

유색감자 홍영(*Solanum tuberosum* L.)의 입자 크기에 따른 반죽과 면의 물리적 특성

정화빈 · 판철호¹ · 윤원병*

강원대학교 식품생명공학과, ¹KIST 강릉 분원

Effect of the Particle Size of Red-fleshed Potato (*Solanum tuberosum* L.) on the Physical Properties of Dough and Noodle

Hwabin Jung, Cheol Ho Pan¹, and Won Byong Yoon*

Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University

¹Functional Food Center, Korean Institute of Science and Technology (KIST)

Abstract

The physical properties of raw and cooked dough for noodle with different sizes of red fleshed potato flour (RFPF) prepared by ball-milling and grinding were investigated. Microstructure images were taken to examine the structure of wheat flour (W) and RFPFs in dough. Thermal and texture properties were measured to investigate the effect of particle size on the physical properties of dough. Thermal properties of flours demonstrated that the highest degree of the damage in starch structure was found in ball-milled (BM) flour. Viscoelastic properties were evaluated using stress relaxation test. The addition of RFPF in dough showed a higher value of elastic components and shorter relaxation time. The increment of the lone spring modulus (E_s) for BM dough was 1346.66% whereas for the largest size of RFPF, the dough was 2543.75%. That different degree in the increment of viscoelastic properties indicates that highly damaged starch in BM showed less gelatinization compared to other RFPFs. The addition of RFPF increased the color parameter a (red-green) of dough and noodle from -3.46 ± 0.17 to 6.08 ± 0.13 , respectively. This study suggested that very fine flour rather negatively affected the dough properties, whereas finding a suitable particle size plays an important role in controlling the quality of both dough and noodle.

Key words: colored potato, noodle, microstructure, rheological properties, damaged starch

서 론

세계에서 가장 많이 수요되는 작물 중 하나인 감자는 단백질, 비타민, 미네랄, 페놀 등의 물질을 풍부히 함유하고 있다(Simková et al., 2013). 최근 괴경색이 적색 또는 보라색을 나타내는 유색 감자가 등장하고 있으며, 이러한 고유의 색은 높은 항산화능을 가지는 안토시아닌에 의한 것이다(Lachman & Hamouz, 2005; Rytel et al., 2014). 유색 감자의 안토시아닌 함량은 일반 감자에 비하여 2~3배 정도 높으며, 식품의 맛과 색을 결정짓는 중요한 소재로서 사용이 가능하다(Hejtmánková et al., 2009; Rytel et al., 2013). 이와 같이 영양학적으로 우수한 작물임에도 불구하고

고 국내에서 유색감자의 수요와 공급, 그리고 유색감자를 활용하여 부가 가치를 높인 가공식품에 대한 연구 및 산업화 사례는 매우 적다(Jung et al., 2014).

면은 간편하게 섭취가 가능하며 기호도가 높고 유통기한이 길어 전 세계적으로 활발히 소비되는 가공식품 중 하나이다(Yadav et al., 2014). 건강 식품에 대한 소비자들의 요구가 증가함에 따라 면 산업에도 건강 기능성 소재를 첨가한 면의 생산이 증가하는 추세이다(Choy et al., 2013; Zhu et al., 2014). 그러나 면에 입자상의 식품 소재를 첨가할 경우 면과 반죽의 조직감 및 유변학적 특성이 변하게 된다. Li et al. (2012)은 면에 녹차의 미세 분말을 첨가하여 면의 경도, 탄성, 씹힘성이 증가하는 것을 확인하였으며, Shan et al. (2013)은 자색 고구마 분말을 면에 혼합하였을 때 인장도 및 경도가 감소함을 확인하였다. 이와 같이 분말상의 식품 소재를 첨가하였을 때 발생하는 반죽 및 면의 물리적 및 관능적인 변화는 면의 공정과 소비자의 기호도에 매우 중요한 영향을 미친다.

반죽의 점탄성은 반죽의 특성을 결정짓는 가장 핵심적인

*Corresponding author: Won Byong Yoon, Department of Food Science and Biotechnology, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 200-701, Korea
Tel: +82-33-250-6459; Fax: +82-33-250-5565
E-mail: wbyoon@kangwon.ac.kr
Received May 4, 2015; revised May 25, 2015; accepted May 28, 2015

성질이다. 특히 면에 있어서 면 제조를 위한 반죽을 편평하게 만들고 시트 형태로 제조할 때 점탄성이 반죽 가공의 특징을 나타낸다. 익히기 전 상태인 반죽의 조직감에는 글루텐이 큰 영향을 미치며, 가열처리에 의한 익힌 뒤의 조직감의 변화는 반죽을 이루는 분말의 구성 성분인 전분, 단백질, 섬유질, 무기질 등에 의하여 변화하게 된다. 익힌 속면을 제조할 때 면의 조직감은 최종 제품의 관능적 성질과 상관관계가 높다. 익힌 반죽 또는 면의 주요 조직감 특성은 경도, 탄성, 씹힘성으로 이는 주로 반죽의 구성 성분 중 탄수화물에 의하여 영향을 받게 된다(Dewi, 2011). 따라서 탄수화물이 풍부한 고구마, 감자와 같은 작물의 혼합은 반죽에 열처리를 한 이후 상태인 면의 조직감을 조절하는 데 매우 중요한 역할을 한다(Yadav et al., 2014).

기본적인 유변학적 특성의 측정에 있어 farinograph, extensograph, rapid visco analyzer (RVA)가 많이 사용되고 있으나, 반죽과 면에 있어서 이 방법들에는 점탄성 측정에 한계가 있다(Inglett et al., 2005; Sabanis et al., 2006). 특히 stress relaxation test를 통하여 relaxation time을 확인하는 것은 면의 제조 공정에서 면이 시트로 제조가 가능함을 판단할 수 있는 한 유효한 방법으로 알려져 있다(Bhattacharya, 2010). Stress relaxation test는 반죽과 면의 점탄성을 점성, 탄성, 그리고 relaxation time을 정량적으로 나타내어 접근할 수 있다(Bellido & Hatcher, 2009).

