

식품용 Hemicellulase 계열 효소를 이용한 국내산 감자 가공 부산물의 전분 추출 및 이화학적 특성

최정민 · 박천석 · 백무열 · 김현석¹ · 서동호^{2*}

경희대학교 식품생명공학과, ¹경기대학교 식품생물공학과, ²한국식품연구원 장내미생물연구단

Extraction of Starch from Domestic Potato Sludge by Food-Grade Hemicellulase and its Physicochemical Properties

Jung-Min Choi, Cheon-Seok Park, Moo-Yeol Baik, Hyun-Seok Kim¹, and Dong-Ho Seo^{2*}

Department of Food Science and Technology, Institute of Life Science & Resource, Kyung Hee University

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kyonggi University

²Research Group of Gut Microbiome, Korea Food Research Institute

Abstract

The objective of this study was to increase the efficiency of starch extraction from potato sludge by different concentration of food-grade hemicellulase. The potato sludge, which is a by-product of potato processing industry, was treated with food-grade hemicellulase. Starch extraction efficiency displayed no significant difference in hemicellulase concentration. The purities of potato starch increased from 83.40 to 95.91, 97.44, 95.58, and 97.79%, with treated 0.5, 0.75, 1.0, and 1.5% hemicellulase, respectively. The physicochemical properties of the starches, such as granule structure, particle size, pasting, and thermal transition, were not affected by the concentration of hemicellulase. These results indicate that food-grade hemicellulase treatment is an efficient method for starch extraction from potato sludge.

Keywords: potato sludge, starch extraction, hemicellulase, starch

서 론

감자(*Solanum tuberosum* L.)의 원산지는 남아메리카 안데스산맥 지역으로 16세기 유럽으로 전파되어 오늘날까지 발전해 왔으며, 우리나라에는 조선시대 말 중국을 거쳐 도입되어 주요 식량작물 또는 부식작물로 자리매김하였다(Cho et al., 2003). 감자는 탄수화물이 풍부하고 생육기간이 짧고, 재배단위 면적당 생산량이 많아 옥수수, 벼, 밀 다음으로 재배되는 세계 4대 작물 중의 하나이다(Kwon et al., 2006). 감자의 탄수화물은 대부분 전분으로 이루어져 있다. 전분은 영양학적 측면뿐만 아니라 팽윤, 호화, 겔화, 노화 등 전분이 가지고 있는 여러 물리화학적 특성을 이용하여 식품에 물성을 조작하는데 널리 사용되고 있다(Ahmad & Williams, 1998; Al-Malah et al., 2000). 감자

전분은 1811년 미국 New England에서 전분으로 처음 생산되었으며, 20세기 초반부터 감자가 포테이토칩(potato chip), 프렌치 프라이(French fries) 같은 기호식품 원료로 사용되었다(Alexander, 1995). 2015년도 한 해 동안 국내 기업에서 감자 전분 구매량 3.8만 톤으로 옥수수 전분(11.5만 톤) 다음으로 가장 많이 구매하여 사용되고 있다(KOSIS, 2016). 국내 전체 감자 재배면적의 70%를 차지하고 있는 감자는 미국에서 도입된 수미(superior) 품종으로, 아밀로오스(포도당 α -1,4결합) 23%와 아밀로펙틴(포도당 α -1,4결합 및 α -1,6결합 혼합) 77%로 구성되어 있다(Lee et al., 2012).

감자 전분은 감자 괴경(potato tuber)에 많이 존재하며, 괴경에서는 표피세포(epidermic cell), 유세포(parenchyma cell), 망상맥(reticulated vessels)의 조직들이 존재하며, 이중 유세포 내부에는 10-100 μ m의 크기의 전분입자가 존재하는 것으로 알려져 있다(Dufresne et al., 2000; Faridnia et al., 2015). 감자 가공은 박피, 성형, 절단 등의 공정이 이루어지며 이를 통하여 감자 전분을 함유하고 있는 표피세포 및 유세포가 감자 가공 부산물에 포함되게 된다. 이처럼 감자 가공 과정 중 생성된 조직 잔류물들과 전분입자들은 세척

*Corresponding author: Dong-Ho Seo, Korea Food Research Institute, 1201-62, Anyangpangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 13539, Republic of Korea

