아시아에서 생산되는데 글루텐을 함유하지 않은 곡류 중에서 밀가루를 대체할 수 있는 좋은 급원으로 알려지고 있다. 쌀은 알러지 유발 물질이 없으며 부드러운 맛, 흰색 및 소화율이 좋은 성질을 가지고 있다(Marco C & Rosell CM 2008, Phimolsirpol Y 등 2012, Hager AS 등 2014). 일반적으로 건식과 습식제분으로 쌀가루를 제조하고 있지만 쌀가루는 글루텐을 함유하지 않으므로 베이커리 제품 제조에 네트워크 형성이 어려운 문제점이 있어 밀가루를 대체하기 어렵다. 특히 건식제분은 단단한 쌀알을 제분하면서 세포가 잘 깨어지지 않아 물의 흡수가 어렵고 표면에 붙어있는 미강으로 인해 산패되기 쉬워 쌀가루로 사용하기에는 적당하지 않다. 또한 습식제분은 젖은 쌀가루를 열풍으로 건조시키면서 전분이나 단백질이 열손상을 받아 가공성이 떨어지며 에어밀로 분쇄하면 입자가 고른 분포를 보여 밀가루와는 다른 양상으로 베이커리 제품 제조에 바람직하지 않은 문제점이 있다. 이러한 문제점은 새로운 쌀 제분법으로 개발된 쌀가루로 개선되었으며 밀가루를 대체할 수 있다는 것이 보고되었다(Shin M 등 2010, Park SJ 등 2012, Kim JM & Shin M 2014). 새로운 제분 방법으로 쌀알을 씻어 18-20°C에서 수침한 다음 쌀알 상태로 저온(18-20°C)에서 수분함량 12%까지 건조하여 건조쌀알을 분쇄하는 방식이다. 습식제분에서 젖은 쌀가루를 건조시키면서 나타날 수 있는 전분과 단백질의 열에 의한 손상을 억제시키는 목적과 밀가루와 유사한 입자분포를 갖게 하기 위함이다. 건조된 쌀알은 경제적인 분쇄기인 핀밀에 표준체(120 mesh)를 내장한 상태로 건식분쇄를 하여 쌀가루로 제조하는데 이렇게 개발된 쌀가루도 글루텐이 없어 네트워크를 형성하는 다른 방법이 요구된다. 대부분의 연구에서 글루텐 프

리 제품의 원료로 하이드로콜로이드, 전분, 단백질, 효소, 지방질 또는 유사곡류를 사용하고 있음이 확인되었다(Gallagher E 등 2004, Anton AA & Artfield SD 2008, Houben A 등 2012, Kittisuban P 등 2014). Transglutaminase (TGase; protein-glutamine γ -glutamyl transferase, EC2.3.2.13)는 단백질의 리신 잔기의 ϵ -amino group과 글루타미닐 잔기 사이에 nondisulfide covalent crosslinks 형성을 촉매하는 효소로 이 효소를 첨가하면 쌀 단백질간 또는 첨가한 단백질로 인한 그물망 구조를 형성할 가능성이 보고되었다(Gujral HS & Rosell CM 2004, Moore MM 등 2006, Renzetti S 등 2008b, Shin M 등 2010, Renzetti S 등 2012). 쌀가루에 TGase만을 첨가하면 글루텐 같은 네트워크의 형성이 약하여 이를 강하게 하기 위해 단백질을 첨가하여 글루텐 프리 빵을 제조하는 연구도 보고되었다(Marco C & Rosell CM 2008, Shin M 등 2010). 사전연구를 통해 유장단백질(WP whey protein)과 TGase 각각을 따로 첨가하였을 때보다 함께 첨가했을 때 쌀빵의 비체적이 증가하였고 경도가 감소됨을 확인하였다(Shin M 등 2010). 첨가된 단백질과 쌀가루에 함유된 단백질간의 가교결합으로 쌀빵의 기본 구조 형성은 가능하였음을 확인하였다. 발효과정에서 쌀빵의 내부의 그물망구조가 조밀하게 형성되었으며 텍스처는 촉촉하였으나 부드러운 느낌을 주지 못하여 빵의 품질에 중요한 텍스처를 개선하기 위한 검토가 필요하였다. 하이드로콜로이드는 물의 흡수력과 결합력이 높아 베이커리제품에 첨가하면 물의 결합에 의해 촉촉하고 부드러운 빵을 제조할 수 있다고 보고되었다(Crockett R 등 2011). 하이드로콜로이드 중 propylene glycol alginate(PGA, CAS Reg. No. 9005-37-2)는 농후제, 안정제, 거품안정제와 유화제로 사용될 수 있으며 허용기준은 한국에서는 최종제품 무게의 1%, 미국에서는 0.5%를 넘지 않아야 하는 것으로 규정 되어 있다(Food and Drug Administration 2015). 글루텐 프리 빵을 제조하는데 있어서 PGA는 낮은 수준에서도 빵 내부(crumb)의 구조에 기여하며 기체와 액체 사이의 계면에서 탄성있는 필름 형성을 하여 텍스처를 개선하는 능력이 있음이 알려져 있다(Baeza R 등 2004, Renzetti S 등 2008b, Cheong KW 등 2014). 또한 hydroxypropylmethylcellulose (HPMC)는 열에 가역적인 겔 네트워크를 형성할 수 있으며 베이커리제품의 구조력에 좋은 효과가 있음이 알려져 있고 유화제나 빵 내부 구조를 강하게 하며 수분보유력을 증가시킨다(Sabanis D & Tzia C 2011). HPMC를 포함하는 쌀가루도우 반죽은 밀가루 반죽과 유사한 레올로지를 갖는다고 하였고(Sivaramakrishnan HP 등 2004, McCarthy DF 등 2005) 반죽에서 균일성이나 안정성을 유지하는데 좋은 능력이 있다고 하였다. 따라서 HPMC로 인해 점도가 증가하고 내부 기공벽을 강하게 하며 수분의 손실을 억제한다고 하였다.