따라서 본 연구에서는 특유의 색을 가지고 있으며 향산화 물질이 풍부한 유색감자 홍영 분말을 밀가루 반죽에 첨가 시 유색감자 분말의 입자 크기에 따른 반죽의 특성과 열처리과정 이후에 제조된 면의 제면 특성을 미세 구조의 관찰과 유변학적 측정을 통하여 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

유색감자 홍영(*Solanum tuberosum* L.)은 한국과학기술연구원(Korean Institute of Science and Technology, KIST, Gangneung, Gangwon, Korea)에서 제공받았다. 면의 제조에 이용한 밀가루(Daehan Flour Co., Seoul, Korea)와 소금(CJ CheilJedang, Seoul, Korea)은 시중에서 구입하였다.

분말 제조

홍영의 분쇄를 위하여 직경 20 mm, 높이 5 mm의 형태로 자른 후 60°C의 열풍 건조기(NB-901M, N-BIOTEK, Bucheon, Korea)에서 8 h 동안 건조하였다(Moon et al., 2015). 건조 홍영 30 g은 150 W의 분쇄기(MFM 002H, Hibell, Hwaseong, Korea)를 이용하여 5, 10, 20, 30, 45, 60 s 동안 분쇄하였다. 이후 다양한 입자 크기의 홍영 분말을 얻기 위하여 분쇄물을 screen mesh (2, 1.4, 1.18, 1, 0.6, 0.425, 0.25 mm)와 sieve shaker (CG-211-8, Chunggye,

Seoul, Korea)로 분리하였다(Lee et al., 2013). 또한 미세 분말을 얻기 위하여 600 g의 건조 홍영을 12 h 동안 ball-mill 분쇄를 하였다. Ball-mill 분쇄 입자의 크기는 입도 분석기(Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd, Malvern, Worcestershire, UK)를 이용하여 분석하였다.

반죽 및 면의 제조

분쇄를 이용하여 얻은 다양한 크기의 홍영 분말(RFPF)과 ball-mill 분쇄 분말(BM)을 첨가한 반죽의 경우, 홍영 분말의 입자 크기는 각각 425-600 (R1), 600-1,000 (R2), and 1,000-1,150 (R3) μm 이며, ball-mill 분말의 입자 크기는 $37.86 \pm 0.12 \mu\text{m}$ 였다. 반죽의 대조군(control)으로는 밀가루(W, $<160 \mu\text{m}$) 반죽을 이용하였다. 반죽 샘플을 제조는 30 g의 홍영 분말과 70 g의 밀가루를 반죽기(5K5SS, KitchenAid, St. Joseph, MI, USA)에 넣고 30 s 동안 교반시킨 후 증류수 50 g과 소금 2 g을 30 s 동안 천천히 투입하였다. 이후 5 min 동안 반죽을 한 후 반죽이 완료된 샘플은 수분 손실을 막기 위하여 폴리에틸렌 비닐에 넣은 후 10 min 동안 상온에서 휴지시켰다. 완성된 반죽 샘플은 이후 반죽과 면의 특성을 확인하기 위한 실험에 이용되었다. 면의 경우 시트의 제조를 위해 제면기(Atlas 150, Marcato, Campodarsego, Italy)를 이용하여 20 g의 반죽을 3 mm, 2 mm, 1 mm 간격의 롤러에 순서대로 각각 3회 반복하여 시트를 통과시킨 후 2 mm 너비로 세절하여 두께 1 mm, 너비 2 mm의 면을 제조하였다.

미세 구조 측정

면 반죽의 미세 구조는 variable pressure field emission scanning electron microscopy (VP-FESEM, Supra 55VP, Carl Zeiss, Oberkochen, Germany)를 이용하여 $\times 800$ 배율로 관찰하였다. 미세 구조의 측정을 위하여 샘플은 -40°C에서 48 h 동안 동결 건조 시켰다.

분말의 호화 특성 측정

입자 크기 별 분말의 호화 특성은 강원대학교 공동실험실습관의 differential scanning calorimeter (DSC, DSC Q2000, TA Instruments, New Castle, DE, USA)를 이용하여 측정하였다. 밀가루와 홍영 분말 샘플을 각각 증류수와 1:2의 비율로 혼합한 후 샘플 10 mg을 DSC 측정 팬에 넣고 밀폐하였다. 이후 30°C부터 130°C까지 10°C/min의 속도로 열을 가하면서 heat flow의 변화를 관측하였다(Izydorczyk et al., 2005). 얻어진 데이터를 이용하여 분말의 호화 개시 온도(T_i), 최대 호화 온도(T_p), 엔탈피(enthalpy)를 측정 및 계산하였다.

면의 인장도 측정

면의 인장 특성은 O-ring 인장도 측정 방법을 이용하였

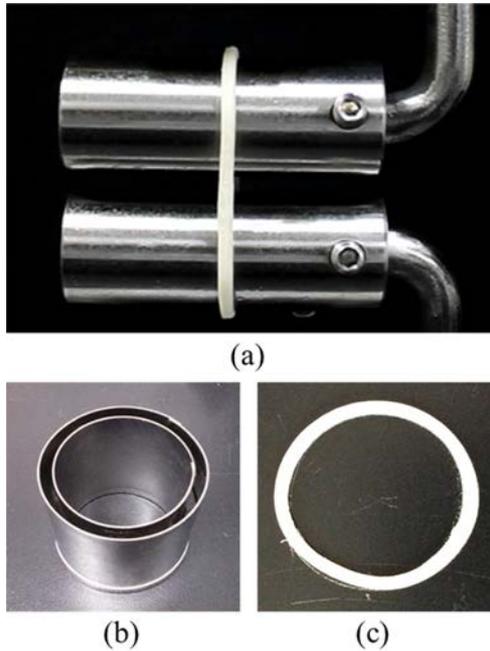


Fig. 1. The tensile measurement equipment (a); (b) ring cutter; (c) ring specimen for measuring tensile properties of noodle.

