

## 분쇄마찰매체 함유 반응계를 이용한 무증자 Corn starch의 고농도 당화와 당화액의 조성에 관한 연구

이용현 · 조구형

경북대학교 자연과학대학 유전공학과  
(1986년 9월 2일 수리)

### A Novel saccharification method of uncooked concentrated corn starch using an agitated bead reaction system

Yong-Hyun Lee and Ku-Hyung Jo

Department of Genetic Engineering, College of Natural Sciences  
Kyungpook National University, Taegu 635, Korea  
(Received September 2, 1986)

Corn starch was saccharified without cooking in an agitated bead reaction system. Uncooked corn starch was effectively hydrolyzed even at the concentration as high as 39% (w/v). After 24 hours, the extent of saccharification reached at 92%, which corresponds glucose concentration of 425g/L. Fed-batch feeding of starch was more effective than batch feeding for saccharification of uncooked corn starch. The composition of hydrolysate of uncooked starch was analyzed, which was composed of 95% glucose, 0.7% of maltose, and 4.5% of high saccharide, similar with that of cooked starch. The hydrolysate can be successfully utilized for HFCS manufacture. The starch liquefying and saccharifying enzyme was relatively stable even be the physical impact of the attrition-milling media. The enzyme stabilizer,  $Ca^{++}$ , played an essential role in preventing the enzyme deactivation caused by the physical impact.

포도당의 이성화로 얻어지는 이성화당 (iso-syrup)은 높은 감미때문에 당질식품 첨가물로 각광을 받고 있으며, 그 사용량이 급속히 증가되고 있다. 이성화당의 생산은 전분을 먼저 효소로 당화시켜 고순도의 포도당으로 전환시키고 이를 고농도로 농축시킨 후 glucose isomerase로 이성화시켜 제조하게 되며<sup>(1)</sup> 순도 높은 고농도의 포도당 생산은 첫 단계 공정으로서 그 중요성이 크다.

현재 시판하고 있는 이성화당의 주종은 옥수수 전분을 원료로 한 HFCS (High Fructose Corn Syrup)으로서 원료인 옥수수 전분의 당화에는 주로 증자법 (cooking process)이 쓰이고 있다. 그러나 이와 같은 증자당화법은 전분의 호화에 필요한 막대한 양의 증자 에너지가 소모될 뿐만 아니라 고점도

전분 호화액의 교반에도 추가적으로 에너지가 소모된다. 또한 생성된 당의 농도가 낮아 이를 고농도로 농축시키는데 추가로 에너지가 소모된다. 따라서 전분을 증자시키지 않고 생전분 상태로 고농도에서 높은 수율로 당화시킬 수 있다면 증자에 필요한 열량을 절약할 수 있고, 또 전분을 고농도로 첨가하여 당화가 가능하므로 고농도 전분 당화액을 얻을 수 있어 농축을 위한 에너지를 절감할 수 있게 되는 등 많은 잇점이 있다.

위와 같이 무증자 당화의 장점을 인식하여 국내외적으로 무증자 당화에 관한 관심이 고조되고 있으며 현재 연구동향으로는 역가 높은 생전분 분해 균주개발<sup>(2,3,4)</sup>, 생전분 분해와 알콜 발효를 동시에 행할 수 있는 균주선별<sup>(5,6)</sup> 산/알칼리 전처리를 통

해 전분질 구조적 양상을 변화시켜 당화를 촉진시키고자 하는 시도<sup>(7,8)</sup> 등이 있다. 이러한 연구는 현재 상당한 성과를 얻고 있으나 실용화되지는 못하고 있는 실정이다.

본 연구자들은 지금까지 시도된 무증자 당화법과는 다른 전분질 무증자 당화법을 보고한 바 있다<sup>(9)</sup>. 이는 무증자 전분-효소 현탁액에 분쇄마찰매체를 첨가하여 교반함으로써 효소작용을 촉진시키는 새로운 기술혁신적 무증자 전분 당화법으로서 쌀보리를 원료로 실험한 결과 당화속도는 증자법과 유사한 수준이었고 당화율은 증자법을 능가하는 매우 고무적인 결과를 얻었다.