그러므로 본 연구에서는 고 품질의 글루텐 프리 쌀빵을 제조하기 위해 밀가루빵과 같은 발효 쌀빵의 기본레시피를 정하고 여기에 TGase, WP, 친수 콜로이드인 PGA와 HPMC를 순서대로 더 첨가하여 각 첨가된 물질들의 효과를 빵의 부피, 텍스처, 관능평가를 통하여 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

유기농법에 의해 재배된 호평 품종의 백미를 강진 농협(Jeonnam, Korea)에서 구입하여 쌀가루를 제조하여 사용하였다. 기본레시피로 빵을 제조할 때 첨가되는 재료인 이스트(Saf instant, Lesaffre, Marcq-en-Baroeul, France) 올리브유(CJ Cheiljedang Co., Ltd., Incheon, Korea), 탈지분유(Seoul Dairy Cooperative, Seoul, Korea), 설탕(Beksul, Incheon, Korea), 소금(Sajo Heapyo, Seoul, Korea)은 지역의 시장에서 구입하였다. 기본레시피로 제조한 쌀빵의 품질을 개선하기 위해서 사용된 첨가물질인 TGase(activity 20-34 U/g, Activa STG-M, Ajinomoto Co. Inc., Tokyo, Japan)와 유장단백질(whey protein)은, Davisco Foods International Inc.(Eden Prairie, MN, USA)에서 구입하였다. 친수콜로이드인 PGA는 (PGA-special powder) Tic Gum (White Marsh, MD, USA)에서, HPMC는 Ronas Chemicals Ind. Co. Ltd.(Sichuan, China)로부터 구입하여 사용하였다.

2. 쌀가루의 제조

새롭게 개발된 쌀제분 방법으로 쌀가루를 제조하였다

(Shin M 등 2010). 밀가루를 대체할 수 있는 건조쌀가루로 쌀가루 입자분포와 수분흡수력은 밀가루와 유사하였다(Shin M 등 2010, Kim JM & Shin M 2014). 백미 낱알 상태로 3회 수세 후 18±3°C에서 6시간 동안 수침하였고 통풍이 가능하고 에어컨을 가동한 상태인 18±3°C에서 낱알 상태로 수분함량이 12-14 g/100 g에 도달할 때까지 건조하였다. 건조된 쌀알은 120 mesh 표준체가 내장된 핀밀(Pyungjin Machinery Co., Seoul, Korea)을 사용하여 분쇄하였고 쌀가루는 사용할 때까지 4°C 저온실(Dongbang Nengdong Engineering, Gwangju, Korea)에서 보관하였다

3. 배합비율 결정 및 쌀빵 제조

밀가루빵에 준해서 기본 재료를 사용하여 쌀빵을 제조하기 위한 최적 레시피를 Shin M 등(2010)의 방법을 수정하여 결정하였다. 기본 쌀빵은 혼합(mixing), 휴지(resting), 발효(proofing)와 굽기(baking) 과정으로 진행하였다. Table 1의 기본 쌀빵 배합비율에 따라 쌀가루, 소금, 설탕, 탈지분유와 물을 반죽기(800-J, Spar Food Machinery MFG Co. Ltd., Ta-Li, Taiwan) 보울에 넣고 저속(low speed)으로 20초, 고속(high speed)으로 30초간 혼합하였다. 배터 쌀가루반죽을 1시간 휴지하였다(30°C, 40% RH). 이스트와 올리브유를 혼합하여 배터 반죽에 가하고 잘 혼합하였다. 이 반죽을 25분간 1차 발효(30°C, 40% RH)를 시켰다. 쌀 반죽 640 g을 식빵 팬(10.0 cm(W) × 20.0 cm(L) × 8.0 cm(H))에 붓고 2차 발효를 같은 조건에서 10분간 실시하였다. 2차 발효가 끝난 반죽팬은 윗불 210°C 아랫불 170°C로 미리 예열된 데크 오븐(FDD-403, Sam Mi Bakery

Table 1. Formula for making rice bread with different food additives

Ingredient	Ratio (%)	Type of rice bread with different additives (g)				
		RB1 ²⁾ (basic)	RB2	RB3	RB4	RB5
Rice flour	100	300	300	300	300	300
Water	103	309	309	309	309	309
Salt	1.7	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
Sugar	6	18	18	18	18	18
Yeast	3	9	9	9	9	9
Skim milk powder	4	12	12	12	12	12
Olive oil	5	15	15	15	15	15
TGase ¹⁾	0.02		0.06	0.06	0.06	0.06
WP	1.7			5.1	5.1	5.1
PGA	0.3				0.9	0.9
HPMC	0.07					0.21

¹⁾ TGase: transglutaminase; WP: whey protein; PGA: propylene glycol alginate; HPMC: hydroxypropyl methylcellulose.

²⁾ RB1: the control rice bread using basic ingredients; RB2, RB3, RB4 and RB5: prepared from the basic formula with the cumulative addition of the food additives TGase, WP, PGA and HPMC.

Machine Ind., Seoul, Korea)에서 50분간 구웠다. 오븐에서 구운 빵을 꺼내서 4시간 냉각한 후에 시료로 사용하였다.

기본 쌀빵 재료에 첨가하는 4종류의 첨가물질인 TGase, WP, PGA와 HPMC는 예비 실험을 통하여 각각 0.01-0.05%, 1-2%, 0.1-1.0%와 0.05-0.5%로 각 범위에 따라 3단계로 쌀빵을 제조한 다음 최적조건을 찾았으며 최적량은 TGase 0.02%, WP 1.7%, PGA는 0.3%, HPMC는 0.07%이었다.

4. 첨가물질에 따른 쌀가루 호화특성 측정

Table 1과 같이 첨가물질의 정해진 양을 첨가 순서에 맞게 쌀가루에 혼합한 다음 쌀가루의 호화양상은 신속점도측정기(Model 3D, Newport Scientific Pty., Ltd., Narranbeen, Australia)로 AACC method 61-02(AACC 2000)에 따라 분석하였다. 쌀가루는 첨가물질 유무에 따라 12% 수분함량 기준으로 3 g을 알루미늄 canister에 가하고 여기에 증류수 25 mL를 넣은 후 잘 혼합하고 측정하였다. 측정 조건은 50°C로 1분, 95°C로 4.45분 가열하였고 95°C에서 2.5분 유지한 다음, 50°C로 4분 후 온도를 내렸고 50°C에서 1.5분 유지하였다. 초기호화온도(initial pasting temperature), peak viscosity(P), trough viscosity(T), final viscosity(F), breakdown viscosity(P-T)와 setback viscosity(F-T)를 측정하였다.

5. 첨가물질에 따른 쌀빵의 제조 및 일반성분 분석

기본 쌀빵(RB1)과 Table 1에 따른 4종류의 쌀빵을 제조하였다. RB2(+TGase)는 TGase만 첨가물질로 사용하였고, RB3(TGase+WP)는 TGase에 WP를 가하고, RB4(TGase+WP+PGA)는 RB3에 PGA를 더 첨가하였으며 RB5(TGase+WP+PGA+HPMC)는 RB4에 HPMC를 더 가하여 5종류의 쌀빵을 제조하였다. 제조 방법은 기본 쌀빵과 같은 방법으로 하였으며 제조된 쌀빵의 일반성분 분석은 쌀빵을 냉동 건조하여 이를 시료로 사용하였다. 쌀빵 분말의 수분, 단백질, 회분과 지방질 함량은 AACC methods(AACC 2000)으로 각각 method 44-15A, 46-11A, 08-01, 30-10으로 측정하였다.

