

Research Note

초고압 처리에 의한 Gluten-free 메밀 반죽과 면의 신장성 및 조직감 특성 변화

정화빈 · 판철호¹ · 윤원병*

강원대학교 식품생명공학과, ¹KIST 강릉 분원

Effect of High Hydrostatic Pressure on Tensile and Texture Properties of Gluten-free Buckwheat 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 effect of high hydrostatic pressure (HHP) on the physical properties of the starch in buckwheat dough (BD) for noodle application was studied. HHP was applied to the BD at various pressures: at 50 MPa and 415 MPa for 9 min and at 200 MPa for 3 min and 15 min. The microstructure of BD after HHP treatment showed a higher degree of swelling of starch granules as the pressure level and the holding time increased. The starch granules in BD at 415 MPa were ruptured whereas other samples were gelatinized with intact starch granules. The failure tensile distance of BD, the most important quality index of dough for noodle processing, significantly increased at 200 MPa for 15 min ($p < 0.05$). The springiness, adhesiveness, and chewiness of cooked dough were reduced as the pressure level increased, whereas the gumminess, springiness, and chewiness moderately increased as the holding time increased. Our study demonstrated that the noodle dough treated with suitable pressure level and holding time improved not only the process-ability of gluten free dough but also the texture characteristics of cooked noodle product.

Key words: high hydrostatic pressure, buckwheat, noodle, texture, microstructure

서 론

북유럽과 아시아가 원산지인 메밀(*Fagopyrum esculentum* Möench)은 rutin, orientin, vitexin, quercetin, isovitexin, kaempferol-3-rutinoside, isoorientin, and catechins을 포함한 다양한 페놀 화합물 및 풍부한 단백질과 아미노산, 단백질을 함유하고 있다(Dietrych-Szostak & Oleszek, 1999; Bonafaccia et al., 2003). 메밀 가루의 경우 Italy 등지에서 파스타를 만드는 데 쓰이고(Chillo et al., 2008), 한국에서는 막국수와 냉면이 대표적이며 지역에 따라 메밀묵 또는 메밀부침 등을 제조하여 섭취하기도 한다(Lee et al., 1991).

밀가루를 이용한 빵과 면은 밀의 글루텐 단백질인 gliadins와 glutenins을 포함하고 있으며, 이는 반죽변형에 기여하는 주요한 물질로서 반죽의 가공특성 중의 주요한 요인인 신장성(extension ability) 또는 인장도(tensile property)을 향상 시키는데 기여한다(Shewry et al., 1995; Wieser, 2007). 글루텐은 빵과 면류의 가공적 특성 및 조직감에도 영향을 미친다. 글루텐은 섭취 시 소장에서 염증 반응을 나타내는 질환인 celiac 병을 유발시키는 원인으로 판명되었으며, celiac환자들을 위한 글루텐이 없는 쌀이나 메밀과 같은 곡물로 밀을 대체하는 가공식품개발이 진행되고 있다(Vallons et al., 2011). 글루텐 대체물로 pre-gelatinized 전분을 이용하는 방법이 활발히 연구되고 있다. Clerici et al. (2009)와 Defloor et al. (1991)는 압출 성형법을 이용하여 pre-gelatinized extruded 전분을 제조하여 글루텐을 대체하는 연구를 수행하였다. 이러한 pre-gelatinized 전분을 제조하는 기술의 또 다른 방법으로는 초고압(High hydrostatic pressure, HHP) 처리가 있다. 초고압 처리는 식품의 살균분야와 함께 조직감 조절에도 적용이 되고 있다. HHP의 효과로는 단백질의 unfolding 변성, 그리고 응집성이 있으며

*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 April 11, 2015; revised May 4, 2015; accepted May 12, 2015

(Boonyaratanakornkit et al., 2002), Knorr et al. (2006)은 전분에 초고압 처리를 하였을 때 전분 과립이 파괴되지 않고 그 구조를 유지하고 있음을 설명하였다.

