

압출성형 공정변수에 따른 옥수수전분 팽화물의 당화특성

이규철 · 김연수 · 류기형*
공주대학교 식품공학과

Saccharification Characteristics of Extruded Corn Starch at Different Process Parameters

Kyu-Chul Lee, Yeon-Soo Kim and Gi-Hyung Ryu*

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

Abstract

The aim of this study was to determine the effects of different extrusion conditions on the saccharification characteristics(initial reaction velocity, reaction rate constant, yield) of extruded corn starch. Extruded corn starch-water slurries were mixed with alpha-amylase for the enzymatic saccharification. The saccharification yield of extruded corn starch was high at lower feed moisture content and higher barrel temperature. The solubility of extrudates increased with increase in the SME input which increased with increase in the feed moisture content. Starch hydrolysates having DE 63.8 was obtained after 2 hr reaction. The initial reaction velocity of the extrudate slurry with alpha-amylase was higher with decrease in the feed moisture content. The initial reaction velocity of extruded corn starch was the highest (2.26×10^{-3} mmol/mL · min) at 25% feed moisture content and 120°C barrel temperature, 250 rpm screw speed. The pregelatinized starch was 1.83×10^{-3} mmol/mL · min as a control. Reaction rate constant was a similar trend to initial reaction velocity.

Key words: extruded corn starch, saccharification, initial reaction velocity

서 론

전분은 우리 식생활에서 중요한 탄소원으로 이용되어 왔고, 전분을 그대로 식품에 이용하거나 변성시켜 물성을 개선하여 식품으로 사용하고 있다. 또한 대부분의 전분은 산이나 효소 처리를 통해 가수분해 후 당화시켜 감미료로 사용하고 있다(Norman, 1980). 최근에는 기존의 산분해공법보다 품질이 균일하고 안정적인 효소당화공정을 통해 물엿, 과당, 포도당, 올리고당, 말토덱스트린 등의 당화물을 생산하고 있다(Baks et al., 2008).

최근에 연속식 스팀호화장치에 액화효소인 알파아밀라제가 첨가된 전분슬러리를 통과시킴으로 전분이 저점성화되고, 당화에 적합한 액화물을 만들어 당화시키는 공정이 개발되었다. 당화에 의해 얻어지는 당화제품은 다양한 식품소재로 사용되며, 제과, 제빵, 음료, 제약 등 전반적인 식품산

업에서 중요한 감미료로 이용되고 있다. 국내 전분당 제조 회사에서 대부분 당화제품의 생산이 가능하지만, 저 DE덱스트린(5-10)은 분해되지 않은 전분질이 많고 여과성이 극히 낮아 연속식 공정으로 생산 하는데 어려움이 있어 국내에서 생산되고 있지 않다.

압출성형공정은 혼합, 분쇄, 가열, 성형, 건조와 같은 단위조작이 단시간에 일어나는 단일공정으로, 다른 열처리 가공공정과 비교하여 효율적이고 경제적인 공정이다(Happer, 1989). 압출성형의 독립변수는 원료투입속도, 수분함량, 스크루 회전속도, 사출구의 구조, 스크루 배열에 따라 조절이 가능하며, 이러한 독립변수의 조절을 통하여 다양한 이화학적 특성을 가지는 제품을 생산할 수 있다(Meuser & Wiedmann, 1989). Govindasamy et al.(1997)는 압출성형기를 생물반응기(bioreactor)로 이용하여 사고전분(sago starch)의 호화, 액화실험을 하였으며, 전분을 이용한 시럽의 생산에서 효소당화공정을 위한 전처리로서 옥수수 압출성형물의 효율성 연구(Hakulin et al., 1983; Darnoko & Artz, 1988), 압출성형공정과 기존 연속식 액화장치와 에너지비용의 비교(Korn & Happer, 1982; Grafelman & Meagher, 1995), 압출성형물의 에탄올발효를 위한 액화공정의 효율화(Linko et al., 1983; Ben-Gera et al., 1983) 등에 관한 연구가 많이

Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Chungnam 340-802, Republic of Korea
Tel: +82-41-330-1484; Fax: +82-41-335-5944
E-mail : ghryu@kongju.ac.kr
Received November 30, 2010; revised April 25, 2011; accepted April 27, 2011

수행되었다. 그러나 압출성형물의 초기당화속도, 당화속도 상수, 당화수율 등 당화특성에 관한 다양한 연구는 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 옥수수전분 압출성형물의 당화특성 연구를 위해 수분용해지수 및 수분흡착지수, 페이스트점도 등의 당화와 관련된 물성을 분석하였고, 당화시간에 따른 환원당, 포도당당량(DE) 및 당화수율, 초기반응속도, 당화속도상수 등의 당화특성을 분석하였다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용한 옥수수전분은 CJ Cheiljedang Co. (Ansan, Korea)에서 생산된 것을 구입 사용하였으며, 수분함량 13.5%, 조지방 0.05%, 조단백 0.28%, 조회분 0.06%로 측정되었다. 호화전분은 Deasang Co. (Gunsan, Korea)에서 single drum dryer(Single Type E 15/30, Gouda Co., Waddinxveen, Netherlands)에 의해 생산된 시판품으로 수분함량 3.2%, 조지방 0.04%, 조단백 0.32%, 조회분 0.05%였다. 내열성 알파아미라제(*Bacillus licheniformis*)는 Termamyl-supra 120 L(Novozyme Co., Bagsvaerd, Denmark)을 사용하였다.