1) 물리적 특성 측정

쌀빵의 무게와 부피는 4시간 동안 냉각한 쌀빵으로 저울(HS 2100F, Hansung Ace Co., Seoul, Korea)로 무게를 측정하고 부피는 rapeseed displacement method(AACC Method 72-10)로 측정하였다. 쌀빵의 모양은 digital camera(EOS 400D, Canon, Tokyo, Japan)로 빵 내부의 기공은 사물현미경(SV-55, Sometech Jison, Seoul, Korea)을 이용하여 40배로 관찰하였다. 색도는 chroma meter(CR-300, Minolta Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(Lightness, L), 적색

도(redness, +a)와 황색도(yellowness, +b)를 측정하였고 색도계의 보정은 백색판 white plate(L, a, b, 96.54, 0.07, 1.90)을 사용하였다.

2) 텍스처 특성 측정

빵의 단면을 잘라서 texture profile analysis(TPA)를 측정하여 텍스처 특성을 비교하였다(Kim JM & Shin M 2014). 텍스처는 texture analyzer(TA-XT plus, Stable Micro Systems, Surrey, England)를 사용하여 두번 압착실험을 실시하였다. 시료 크기는 $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ 이며, load cell은 2.0 kg, probe는 cylinder형의 직경이 1.5 cm인 것을 사용하였고 변형율(deformation rate)은 80%이었다. TPA로부터 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 응집성(cohesiveness), 탄력성(springiness), 씹힘성(chewiness)과 리질리언스(resilience)를 분석하였다.

3) 관능평가

관능평가는 15명의 훈련된 패널을 사용하여 9점 척도(1 = very weak, 9 = very strong)의 차이조사를 실시하였다. 훈련된 패널은 식품영양학을 전공한 대학원 학생으로 쌀빵에 대한 반복적인 훈련을 실시한 자 중에서 본인이 원하는 학생으로 구성하였다. 시료는 뚜껑이 있는 플라스틱 용기를 사용하였다. 차이조사의 평가항목은 외관(표면색 내부색, 표면의 매끄러움, 기공균일성 부피, 향미(이취), 텍스처(경도, 부착성, 탄성, 씹힘성, 부드러움성)이었다. 선호도 조사는 외관(appearance), 향기(flavor), 맛(taste), 텍스처(texture)와 전체적인 선호도(overall quality)로 9점 척도(1 = very bad, 9 = very good)를 사용하였다.

6. 통계처리

모든 시료는 적어도 3번 반복하여 분석하였으며 결과는 평균과 표준편차로 나타내었다. 통계 분석은 SPSS Statistics(ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 일원분석법(ANOVA)으로 실시하였고 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test로 유의성을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 첨가물질에 따른 쌀가루의 호화특성

첨가물질에 따라 쌀가루의 가열과정에서 일어나는 호화양상을 신속점도측정기로 조사한 결과는 Table 2와 같았다. 초기호화온도와 피크시간을 포함하는 호화점도는 사용한 첨가물질에 따라 유의적인 차이를 보였다. 피크가 나타나는 시간은 첨가물질의 수가 증가함에 따라 증가하였다. TGase 첨가 쌀가루는 trough와 final 점도는 증가하였지만 peak, breakdown과 setback 점도는 영향을 받지

Table 2. Pasting characteristics of rice flours with different food additives

Rice flour	Peak time (min)	Initial pasting temperature (°C)	Viscosity (RVU)				
			Peak (P)	Trough (T)	Break down (P-T)	Final (F)	Total setback (F-T)
RF1 ¹⁾	5.60 ^d	70.9±0.7	290.9±0.8 ^{a2)}	159.2±0.6 ^b	131.7±0.2 ^a	284.8±1.3 ^b	125.6±0.0 ^b
RF2	5.67 ^c	72.1±1.2	295.2±3.1 ^a	163.7±2.4 ^a	131.5±0.7 ^a	291.0±3.1 ^a	127.3±0.0 ^b
RF3	5.84 ^b	70.1±0.6	265.8±4.8 ^b	150.3±0.5 ^c	115.6±4.4 ^b	278.9±1.5 ^c	128.6±3.3 ^b
RF4	5.87 ^b	71.3±1.1	257.8±1.7 ^c	156.0±1.1 ^b	101.7±0.5 ^c	292.3±1.7 ^a	136.3±0.0 ^a
RF5	5.93 ^a	71.3±0.0	255.5±1.5 ^c	156.8±1.5 ^b	98.7±0.0 ^c	295.3±1.1 ^a	138.5±2.6 ^a

Data presents mean±SD.

¹⁾ RF1: rice flour without food additives; RF2, RF3, RF4 and RF5: flours with food additives: RF2 (TGase), RF3 (TGase+WP), RF4 (TGase+WP+PGA), and RF5 (TGase+WP+PGA+HPMC). Concentrations of TGase, WP, PGA, and HPMC: 0.02%, 1.7%, 0.3%, and 0.07% based on the amount of rice flour (w/w).

²⁾ Values with different superscripts in the same column are significantly different at $p < 0.05$.

않았다. 쌀가루에 TGase+WP를 첨가하면 peak, trough, breakdown과 final 점도가 감소하였으며 유장단백질은 쌀가루의 점도를 감소시키는 경향이 있음을 알 수 있었다. 이는 TGase에 의해 유장단백질과 쌀가루의 쌀단백질 사이에 안정한 가교결합이 이루어져 네트워크가 형성되었기 때문으로 생각되었다(Gujral HS & Rosell CM 2004, Renzetti S 등 2012). 그러나 TGase+WP+PGA를 첨가한 쌀가루는 peak와 breakdown 점도는 감소하였지만 오히려 trough, final과 setback 점도는 증가하였다. PGA가 물에 용해되었을 때 점도가 증가하였고 호화된 전분에서 용출된 물질과 PGA 사이에 상호작용에 의한 상승효과로 생각되었다(Christianson DD 등 1981). 여기에 HPMC를 첨가한 TGase+WP+PGA+HPMC 쌀가루는 모든 호화액의 점도가 유지되었는데 이는 PGA와 HPMC가 유화제, 안정제, 농후제 또는 수분을 보유하는 중간제 역할을 담당하는 하이드로콜로이드이기 때문이다(Burdock GA 2007, Cheong KW 등 2014). PGA와 HPMC는 다른 첨가물질인 TGase나 WP를 첨가한 쌀가루 점도에 비해 final과 setback 점도를 증가시켰으며 쌀가루의 final과 setback 점도는 쌀가루 가공에서 제품의 텍스처를 결정하는 매트릭스 형성과 관련이 있는 중요한 요인으로 작용할 것으로 생각되었다(Park SJ 등 2012).