초고압 공정을 식품에 적용 시 가열처리 공정을 적용한 것에 비하여 이수현상에 의한 조직감의 변화가 적고 내열성이 적은 유효성분의 파괴가 적기 때문에 신선한 맛과 외관과 조직감의 보전을 가져올 수 있다(Norton & Sun, 2008). HHP에 의한 전분의 호화는 열에 의한 호화와 다른 기작으로 일어나며 초고압 처리에 의하여 호화된 전분의 경우 그 구조를 유지하며 관능적으로 향상된 조직감을 가지는 것으로 보고되었다(Stute et al., 1996; Vallons & Arendt, 2009). 초고압 장비기술의 향상으로 100 MPa에서 800 MPa 압력 범위의 초고압 처리 기능은 과학적 연구뿐만 아니라 다양한 목적의 산업분야의 생산장비로서도 응용되고 있다(Rendueles et al., 2011).

제면 과정에서 글루텐이 포함되지 않은(gluten-free) 제품을 개발 시 밀가루를 포함하지 않은 gluten-free 반죽은 제조 후 반죽의 신장성의 저하로 인한 면의 끊어짐 현상으로 제면 성형 공정의 적용에 어려움을 가진다. 현재 국내의 대표적인 메밀제품인 막국수는 이 같은 신장성 저하로 인한 성형불량을 보완하고자 적절한 양의 밀가루를 메밀과 혼합하여 반죽을 제조한다. 또한 면제품은 취식 시 면의 조직감이 관능의 중요한 척도이나, 메밀을 이용한 gluten-free면 제조의 문제점을 극복하기 위한 물리적방법인 초고압 처리를 이용한 반죽의 신장성 향상과 면의 조직감 변화에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 글루텐을 함유하지 않는 메밀을 이용하여 반죽을 제조한 후 초고압 처리를 통하여 메밀 반죽 내 전분의 pre-gelatinized를 유도한 후 반죽과 면을 제조하고 인장도(tensile property)를 측정함으로써 제면 특성의 향상을 확인하는 것을 목적으로 하였다. 또한 초고압 처리 압력과 시간이 메밀 반죽 내 전분에 미치는 영향 및 호화 열 특성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용된 메밀 분말(Taekwang Foods, Seoul, Korea)과 소금(CJ CheilJedang Co., Seoul, Korea)은 시중에서 구입하여 반죽의 제조에 이용하였다.

반죽 제조 및 HHP 처리

메밀면의 제조를 위한 반죽의 제조는 메밀 분말 150 g, 소금 6 g을 혼합한 후 반죽기(5K5SS, KitchenAid, St. Joseph, MI, USA)를 이용하여 30초 동안 분말과 소금을 혼합하였다. 분말의 혼합 후 반죽의 고른 수분을 위하여 증류수 150 g을 10초 동안 천천히 투입하고 10분 동안 반죽하였다. 이후 형성된 반죽을 100 g씩 나누어 크기 13×

19 cm의 폴리에틸렌 백에 넣고 진공포장을 하였다. 메밀 분말의 현탁액을 200, 400, 600 MPa의 압력으로 10분간 처리한 경우 유의미한 차이가 보고되었으며(Vallons et al., 2011), 밀가루 반죽의 경우 50, 150, 250 MPa에서 1, 2, 3, 4분 동안 밀가루 반죽에 초고압 처리를 하여 그 변화를 확인하였다(Barcenas et al., 2010). 이를 바탕으로 본 연구에서는 진공포장된 반죽 샘플은 초고압기(CIP 32260, AVURE Autoclave Systems, Columbus, OH, USA)의 pressurization cabinet에 넣고, 샘플에 각각 50 MPa에서 9분(P50), 415 MPa에서 9분(P415), 200 MPa에서 3분(T3), 200 MPa에서 15분(T15) 동안 압력 처리를 하였다. 이에 대한 대조군은 압력 처리를 하지 않은 반죽(Control)으로 설정하였다.

반죽의 조직감 측정

HHP 처리 전과 후 반죽의 조직감은 texture analyzer (CT3, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 조직감 측정을 위하여 반죽을 각각 30 g씩 분리하고, 틀을 이용하여 직경 38 mm, 높이 18 mm의 원기둥 형태로 제조하였다. Texture analyzer에 직경이 38 mm인 원기둥 형의 probe를 장착하여 3회 반복 측정 후, 측정된 값 평균과 표준편차로 나타내었다. 측정 시 사용된 조건은 test speed 0.5 mm/s, deformation 30%로 설정하였다.