압출성형공정

옥수수전분 압출성형물 제조에는 자체 제작한 실험용 쌍축 동방향 압출성형기 (THK-31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea) 이며, 스크루 직경은 32.0 mm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 24:1이며 스크루 배열은 Fig. 1과 같다.

본 실험에서 옥수수전분 압출성형물의 제조는 수분함량은 25, 35%, 배럴온도는 100, 120°C, 스크루 회전속도는 150, 250 rpm으로 조절하였고, 원료사입량은 7.2 kg/h 으로 고정하여 압출성형하였다. 압출성형한 옥수수전분 시료는 50°C의 열풍건조기(HB-502MP, HanBaek Co., Kyunggido, Korea)에서 12 시간 건조하였으며, 건조시료는 가정용 분쇄기(FM-681, Hanil, Seoul, Korea)로 분쇄한 다음, 50 mesh 표준체(Testing sieve, Chung-gye Sanggong Co., Gunpo, Korea)를 통과한 분말을 분석 및 당화시료로 사용하였다.

비기계적에너지투입량

비기계적 에너지(specific mechanical energy) 투입량은 원료가 투입되어 압출성형기를 통과할 때, 원료의 단위 질

량당 소비된 전기에너지(electrical energy)로 나타내었다. 즉 원료 투입시의 전력(electrical power)에서 모터 공회전시의 전력을 감한 실제 원료에 투입된 전력이 된다. 비기계적 에너지 투입량의 계산식(1)은 다음과 같다.

$$specific\ mechanical\ energy(Wh \cdot kg^{-1}) = \frac{\{Electrical\ power\ with\ feed(W) - Electrical\ power\ without\ feed(W)\}}{Production\ rate(kg \cdot h^{-1})} \quad (1)$$

일반성분 분석

옥수수전분 및 호화전분의 일반성분분석은 AOAC법(1990)에 준하여 분석하였다. 수분함량은 105°C 상압가열 건조법, 조지방은 Soxhlet추출법, 조단백은 Kjeldahl법, 조회분은 직접회화법으로 정량하였다.

수분용해지수와 수분흡착지수

시료의 수화특성을 분석하기 위하여 AACC(1983)의 방법을 응용하여 시료 1 g(건량기준)에 증류수 25 mL를 가하여 30°C의 항온수조(B-490, Buchi Heating Bath, Zurich, Switzerland)에서 30 분간 진탕교반한 후 원심분리기(H-1000-3, Hanil Science Industrial Co., Incheon, Korea)에서 2500 rpm으로 20 분간 원심 분리하였다. 원심분리 후 회수된 상정액은 알루미늄접시에 부어 105°C의 열풍건조기(HB-502MP, HanBaek Co., Kyunggido, Korea)에서 2 시간 동안 건조하였다. 건조된 시료를 데시케이터에서 30 분 방냉 후 고정분 함량을 측정하였다. 수분흡착지수는 상정액을 제외한 침전물의 무게를 평량하여 건조시료 g당 흡수된 수분량으로 표시하였다. 수분용해지수(water soluble index, WSI)와 수분흡착지수(water absorption index, WAI)를 각각 식(2)과 식(3)으로 결정하였다.

$$WSI(\%) = \frac{Dry\ solid\ wt.\ recovered\ by\ evaporating\ the\ supernant}{Dry\ solid\ wt.} \times 100 \quad (2)$$

$$WAI(g/g) = \frac{Hydrated\ sample\ wt. - Dry\ sample\ wt.}{Dry\ sample\ wt.} \quad (3)$$

페이스트 점도

압출성형물의 페이스트 점도를 측정하기 위하여 신속점도측정기(RVA3D, Rapid Visco Analyser, Newport Scientific Inc., MD, USA)를 사용하였다. 시료 3 g(14%, w.b.)를

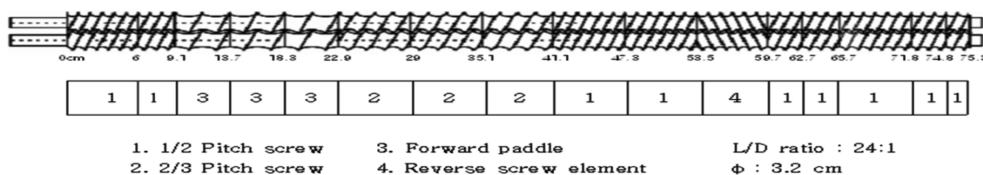


Fig. 1. Screw configuration for extruding corn starch.