Tel: +82-780-9385; Fax: +82-780-9036

E-mail: sdh83@kfri.re.kr

Received April 17, 2017; revised June 13, 2017; accepted July 10, 2017

조 바닥에 침전하여 슬러지를 형성한다. 세척공정에서 발생한 슬러지는 단순한 정제처리를 통해 감자전분을 회수할 수 있음에도 전량 폐기되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 감자 가공부산물로부터 물리화학적 특성 변화 없는 범위에서 효소 투입량 대비 높은 수율(yield)의 감자 전분을 추출하기 위해, 기존 연구에서 감자로부터 전분을 추출할 때 사용한 hemicellulase를 다양한 농도로 처리하여 전분을 회수하였다.

재료 및 방법

재료

연구에 사용된 감자 가공부산물은 국내 감자칩 생산 공장(N사 가공공장)에서 제공 받았으며, 제공받은 감자 부산물을 2분간 믹서기(BLENDFORCE BL3051; Tefal, Rumilly, France)에서 습식 분쇄한 뒤 동결건조하여 상온에서 보관하며 사용하였다. 감자 가공부산물의 전분을 추출하기 위해 식품용 hemicellulose 분해효소인 Laminex® BG2는 Biosion Biochem (Sungnam, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 이외 감자 가공부산물 전분의 분석 및 추출에 사용된 시약과 용매들은 ACS 등급 이상의 것을 사용하였다.

생축매 추출법에 의한 감자 가공부산물 유래 전분 추출

감자 슬러지에서 hemicellulase를 이용하여 전분을 추출하기 위해 10 g의 감자 가공부산물을 30 mL의 증류수에 녹여 교반하였다. 감자 가공부산물 혼합물에 건조중량 대비 0.50, 0.75, 1.00, 그리고 1.50%양의 Laminex® BG2를 시료에 첨가하였다. 이후 40°C에서 3시간동안 300 rpm으로 교반하여 반응하였다. 반응이 끝난 전분유는 원심분리(2,000×g, 30 min)를 통해 전분층과 상등액을 분리한 후 상등액을 버려주고 남아있는 전분층에 다시 30 mL의 증류수를 가하여 3회 세척한 뒤 각각의 전분은 -72°C에서 동결하여 동결건조기(Freeze Dryer, Ilsin lab Co., Suwon, Korea)에서 48시간 동안 동결건조하였다. 서로 다른 농도의 효소를 이용하여 만든 추출물의 total starch 함량은 AOAC international method 996.11 (AOAC, 2007)에 따라 실시한다.

감자 가공 부산물의 일반성분 분석 및 수율

감자 슬러지의 경우 식품공전(Food & Association, 2015)에 따라 수분함량, 조지방함량, 조단백 함량, 회분함량 그리고 총 탄수화물 함량을 측정하였다. 이 후 감자 슬러지에 서로 다른 농도의 효소를 이용하여 감자 가공부산물에서 추출된 전분의 수율은 아래의 계산식으로 계산하였다.

$$\text{추출수율(\%)} = \frac{\text{추출된 쏘미 전분의 건조중량 (g, d.b)}}{\text{초기 쏘미 조직의 건물량 (g, d.b)}} \times 100$$

감자 가공 부산물 유래 전분의 입도 분석

전분의 입도분포는 레이저 회절(laser diffraction)을 이용한 입도분석기(Laser Particle size analyzer, CILAS 1190 Liquid, Cilas, France)를 이용하여 분석하였다.

감자 가공 부산물 유래 전분의 점도측정

전분의 호화특성을 AACC Method 61-02에 의하여 RVA (Rapid Visco Analyzer, Newport Scientific, RVA-Super4, Warriewood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 각 시료는 건물 기준으로 14% 수분함량이 되도록 제조하였으며, 측정온도는 1분간 50°C를 유지하고 95°C까지 12°C/min의 속도로 온도를 상승시킨 후 2분 30초 동안 95°C를 유지, 12°C/min의 속도로 50°C까지 온도를 하강시킨 후 50°C에서 2분간 유지하여 점도곡선을 얻었다. 얻어진 점도 곡선으로부터 호화개시온도(initial pasting temperature), 최고점도(peak viscosity), 최저점도(minimum viscosity), 최종점도(final viscosity)를 측정하고, 이들 측정치로부터 breakdown, setback 값을 구하였다.