본 연구에서는 HFCS 제조에 적합한 순도 높은 고농도 포도당 (glucose) 생산을 목표로 실험하였다. 이를 위하여 분쇄마찰매체 함유 반응계에서의 고농도 당화를 위한 당화방법을 검토하였고, 반응 생성물의 조성을 분석하였으며, 분쇄마찰매체의 기계적 충격하에서의 당화효소의 안정성도 아울러 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 사용 전분

시판 옥수수전분 (corn starch, 풍진화학, 수분함량 12%)을 기질로 사용하였다.

### 분쇄마찰매체

분쇄마찰매체는 직경이 3 mm이고 비중이 2.54인 유리구를 주로 사용하였으며 직경이 보다 큰 4.5 mm, 6 mm 유리구도 병용하였다.

### 사용 효소

효소는 현재 국내 곡산회사에서 HFCS 제조 및 주정 회사에서 전분질 당화에 사용하고 있는 상업용 효소를 이용하였다. 액화 효소로는 Taka Therm L-34 D (Miles)와 Termamyl (Novo)을 사용하였으며, 당화효소로는 Diazyme L-30 D (Miles)와 당화효소 (국내 T 사 제품)을 사용하였다.

### 옥수수 전분의 무증자 당화방법

전분의 무증자 당화는 먼저 corn starch 15 g (12% 함유)와 0.05 M citrate buffer (pH 3.8) 50 ml 을 250 ml 삼각플라스크에 혼합하였다. 혼합액의 용적은 59 ml로 증가하였으며 전분질 농도는 22.5% (w/v)에 해당된다. 이 전분의 현탁액에 분쇄마찰매체인 유리구 (glass bead) 25 g을 혼합한 후 액화효소 (Taka Therm L-34 D) 0.08 ml와 당화효소 (Diazyme L-30 D) 0.1 ml를 넣고 항온진탕장치 (회전운동, 직폭 3 cm)에서 280 rpm의 속도로 교반시키면서 50℃

에서 당화시켰다. 고농도 당화를 위하여 전분농도를 증가시켜 실험하였으며, 전분농도 39% (w/v)의 경우의 bead 첨가량은 40 g이었고 액화효소 0.3 ml와 당화효소 0.36 ml를 사용하였다. 전분농도 45%의 경우의 bead 첨가량은 60 g이었고 액화효소 0.5 ml와 당화효소 0.58 ml를 첨가하였다. 전분의 fed-batch feeding의 경우는 생전분을 반응초기에 17.6 g을 넣고 4 시간 간격으로 8.8 g을 2 회 분할 첨가하였으며, 비교군은 반응초기에 35.2 g을 전량 투입하고 효소도 위와 동일량을 일시에 첨가하였다. 이 경우의 전분농도는 45% (w/v)에 해당된다. 비교를 목적으로 증자당화 실험도 하였으며, 옥수수 전분 15 g, 0.05 M-citrate buffer (pH 3.8) 50 ml, 액화효소 0.1 ml를 혼합하여 100℃에서 1 시간 증자하여 액화시켰다. 전분 액화액은 50℃로 냉각한 후 당화효소를 넣고 마찰매체의 첨가없이 무증자 경우와 같은 조건으로 교반하면서 당화시켰으며, 이때를 반응개시 시간으로 하였다.

### 당 분석

포도당은 효소적인 방법 PGO (Peroxidase-Glucose Oxidase-o-Paranisidine, Sigma kit 510-A)<sup>(10)</sup>법으로 선택적으로 정량하였으며, 환원당은 DNS (3,5-Dinitro Salicylic Acid) 법<sup>(11)</sup>으로 분석하였다. HPLC는 Waters Associates (model 425)을 사용하였으며, column은 Sugar-Pak 1을 사용하였다. Mobile phase로는 H<sub>2</sub>O를 사용하였으며 flow rate는 0.5 ml/min, 컬럼온도 90℃이었다. 분리물질의 감별은 RI detector를 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 고농도에서의 생전분 당화