다. 인장도는 36 mm, 너비 2 mm, 두께 1 mm의 O-ring 형태로 제조한 면이 끊어질 때의 힘으로 표현하였다. 고리 형태의 면은 원형 틀을 이용하여 제조하였으며(Fig. 1b, 1c), 직접 제작한 인장도 측정 장치를 이용하였다(Fig. 1a). 면을 위로 당기는 속도는 0.7 mm/s이며 5회 반복 측정을 수행하였다.

Stress relaxation 측정

반죽 30 g을 직경 38 mm, 높이 18 mm의 원기둥 형태로 제조한 후 샘플을 익히기 전과 후인 생반죽과 익힌반죽의 stress relaxation test를 수행하였다. 측정 시 test speed는 0.3 mm/s이며, 변형률은 20%, holding time은 600 s였다. 반죽의 holding 동안의 힘은 시간에 대한 함수로 기록되었다. Stress relaxation test의 결과는 generalized Maxwell model (Eq. (1)) (Bhattacharya, 2010)로 해석하였다.

$$E(t) = \sum_{i=1}^n E_i e^{-t/\lambda_i} + E_e \quad (1)$$

n 은 Maxwell body의 수를 나타내며, E_i 는 Maxwell body의 탄성 계수(spring modulus)를, λ_i 는 relaxation time을, E_e 는 독립 탄성 계수(lone spring modulus)를 나타낸다. 힘은 반죽의 relaxation 동안 지속적으로 감소하며 relaxation time (λ)은 점성(η)과 탄성(E)의 비로 나타낸다(Eq. (2)).

$$\lambda = \frac{\eta}{E} \quad (2)$$

반죽의 색도 측정

밀가루 반죽과 여러 입자 크기의 홍영 분말을 첨가한 면 반죽의 색도 측정은 색차계(CR-310, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 표준 백색판으로 보정한 후 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값을 측정하였다. 반죽을 2 mm 두께의 시트로 제조한 후 직경 38 mm의 원형으로 절단하여 이용하였으며, 각 실험군에서 3개 이상의 원형 샘플을 제조하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

통계 분석

본 연구의 모든 결과는 통계분석 프로그램(SPSS Statistics ver. 21, IBM, Armonk, NY, USA)을 이용하여 평균과 표준편차로 나타내었으며, 결과의 유의성을 검증하기 위하여 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다($p < 0.05$).

실험 결과

면 반죽의 미세 구조

다양한 입자 크기의 RFPF를 첨가하여 제조한 생반죽(R) 및 익힌 반죽(C) 단면의 미세 구조에서 반죽을 구성하는 분말 내의 전분, 단백질 구조 및 감자 세포의 형태를 확인할 수 있었다(Fig. 2). 밀가루 반죽(W)의 미세 구조에서는 타원형 및 원형의 전분이 글루텐 단백질에 둘러싸여 있는 연결된 구조로 이루어져 있었다(RW in Fig. 2). 밀가루 반죽의 글루텐 구조는 반죽의 제조 과정 동안 글루텐 단백질의 수화가 일어나면서 단백질이 선형 구조를 나타내게 되며, 이러한 단백질 간의 교차 결합으로 인하여 연속적인 형태를 가진다(Roman-Gutierrez et al., 2002; Auger et al., 2008). RFPF를 첨가한 반죽의 경우 연속적인 글루텐 단백질의 교차 결합이 비교적 큰 감자 분말에 의하여 분리되게 된다(Fig. 2(a)). Ball-mill 분말의 경우 분쇄 과정 동안의 물리적 충격으로 인하여 감자 전분이 손상 전분(damaged starch)의 형태가 되기 때문에 ball-mill 반죽의 미세 구조에서는 입자 크기가 큰 감자 전분 및 감자의 세포 구조를 확인할 수 없었다.

RFPF 첨가 및 미첨가 반죽을 조리한 후 조리 반죽의 미세 구조를 관찰한 결과, 밀가루(W) 반죽에서는 전분의 호화로 인하여 전분 과립의 크기가 증가한 반면 ball-mill 분말(BM) 반죽의 경우 전분의 크기 증가가 적었다(CW, CBM in Fig. 2). 일반적으로 자유수가 적으면 전분의 팽윤이 적게 일어나고 호화도가 낮은 결과를 보여준다(Bagley & Christianson, 1982). Ball-mill 반죽에서 호화가 적게 일어난 원인으로는 ball-mill 분말의 입자 크기가 작아 표면적이 크고 이 표면적을 통한 물의 흡수가 호화온도 이전에 이루어져, 이에 따라 호화에 필요한 자유수가 적어 조리 후에도 큰 변화를 나타내지 않는 것으로 사료된다. Ball-mill 분말 외 비교적 큰 입자 크기의 R1 (425-600 μ m),

R2 (600-1,000 μm), R3 (1,000-1,150 μm) 분말을 첨가한 반죽의 조리 후 미세 구조에서는 감자 분말의 위치에 공극 구조가 관찰되었으며(Fig. 2(b)), 감자 전분이 호화된 후 과립 구조를 잃고 세포질화가 되었기 때문에 감자 전분의 형태를 확인할 수 없었다. Bordoloi et al. (2012)은 네 종류의 뉴질랜드산 감자를 조리한 후 미세 구조를 관찰하였을 때 감자 전분이 호화와 함께 과립 구조를 잃으면서 세포벽을 따라 전분 구조를 이루는 것을 확인하였다. 공극의 경우 감자 전분의 호화에 따라 세포질화가 이루어지면서 원래의 세포질 물질들이 밀려나게 되는데 이는 SEM 촬영을