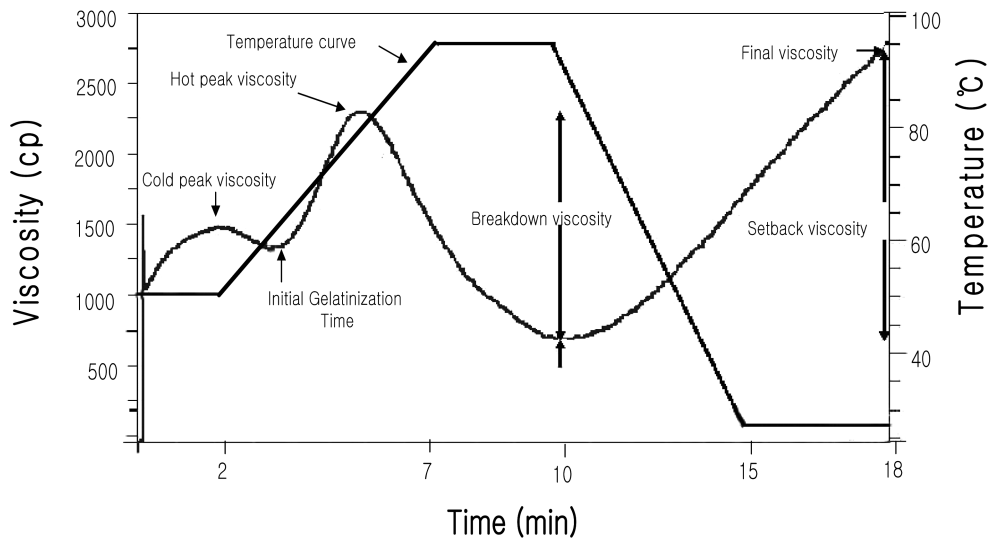


Fig. 2. RVA temperature profile and pasting parameters.

알루미늄캔에 넣은 후 25 mL의 증류수를 가하고 유리막대기를 이용하여 1차 교반한 후 페이스트 점도를 측정하였다.

신속점도기의 가열과 냉각조건은 초기온도 25°C에서 2분 동안 유지한 다음 95°C로 5분 동안 가열한 후 3분 동안 95°C로 유지하였으며 5분에 걸쳐 25°C로 냉각 하였다. 총 소요 시간은 18분이었으며 시료의 분산을 증가시키기 위하여 10초간 960 rpm으로 페달을 회전시킨 후 160 rpm에서 점도를 측정 하였다(RVA manual, 1995). Fig. 2의 페이스트 점도곡선으로부터 저온최고점도(cold peak viscosity, CPV), 최저점도(trough viscosity, TV), 최종점도(final viscosity, FV), 구조파괴점도(breakdown viscosity, BV)와 회복점도(setback viscosity, SV), 최고점도 도달시간(peak time, PT) 등의 페이스트점도 지표들 각각 계산하였다.

당화액의 제조

압출성형 옥수수전분 1g을 50 mM acetate buffer(pH5.6) 43 mL에 녹인 후 0.8% 알파아밀라제 5 mL 을 첨가하여 40°C 진탕방식 항온수조에서 진탕속도 100 rpm조건에서 0-120 분간 반응 시켰다. 0, 10, 20, 30, 60, 120 분에 20% TCA 용액 2 mL을 첨가하여 효소반응을 정지시켰으며. 이 혼합액을 원심분리하여 상등액만을 취하였다.

환원당 함량 및 수율

압출성형옥수수전분의 환원당함량은 DNS법(Miller, 1959)으로 측정하였다. 시료 1g을 증류수 50 mL에 녹여 진탕한 후 Watman No. 1 여과지로 여과한 후 여액에 증류수를 가하여 100 mL 로 정용하여 시료액을 만들었다. 시료액 1 mL 에 DNS 시약 3 mL 을 혼합하여 끓는 물에서 5 분간 반응시키고, 얼음물에서 15분간 급속 냉각하였다. 냉각된 반응액에 증류수를 가하여 25 mL 로 정용한 후 UV/Vis-spectrophotometer(Libra S35, Biochrom Co., Cambridge,

England)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하고 검량곡선을 이용하여 정량하였다. 환원당 함량의 검량곡선은 글루코오스를 이용하여 작성하였다. 또한 당화 후 얻어지는 수율(yield)은 환원당함량으로 기준하였다.