감자 가공 부산물 유래 전분의 전자현미경 관찰

각 시료의 미세구조는 주사전자현미경(SEM, Scanning electron microscope, JSM7800, JEOL, Tokyo, Japan)을 사용하여 검경하였다. 동결건조 한 감자 전분을 gold-palladium으로 ion sputter (C1010 Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하여 도금한 후, 가속전압 20 kV에서 전분의 미세구조를 각각 500배, 800배 그리고 1,250배의 배율로 관찰하였다.

감자 가공 부산물 유래 전분의 열전이 특성 확인

전분의 열전이(thermal transition)는 시차주사열량계(DSC 4000, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. 전분(10 mg, d.b)을 알루미늄 팬에 직접 칭량하고 탈이온수(20 µL)를 가하여 밀폐한 후 상온에서 24시간 동안 방치하였다. DSC thermogram은 25°C부터 120°C까지 10°C/min의 속도로 가열하여 얻은 후 용융온도(onset temperature), 피크온도(peak temperature), 종료온도(end temperature)와 용융엔탈피(ΔH ; gelatinization enthalpy)를 Pyris software version 11.1.0.04.88 (PerkinElmer Inc.)에 의해 계산하였다.

통계처리

모든 실험결과는 SPSS 통계프로그램(SPSS 20.0 for window, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 t-test와 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며 Duncan's multiple range test에 의해 평균값의 유의차($p < 0.05$)를 검증하였다.

결과 및 고찰

감자 가공부산물 일반성분분석 및 효소 방법에 의한 추출 수율

감자 가공부산물의 경우 조단백 0.1%, 회분 0.4%, 그리고 탄수화물 함량이 99.5%를 차지하고 있으며, 탄수화물 함량 중 16.1%가 비전분성 다당류(NSP, non-starch polysaccharide) 계열로 나타났다. 그러므로 감자에서 전분 추출 효율을 높이기 위해서는 NSP를 제거해야 된다. Sriroth et al. (2000)에 연구에 따르면 cassava pulp에서 전분을 추출할 때, cellulase와 pectinase를 동시에 처리하여 전분 추출 수율을 증가시켰으며, 여기서 추출된 전분과 cassava 전분간에 점도, 열전이 등의 물리화학적 특성을 비교해보았을 때 유의적 차이가 감지 되지 않았다. 또한 Seo et al. (2016)의 연구에서도 cellulase 효소들을 이용하여 전분 자체에 영향을 주지 않고, 전분 추출 효율이 증진된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 감자 및 이의 가공부산물에는 전분을 함유하고 있는 유세포 및 NSP를 가지고 있으며, cellulase는 전분에 영향을 주지 않고 이를 제거하기 때문에 전분 추출 효율이 증대될 것으로 기대할 수 있다. 이에 본 연구에서는 감자 전분 추출을 효율적으로 증가시킨 식품용 hemicellulase를 선정하여 감자 가공부산물의 전분 추출을 수행하였다. 감자 가공부산물의 건조중량 대비 0.50, 0.75, 1.00, 그리고 1.50% (v/w) 비율로 각각의 효소액에 3시간 침지시켜 반응을 진행하였다. 선정된 hemicellulase 효소(Laminex® BG2)는 cellulose 분해 능력이 뛰어난 *Trichoderma reesei* 유래 β-glucanase 계열의 효소이다. Endo-형태로 분해하며 cellulose와 xylan을 분해하여 glucose와 xylose를 생산하는 능력이 뛰어나 맥주발효에 사용되는 효소제이다 (Bhat, 2000). 감자 세포벽 부분의 대부분은 유세포로 이루어져 있으며 이는 cellulose, pectin polysaccharide, xyloglucan, heteromannans, heteroxylan으로 구성되어 있다(Hoff & Castro, 1969; Xiao & Anderson, 2013). Laminex® BG2는 유세포의 cellulose, xyloglucan, heteroxylan을 분해하여