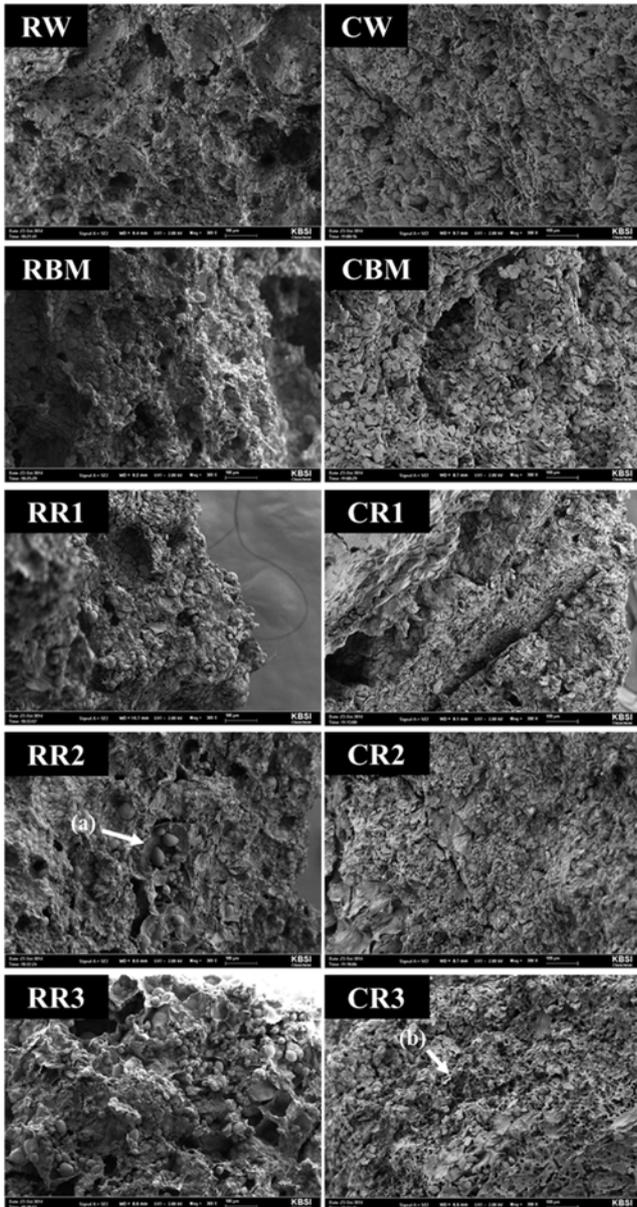


Fig. 2. Scanning electron microscopy analysis of raw and cooked noodle dough with/without the red fleshed potato flour (R: raw; C: cooked; W: wheat flour; BM: ball-milled RFPF; R1: 425-600 μm RFPF; R2: 600-1,000 μm RFPF; R3: 1,000-1,180 μm RFPF).

위한 시료 전처리 중 제거되므로 세포질 물질이 차지하던 자리가 공극으로 나타나게 된다(Alvarez & Canet, 1998).

반죽 구성 전분의 호화 특성

반죽을 구성하는 밀가루 및 홍영 감자 분말의 호화 열 특성을 DSC 측정 결과로 나타내었다(Fig. 3, Table 1). 밀가루의 경우 감자 분말에 비하여 호화 개시 및 최대 호화 온도, 엔탈피가 낮았다. Ratnayake & Jackson (2007)의 연구 결과, 밀 전분에 열처리를 하였을 때 50-60°C 사이에서 호화가 일어났다. 감자 전분의 경우 밀보다 높은 60-65°C에서 호화 특성이 나타났으며, 본 연구 결과와 마찬가지로 감자 전분의 호화 엔탈피가 더 높았다. 본 연구에서는 순수한 전분이 아닌 밀과 감자의 분말을 사용하였고 160 μm 이하의 작은 밀가루와 400 μm 이상의 비교적 큰 감자 분말에 의한 분말의 크기 차이로 Table 1과 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다. 입자 크기가 가장 큰 R3에서 높은 호화 온도 및 낮은 엔탈피가 관찰되었으며 ball-mill 분말(BM)은 호화 엔탈피가 관찰되지 않았다. 이는 BM은 ball-milling 과정에서 물리적 충격에 의하여 분말 내의 손상 전분 함량이 높아 호화가 발생하지 않은 것으로 사료된다.

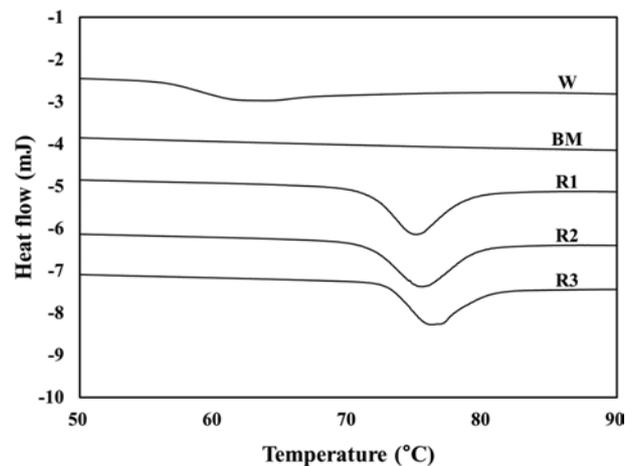


Fig. 3. Endothermic transition of wheat and red fleshed potato flour during gelatinization obtained by differential scanning calorimetry (W: wheat flour; BM: ball-milled RFPF; R1: 425-600 μm RFPF; R2: 600-1,000 μm RFPF; R3: 1,000-1,180 μm RFPF).