면의 인장도 측정

HHP 처리 전과 후의 반죽으로 제조한 메밀면의 경우 texture analyzer (CT3, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, USA)를 이용하여 인장도를 측정하였다. 먼저, 각 메밀 반죽 샘플을 30 g 분리하여 제면기로 두께 1 mm인 반죽의 sheet를 제조하고 7×7 cm의 정사각형 형태로 잘라 1,000 mL의 증류수에 5분간 조리하였다. 이후 익히기 전과 익힌 후의 반죽 sheet를 이용하여 두께 1 mm, 너비 2 mm인 고리 형태로 생면과 조리면을 제조하여 인장력 측정을 샘플당 3회 반복 수행하였다. 고리 형태의 면이 끊어질 때 최대 힘을 peak tensile load, 그 때의 거리를 failure tensile distance로 나타내었다. Test speed는 0.7 mm/s로 설정하였으며, 면 고리가 끊어질 때의 힘과 거리를 측정하였다.

반죽의 미세 구조

HHP 처리 전과 후 메밀 반죽의 미세 구조를 확인하기 위하여, 고분해능 주사전자현미경(UHR-SEM, S-4800, Hitachi High-Technologies Corporation, Tokyo, Japan)으로 -40°C에서 48 h 동안 동결 건조한 반죽의 단면을 측정하였다.

반죽의 열 특성 측정

메밀 반죽의 열 특성을 확인하기 위하여 시차주사열량계 (DSC Q2000, TA instruments, New Castle, DE, USA)를 이용하였다. 메밀 반죽 샘플 10 mg을 알루미늄 팬에 넣고 밀봉하여 20°C에서 120°C까지 10 °C/min으로 가열하여 endotherm peak를 얻고 호화 온도 및 엔탈피를 구하였다. 엔탈피의 계산은 Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA) 프로그램에서 Simpson's rule을 이용한 적분으로 수행하였다.

통계처리

본 연구의 모든 결과는 통계분석 프로그램(SPSS Statistics 21, IBM, Armonk, NY, USA)을 이용하여 최소 3회 이상의 반복 실험 결과를 평균과 표준편차로 나타내었으며, 결과의 유의성을 검증하기 위하여 일원분산분석(ANOVA)을 실시하였다.

결과 및 고찰

메밀 반죽의 미세 구조 변화

메밀 반죽 단면의 미세 구조를 통하여 HHP에 의하여 변화된 메밀 전분 및 성분들의 변화를 확인하였다(Fig. 1). Scanning electron microscopy (SEM)를 이용하면 전분 과립의 형태와 전분 표면의 구조를 볼 수 있다(Liu et al., 2008). HHP 처리를 한 메밀 반죽의 미세 구조는 초기 전분의 구조와 다른 구조를 나타내었다. Hüttner et al. (2009)의 연구에서는 귀리 반죽에 500 MPa의 압력을 가하였을 때 본 연구에서 415 MPa의 압력을 가한 메밀 반죽과 유사하게 호화된 전분 과립의 형태 및 강한 압력으로 인한 과립 구조의 파괴를 관찰하였다(Fig. 1c). 또한 압력 처리를 하지 않은 반죽에 비하여 초고압 처리를 한 반죽의 경우 미세 구조에서 공극(cavity)이 감소하였다(Fig. 1b, 1c, 1d, 1e). 200 MPa에서 3분 동안 압력을 가하였을 때 전분이 그 구조를 유지하면서 호화가 되어 전분 과립의 크기가 증가한 것을 확인할 수 있었으며(Fig. 1d), 15분 동안 처리하였을 때에는 3분과 유사한 전분의 호화를 나타내면서 공극이 더욱 감소하여 연속적인 구조를 보였다(Fig. 3e). 본 연구에서 사용된 메밀전분의 초고압 처리 결과는 일반적으