2. 쌀빵의 일반성분

글루텐 프리 쌀빵의 일반성분, 무게, 부피, 비체적과 색도는 Table 3과 같았다. 첨가물질이 없는 기본 쌀빵의 수분, 단백질, 조지방질, 회분 함량은 각각 46.68, 7.79, 5.37과 0.02%이었다. 미국에서 밀가루로 만든 표준 white pan bread의 수분함량은 38%(Gray JA & BeMiller JN 2003)이지만, 쌀빵의 경우에는 밀가루와 달리 더 높은 수분함량

을 가짐을 알 수 있었고 이를 통해 쌀가루 반죽은 도우반죽이 아닌 배터 반죽으로 첨가되는 물의 양이 많아야 쌀가루에 함유된 전분이 완전한 호화됨을 알 수 있었다. 이는 밀가루의 글루텐은 수화되어 형성되면서 굽는 과정에서 수화된 글루텐에서 물이 전분의 호화에 참여하지만 이와 달리 쌀가루에는 수화되는 단백질이 없이 전분 호화에 필요한 충분한 물을 모두 반죽에 첨가해야 하기 때문이다. 첨가물질이 함유된 쌀가루의 일반성분 함량도 쌀가루 반죽에 첨가되는 물의 양에 유의적인 차이를 보였다. TGase, WP와 PGA에 HPMC까지 첨가한 RB5 쌀빵이 가장 높은 수분함량을 가졌으며 이는 높은 팽윤력과 열에 의한 겔이 형성되는 성질에 기인하는 것이다(Joshi SC 2011). 유장단백질이 함유된 쌀빵(RB3-RB5)은 RB1과 RB2보다 단백질 함량이 7.78-7.79%에서 8.65-8.73%로 증가하였지만 조지방질 함량은 감소하였다.

3. 쌀빵의 물리적 성질

쌀빵의 무게, 부피, 비체적, 색도는 Table 3에 나타내었다. 쌀빵의 비체적은 기본 쌀빵이 1.48(RB1)에서 TGase, WP와 PGA를 첨가한 쌀빵이 1.98(RB4)로 증가하였으나 여기에 HPMC를 더 첨가하였을 때 RB5는 1.98에서 1.62로 비체적, 즉 부피가 감소하였다. 쌀빵의 비체적은 TGase에 의한 쌀 단백질간의 가교결합으로 단백질 네트워크가 생김으로 RB2의 가스포집력이 높아져 비체적이 증가하였다. 이런 쌀빵의 비체적 증가는 쌀가루에 TGase를 첨가한 RB2, RB3, RB4와 RB5에서 모두 나타났다. RB3-RB5는 유장단백질을 첨가하여 비체적의 증가가 더 컸다. TGase는 가교결합을 촉매하는 역할로 인해 공유결합으로 단백질 분자간 네트워크가 안정화되므로 글루텐 프리 쌀빵의 품질을 개선한다고 보고되었다(Gujral HS & Rosell CM

Table 3. General compositions and physical properties of rice breads with different food additives

	Rice bread				
	RB1 ¹⁾	RB2	RB3	RB4	RB5
Moisture content (%)	46.68±0.06 ^{b2)}	46.66±0.32 ^b	46.70±0.05 ^b	46.69±0.10 ^b	47.55±0.02 ^a
Protein content (%)	7.79±0.09 ^b	7.78±0.00 ^b	8.67±0.08 ^a	8.73±0.07 ^a	8.65±0.02 ^a
Crude lipid content (%)	5.37±0.08 ^a	5.37±0.04 ^a	5.15±0.08 ^b	5.07±0.06 ^b	5.07±0.07 ^b
Ash content (%)	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00
Weight (g)	570.0±0.7	576.0±2.8	572.0±1.4	573.0±0.7	585.0±0.7
Volume (mL)	842.5±10.6 ^c	930.0±14.1 ^b	1110.0±14.1 ^a	1132.5±17.7 ^a	945.0±7.1 ^b
Specific volume (mL/g)	1.48	1.61	1.94	1.98	1.62
Crumb color L	74.53±0.10	75.12±1.98	77.26±1.73	77.82±3.09	73.05±0.67
Crumb color a	-2.58±0.06 ^c	-2.01±0.09 ^a	-2.06±0.05 ^a	-2.13±0.11 ^a	-2.34±0.19 ^b
Crumb color b	8.81±0.24 ^c	8.74±0.37 ^c	9.19±0.34 ^{bc}	9.63±0.50 ^{ab}	9.92±0.69 ^a

Data presents mean±SD.

¹⁾ RB1: the control rice bread prepared using basic ingredients; RB2, RB3, RB4 and RB5: prepared from the basic formula with the cumulative addition of the food additives TGase, WP, PGA and HPMC.

²⁾ Values with different superscripts in the same row are significantly different at $p < 0.05$.

2004, Moore MM 등 2006, Shin M 등 2010, Renzetti S 등 2012). TGase는 쌀단백질의 글루테린 간의 단백질 가교결합을 형성하여(Renzetti S 등 2008b) 쌀가루 배터 반죽에서 탄성과 점성을 증가시켰다. 현미쌀가루 배터 반죽에서 TGase 처리로 조밀도와 탄성을 상승시켰으며 현미빵의 텍스처 품질의 유의적인 개선이 이루어졌다고 하였다(Renzetti S 등 2008b). 특히 TGase의 효율은 단백질의 급원에 따라 의존적이었다(Renzetti S 등 2008b, Shin M 2010). 우유와 유제품 원료는 글루텐 프리 베이커리 제품 제조에 중요한 원료로 기능성, 영양가, 가공성 및 저장성을 도와주며 유장단백질은 쌀단백질과의 가교결합으로 상호작용하여 구조적 성질을 개선하였다(Gallagher E 등 2003, 2004). PGA는 용해성이 있고 유화 능력을 가지고 있으며 필름 형성, 점도와 안정성의 상승을 도와 줄 수 있다고 보고되었다(Cheong KW 등 2014). PGA는 쌀빵의 부피와 내부(crumb)구조를 안정화시켜 빵의 품질을 개선하였다(RB4). 그러나 HPMC는 부피를 감소시켰고 내부 구조를 단단하게 하여 경도와 씹힘성을 증가시켰다. RB3을 제조하기 위한 쌀가루 배터 반죽의 경우에 WP은 쌀단백질인 글루테린과 가교결합에 의해 단백질 매트릭스를 강하게 하였다(Cheong KW 등 2014). RB4 첨가물질에 HPMC를 더 가하여 제조한 RB5의 수분함량의 증가는 HPMC와 물과의 상호 흡수력에 기인함을 알 수 있었다(McCarthy DF 등 2005). HPMC의 단단한 구조력 형성, 향상된 수분흡수력이나 점도 등으로 인해 글루텐과 유사한 구조를 형성하기 때문에 글루텐 프리 도우 반죽에 HPMC 첨가량을 높인 제품에 대한 연구가 있으나 본 연구에서는 TGase와 단백질간의 가교결합을 기본 구조로