포도당당량

포도당당량(DE)은 전분질을 기질로 하여 당화를 행할 때 당화를 측정하는 한 방법으로 이용 되고 있다(Kim & Kang, 1994). 압출성형옥수수전분을 알파아밀라제에 의해 2 시간 당화한 당화액의 포도당당량은 식품공전의 엿류 시험법(KFDA, 2007)에 따라 식(4)과 같이 계산 하였다.

$$DE(\%) = \frac{\text{Reducing sugar content}}{\text{Solid content}} \times 100 \tag{4}$$

초기반응속도

초기반응속도 v(initial reaction velocity, mmol/mL·min)는 시간에 따른 당화 진행 곡선의 초기 선형부분 접선의 기울기 즉, tangent slope를 이용하여 계산하였다(식5).

$$v = d[A]/dt \tag{5}$$

당화속도 상수

당화속도상수(saccharification rate constant)는 환원당 함량의 증가량이 가장 많은 당화개시 0 분부터 20 분까지 구간의 환원당함량을 측정하였다. 당화속도상수(k)는 Higuchi 모델(Higuchi, 1963)을 응용 하여 당화시간의 제곱근에 따른 환원당 증가량의 1차식 기울기로 부터 구하였다(식6).

$$R_t - R_0 = k\sqrt{t} \tag{6}$$

R₀: Initial reducing sugar content(mg/mL)

R_t: Reducing sugar content at saccharification time(mg/mL)

k : Saccharification rate constant(mg/mL·min^{1/2})

t : Saccharification time(min)

결과 및 고찰

옥수수전분 압출성형물의 특성

압출성형 공정변수인 원료의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도에 따른 옥수수전분 압출성형물의 수분용해지수, 수분흡착지수, 환원당함량의 변화는 Table 1과 같다. 수분용해지수는 원료전분 수분함량이 35%에서 25%로 감소할 때 증가하는 경향을 보였으며, 수분함량 25%, 배럴온도 100°C, 스크루 회전속도 250 rpm에서 26.06%로 가장 높았다. 또한 수분함량 35%, 배럴온도 100°C, 스크루 회전속도 250 rpm에서 5.37%로 가장 낮았다. 압출성형물의 수분용해지수에 의해 전분의 분해정도를 상대적으로 판단할 수 있으며, 압출성형물의 수분용해지수가 증가한 것은 압출성형 과정 중에 가해지는 열과 수분에 의한 전분의 호화와 스크루 회전과 마찰열에 의한 전분사슬의 절단으로 압출성형물의 가용화물이 증가되었기 때문이다. Chang & El-Dash(2003)는 수분함량 20%, 24% 경우 동일하게 배럴온도 증가와 함께 수분용해지수와 가용성분자가 증가한다고 보고하였으나 본 실험에서는 배럴온도의 증가와 함께 수분용해지수의 증가는 확인할 수 없었다. Han et al.(2008)은 백삼미분을 홍삼화하여 발효시키기 위한 실험에서 수분용해지수와 수분흡착지수는 수분함량이 감소할수록 증가하였다고 보고 하였다.

수분흡착지수는 배럴온도 100°C와 120°C에서 수분함량이 35%에서 25%로 감소할 때 모두 높게 나타났으며, 이는 옥수수전분을 압출성형한 Solihin et al.(2007)의 실험에서도 같은 결과를 나타내었다. 본 실험에서 수분함량 25%, 배럴온도 100°C, 스크루 회전속도 250 rpm과 120°C, 150 rpm에서 각각 8.29와 8.65로 높았으며, 수분함량 35% 경우도 마찬가지로 배럴온도 100°C, 250 rpm과 배럴온도 120°C, 150 rpm에서 각각 5.94와 6.17로 높았다. 원료전분 수분함

량이 감소할수록 수분흡착지수가 증가하는 것은 압출성형기 내부에서 전분 용융물이 기계적 전단력(shear stress)에 취약해져 수용화와 함께 수분을 흡수하기 쉬운 기공이 많은 조직으로 변화되었기 때문으로 판단되었다.

환원당은 포도당, 과당, 맥아당 등이 해당되며, 설탕을 제외한 단당류 이당류는 환원당이다. 본 실험에서 원료전분의 수분함량이 낮을수록 옥수수압출성형물의 환원당 함량은 0.125-0.539%로 높게 나타났으며, 배럴온도가 증가할수록 환원당 함량이 증가하는 경향을 보였다. 이는 수분함량이 낮을 경우 수분용해지수가 높아지는 것과 연관이 있다. Roussel et al.(1991)의 실험에서 옥수수전분에 알파아밀라제를 함께 첨가하여 압출성형 하였으며, 원료전분 수분함량과 배럴온도가 높고, 스크루 회전속도가 감소할수록 환원당함량이 증가했다고 보고하였다. 이는 건식압출성형(수분함량 40%이하)에 비해 습식압출성형(수분함량 40-60%)의 경우 수분의 영향으로 효소의 반응성이 증가된다는 결과를 보여 주고 있다. 본 실험은 효소를 첨가하지 않고 수분함량이 35% 이하의 건식압출성형이므로 수분함량이 낮은 25%의 조건에서 배럴온도가 높고, 스크루 회전속도가 낮을수록 환원당 함량이 증가하는 상반된 경향을 보였다. 수분함량이 35%인 경우 배럴온도 120°C, 스크루 회전속도 250 rpm에서 환원당함량이 0.169%로 가장 높았다.