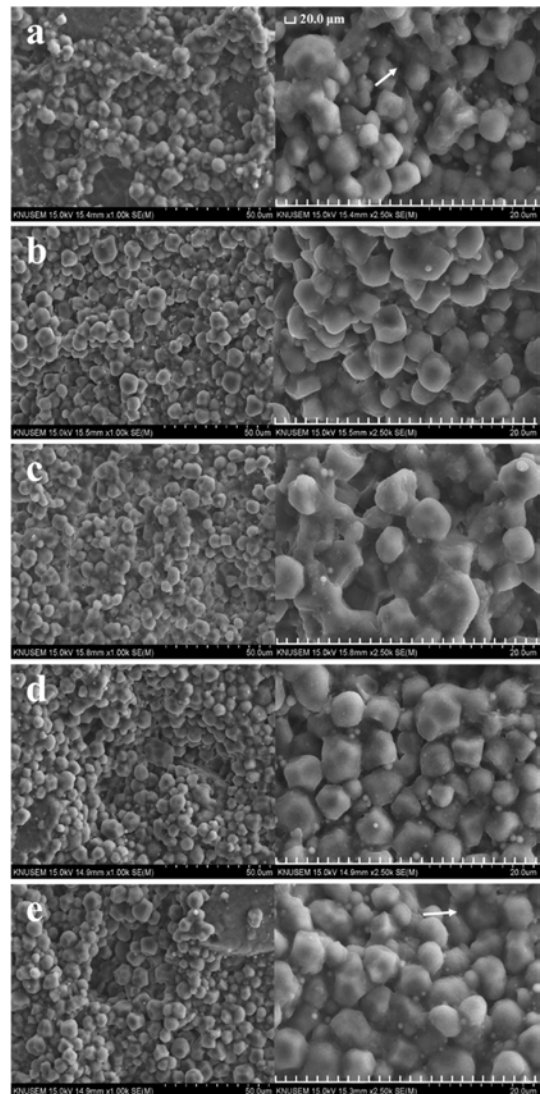


Fig. 1. Scanning electron micrographs of HHP untreated and treated buckwheat dough (a: control; b: P50; c: P415; d: T3; e: T15). Magnification of images in the left side and the right side are 1.00 K and 2.50 K, respectively. The arrow indicates pores in dough microstructure.

로 전분에 초고압 처리 시 발생하는 호화도의 변화와 유사한 관계를 보였다(Stute et al., 1996).

초고압 처리를 하지 않은 메밀 반죽의 전분 미세 구조에서는 전분 표면은 호화로 형성되는 둥근 입자의 형성이

Table 1. DSC results of HHP untreated and treated buckwheat doughs

Sample	T_o (°C)	T_p (°C)	T_e (°C)	H (J/g)
Control	60.23±0.10 ^d	69.98±0.62 ^e	80.28±0.25 ^c	0.48±0.02 ^a
P50	60.57±0.18 ^c	72.23±0.73 ^d	80.91±0.12 ^b	0.50±0.02 ^a
P415	69.17±0.07 ^a	75.89±0.09 ^b	87.69±0.19 ^a	0.23±0.01 ^c
T3	68.88±0.28 ^a	77.10±0.29 ^a	87.77±0.19 ^a	0.28±0.01 ^b
T15	62.96±0.15 ^b	73.58±0.38 ^c	80.85±0.29 ^b	0.31±0.03 ^b

Onset (T_o), peak (T_p), endset (T_e) gelatinization temperatures and enthalpies (H) are shown.

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

없는 상태로 관찰되었으나, 초고압 처리를 하였을 때 반죽의 전분은 표면에 등근입자를 형성한 부분이 관찰되었으며 이는 감자전분과 밀전분에 초고압 처리를 한 경우와 동일한 결과이다(Liu et al., 2008). 반면 전분 과립이 파괴된 415 MPa 반죽에서는 등근입자의 형성이 없었으며 이는 초고압 처리를 하지 않은 전분과 유사한 표면특성을 보여 주었다.