glucose, xylose를 생성하는 것으로 알려져 있으며(Zurbriggen et al., 1991), 이를 통해 유세포의 구조를 파괴하여 내부의 전분이 수월하게 용출될 수 있게 만든 것으로 사료된다. 서로 다른 농도의 동일한 효소를 반응한 결과, 최종 무게의 변화는 크게 관찰되지 않은 상태에서 효소 농도에 상관없이 총 전분 함량이 83%에서 96% 내외로 증가한 것을 확인할 수 있다(Table 1). 이 실험결과를 통해 감자 가공부산물에 총 성분 중 16%를 차지하는 NSP는 감자 유세포와 비슷한 구성을 가지며, cellulose, xyloglucan, heteroxylan 성분이 풍부한 것으로 판단된다.

Hemicellulase 농도에 따른 추출 전분의 입도 분포 및 granule 구조

서로 다른 농도의 Laminex® BG2를 이용하여 감자 가공부산물에서 추출한 전분의 입도분포를 입도 분석기를 이용하여 분석하였다(Table 2). 입자의 크기는 이화학적 특성을 변화시켜 제품의 품질에 영향을 미치므로, 입자의 크기를 정확하게 파악하는 것이 가공과정에 있어서 매우 중요하다(Kum & Lee, 1999; Rasenack & Müller, 2004). 입자의 크기는 용해도 및 안정성을 포함한 생물학적 그리고 물리적 특성을 향상시키기 위한 중요한 요소이다(Lee et al., 2008). 일반적으로 비 효소적 처리에 의하여 추출된 전분의 입자 크기는 15-100 μm로 알려져 있다(Lee et al., 2012). Laminex® BG2를 처리하여 추출한 전분의 평균입도는 효소 농도가 0.50, 0.75, 1.00, 그리고 1.50%일 때 각각 36.69 ± 0.21^a, 40.47 ± 0.07^b, 40.76 ± 0.35^b, 39.31 ± 0.21^a μm의 크기로 측정되었다(p < 0.05). 즉, Laminex® BG2를 이용하여 생성된 감자 전분의 입도는 기존 상업용 감자전분 입도 범위 안에 포함되며, 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 기존 연구에 따르면 세절한 감자에 Laminex® BG2를 처리하였을 때 입자 사이즈가 평균 36.79 ± 0.09 μm로 나왔으며 이 값은 감자 가공부산물에 서로 다른 농도의 동일한 효소를 처리했을 때의 입자 사이즈 평균과 유사하게 나왔다(Seo et

Table 1. Yields and total starch concentration of extracted potato starch from potato sludge

	Potato sludge	Enzyme treatment (%v/w)			
		0.50	0.75	1.00	1.50
Total starch (%)	83.4	95.91±3.45	97.44±2.20	95.58±5.94	97.79±5.41
Starch recovery (%)	-	99.10	99.10	99.09	98.90

Table 2. Particle size distributions of starches extracted from potato sludge with 0.50, 0.75, 1.00, and 1.50% of Laminex® BG2 treatment

Laminex® BG2 Concentration (%)	Particle size (μm)			
	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	Mean Diameter
0.50	20.45 ± 0.10 ^a	39.55 ± 0.27 ^b	60.59 ± 0.35 ^b	39.69 ± 0.21 ^a
0.75	21.73 ± 0.20 ^b	40.36 ± 0.05 ^c	61.13 ± 0.02 ^b	40.47 ± 0.07 ^b
1.00	22.19 ± 0.57 ^b	40.66 ± 0.34 ^c	61.24 ± 0.22 ^c	40.76 ± 0.35 ^b
1.50	20.18 ± 0.08 ^a	39.15 ± 0.28 ^a	60.06 ± 0.31 ^a	39.31 ± 0.21 ^a

al., 2016). 이를 통해 감자 가공부산물의 NSP 성분들이 일반 감자의 NSP 성분과 큰 차이가 없어, 동일 효소에 유사한 반응을 보이는 것으로 생각된다.