Table 1. Thermal properties of different particle sizes of red fleshed potato flour

Samples	T_o (°C)	T_p (°C)	ΔH (J/g)
W	56.4	62.1	2.6
RBM	-	-	-
R1	71.6	75.0	4.0
R2	71.5	75.4	3.7
R3	73.1	76.1	3.2

W: wheat flour; BM: ball-milled RFPF; R1: 425-600 μm RFPF; R2: 600-1,000 μm RFPF; R3: 1,000-1,180 μm RFPF.

Morrison et al. (1994)의 연구 결과에서 maize 전분을 8 h 동안, 또한 밀 전분을 16 h 이상 ball-milling 하였을 때 높은 손상 전분 함량으로 인하여 DSC 측정 시 호화를 확인할 수 없었다.

면의 인장도

밀가루(W) 및 홍영 분말(RFPF)을 첨가하여 두께 1 mm, 너비 2 mm의 고리 형태 숙면을 제조한 후 인장도를 측정한 결과는 Fig. 4와 같다. 인장 시 파열 힘(failure tensile load)은 W, BM, R1, R2으로 제조한 면 간의 유의적 차이가 나타나지 않았다. 그러나 그 평균은 입자 크기가 커질수록 감소하였으며, 밀가루(W) 면은 36.00±3.74 g, BM 면은 38.33±6.24 g으로 가장 높은 평균을 나타내었고 가장 입자 크기가 큰 R3으로 제조한 면은 16.67±6.24 g의 파열 힘을

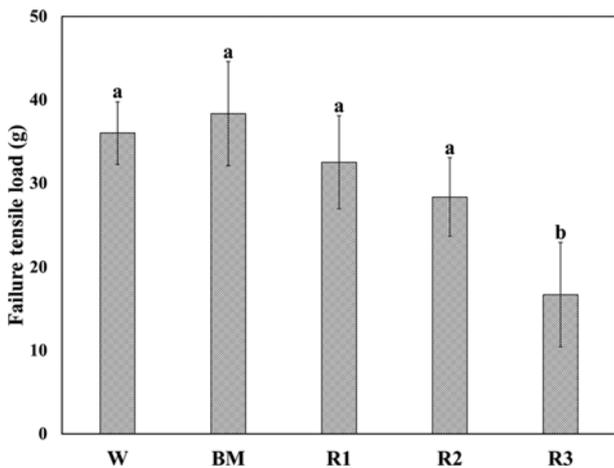


Fig. 4. Effects of the addition and particle size of red fleshed potato flour on the failure tensile strength of cooked noodle (W: wheat flour; BM: ball-milled RFPF; R1: 425-600 μm RFPF; R2: 600-1,000 μm RFPF; R3: 1,000-1,180 μm RFPF). ^{a-b}Means not sharing a common letter are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

가졌다. 반죽에 RFPF를 첨가하면 그 입자 크기가 증가함에 따라 반죽의 연속적인 글루텐 구조를 방해하기 때문에 인장력에 대하여 면이 쉽게 끊어져 힘이 점차 감소하며, 이러한 글루텐 구조와 분말의 분리는 Fig. 2의 미세 구조를 통하여 확인할 수 있었다. BM 첨가 반죽은 입자 크기가 충분히 작아 글루텐 구조를 방해하지 않기 때문에 W 반죽과 유사한 파열 힘을 가지는 것으로 사료된다. Shiau et al. (2012)의 연구 결과에서 역시 밀기울을 면에 첨가하였을 때 숙면의 경우 입자 크기가 작을수록 면의 파열 힘이 증가함을 확인하였다.

생반죽과 익힌반죽의 점탄성

다양한 크기의 RFPF를 첨가하여 제조한 원기둥 형태의 생반죽과 익힌 반죽의 stress relaxation 데이터는 Maxwell model(Eq. (1))에 적합하게 피팅되었다($r^2 \geq 0.98$, Table 2). Bhattacharya (2010)는 모스빈(moth bean) 분말로 제조한 반죽의 점탄성을 Maxwell model로 해석하였으며, Rodriguez-Sandoval et al. (2009) 또한 재구성 카사바 반죽(reconstituted cassava dough)을 3-Element Maxwell model을 이용하여 반죽 점탄성의 패턴을 예측한 바 있다. Table 2의 Maxwell model 변수를 통하여 밀가루 반죽과 RFPF 첨가 반죽은 모두 점성이 탄성보다 더 우세함을 확인하였다.

면의 생반죽에서 평형상태의 응력을 나타내는 E_e 는 ball-mill 분말(BM)을 이용할 경우 가장 높았으며, 밀가루 반죽에서 가장 낮은 값을 가졌다. E_e 는 면과 반죽 시트의 견고성을 나타낸다(Huang & Lai, 2010). 초기 응력완화반응을 나타내는 1차 성분인 E_1 과 η_1 은 W 반죽이 RFPF를 첨가한 반죽 샘플보다 높은 값을 나타내었으나, 시간이 진행되면서 진행되는 응력완화도인 E_2, E_3 와 η_2, η_3 는 W 반죽에 RFPF를 첨가한 반죽이 더 높은 값을 보였다. 반면에 반죽의 성형적성을 나타내는 relaxation time(λ_i)은 RFPF를

Table 2. 3-Element Maxwell model parameters for raw and cooked red fleshed potato noodle dough with different particle sizes