초고압에 의한 반죽의 열 특성

시차주사열량계(DSC)를 이용하여 초고압 처리 전과 후의 메밀 반죽의 열 특성을 측정된 결과를 Table 1에 나타내었다. DSC 그래프는 메밀의 호화 온도를 고려하여 해석하였으며(Vallons et al., 2011) 이를 기준으로 엔탈피를 계산하였다(Fig. 2). 초고압 처리를 하지 않은 반죽의 엔탈피는 0.48 J/g이며 control 반죽과 유사한 값을 가지는 50 MPa에서 압력 처리를 한 반죽을 제외한 나머지 압력 처리 반죽에서는 0.23-0.31 J/g으로 엔탈피가 감소함을 나타내었다. 이는 초고압에 의한 전분의 호화도를 나타내는 것

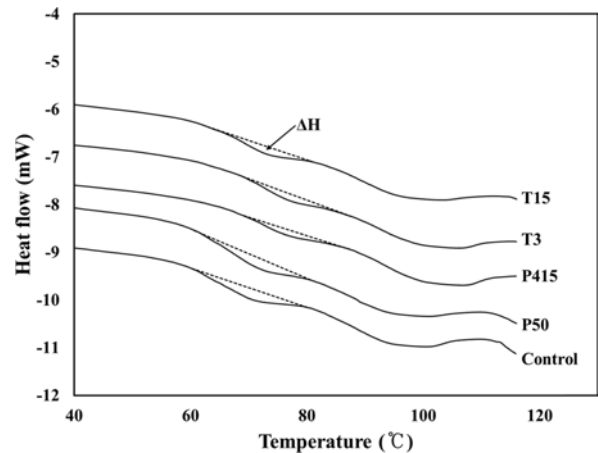


Fig. 2. DSC thermograms for buckwheat dough HHP untreated and treated at various conditions. Control: untreated, P50: 50 MPa for 9 min, P415: 415 MPa for 9 min, T3: 200 MPa for 3 min, T15: 200 MPa for 15 min treated.