원료의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 등의 압출성형 공정변수는 비기계적 에너지 투입량에 영향을 미친다. 비기계적 에너지 투입량의 변화에 따른 수용성지수의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 전반적으로 비기계적 에너지 투입량이 증가함에 따라 수용성지수는 함께 증가하는 경향을 보였다. 또한 원료 수분함량이 증가함에 따라 비기계적 에너지 투입량은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 Baks et al.(2008)의 실험에서도 수분함량이 높을 때 점도와 비기계적 에너지 투입량이 감소하며, 스크루 회전속도를 증가시키면 비기계적 에너지 투입량도 증가했다는 결과와 일치하였다.

수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도의 변화에 따른 압

Table 1. Chemical properties of various extruded corn starch

Extrusion condition			WSI (%)	WAI	Reducing sugar (%)
Moisture content (%)	Barrel temp (°C)	Screw speed (rpm)			
25	100	150	12.17 ± 0.58	6.94 ± 0.34	0.125 ± 0.04
		250	26.06 ± 1.30	8.65 ± 0.31	0.144 ± 0.03
	120	150	23.26 ± 1.77	8.29 ± 0.43	0.142 ± 0.03
		250	20.26 ± 0.03	7.50 ± 0.70	0.539 ± 0.03
35	100	150	11.91 ± 0.69	5.39 ± 0.14	0.089 ± 0.01
		250	5.37 ± 0.12	5.94 ± 0.24	0.044 ± 0.01
	120	150	6.72 ± 0.47	6.17 ± 0.40	0.046 ± 0.01
		250	9.63 ± 0.50	5.87 ± 0.06	0.169 ± 0.01
Pregelatinized starch			34.92 ± 1.76	7.23 ± 0.19	1.051 ± 0.03

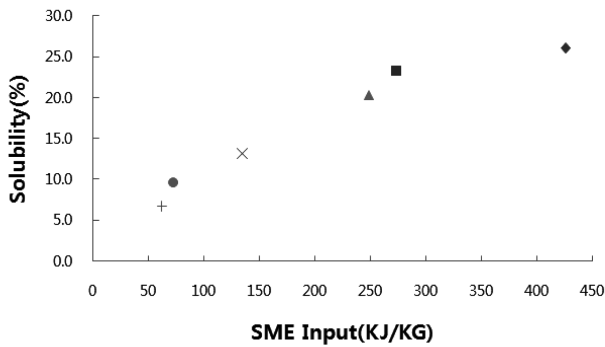


Fig. 3. Relationship between solubility of extrudates and SME input.

- ◆ MC25% 100°C 150 rpm × MC35% 100°C 150 rpm
- ▲ MC25% 120°C 250 rpm + MC35% 120°C 150 rpm
- MC25% 120°C 150 rpm ● MC35% 120°C 250 rpm

출성형물의 페이스트 점도지표를 Table 2에 나타내었다. 페이스트점도는 일반적으로 압출성형전분의 거시적 분해 (macromolecular degradation)를 측정하기 위하여 이용되고 압출성형물의 전분분해정도 및 점도특성을 알 수 있다 (Colonna & Mercier, 1983). 저온최고점도(CPV)는 수분함량이 35%에서 25%로 감소할수록 증가하였으며, 스크루 회전속도 경우 150 rpm에서 250 rpm으로 높아질수록 증가하는 경향을 보였다. 반면에 수분함량 25%에서 스크루 회전속도가 150 rpm에서 250 rpm으로 증가할수록 감소하는 경향을 보였는데, 이는 수분함량이 낮고 스크루 회전속도의 증가에 따라 비기계적 에너지의 투입량이 증가하여 압출성형물 전분사슬의 절단이 증가되었음을 의미한다.

최고점도 도달시간(PT)을 보면 호화전분 2.73 분이고, 수분함량 25%에서 3.60-4.80 분, 수분함량 35%에서 5.20-6.47 분으로 수분함량 35%에서 수화속도가 낮고 전분의

호화도도 차이가 있는 것으로 판단되었다. 구조파괴점도 (BV), 최종점도(FV) 등의 페이스트 점도지표는 압출성형조건에 따라 경향을 보이지 않았다.

압출성형 옥수수전분의 당화특성

압출성형물의 당화특성은 내열성 알파아밀라제에 대한 반응성을 예측하기 위한 것으로, 압출성형물의 반응시간에 따른 당화특성을 환원당함량의 변화로 Table 3에 나타내었다. 당화실험 결과 반응시간별, 환원당함량은 지속적으로 증가하였으며, 120 분간 당화 후 46.0-56.0%의 환원당함량을 나타내었다. 대조구로 사용한 옥수수 알파전분의 경우, 환원당함량은 46.74%로 동일한 수준을 나타내었다. Reinikainen et al.(1986)의 실험에서는 120 분 반응 후 DE값은 23까지 증가 하였고, Baks et al.(2008)의 실험에서도 120 분에 40 까지 증가 하였다.