Samples	Elastic component (kPa)				Viscous component (kPas)			Relaxation time (s)			R ²
	E_e	E_1	E_2	E_3	η_1	η_2	η_3	λ_1	λ_2	λ_3	
RW	0.4 ^c	2.5 ^a	1.7 ^c	1.7 ^c	5.5 ^a	43.0 ^a	377.4 ^c	2.3 ^a	24.9 ^a	224.3 ^a	0.98
RBM	3.0 ^a	2.2 ^a	2.9 ^a	4.0 ^a	3.4 ^b	47.7 ^a	682.0 ^{ab}	1.6 ^{bc}	16.6 ^b	172.7 ^{ab}	0.99
RR1	1.2 ^{bc}	1.2 ^c	1.9 ^{bc}	2.9 ^b	1.7 ^c	28.6 ^b	465.2 ^c	1.4 ^c	15.0 ^b	163.2 ^b	0.97
RR2	1.7 ^b	1.6 ^b	2.3 ^b	3.8 ^{ab}	2.8 ^c	43.6 ^a	727.3 ^a	1.7 ^b	18.9 ^b	190.9 ^{ab}	0.99
RR3	1.6 ^b	1.4 ^{bc}	2.2 ^b	3.6 ^{ab}	2.3 ^d	38.9 ^a	601.1 ^{ab}	1.6 ^{bc}	17.9 ^b	165.7 ^b	0.98
CW	27.0 ^b	6.9 ^b	7.1 ^b	14.1 ^b	29.6 ^d	253.3 ^c	4956.6 ^a	4.3 ^a	36.0 ^a	353.2 ^a	0.99
CBM	40.4 ^{ab}	10.9 ^{ab}	10.9 ^a	17.2 ^{ab}	39.6 ^c	299.0 ^{bc}	4981.6 ^a	3.8 ^a	28.5 ^a	292.4 ^a	0.99
CR1	41.4 ^a	14.4 ^a	12.8 ^a	16.3 ^{ab}	47.0 ^b	353.6 ^{ab}	4822.1 ^a	3.3 ^a	27.9 ^a	294.9 ^a	0.99
CR2	37.8 ^{ab}	15.7 ^a	12.3 ^a	17.8 ^a	59.0 ^b	401.4 ^a	5140.2 ^a	3.7 ^a	32.6 ^a	288.3 ^a	0.99
CR3	40.7 ^{ab}	15.8 ^a	12.1 ^a	17.6 ^a	65.4 ^a	423.6 ^a	4866.8 ^a	4.0 ^a	35.1 ^a	284.7 ^a	0.99

W: wheat flour; BM: ball-milled RFPF; R1: 425-600 μm RFPF; R2: 600-1,000 μm RFPF; R3: 1,000-1,180 μm RFPF.

^{a-d}Indicates a significant difference within columns ($p < 0.05$).

Table 3. Color characteristics of red fleshed potato flour doughs measured as the lightness (L), red-green (a), and yellow-blue (b)

Samples	Raw			Cooked		
	L	a	b	L	a	b
W	76.4±0.6 ^a	-3.5±0.2 ^c	15.9±0.9 ^c	72.3±0.1 ^a	-3.4±0.1 ^c	17.1±1.5 ^b
BM	54.0±1.1 ^b	6.0±0.4 ^a	16.1±1.1 ^c	45.5±0.7 ^d	7.4±0.5 ^b	13.9±1.5 ^c
R1	52.8±0.2 ^c	6.1±0.1 ^a	21.2±0.5 ^{ab}	48.0±0.7 ^c	8.4±0.3 ^a	18.9±1.5 ^a
R2	53.7±0.2 ^b	5.9±0.1 ^a	20.6±0.5 ^b	48.7±0.1 ^b	8.1±0.1 ^a	19.3±1.2 ^a
R3	53.5±0.5 ^b	5.2±0.2 ^b	21.7±0.3 ^a	47.9±0.5 ^c	7.3±0.4 ^b	19.1±1.0 ^a

W: wheat flour; BM: ball-milled RFPF; R1: 425-600 µm RFPF; R2: 600-1,000 µm RFPF; R3: 1,000-1,180 µm RFPF.

^{a-d}Indicates a significant difference within columns ($p<0.05$).

첨가한 모든 반죽이 W 반죽보다 유의적으로 낮은 값을 나타내었다. 낮은 relaxation time을 가진 반죽은 성형시의 flattening과 sheeting에 보다 적합한 것으로 알려져 있으며 (Bhattacharya, 2010), 본 연구에서 RFPF를 첨가한 반죽이 W 반죽에 비하여 낮은 relaxation time을 나타내므로 반죽의 성형적성에 적합한 것으로 사료된다. RFPF 첨가 반죽이 높은 elastic components를 나타내는 것은 감자 분말을 첨가하였을 때 감자 분말의 단백질, 전분, 섬유질, 무기질 등의 성분이 자유수를 경쟁적으로 흡수하기 때문이다 (Bhattacharya, 2010). 또한 BM 반죽에서 elastic components가 가장 높은 원인은 작은 입자 크기로 인한 표면적의 증가와 낮은 온도에서도 자유수를 흡수하는 손상 전분의 성질로 인한 것이다 (Tester, 1997). Tester & Morrison (1994)은 ball-milling에 의하여 제조된 손상 전분에 저온의 물에서도 용해가 가능한 아밀로펙틴의 저분자 조각이 있음을 밝혔다. 따라서 손상 전분은 낮은 온도에서의 높은 수화도로 인하여 전분의 팽윤도와 젤 형성능이 높다.