주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 추출된 전분의 granular 구조를 확인하였다(Fig. 1). 카사바, 혹은 타로 전분을 제외한 대부분의 뿌리 혹은 괴경 유래 전분의 경우 간단한 구조로 구형 혹은 타원형의 균열이 없는 매끈한 구조를 보인다(Hoover, 2001). 감자 가공부산물 유래 전분의 granule 구조도 기존의 tuber 유래 전분과 같이 매끈한 표면의 타원형을 이루는 것으로 나타났다. 감자 가공부산물에서 추출한 전분 또한 효소의 농도 차이에 큰 상관없이 모양이 비슷한 것을 알 수가 있으며, 이는 효소 농도에 따라 전분의 granule 구조에 영향을 받지 않음을 의미한다.

Hemicellulase 농도에 따른 추출 전분의 호화 특성

Rapid Visco Analyzer (RVA)를 통하여 Laminex® BG2의 농도에 따른 추출한 감자 가공부산물 유래 전분의 호화특성을 확인하였다(Table 3). Pasting viscosity 값을 측정 한 결과, 효소 농도에 상관 없이 추출된 전분의 final viscosity의 경우 4,452 cP 내외로, pasting temperature의 경우 66°C 내외로 유의적 차이가 나타나지 않았다. 하지만, 효소 농도에 따라 peak, breakdown, setback viscosity에 어느 정도 차이를 보이며, 특히 감자 가공부산물에 cellulase를 1.5% 첨가한 경우 peak 점도는 8,435 cP, breakdown 점도 값은 4,563.5 cP로 가장 높으며, setback viscosity의 값은 654 cP로 가장 낮게 나왔다. Seo et al. (2016)에 따르면, Laminex® BG2를 이용하여 추출한 감자 전분은 비 효소 처리 전분에 비하여 breakdown값이 높게 나타났고, setback값이 낮게