여기에 소량의 HPMC를 첨가하였을 때 부피의 증가보다는 내부 구조를 단단하게 하는 결과를 가져왔다. 일부 연구자들은 HPMC 첨가로 인해 전분과 단백질간의 매트릭스에 의해 가스 포집력이 상승되었고 수분보유력도 증가되었다고 하였다(Sivaramakrishnan HP 등 2004). 이와는 달리 본 연구결과와 같이 HPMC가 빵의 부피를 감소한 결과도 보고되었다(Lazaridou A 등 2007). 쌀 식빵 내부의 적색도(a)와 황색도(b)로 나타내는 색도가 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 기본 쌀빵 배합비로 제조한 RB1의 녹색도(-a)가 가장 높았고 황색도는 4종류의 첨가물질을 다 첨가한 RB5에서 가장 높았다. 그래서 쌀빵의 내부 색도는 첨가물질에 영향을 받음을 확인하였다.

4. 쌀빵의 형태적 특성

쌀빵의 전체 모양과 단면을 잘라서 첨가물질에 따라 외형을 관찰한 결과 Fig. 1과 같았다. 빵반죽에 첨가한 TGase, WP, PGA와 HPMC는 모두 부피, 표면의 매끄러움, 내부 구조와 색도 등의 측면에서 쌀빵의 품질에 영향을 주며 첨가물질에 따른 차이를 보였다. RB1과 RB2 쌀빵의 표면은 건조되고 약간 갈라지면서 움푹 파였으며, RB3는 RB1, RB2보다는 약하지만 갈라짐이 있었는데 반해 RB4와 RB5의 표면은 매끄러웠다. 이는 PGA와 HPMC가 하이드로콜로이드로 특히 베이커리제품에 첨가하였을 때 물의 흡수력을 높여 표면의 마르는 현상을 감소시키며 내부의 텍스처를 촉촉하고 부드럽게 하였기 때문으로 생각되었다(Crockett R 등 2011). Peressini D 등 (2011)은 PGA 첨가 쌀빵이 잔탄점을 첨가한 빵보다 내부

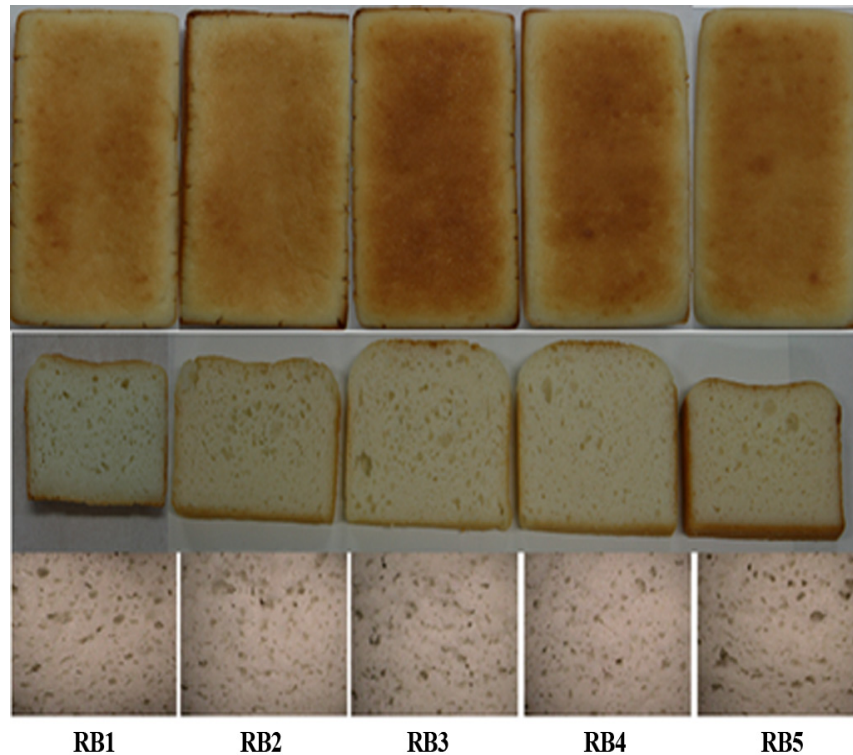


Fig. 1. Whole and cross section shape showing crumb structure of gluten-free rice breads Basic rice bread (RB1) and basic rice bread formula with food additives, TGase (RB2), TGase+WP (RB3), TGase+WP+PGA (RB4), and TGase+WP+PGA+HPMC (RB5).

의 구조와 경도를 감소시키고 비체적을 증가시켜 빵을 개선한다고 보고하였다. 이는 잔탄검이 PGA보다 쌀과 메밀가루를 혼합한 배터반죽에서 저장모듈러스(storage modulus)를 높이는 것이 원인이라고 하였다. 이를 통해 첨가물질이 색도뿐만 아니라 부피에 영향을 주는 것을 알았고 본 연구에서와 같이 글루텐 프리 쌀빵원료로 TGase, WP와 PGA를 첨가할 때는 각각 또는 혼합하였을 때 모두 부피를 증가시키나 HPMC를 위 3종류 첨가물과 함께 소량을 혼합하였을 때는 RB4 쌀빵보다 부피의 감소가 있음을 확인하였다.