익힌 반죽의 경우 W 반죽을 제외한 나머지 RFPF 첨가 반죽 사이에는 stress relaxation parameter 값 사이에 유의차가 나타나지 않았으며, 밀가루 반죽은 홍영 분말 첨가 반죽에 비하여 유의적으로 낮은 값을 나타내었다 ($p<0.05$). RFPF 첨가 반죽은 작은 입자 크기의 홍영 분말에 더 많은 손상 전분이 존재하기 때문에 호화 후 유의차가 나타나지 않는 결과를 나타내었다. Tester (1997)의 연구에서 저온 (20°C)에서 94.3% 손상 전분은 61.0의 팽윤도를, 0.7%의 손상 전분은 1.0의 팽윤도를 나타내었다. 그러나 80°C의 호화가 발생하는 조건에서는 각각 40.5와 96.6의 팽윤도를 나타냄으로, 손상 전분의 경우 저온에서 팽윤도가 높고 고온에서 호화가 적게 발생함을 확인할 수 있었다. 또한 BM 생반죽과 같은 경우 자유수가 부족할 때 호화에 필요한 수분이 충분하지 않기 때문에 BM 반죽을 호화시키기 위해 고온에서 조리하면 조직감의 변화가 적고, 반면에 손상도가 낮은 CR1, CR2, CR3의 경우 높은 자유수 함량으로 인하여 호화가 많이 일어나 elastic component가 증가하여 서로 다른 입자 크기의 반죽에서 유의차가 감소하였다.

생반죽에서의 relaxation time은 밀가루(W) 반죽이 가장

길었으며, 이는 밀가루 반죽 내 글루텐 단백질의 disulphide 결합으로 인한 점탄성 특징으로 사료된다 (Belton, 1999). RFPF를 첨가한 반죽은 W 반죽에 비하여 밀가루의 함량이 낮기 때문에 글루텐의 disulphide 결합 감소로 인하여 낮은 relaxation time을 나타내며, 호화 이후에는 전분의 영향으로 relaxation time의 유의차가 감소하였다.

면 반죽의 색도

홍영 분말을 첨가한 면의 제조를 위한 반죽의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)를 Table 3에 나타내었다. 반죽에 홍영 분말을 첨가하였을 때 밀가루 반죽에 비하여 명도는 감소, 적색도와 황색도는 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 홍영 분말에 존재하는 천연 색소인 안토시아닌의 붉은색에 의한 영향으로 사료된다. 본 연구와 유사하게 마 분말, 토마토 분말 및 파래 분말을 첨가하여 국수를 제조하였을 때 역시 첨가 및 첨가량에 따라 L값이 크게 감소함을 확인할 수 있었다 (Ahn & Yoon, 2008; Cho, 2010; Kim et al., 2015). 홍영 분말의 입자 크기가 증가할수록 적색도가 감소하였으며, 입자 크기가 가장 작은 BM 반죽은 가장 낮은 황색도를 나타내었다. 반죽을 조리한 후에는 L값이 감소하나 a값은 증가하고 b값은 감소함을 통하여 홍영 특유의 붉은색을 더 잘 나타내는 것을 확인하였다.

요 약

건강기능성 물질을 함유하며 고유의 색과 향미를 가지는 유색감자 홍영 분말을 첨가한 반죽 및 면의 물리화학적 특성을 확인하였다. 홍영 미세 분말은 ball-milling을 통하여 제조하였으며, 매우 낮은 입자도로 인하여 감자의 세포 및 전분 구조가 파괴되어 손상 전분의 함량이 높았다. 이 같은 손상 전분은 낮은 온도에서 물을 흡수하고 팽창하는 성질이 높아 일반 분쇄를 통하여 얻은 분말로 제조한 반죽에 비하여 BM 분말을 반죽에 첨가하였을 때 탄성이 높고 자유수가 적은 반죽 및 면이 제조되었다. 입자 크기를 달리 하여 분쇄한 홍영 분말의 경우 손상 전분이 아닌 첨가 분말의 표면적에 의하여 영향을 받으므로 입자 크기가 클수

록 반죽 내의 자유수가 많아 열처리 시 더 많은 호화가 발생하였다. 홍영 분말을 첨가한 경우 홍영 특유의 붉은색이 증가함을 확인하였으며, 홍영 분말의 입자 크기가 커질수록 적색도가 감소하였다. 홍영 분말의 다양한 입자 크기에 따라 손상 전분의 발생 및 입자의 표면적에 의하여 서로 다른 호화 특성 및 면 반죽의 조직감을 나타내었다. 본 연구 결과를 통하여 미세 분말(BM)의 경우 손상 전분으로 인하여 생반죽의 탄성이 밀가루에 비하여 매우 높아 성형에 더 많은 힘이 필요함을 확인할 수 있었다. 따라서 미세 분말인 BM 분말과 다르게 생반죽의 성형이 용이하면서 홍영 특유의 붉은 색을 가장 잘 나타내며, 조리 이후 반죽의 탄성을 향상시키고 밀가루와 인장력에 유의차가 나타나지 않는 R1 및 R2 분말로 제조한 면이 우수한 품질을 나타냄을 확인하였다. 본 연구 결과는 전분을 함유하는 대체 분말을 이용한 제면 제품의 개발 시 입자 크기의 결정에 대한 기반이 될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가 식품기술개발사업에 의해 이루어진 것임(과제번호: 314047-2).