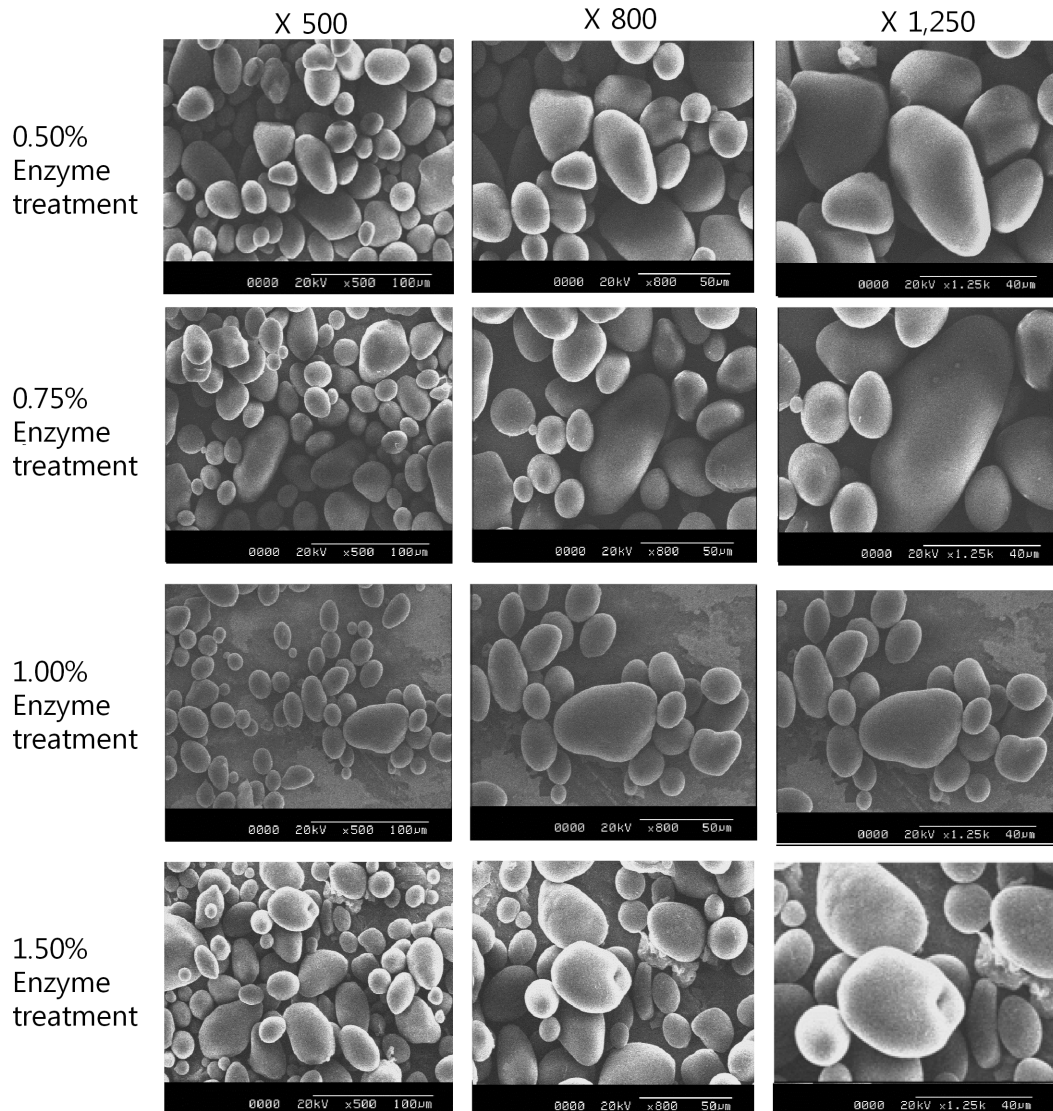


Fig. 1. Scanning electron microscope micrographs of starches extracted from potato sludge with 0.50, 0.75, 1.00, and 1.50% of Laminex® BG2 treatment.

나왔다. 다량의 cellulase를 첨가할 경우, breakdown값이 낮다는 것은 팽윤 된 전분입자가 shearing에 의해 급격하게 분해되는 것에 기인하는 것으로 생각되며, 낮은 setback 값은 전분의 재결합이 쉽게 일어나지 않는 것으로 사료된다. RVA에 의한 호화양상은 전분입자의 배열과 결합력, 입자 크기, amylose와 amylopectin의 구성비 및 구조차이 등에 의해 결정된다(Choi et al., 2008). 그러므로, 1.5% 이상 고농도의 hemicellulase를 첨가할 경우 전분의 재결합 능력이 떨어지며, shearing에 의해 급격하게 변하는 등 전분 특성의 변화가 나타나는 것을 알 수 있다.

Hemicellulase 농도에 따른 추출 전분의 열전이 특성

Differential scanning calorimetry (DSC)를 이용하여 감자 가공부산물 유래 전분의 열전이(thermal transition)를 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다. 0.75, 1.00, 그리고 1.50%의 Laminex® BG2효소를 처리하였을 때, 전분의 용융 온도(onset temperature), 피크 온도(peak temperature) 및 종료 온도(end temperature)의 값은 각각 55.47°C, 59.15°C, 그리고 63.68°C 내외로 큰 유의적 차이는 나타나지 않았다 ($p < 0.05$). 단, 0.50% 농도의 Laminex® BG2효소를 첨가했을 때, 전분의 용융 온도(onset temperature)와 피크 온도(peak temperature)는 각각 53.68 ± 0.17^a 와 58.03 ± 0.09^a 로 다른 농도를 처리했을 때 보다 값이 낮게 나왔다($p < 0.05$). 전분에 불순물이 많을 경우, 수분이 기타 성분의 결합 등에 의해 전분의 수분 이용성이 감소하고, 이로 인해 순수한 전분보다 높은 용융 온도(onset temperature)와 피크 온도(peak temperature) 값을 보인다(Liu et al., 2007). 이를 통해 Laminex® BG2 효소액의 양이 0.75% 이상일 경우, 효소액 내에 있는 불순물에 의해, 감자 전분에 수분 이용성이 감소하여 용융 온도와 피크 온도가 올라간 것으로 사료된다. Alvani et al. (2011)의 보고한 바에 따르면 감자의 품종에 따라 용융 온도(onset temperature), 피크 온도(peak tempera-

ture) 및 종료 온도(end temperature)의 온도 범위가 각각 58.7 에서 62.5°C 사이, 62.5에서 66.1°C 사이, 그리고 68.7 에서 72.3°C 사이로 나왔다. 또한 Singh & Kaur (2004)에 따르면 감자의 재배지 및 입도 사이즈에 따라 용융 온도(onset temperature), 피크 온도(peak temperature) 및 종료 온도(end temperature)가 다른 것으로 알려져 있다. 이 값들은 감자 가공부산물 추출 전분의 열전이(thermal transition) 값과는 유의적 차이를 보였다. 이를 통해서 감자의 열전이(thermal transition) 특성은 감자 품종, 재배지, 입도 사이즈 뿐만 아니라, 효소 농도에 의해 결정 된다고 할 수 있다.