반응초기 10분간 환원당함량이 급격히 증가 되었고, 이는 짧은 반응시간에도 저DE의 텍스트린이 생성될 수 있다는 것을 보여 준다. Govindasamy et al.(1997)의 연구에서 쌍축 동방향 압출성형기를 반응기로 이용하여 사고(sago) 전분을 당화시킬 때 최고 DE 10 정도의 결과보다 본 실험에서는 10 분 반응 후 더 높은 DE 결과를 예측할 수 있었다.

Table 4는 압출성형 공정변수 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도의 변화에 따른 초기반응속도, 반응속도상수, 수율과 포도당당량(DE)을 보여준다. 수율은 환원당함량으로 나타내었으며, 당화 개시 120 분 후 환원당함량 45-56%으로 높게 나타났다. 최적조건의 압출성형물의 수율은 55.90%, 대조구로 구입한 호화전분은 46.74%로 이는 연속식 시럽제조 공정에 비해 짧은 시간에 높은 수준의 당화수율을 얻을 수 있음을 보여주는 것이다. 압출성형 조건별로 유사한 환

Table 2. Paste viscosity of various extruded corn starch

Extrusion condition			Paste viscosity (cp)					
Moisture content (%)	Barrel temp (°C)	Screw speed (rpm)	CPV ¹⁾	TV ²⁾	BV ³⁾	FV ⁴⁾	SV ⁵⁾	PT ⁶⁾
25	100	150	641	138	503	1887	1749	4.8
		250	620	62	558	884	822	3.6
	120	150	797	155	642	1229	1074	4.4
		250	644	37	607	692	655	3.7
35	100	150	464	138	326	1538	1400	6.5
		250	1588	129	1459	1771	1061	5.4
	120	150	654	529	125	1590	1061	6.5
		250	930	376	554	1480	1104	5.2
Pregelatinized starch			426	3	423	377	374	2.7

¹⁾CPV: cold peak viscosity
²⁾TV: trough viscosity
³⁾BV: breakdown viscosity
⁴⁾FV: final viscosity
⁵⁾SV: setback viscosity
⁶⁾PT: peak time

Table 3. Changes in reducing sugar content of extruded corn starch during saccharification time (%)

Extrusion condition			Saccharification time (min)					
Moisture content (%)	Barrel temp (°C)	Screw speed (rpm)	0	10	20	30	60	120
25	100	150	0.12 ± 0.01	19.17 ± 0.24	32.33 ± 0.40	37.33 ± 0.44	43.67 ± 0.62	46.46 ± 0.80
		250	0.05 ± 0.01	20.31 ± 0.62	32.36 ± 0.27	36.24 ± 0.70	41.81 ± 0.28	46.42 ± 0.22
	120	150	0.11 ± 0.01	21.98 ± 0.68	35.57 ± 0.18	40.33 ± 0.18	45.79 ± 0.12	49.68 ± 0.22
		250	0.16 ± 0.04	25.16 ± 0.84	40.68 ± 0.88	45.15 ± 0.16	52.31 ± 0.96	55.90 ± 0.06
35	100	150	0.10 ± 0.01	20.26 ± 0.08	30.21 ± 0.27	35.71 ± 0.31	43.64 ± 0.16	45.45 ± 1.14
		250	0.19 ± 0.02	17.77 ± 0.12	28.98 ± 0.16	34.37 ± 0.58	41.77 ± 0.50	46.56 ± 0.32
	120	150	0.05 ± 0.02	16.84 ± 0.16	30.56 ± 0.50	34.93 ± 0.28	41.24 ± 0.06	45.79 ± 0.32
		250	0.06 ± 0.01	22.39 ± 0.15	35.18 ± 0.60	40.89 ± 0.16	46.85 ± 0.31	51.46 ± 0.43
Pregelatinized starch			0.10 ± 0.05	23.52 ± 0.17	33.00 ± 0.64	37.15 ± 3.12	45.12 ± 1.26	46.74 ± 1.44

Table 4. Changes in initial velocity and yield of various extruded corn starch

Extrusion condition			Initial velocity (v) (mmol/mL·min)	Reaction rate constant Higuchi model (k) (mg/mL·min ^{1/2})	Yield (%)	DE
Moisture content (%)	Barrel temp (°C)	Screw speed (rpm)				
25	100	150	1.80×10^{-3}	0.881	46.46 ± 0.80	52.83 ± 1.64
		250	1.80×10^{-3}	0.908	46.42 ± 0.22	53.07 ± 0.91
	120	150	1.98×10^{-3}	0.989	49.68 ± 0.22	56.50 ± 0.25
		250	2.26×10^{-3}	1.131	55.90 ± 0.06	63.83 ± 0.26
35	100	150	1.46×10^{-3}	0.874	45.45 ± 1.14	52.14 ± 0.07
		250	1.61×10^{-3}	0.799	46.56 ± 0.32	53.02 ± 1.31
	120	150	1.70×10^{-3}	0.809	45.79 ± 0.32	52.12 ± 0.37
		250	1.95×10^{-3}	0.993	51.46 ± 0.43	58.52 ± 0.37
Pregelatinized starch			1.83×10^{-3}	0.984	46.74 ± 1.44	53.19 ± 0.49

원당함량 결과를 얻었으나 당화액의 분자량 분포는 차이가 있을 것으로 보이며, 추가적인 분석이 요구된다.