으로, 강한 압력을 처리하였을 때 메밀 전분의 호화가 발생하여 낮은 엔탈피를 보였다. Hüttner et al. (2009)은 귀

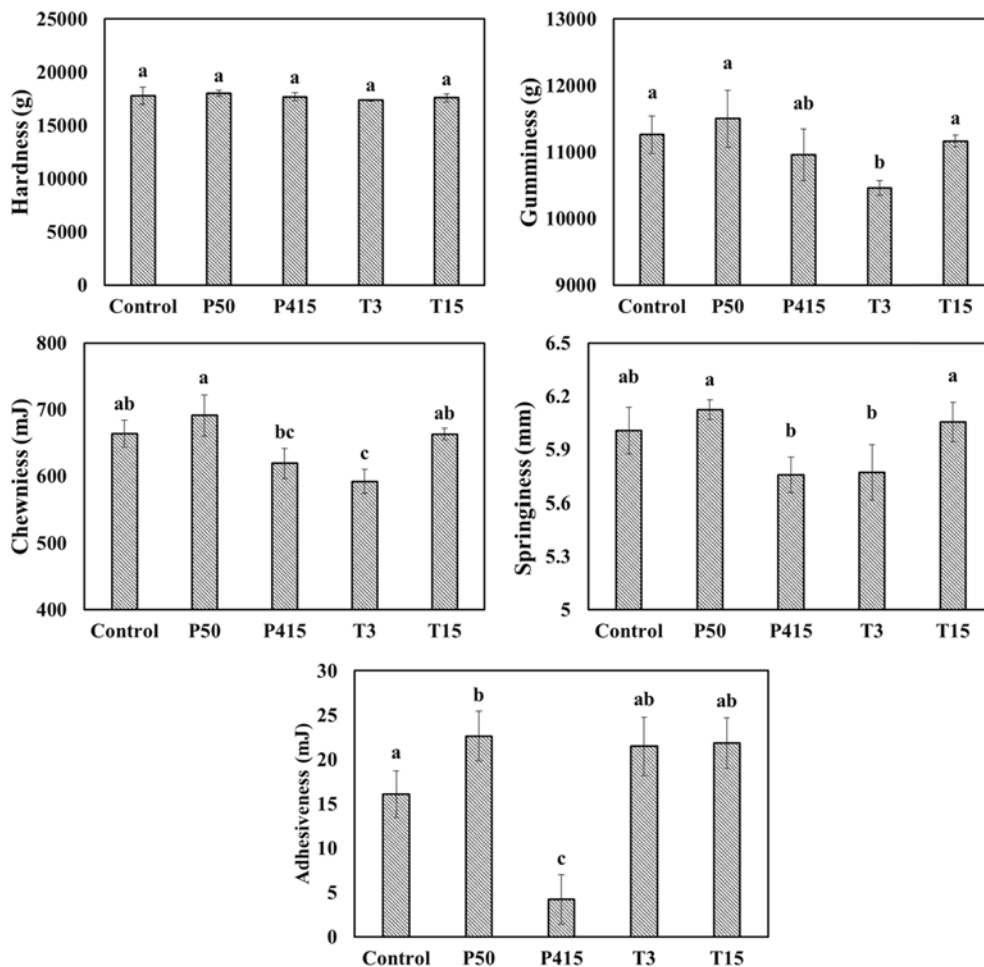


Fig. 3. Results of texture profile analysis of the HHP treated and untreated dough with various pressure levels and holding times. ^{a-c}Means not sharing a common letter are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple test. Control: untreated, P50: 50 MPa for 9 min, P415: 415 MPa for 9 min, T3: 200 MPa for 3 min, T15: 200 MPa for 15 min treated.

DSC로 호화 열 특성을 측정하였을 때 반죽에의 처리 압력이 증가할수록 호화가 발생하여 호화 엔탈피가 감소하는 것을 연구하였다. Onset temperature (T_o), peak temperature (T_p) 및 endset temperature (T_e)는 초고압 처리 압력이 높을 때 증가하는 경향을 나타내었으며 Vallons et al. (2011)의 연구에서도 동일한 결과를 보여주었다.

초고압 처리에 의한 반죽 및 면의 조직감 특성

초고압 처리 압력과 시간을 달리하여 메밀 반죽에 처리하였을 때의 조직감을 HHP 처리를 하지 않은 메밀 반죽과 비교한 결과, 반죽의 경도(hardness)는 압력 처리에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Fig. 3). 동일 처리 시간 동안 다른 압력을 가하였을 때, 415 MPa 압력 처리 반죽의 경우 탄성(springiness), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness), 부착성(adhesiveness)이 50 MPa 처리 반죽에 비하여 유의적으로 낮은 값을 나타냄을 확인하였다. 특히 부착성은 초고압 처리를 하지 않은 반죽은 16.1 mJ이며 50 MPa와 200 MPa는 이보다 유의적으로 높은 값을 나타냄에 비하여 415 MPa 압력을 처리한 반죽의 경우 4.2 mJ로 부착성이 낮았다. 200 MPa의 동일 압력에서 각각 다른 시간인 3분, 15분을 처리하였을 때 탄성, 검성, 씹힘성은 더 장시간 압력 처리를 한 15분 반죽에서 더 높은 값을 나타내었으며, 부착성은 유의적인 차이가 없었다.

반죽과 면의 인장도(tensile property)는 반죽의 제면 적

성의 중요한 특성인 신장성과 면의 중요한 관능적 특성인 끊어짐의 정도를 객관적이고 수치적으로 평가하는 인자로 사용된다(Horndok & Noomhorm, 2007). 이는 면의 peak tensile load와 failure tensile distance를 구함으로 면이 힘에 저항하는 정도를 측정하는 방법으로 많은 제면 연구에 이용되고 있다(Li & Vasanthan, 2003; Charles et al., 2007). 초고압 처리에 의한 메밀 반죽과 면의 인장도 측정 결과, 반죽상태인 생면에서 면이 끊어질 때의 최대 힘인 peak tensile load는 초고압 처리를 하지 않은 면에 비하여 초고압 처리를 한 반죽이 유의적으로 높은 값을 보였다(Fig. 4A). 또한 9분 동안 415 MPa의 압력 처리를 한 메밀 생면과 3분 동안 200 MPa의 압력 처리를 한 생면에서 유의적으로 높은 failure tensile distance를 나타내었다($p < 0.05$). 조리면에서 peak tensile load는 초고압 처리 전과 후, 또한 압력의 강도와 처리 시간에 따라 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Fig. 4B). 이에 비하여 failure tensile distance의 경우 압력의 강도에 따라서는 압력을 처리하지 않은 반죽과 유의차가 없었으며, 200 MPa의 압력을 15분 동안 처리하였을 때 가장 높은 failure tensile distance 값을 가짐을 확인하였다. 앞서 관찰한 메밀 반죽의 미세 구조는 200 MPa에서 15분 동안 압력을 처리하였을 때의 연속적인 반죽 구조를 보여주었으며 이는 failure distance의 증가에 영향을 주었을 것으로 사료된다. 적절한 압력과 압력 노출 시간은 초고압 처리에 의하여 유도된 메밀을 사용하여 제