쌀빵의 단면의 모양은 빵의 부피 변화를 반영할 뿐만 아니라 기공의 크기, 균일도, 내부의 촉촉함 정도를 확인할 수 있으며 첨가물질에 따라 차이를 보임을 알 수 있었다. 기본 배합비로 제조한 쌀빵(RB1)은 내부가 밀집하게 되어 있어 부슬거리는 건조한 빵의 텍스처를 갖고 있으며 RB2는 단단한 구조를 갖고 있었다. RB3는 부피 증가가 컸으나 큰 기공들이 포함되어 내부 기공의 균일성이 적었다. PGA를 첨가한 쌀빵(RB4)은 빵의 표면 매끄러움이 개선되었으며 내부 기공이 균일하여 바람직한 모양을 가졌다. 이에 반해 HPMC 첨가로 부피는 감소하고 조밀한 구조를 보였으나 촉촉한 느낌을 주는 텍스처를 나타냈다.

5. 쌀빵의 텍스처 특성

TPA로부터 구한 쌀빵의 텍스처 결과는 Table 4와 같았다. 모든 텍스처 특성치인 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 탄성(springiness), 응집성(cohesiveness), 씹힘성(chewiness)과 리질리언스(resilience)는 모두 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 경도와 씹힘성은 RB1이 가장 낮고 RB5가 가장 높았다. HPMC 첨가로 쌀빵의 경도는 RB4의 813.7 g에서 RB5의 1308.4 g으로 증가하였다. 이는 HPMC가 빵 내부구조(crumb grains)를 강하게 하고 내부의 수분함량을 증가시켰기 때문으로 베이커리 제품의 굽기 과정 중에 열에 의한 가역적인 겔 네트워크가 형성되었기 때문이었다고 할 수 있다(Sabanis D & Tzia C 2011). 또한 RB5 빵의 내부구조는 높은 수분함량을 나타냈지만 불규칙적이며 조밀한 구조를 보였는데 이런 성질이 부피의 감소원인으로 생각되었다. Marco C & Rosell CM(2008)은 HPMC 첨가가 분리대두단백 13%를 강화한 글루텐 프리 빵의 경도를 낮추었다고 보고하였다. 이는 경도가 증가한 본 실험 결과와 다르며 이는 기본적인 배합비와 쌀빵을 제조하기 위한 접근 방법의 차이로 생각되었다.

TGase를 첨가한 쌀빵의 부착성은 가장 높고 단백질을 첨가한 RB3도 부착성이 높았는데 이는 빵을 씹을 때 이에 달라붙는 성질로 바람직하지 않은 텍스처 특성이라고

Table 4. Textural properties of rice breads with different food additives by texture analyzer

Textural properties	Rice bread				
	RB1)	RB2	RB3	RB4	RB5
Hardness (g)	437.6±41.2 ^{c2)}	974.9±146.9 ^b	834.1±238.1 ^b	813.7±201.3 ^b	1308.4±212.0 ^a
Adhesiveness	-10.6±2.5 ^a	-135.0±55.1 ^c	-89.7±34.8 ^b	-12.5±5.9 ^a	-21.8±6.7 ^a
Springiness	0.20±0.01 ^c	0.34±0.04 ^d	0.42±0.04 ^c	0.48±0.03 ^b	0.52±0.01 ^a
Cohesiveness	0.43±0.04 ^{cd}	0.41±0.06 ^d	0.47±0.06 ^c	0.73±0.03 ^a	0.62±0.04 ^b
Chewiness (g)	37.8±4.1 ^d	131.2±18.6 ^c	159.9±35.1 ^c	281.1±61.8 ^b	415.7±67.7 ^a
Resilience	0.13±0.02 ^c	0.12±0.03 ^c	0.15±0.02 ^c	0.37±0.04 ^a	0.30±0.03 ^b

Data presents mean±SD.

¹⁾ RB1: the control rice bread prepared using basic ingredients; RB2, RB3, RB4 and RB5: prepared from the basic formula with the cumulative addition of the food additives TGase, WP, PGA, and HPMC.

²⁾ Values with different superscripts in the same row are significantly different at $p < 0.05$.

생각되었다. 이런 달라붙는 성질은 PGA를 첨가함으로써 감소하여 TGase와 WP를 첨가한 쌀빵의 텍스처를 개선함을 확인하였다. 탄성은 HPMC까지 첨가한 RB5에서 가장 높았고 그 순서는 RB5 > RB4 > RB3 > RB2 > RB1이었다. 응집성은 같은 쌀가루간의 잡아당기는 힘으로 RB4가 가장 높고 다음으로 RB5이었다. 리질리언스는 빵을 압착하여 변형이 일어난 후에 본래의 모양으로 되돌아가는 속도와 정도(탄성)를 나타내는 요인이다. 밀가루로 제조한 식빵의 경우 가장 바람직한 텍스처를 나타내는 대표적인 지수로 리질리언스를 사용하는데 쌀빵의 경우 RB4가 가장 높아 텍스처 품질이 밀가루로 제조한 빵과 유사함을 확인하였다. TPA로 구한 텍스처 특성치 중에서 응집성이 리질리언스와 유사한 경향을 보였으며 빵 내부의 수화능력이 응집성과 리질리언스와 정적인 관계를 가짐을 보였다. PGA의 특성 중에 중요한 유화제는 베이커리 산업에서 구조가 형성될 때까지 가공 중에 필요한 공기 주입과 가스버블의 안정성을 제공하는데 사용되고 있는 첨가물질로 알려져 있다(Turabi E 등 2008). 케이크의 배터반죽과 유사하게 PGA는 쌀가루 배터반죽에서 쌀빵의 내부 구조와 텍스처 결과에 영향주는 첨가물질이다. 즉 RB4는 리질리언스가 가장 높으며 이는 쌀빵의 부피와 텍스처 성질을 포함하여 품질이 우수하다는 것을 제시하고 있다.