초기반응속도(효소와 기질의 반응초기에 측정되는 속도)는 시간에 따른 반응생성물의 농도변화를 나타내며, 효소첨가량에 대한 기질의 농도에 따라 달라진다. Table 2의 효소반응을 하지않은 0 시간 환원당함량과 Table 4에서도 볼 수 있듯이 배럴의 온도가 높을 경우, 스크루 회전속도가 증가할수록 초기반응속도가 증가하였다. 수분함량 25%, 배럴온도 120°C, 스크루 회전속도 250 rpm에서 2.26×10^{-3} mmol/mL·min 로 가장 높았다. 반면에 수분함량 35%, 배럴온도 120°C, 스크루 회전속도 250 rpm에서 1.95×10^{-3} mmol/mL·min 로 분석 되었다.

수분함량이 25%로 낮을때 반응속도상수는 높게 나타났으며, 동일 조건에서 배럴온도가 높을 때, 스크루 회전속도가 증가할 때 반응속도상수가 높았다. Han & Ryu(2008)는 압출성형 백삼과 홍삼의 당화속도상수에 대해 연구하였으며, 배럴온도 100°C와 120°C에서 수분함량이 증가함에 따라 감소하였다고 보고 하였는데, 이는 본 실험에서 수분함량 25%, 배럴온도 120°C, 스크루 회전수 250 rpm에서 당화속도상수 $1.131 \text{ mg/mL}\cdot\text{min}^{1/2}$ 이고, 수분함량 35%, 배럴온도

120°C, 스크루 회전수 250 rpm에서 당화속도상수 $0.993 \text{ mg/mL}\cdot\text{min}^{1/2}$ 로 동일한 결과를 나타내었다.

압출성형기를 생물반응기로 사용 전분압출성형물을 당화 목적으로 사용할 경우 압출성형기 내에서의 짧은 반응시간 동안에 전분입자의 파열, 전분분자의 저분자화, 효소에 의한 가수분해 등이 복합적으로 일어나기 때문에 효소에 의한 초기반응속도는 저DE 텍스트린을 만드는데 대단히 중요한 요인으로 판단된다. Table 2에서 알 수 있듯이 대부분의 조건에서 당화개시 초기 10 분간이 급격히 환원당이 증가하는 가장 중요한 구간임을 알 수 있었다.

따라서 압출성형 조건에 따른 전분압출성형물의 환원당함량, 내열성 알파아밀라제에 의한 초기반응속도, 당화속도상수 등을 고려해 볼 때 압출성형공정변수인 수분함량 25%, 배럴온도 120°C, 스크루 회전수 250 rpm 일때가 최적의 압출성형 조건이었다.

요 약

본 실험은 압출성형을 통한 저DE텍스트린 제조공정을 확립하기 위해서 수분함량 25, 35% 배럴온도 100, 120°C,

스크루 회전속도 150, 250 rpm에서 압출성형한 전분을 알파아밀라아제로 당화시켰을 때 당화특성을 연구하였다. 수분용해지수는 원료전분 수분함량이 25%로 감소할 경우 증가되었으며, 수분흡착지수도 수분의 감소와 함께 전체적으로 증가하였다. 환원당함량의 경우 수분함량이 낮고 배럴온도 높을수록 증가되었다. 120 분간 당화 후 DE 63.8로 높게 나타났다. 비기계적 에너지 투입량(SME)의 증가와 함께 수분용해도는 증가하는 경향이였다. 또한 수분함량의 감소와 함께 비기계적 에너지 투입량과 수분용해도는 증가하였다. 페이스트점도는 원료전분의 수분이 낮고, 스크루 회전속도가 증가할수록 전분사슬의 절단에 따라 저온최고점도가 감소하는 경향을 보였다. 초기반응속도는 수분함량이 25%로 낮고 배럴온도 120°C, 스크루 회전수 250 rpm에서 2.26×10^{-3} mmol/mL·min로 가장 높았다. 시중 호화전분 1.83×10^{-3} mmol/mL·min에 비해서도 높은 결과를 보였다. 당화속도상수는 히구치모델을 응용하였으며, 수분함량이 낮고 배럴온도가 120°C일 때 전체적으로 높게 나타났다. 본 실험에서 초기반응속도, 당화속도상수, 당화수율 등을 고려할 때, 최적조건은 수분함량 25%, 배럴온도 120°C, 스크루 회전속도 250 rpm이었다.