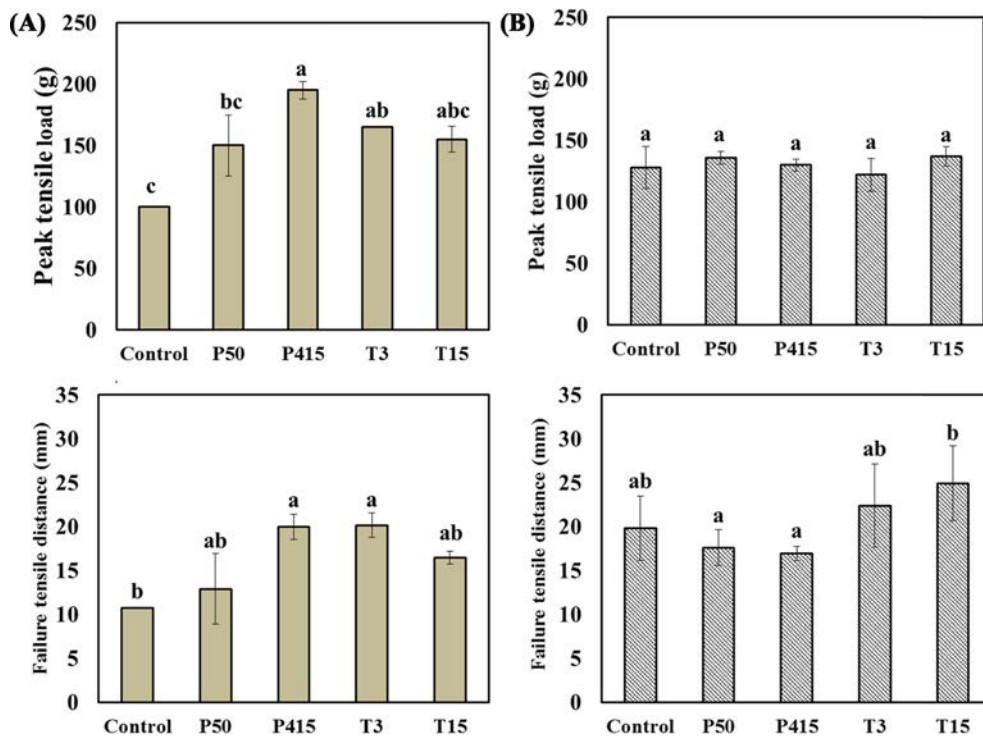


Fig 4. Effect of HHP on the tensile failure properties of raw (A) and cooked (B) noodle. ^{a-c}Means in a section not sharing a common letter are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple test. Control: untreated, P50: 50 MPa for 9 min, P415: 415 MPa for 9 min, T3: 200 MPa for 3 min, T15: 200 MPa for 15 min treated.

조된 pre-gelatinized 반죽면의 끊어짐 성질을 향상시켜 밀가루 반죽면이 가지고 있는 신장성에 대한 대체가 가능함을 확인하였다.