6. 관능평가

Table 5는 차이조사로부터 11가지 항목에 대한 관능평가 결과의 점수를 나타내었다. 차이조사에서 내부색을 제외한 쌀빵의 표면색, 표면 매끄러움, 내부 기공균일성, 부피, 이취, 경도, 부착성, 탄성, 씹힘성과 부드러움성에 대해 첨가물질에 따른 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 표면색은 RB3, RB4와 RB5 쌀빵이 RB2와 RB1보다 더 어둡게 보였으며 RB1이 가장 밝은 색을 나타냈다. 그러나

RB1은 표면의 매끄러움, 내부 기공의 균일성 및 부피가 가장 나쁘게, 이취, 경도, 부착성은 가장 높게 평가되었다. 더구나 RB1은 탄성, 씹힘성, 부드러움성도 낮은 값을 보였다. RB5는 표면의 매끄러움이 가장 높고 내부의 부착성이 가장 낮은 점수를 나타내었다. 쌀빵 내부 기공의 균일성, 탄성, 씹힘성, 부드러움성은 RB4와 RB5가 높은 점수를 보여 품질이 좋은 쌀빵으로 평가되었다. PGA는 쌀가루 배터 반죽에서 에어레이션과 가스 버블의 안정성을 주기 때문에 내부 구조와 쌀빵의 텍스처 개선에 많은 기여를 하는 것을 확인할 수 있었다(Turabi E 등 2008). HPMC는 가스 포집력과 내부구조 형성이 가능하여 글루텐을 대체할 수 있는 적합한 물질 중에 하나로 고려되고 있지만(Sivaramakrishnan HP 등 2004, McCarthy DF 등 2005, Kittisuban P 등 2014), HPMC를 첨가한 RB5는 HPMC에 의해 부피 감소와 경도가 증가되었다. 그러나 내부 촉촉함과 매트릭스를 단단하게 함으로써 관능적인 품질 개선 효과를 보였다. HPMC를 포함하는 배터 반죽의 경우 낮은 겔보기 점도를 가지므로(Turabi E 등 2008), HPMC를 첨가한 도우반죽과는 달리 낮은 점도로 인해 부피 증가가 억제되었을 것으로 생각되었다.

선호도 조사는 외관, 향기, 맛, 텍스처, 전반적인 기호도에 대해 모두 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 관능평가 결과 RB4와 RB5는 유의적인 차이를 보이지 않았으며 PGA 단독(RB4) 또는 PGA와 HPMC를 첨가한 RB5(RB4+HPMC) 쌀빵이 가장 높은 선호도를 나타내는 것을 확인하였다.

IV. 요약 및 결론

글루텐 프리 쌀빵의 품질을 개선하기 위하여 개발된 쌀가루로 밀가루 빵배합비로 기본 레시피를 확립하고 제빵구조에 도움을 주는 첨가물질을 차례로 혼합하여 비체적, 물리적 및 텍스처 특성과 관능평가를 실시하여 쌀빵

Table 5. Sensory evaluation data for difference test of rice breads with different food additives

Attributes	Rice bread				
	RB1 ¹⁾	RB2	RB3	RB4	RB5
Difference test					
Surface color	3.2±1.0 ^{c2)}	4.8±1.1 ^b	7.1±1.6 ^a	6.5±1.3 ^a	6.1±1.7 ^a
Smoothness	4.4±1.7 ^c	3.2±1.7 ^c	4.9±1.4 ^c	6.3±1.6 ^b	8.5±0.5 ^a
Crumb color	6.4±1.4	6.2±1.6	6.5±1.5	6.8±1.1	7.5±1.1
Air cell uniformity	3.1±1.5 ^c	3.7±1.1 ^{bc}	4.5±1.3 ^b	6.2±1.3 ^a	6.8±1.3 ^a
Volume	3.0±0.8 ^c	3.6±1.2 ^c	8.0±0.9 ^a	8.0±0.5 ^a	7.1±0.9 ^b
Off-flavor	3.1±1.2 ^a	2.0±0.7 ^b	1.3±0.5 ^b	1.7±0.7 ^b	1.3±0.7 ^b
Hardness	5.8±1.0 ^a	5.3±1.4 ^a	4.7±1.2 ^{ab}	3.6±1.0 ^{bc}	3.3±1.1 ^c
Adhesiveness	7.8±1.4 ^a	5.0±1.6 ^{bc}	6.1±1.6 ^b	5.0±1.2 ^b	2.5±1.4 ^c
Springiness	4.1±1.9 ^c	5.0±1.4 ^{bc}	5.4±1.3 ^{abc}	6.5±1.7 ^{ab}	6.7±1.9 ^a
Chewiness	3.7±1.8 ^c	4.8±1.8 ^{bc}	5.1±1.2 ^{bc}	5.8±1.8 ^{ab}	7.2±1.6 ^a
Acceptance test					
Appearance	3.3±0.9 ^c	2.8±1.3 ^c	5.5±1.4 ^b	7.4±1.1 ^a	8.1±0.9 ^a
Flavor	5.8±1.1 ^c	6.1±0.9 ^{bc}	6.2±1.2 ^{bc}	7.1±1.6 ^{ab}	7.5±1.6 ^a
Taste	3.0±1.7 ^d	4.4±0.8 ^c	5.4±0.5 ^b	7.8±0.8 ^a	8.4±0.8 ^a
Texture	2.9±1.7 ^c	4.9±0.9 ^b	4.7±1.3 ^b	7.7±0.7 ^a	8.6±1.1 ^a
Overall quality	2.9±1.8 ^c	4.1±1.5 ^{bc}	5.2±1.5 ^b	8.1±0.9 ^a	8.6±0.5 ^a

Data presents mean±SD. 9 point scoring test.

¹⁾ RB1: the control rice bread prepared using basic ingredients; RB2, RB3, RB4 and RB5: prepared from the basic formula with the cumulative addition of the food additives, TGase, WP, PGA, and HPMC.

²⁾ Values with different superscripts in the same row are significantly different at $p < 0.05$.

의 품질 특성을 비교하였다. 첨가물질은 transglutaminase (TGase, 0.02%), whey protein(WP, 1.7%), propylene glycol alginate(PGA, 0.3%)와 hydroxypropylmethylcellulose(HPMC, 0.07%)를 사용하였다. 글루텐 프리 쌀빵의 첨가물질 양은 첨가시에 효과를 주는 범위에서 최소량으로 정하였다. 그 결과 TGase+WP+PGA를 첨가한 RB4 쌀빵의 비체적이 가장 컸으며 제조된 쌀빵의 모양은 RB4와 TGase+WP+PGA+HPMC를 첨가한 RB5가 가장 좋았다. 경도는 RB5가 가장 높았고 리질리언스는 RB4가 가장 높았다. 관능 평가 결과 차이조사에서 부피는 RB4가 가장 높았으나 기호도 조사에서 RB4와 RB5가 모두 9점 만점에 8.1과 8.6으로 높은 점수를 나타냈다.