요 약

감자 가공부산물에 Laminex® BG2를 처리하여 유세포를 파괴 및 비전분성 다당체를 제거하여 전분을 추출한 결과 효소의 농도와 상관없이 총 전분 함량이 83%에서 96% 내외로 증가 한 것을 확인 할 수 있다. 효소 농도에 따른 감자 가공부산물 유래 전분의 물리화학적 특성을 확인한 결과, 입도크기는 $40.09 \pm 0.59 \mu\text{m}$ 의 크기로 균일하게 나타났다. RVA를 측정 한 결과 효소 농도 변화에 따라 조금씩 차이가 있으며 cellulase 농도가 1.5% 이상일 경우 물리화학적 특성에 영향을 미치는 것으로 보이며, 0.75% 이상의 효소를 투입 시, 효소액에 있는 불순물이 전분과 물의 결합을 방해하여 용융 온도(onset temperature)와 피크 온도(peak temperature)가 올라가는 것을 확인하였다. 하지만 SEM을 측정 한 결과로는 효소 농도의 변화에 따라 감자전분의 물리화학적 특성간의 유의적 차이를 보기 힘들었다. 이를 통해 앞으로 감자 가공부산물에서 전분을 추출할 경우 감자 가공부산물의 건조중량 대비 0.5% (v/w)의 Laminex® BG2만 첨가하여도 물리화학적 특성 변화가 적으면서, 높은 감자 전분 추출 효율을 유지할 수 있다.

Table 3. Pasting viscosity of starch extracted from potatoes sludge with 0.50, 0.75, 1.00, and 1.50% of Laminex® BG2 treatment

Enzyme concentration (%)	Viscosity (cP)					Peak time (min)	Pasting temperature (°C)
	Peak	Through	Breakdown	Final	Setback		
0.50	8,073.33±72.02 ^b	3,707.67±59.37 ^b	4,357.00±87.43 ^b	4,427.67±208.05 ^a	699.00±21.07 ^a	3.85±0.10 ^a	66.03±0.12 ^a
0.75	7,349.00±94.75 ^a	3,518.50±53.03 ^a	3,830.50±41.72 ^a	4,476.00±93.34 ^a	957.50±40.31 ^c	4.02±0.04 ^b	66.40±0.52 ^a
1.00	8,135.00±32.51 ^b	3,682.33±54.90 ^b	4,352.67±23.24 ^b	4,414.00±100.64 ^a	798.33±6.42 ^b	3.96±0.08 ^{ab}	65.85±0.48 ^a
1.50	8,435.50±91.22 ^c	3,872.00±41.01 ^c	4,563.50±50.20 ^c	4,526.00±52.33 ^a	654.00±11.31 ^a	3.90±0.05 ^{ab}	66.55±0.64 ^a

Table 4. DSC of starch extracted from potatoes slush with 0.50, 0.75, 1.00, and 1.50% of Laminex® BG2 treatment

Laminex® BG2 concentration	Onset temperature (To, °C)	Peak temperature (Tp, °C)	End temperature (Tc, °C)	Enthalpy (ΔHg, J/g)
0.50%	53.68 ± 0.17 ^a	58.03 ± 0.09 ^a	63.66 ± 0.17 ^a	3.14 ± 0.23 ^a
0.75%	55.46 ± 0.50 ^b	59.21 ± 0.25 ^b	63.34 ± 0.20 ^a	2.82 ± 0.87 ^a
1.00%	55.32 ± 0.07 ^b	59.02 ± 0.32 ^b	63.96 ± 0.72 ^a	2.62 ± 1.27 ^a
1.50%	55.64 ± 0.06 ^b	59.22 ± 0.34 ^b	63.76 ± 0.25 ^a	3.15 ± 0.81 ^a