요 약

초고압 처리에 의한 메밀 반죽의 변화를 반죽의 미세 구조, 열 특성 평가, 조직감 측정을 통하여 확인하였다. 초고압 처리 강도와 시간에 따라 메밀 반죽 내 미세 구조를 관찰 시, 압력의 강도와 처리 시간이 증가함에 따라 전분의 호화가 일어나며 조밀한 구조를 가지게 되었다. 이러한 현상은 메밀 반죽의 조직감에 영향을 미쳐 압력이 증가함에 따라 탄성, 부착성, 씹힘성을 감소시키고 압력 처리 시간을 달리하였을 때 장시간 압력 처리에 따라 탄성, 씹힘성, 검성이 더 높은 값을 가짐을 확인하였다. 면의 끊어짐에 관련된 특성인 인장도는 소비자가 면을 섭취할 때 관능적 품질의 중요한 요소로서, 초고압 처리 시 글루텐을 함유하지 않는 메밀 반죽의 인장성을 나타내는 failure tensile distance를 증가시키는 결과를 얻었다. 따라서 메밀을 비롯한 다른 곡물을 활용한 gluten-free면 제품의 제조 시 초고압공정을 활용할 경우 기존 제품의 단점을 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 농림축산식품 연구개발사업(과제번호: PJ009227, C1009365-01-03)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Bárcenas ME, Altamirano-Fortoul R, Rosell CM. 2010. Effect of high pressure processing on wheat dough and bread characteristics. *LWT-Food Sci. Technol.* 43: 12-19.
- Boonyaratanakornkit BB, Park CB, Clark DS. 2002. Pressure effects on intra- and intermolecular interactions within proteins. *Biochim. Biophys. Acta* 1595: 235-249.
- Bonafaccia G, Marocchini M, Kreft I. 2003. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat. *Food Chem.* 80: 9-15.
- Charles AL, Huang TC, Lai PY, Chen CC, Lee PP, Chang YH. 2007. Study of wheat flour-cassava starch composite mix and the function of cassava mucilage in Chinese noodles. *Food Hydrocolloid.* 21: 368-378.
- Chillo S, Laverse J, Falcone PM, Protopapa A, Del Nobile MA. 2008. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *J. Cereal Sci.* 47: 144-152.
- Clerici MTPS, Airolidi C, El-Dash AA. 2009. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. *LWT-Food Sci. Technol.* 42: 618-623.
- Defloor I, De Geest C, Schellekens M, Martens A, Delcour JA. 1991. Emulsifiers and/or extruded starch in the production of breads from cassava. *Cereal Chem.* 68: 323-327.
- Dietrych-Szostak D, Oleszek W. 1999. Effect of processing on the flavonoid content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) grain. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4384-4387.
- Hormdok R, Noomhorm A. 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food Sci. Technol.* 40: 1723-1731.
- Hüttner E, Bello FD, Poutanen K, Arendt EK. 2009. Fundamental evaluation of the impact of high hydrostatic pressure on oat batters. *J. Cereal Sci.* 49: 363-370.
- Knorr D, Heinz V, Buckow R. 2006. High pressure application for food biopolymers. *Biochim. Biophys. Acta* 1764: 619-631.
- Lee SY, Shim HH, Ham SS, Rhee HI, Choi YS, Oh SY. 1991. The nutritional components of buckwheat flours and physicochemical properties of freeze-dried buckwheat noodles. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 20: 354-362.
- Li JH, Vasanthan T. 2003. Hypochlorite oxidation of field pea starch and its suitability for noodle making using an extrusion cooker. *Food Res. Int.* 36: 381-386.
- Liu Y, Selomulyo VO, Zhou W. 2008. Effect of high pressure on some physicochemical properties of several native starches. *J. Food Eng.* 88: 126-136.
- Norton T, Sun DW. 2008. Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry. *Food Bioprocess Technol.* 1: 2-34.
- Rendueles E, Omer MK, Alvseike O, Alonso-Calleja C, Capita R, Prieto M. 2011. Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. *LWT-Food Sci. Technol.* 44: 1251-1260.
- Shewry PR, Tatham AS, Barro F, Barcelo P, Lazzeri P. 1995. Biotechnology of breadmaking: Unraveling and manipulating the multi-protein gluten complex. *Nature Biotechnol.* 13: 1185-1190.
- Stute R, Heilbronn, Klingler RW, Boguslawski S, Eshtiaghi MN, Knorr D. 1996. Effects of high pressures treatment on starches. *Starch/Stärke* 48: 399-408.
- Vallons KJR, Arendt EK. 2009. Effects of high pressure and temperature on the structural and rheological properties of sorghum starch. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 10: 449-456.
- Vallons KJR, Ryan LAM, Arendt EK. 2011. Promoting structure formation by high pressure in gluten-free flours. *LWT-Food Sci. Technol.* 44: 1672-1680.
- Wieser H. 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiol.* 24: 115-119.