위의 결과로부터 쌀가루로 배터반죽을 이용하여 글루텐 프리 쌀빵을 제조하는 경우 TGase와 WP외에 하이드로콜로이드인 PGA와 HPMC 혼합 또는 PGA를 첨가하면 쌀빵의 품질이 개선됨을 확인하였다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This research was supported by high value-added food technology development program (316069-3), Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

References

- AACC. 2000. Approved methods of the AACC. 10th ed. American Association Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. Methods 44-15A, 46-11A, 08-01, 30-02, 61-02, 72-10.
- Anton AA, Artfield SD. 2008. Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *Int J Food Sci Nutr* 59(1):11-23.
- Baeza R, Sanchez CC, Pilosof AMR, Patino JMR. 2004. Interfacial and foaming properties of propyleneglycol alginates: Effect of degree of esterification and molecular weight. *Colloid Surf B: Biointerface* 36(3-4):139-145.
- Battais F, Richard C, Jacquenet S, Denery-Papini S, Moneret-Vautrin DA. 2008. Wheat grain allergies: An update on wheat allergens. *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 40(3):67-76.
- Burdock GA. 2007. Safety assessment of hydroxypropyl methylcellulose as a food ingredient. *Food Chem Toxicol* 45(12): 2341-2351.
- Cheong KW, Mirhosseini H, Hamid NSA, Osman A, Basri M,

- Tan CP. 2014. Effects of propylene glycol alginate and sucrose esters on the physicochemical properties of modified starch-stabilized beverage emulsions. *Mol* 19(6):8691-8706.
- Christianson DD, Hodge JE, Osborne D, Detroy RW. 1981. Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum, and cellulose gum. *Cereal Chem* 58(6):513-517.
- Cornejo F, Rosell CM. 2015. Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. *LWT-Food Sci Technol* 62(2):1203-1210.
- Crockett R, le P, Vodovotz Y. 2011. How do xanthan and hydroxypropyl methyl cellulose individually affect the physicochemical properties in a model gluten-free dough?. *J Food Sci* 76(3):E274-E282.
- Food and Drug Administration. 2015. CFR - Code of federal regulations title 21: Subpart I multipurpose additives 172.858. Propylene glycol alginate. Available from: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?r=172.858>. Accessed December 8, 2016.
- Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. 2003. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *J Food Eng* 56(2-3): 153-161.
- Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends Food Sci Technol* 15(3-4):143-152.
- Gray JA, BeMiller JN. 2003. Bread staling: Molecular basis and control. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2(1):1-21.
- Gujral HS, Rosell CM. 2004. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *J Cereal Sci* 39(2):225-230.
- Hager AS, Bosmans GM, Delcour JA. 2014. Physical and molecular changes during storage of gluten-free rice and oat bread. *J Agric Food Chem* 62(24):5682-5689.
- Hischenhuber C, Crevel R, Jary B, Mäkis M, Moneret-Vautrin DA, Romano A, Troncone R, Ward R. 2006. Safe amounts of gluten for patients with wheat allergy or coeliac disease. *Aliment Pharmacol Ther* 23(5):559-575.
- Houben A, Höchstätter A, Becker T. 2012. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: An overview. *Eur Food Res Technol* 235(2):195-208.
- Joshi SC. 2011. Sol-gel behavior of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) in ionic media including drug release. *Mater* 4(10):1861-1905.
- Kim JM, Shin M. 2014. Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. *LWT-Food Sci Technol* 59(1):526-532.
- Kittisuban P, Ritthiruangdej P, Suphantharika M. 2014. Optimization of hydroxypropyl methylcellulose, yeast β -glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten-free rice bread using response surface methodology. *LWT-Food Sci Technol* 57(2):738-748.
- Korean Statistical Information Service 2017. Annual the per capita consumption of rice. http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=F#SubCont. Accessed January 7, 2017.
- Lazaridou A, Duta D, Papegeorgiou M, Belc N, Biliaderis CG. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *J Food Eng* 79(3):1033-1047.
- Marco C, Rosell CM. 2008. Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *Eur Food Res Technol* 227(4): 1205-1213.
- Matos ME, Sanz T, Rosell CM. 2014. Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice bread gluten free muffins. *Food Hydrocoll* 35:150-158.
- McCarthy DF, Gallagher E, Gormley TR, Schober TJ, Arendt EK. 2005. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chem* 82(5):609-615.
- Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer HM, Arendt EK. 2006. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chem* 83(1):28-36.
- Nelsen Jr DA. 2002. Gluten-sensitive enteropathy (celiac disease): More common than you think. *Am Fam Physician* 66(12): 2259-2266.
- Park SJ, Ha KY, Shin M. 2012. Properties and qualities of rice flours and gluten-free cupcakes made with higher yield rice varieties in Korea. *Food Sci Biotechnol* 21(2):365-372.
- Peressini D, Pin M, Sensidoni A. 2011. Rheology and breadmaking performance of rice buckwheat batters supplemented with hydrocolloids. *Food Hydrocoll* 25(3):340-349.
- Phimolsirpol Y, Mukprasirt A, Schoenlechner R. 2012. Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fiber fractions of rice bran. *J Cereal Sci* 56(2):389-395.
- Renzetti S, Behr J, Vogel RF, Arendt EK. 2008a. Transglutaminase polymerization of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) proteins. *J Cereal Sci* 48(3):747-754.
- Renzetti S, Behr J, Vogel RF, Barbiroli A, Iametti S, Bonomi F, Arendt EK. 2012. Transglutaminase treatment of brown rice flour: A chromatographic, electrophoretic and spectroscopic study of protein modifications. *Food Chem* 131(4):1076-1085.
- Renzetti S, Dal Bello F, Arendt EK. 2008b. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *J Cereal Sci* 48(1):33-45.
- Sabanis D, Tzia C. 2011. Selected structural characteristics of HPMC-containing gluten free bread: A response surface methodology study for optimizing quality. *Int J Food Prop* 14(2):417-431.
- Sapone A, Bai JC, Ciacci C, Dolinsek J, Green PHR, Hadjivassiliou M, Kaukinen K, Rostami K, Sanders DS, Schumann M, Ullrich R, Villalta D, Volta U, Catassi C, Fasano A. 2012. Spectrum of gluten-related disorders:

- Consensus on new nomenclature and classification. *BMC Med* 10(1):13-24.
- Shin M, Gang DO, Song JY. 2010. Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread. *Food Sci Biotechnol* 19(4):951-956.
- Sivaramakrishnan HP, Senge B, Chattopadhyay PK. 2004. Rheological properties of rice dough for making rice bread. *J Food Eng* 62(1):37-45.
- Torbica A, Hadnadev M, Dapčević T. 2010. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocoll* 24(6-7): 626-632.
- Turabi E, Sumnu G, Sahin S. 2008. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocoll* 22(2):305-312.
- Yano H. 2010. Improvements in the bread-making quality of gluten-free rice batter by glutathione. *J Agric Food Chem* 58(13):7949-7954.

Received on Mar.8, 2017 / Revised on Apr.19, 2017 / Accepted on Apr.19, 2017