References

- Ahn JW, Yoon JY. 2008. Quality characteristics of noodles added with *Dioscorea japonica* powder. Korean J. Food Sci. Technol. 40: 528-533.
- Alvarez MD, Canet W. 1998. Rheological characterization of fresh and cooked potato tissues (cv. *Monalisa*). Z. Lebensm. Unters. Forsch. A. 207: 55-65.
- Auger F, Morel M, Lefebvre J, Dewilde M, Redl A. 2008. A parametric and microstructural study of the formation of gluten network in mixed flour-water batter. J. Cereal Sci. 48: 349-358.
- Bagley E, Christianson D. 1982. Swelling capacity of starch and its relationship to suspension viscosity effect of cooking time, temperature and concentration. J. Texture Stud. 13: 115-126.
- Bellido G, Hatcher D. 2009. Asian noodles: Revisiting Peleg's analysis for presenting stress relaxation data in soft solid foods. J. Food Eng. 92: 29-36.
- Bhattacharya S. 2010. Stress relaxation behaviour of moth bean flour dough: Product characteristics and suitability of model. J. Food Eng. 97: 539-546.
- Belton P. 1999. Mini review: on the elasticity of wheat gluten. J. Cereal Sci. 29: 103-107.
- Bordoloi A, Kaur L, Singh J. 2012. Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. Food Chem. 133: 1092-1100.
- Cho HS. 2010. Rheological properties of dried noodles with added *Enteromorpha intestinalis* powder. J. East Asian Soc. Diet. Life 20: 567-574.
- Choy A, Morrison PD, Hughes JG, Marriott PJ, Small DM. 2013. Quality and antioxidant properties of instant noodles enhanced with common buckwheat flour. J. Cereal Sci. 57: 281-287.
- Dewi EN. 2011. Quality evaluation of dried noodle with seaweeds puree substitution. J. Coast Dev. 14: 151-158.
- Hejtmánková K, Pivec V, Trnková E, Hamouz K, Lachman J. 2009. Quality of coloured varieties of potatoes. Czech J. Food Sci. 27: 310-313.
- Huang Y, Lai H. 2010. Noodle quality affected by different cereal starches. J. Food Eng. 97: 135-143.
- Inglett GE, Peterson SC, Carriere CJ, Maneepun S. 2005. Rheological, textural, and sensory properties of Asian noodles containing an oat cereal hydrocolloid. Food Chem. 90: 1-8.
- Izydorczyk MS, Lagasse SL, Hatcher DW, Dexter JE, Rossnagel BG. 2005. The enrichment of Asian noodles with fiber-rich fractions derived from roller milling of hull-less barley. J. Sci. Food Agric. 85: 2094-2104.
- Jung HB, Kim JA, Pan CH, Yoon WB. 2014. Antioxidant activity and quality characteristics of cookies prepared with colored potato (*Ja-young*) flour. Food Eng. Prog. 18: 325-331.
- Kim DS, Ahn JB, Choi WK, Han GP, Park ML, Kang BN, Kim DH, Choi SH. 2015. Quality characteristics of noodles added with tomato powder. Korean J. Culinary Res. 21: 129-142.
- Lachman J, Hamouz K. 2005. Red and purple coloured potatoes as a significant antioxidant source in human nutrition-a review. Plant Soil Environ. 51: 477.
- Lee YJ, Lee MG, Yoon WB. 2013. Effect of seed moisture content on the grinding kinetics, yield and quality of soybean oil. J. Food Eng. 119: 758-764.
- Li M, Zhang J, Zhu K, Peng W, Zhang S, Wang B, Zhu Y, Zhou H. 2012. Effect of superfine green tea powder on the thermodynamic, rheological and fresh noodle making properties of wheat flour. LWT-Food Sci. Technol. 46: 23-28.
- Moon JH, Pan C, Yoon WB. 2015. Drying characteristics and thermal degradation kinetics of hardness, anthocyanin content and colour in purple and red fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) during hot air drying. Int. J. Food Sci. Technol. 50: 1255-1267.
- Morrison W, Tester R, Gidley M. 1994. Properties of damaged starch granules. II. Crystallinity, molecular order and gelatinisation of ball-milled starches. J. Cereal Sci. 19: 209-217.
- Ratnayake WS, Jackson DS. 2007. A new insight into the gelatinization process of native starches. Carbohydr. Polym. 67: 511-529.
- Rodríguez-Sandoval E, Fernández-Quintero A, Cuvelier G. 2009. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. LWT-Food Sci. Technol. 42: 202-206.
- Roman-Gutierrez AD, Guilbert S, Cuq B. 2002. Description of microstructural changes in wheat flour and flour components during hydration by using environmental scanning electron microscopy. LWT-Food Sci. Technol. 35: 730-740.
- Rytel E, Tajner-Czopek A, Aniołowska M, Hamouz K. 2013. The influence of dehydrated potatoes processing on the glycoalkaloids content in coloured-fleshed potato. Food Chem. 141: 2495-2500.
- Rytel E, Tajner-Czopek A, Kita A, Aniołowska M, Kucharska A, Sokół-Łętowska A, Hamouz K. 2014. Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing. Food Chem. 161: 224-229.
- Sabanis D, Makri E, Doxastakis G. 2006. Effect of durum flour

- enrichment with chickpea flour on the characteristics of dough and lasagne. *J. Sci. Food Agric.* 86: 1938-1944.
- Shan S, Zhu K, Peng W, Zhou H. 2013. Physicochemical properties and salted noodle making quality of purple sweet potato flour and wheat flour blends. *J. Food Process. Preserv.* 37: 709-716.
- Shiau S, Wu T, Liu Y. 2012. Effect of the amount and particle size of wheat fiber on textural and rheological properties of raw, dried and cooked noodles. *J. Food Quality* 35: 207-216.
- Šimková D, Lachman J, Hamouz K, Vokál B. 2013. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chem.* 141: 3872-3880.
- Tester R. 1997. Properties of damaged starch granules: composition and swelling properties of maize, rice, pea and potato starch fractions in water at various temperatures. *Food Hydrocolloid.* 11: 293-301.
- Tester R, Morrison W. 1994. Properties of damaged starch granules. V. Composition and swelling of fractions of wheat starch in water at various temperatures. *J. Cereal Sci.* 20: 175-181.
- Yadav BS, Yadav RB, Kumari M, Khatkar BS. 2014. Studies on suitability of wheat flour blends with sweet potato, colocasia and water chestnut flours for noodle making. *LWT-Food Sci. Technol.* 57: 352-358.
- Zhu K, Dai X, Guo X, Peng W, Zhou H. 2014. Retarding effects of organic acids, hydrocolloids and microwave treatment on the discoloration of green tea fresh noodles. *LWT-Food Sci. Technol.* 55: 176-182.