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가식품기술개발사업 (과제번호: 314041-3)에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Ahmad FB, Williams PA. 1998. Rheological properties of sago starch. *J. Agric. Food Chem.* 46: 4060-4065.
- Al-Malah K, Azzam M, Abu-Jdayil B. 2000. Effect of glucose concentration on the rheological properties of wheat-starch dispersions. *Food Hydrocoll.* 14: 491-496.
- Alexander R. 1995. Potato starch: new prospects for an old product. *Cereal Food World* 40: 763-764.
- Alvani K, Qi X, Tester RF, Snape CE. 2011. Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chem.* 125: 958-965.
- AOAC. 2007. Official methods of analysis, Association of Analytical Chemists No. 996.11, Arlington, VA, USA.
- Bhat M. 2000. Cellulases and related enzymes in biotechnology. *Biotechnol. Adv.* 18: 355-383.
- Cho HM, Park YE, Cho JH, Kim SY. 2003. Historical review of land race potatoes in Korea. *J. Korean Soc. Horticultural Sci.* 44: 838-845.
- Choi HD, Lee HC, Kim SS, Kim YS, Lim HT, Ryu GH. 2008. Nutrient components and physicochemical properties of new domestic potato cultivars. *Korean J. Food Sci. Technol.* 40: 382-388.
- Dufresne A, Dupeyre D, Vignon MR. 2000. Cellulose microfibrils from potato tuber cells: processing and characterization of starch-cellulose microfibril composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 76: 2080-2092.
- Faridnia F, Burritt DJ, Bremer PJ, Oey I. 2015. Innovative approach to determine the effect of pulsed electric fields on the microstructure of whole potato tubers: Use of cell viability, microscopic images and ionic leakage measurements. *Food Res. Int.* 77: 556-564.
- Food K, Association D. 2015. Food standards codex. Korean Foods Industry Association. Seoul, Korea, pp. 367-368.
- Hoff J, Castro MD. 1969. Chemical composition of potato cell wall. *J. Agric. Food Chem.* 17: 1328-1331.
- Hoover R. 2001. Composition, molecular structure, and physico-chemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydr. Polym.* 45: 253-267.
- KOSIS. 2016. A Survey of raw materials consumption in food industry by 2015. In: Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- Kum JS, Lee HY. 1999. The effect of the varieties and particle size on the properties of rice flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 1542-1548.
- Kwon O, Kim H, Oh S, Lee J, Kim H, Yoon W, Kim H, Park C, Kim M. 2006. Nutrient composition of domestic potato cultivars. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 16: 740-746.
- Lee JE, Jun JY, Kang W-S, Lim JD, Kim DE, Lee KY, Ko S. 2008. Effect of particle size on the solubility and dispersibility of endosperm, bran, and husk powders of rice. *Food Sci. Biotechnol.* 17: 833-838.
- Lee YJ, Jeong JC, Yoon YH, Hong SY, Kim SJ, Jin YI, Nam JH, Kwon OK. 2012. Evaluation of Quality Characteristics and Definition of Utilization Category in Korean Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars. *Korean J. Crop Sci.* 57: 271-279.
- Liu Q, Tarn R, Lynch D, Skjodt NM. 2007. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chem.* 105: 897-907.
- Rasenack N, Müller BW. 2004. Micron?size drug particles: common and novel micronization techniques. *Pharm. Dev. Technol.* 9: 1-13.
- Seo DH, Kim MS, Choi HW, Sung JM, Choi YS, Park CS, Baik MY, Kim HS. 2016. Improvement of starch extraction efficiency from potato with cellulase family. *Food Eng. Prog.* 20: 78-83.
- Singh N, Kaur L. 2004. Morphological, thermal, rheological and retrogradation properties of potato starch fractions varying in granule size. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1241-1252.
- Sriroth K, Chollakup R, Chotineeranat S, Piyachomkwan K, Oates CG. 2000. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. *Bioresour. Technol.* 71: 63-69.
- Xiao C, Anderson CT. 2013. Roles of pectin in biomass yield and processing for biofuels. *Front. Plant Sci.* 4: 67.
- Zurbriggen BD, Penttilä ME, Viikari L, Bailey MJ. 1991. Pilot scale production of a *Trichoderma reesei* endo- β -glucanase by brewer's yeast. *J. Biotechnol.* 17: 133-146.