참고문헌

AACC. 1983. Approved Method of the AACC. 10th ed. Method 56-20. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA. pp. 8-35.

Baks T, Kappen FHI, Janssen AEM, Remko MB. 2008. Towards an optimal process for gelatinization and hydrolysis of highly concentrated starch-water mixtures with *alpha-amylase* from *B.licheniformis*. J. Cereal Sci. 47: 214-225.

Ben-Gera Y, Rokey GJ, Smith OB. 1983. Extrusion cooking of grains for ethanol production. J. Food Sci. 2: 177-87.

Chang YK, El-Dash AA. 2003. Extrusion-cooking of cassava starch as pre-treatment for its simultaneous saccharification and fermentation for ethanol production. Acta Alimentaria 32: 219-235.

Colonna P, Mercier C. 1983. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. Carbohydr. Polym. 3: 87-108.

Darnoko D, Artz EW. 1988. Twin-screw extrusion as a continuous pre-treatment process for the enzymatic hydrolysis of cassava. J. Food. Sci. 53: 1792-1799.

Govindasamy S, Campanella OH, Oates CG. 1997. Enzymatic hydrolysis of sago starch in a twin-screw extruder. J. Food Eng. 32: 403-426.

Grafelman DD, Meagher MM. 1995. Liquefaction of starch by a single-screw extruder and post extrusion static-mixer reactor. J. Food Eng. 24: 529-542.

Hakulin S, Linko P, Seiler K, Seibel W. 1983. Enzymatic conversion of starch in twin-screw extruder. Starch-Stärke, 35: 411-414.

Han JY, Yang HJ, Lee YS, Ryu GH. 2008. Studies on characteristics of physicochemical properties and saccharification of extruded white ginseng. Food Eng. Prog. 12: 36-43.

Happer JM. 1989. Food extruders and their application. In: Extrusion Cooking. Mercier C, Linko P, Harper JM (eds). AACC, St. Paul, MN. pp. 91-155.

Higuchi T. 1963. Mechanism of sustained action medication theoretical analysis of rate of release of solid drugs dispersed in solid matrices. J. Pharm Sci. 52: 1145-1149.

Jung HC, Chung OR. 1997. Simulation for improving the process of Korean traditional rice-yeotplant. Food Eng. Prog. 1: 29-57.

Kim HS, Kang YJ. 1994. Optimal condition of saccharification for a traditional malt syrup in Cheju. Korean J. Food Sci. Technol. 26: 125-129.

Korn, SR, Happer JM. 1982 Extrusion of corn for ethanol fermentation. Biotechnol. Lett. 4: 417-422.

KFDA. 2007. Korea Food and Drug Administration. Food Code. Munyoungsa. Seoul, Korea. p. 56-57.

Linko P, Hakulin S, Linko YY. 1984. Extrusion cooking of barley starch for the production of glucose syrup and ethanol. J. Cereal Sci. 1: 275-284.

Linko P, Linko YY, Olkku J. 1983. Extrusion cooking and bioconversions. J. Food Eng. 2: 243-257.

Meuser F, Wiedmann W. 1989. Extrusion plant design. In: Extrusion Cooking. AACC. St. Paul, MN, USA. pp. 91-155.

Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicylic reagent for determination of reducing rousps. Anal. Chem. 31: 426-428.

Norman BE. 1980. New developments in starch syrup technology. In: Enzymes and Food Processing. Birch GG, Blakerbrough N, Parker KJ (eds). Appl. Sci. Pub. Ltd., Ripple Road, UK. pp. 15-50.

Reinikainen P, Suortti T, Oikku J, Maikki Y, Linko P. 1986. Extrusion cooking in enzymatic liquefaction of wheat starch. Starch-Stärke 38: 20-26.

Roussel L, Vieille A, Billet I, Cheftel JC. 1991. Sequential heat gelatinization and enzymatic hydrolysis of corn starch in an extrusion reactor: Optimisation for a maximum dextrose. LWT. 24: 449-458.

RVA manual. 1995. RVA-3 series operation manual using dos thermocline software. Newport Scientific, Sydney, Australia.

Ryu GH, Walker CE. 1994. The effects of extrusion conditions on the physical properties of flour extrudate. Starch-Stärke. 47: 33-36.

Solichien BW, Ryu GH, Kim DS. 2003. Preliminary study of enzymatic hydrolysis of corn starch in twin-screw extruder. 70th Annual Conference in Korea Soc. Food Sic. Technol. p. 204.

Solihin BW, Kim MH, Im BS, Cha JY, Ryu GH. 2007. Effects of feed moisture content on enzymatic hydrolysis of corn starch in twin-screw extruder and saccharification of the dried extrudates. Food Sci. Biotechnol. 16: 381-385.

Yoo GH. 1975. Studies on the manufacturing method Korean jelly and caramelization using lycories. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 4: 67-133.