분쇄마찰 반응계에서 전분질의 무증자 효소당화법의 중요한 장점중의 하나는 증자하지 않으므로 전분질의 팽윤현상이 일어나지 않아 전분을 증자법에 비교하여 고농도로 첨가하여 당화시키는데 있다. 분쇄마찰 반응계를 활용할 경우 효율적으로 당화가 가능한 최대의 전분 농도를 검토하기 위하여 corn starch를 22.5, 39, 45% (w/v)의 농도가 되도록 첨가하여 무증자 효소당화를 행하였다. Fig. 1은 각 전분농도에서의 포도당 생성량을 경시적으로 비교하고 있으며, Fig. 2는 생성된 포도당을 전분 첨가량을 기준으로 하여 수율로 환산한 결과이다. 또한 corn starch 22.5% (w/v)을 재료 및 방법란에서 기술한 바와 같이 증자법으로 액화한 후 다시 당화효소를 첨가하여 당화시켜 그 결과를 무증자군과 비교하였다.

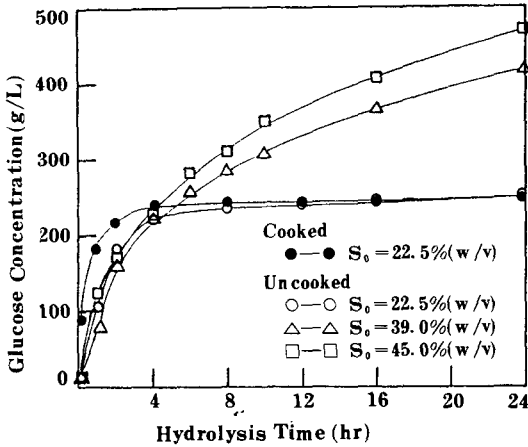


Fig. 1. Saccharification of uncooked corn starch at high slurry concentration in an attrition-coupled reaction system at 50°C.

Corn starch 농도 22.5% (w/v) 의 경우 마찰매체 함유 반응계를 이용한 무증자군과 증자군의 당화율을 비교하여 보면 반응 초기에는 증자군이 다소 우세하나 4 시간 후 유사한 수준에 도달하였다. 증자군의 경우는 액화과정에서 일부 포도당이 생성됨을 감안한다면 그 차이는 그리 크지 않음을 알 수 있다. 전분농도를 증가시켜 39% (w/v) 로 하였을 경우에는 8 시간 경과후 무증자 전분의 75%가 당화되었고 24 시간 후에는 92% 당화되었다. 전분첨가량을 더욱 증가시켜 기질농도가 45% (w/v) 이라는 초 고농도에서 당화시켰을 경우는 반응초기 당화율이 다소 감소하여 8 시간 경과후 65% 그리고 24시간 이후에는 90% (w/v) 의 당화율을 나타내었다. 이와 같은 초 고농도에서 반응초기 당화율이 다소 떨어지는

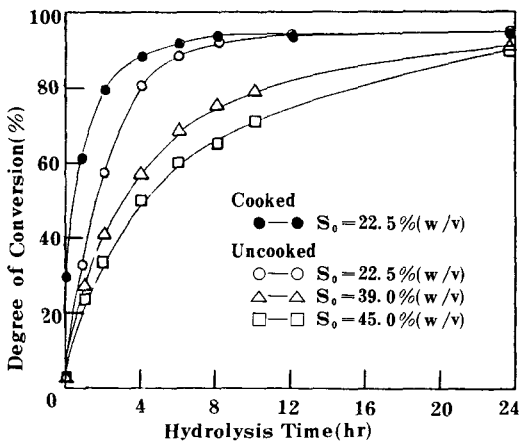


Fig. 2. Degree of conversion of uncooked corn starch at various slurry concentration in an attrition-coupled reaction system.

이유는 이와 같은 높은 기질 농도에서는 유동성 수분이 대부분 전분입자에 흡수되어 전분 현탁액이 교반되기 어려운 진한 paste 상태로 변하여 마찰매체에 의한 마찰이나 분쇄와 같은 기계적 운동이 저하되며 당화촉진 효과를 감소시키는데 기인한다. 따라서 corn starch의 농도가 39% (w/v) 수준이 무리 없이 고농도 당화를 행할 수 있는 최고농도라 판단된다. 이때 생성된 환원당 농도는 8 시간 325g/l 였고, 24 시간에는 425 g/l 라는 매우 높은 농도를 얻을 수 있었다.

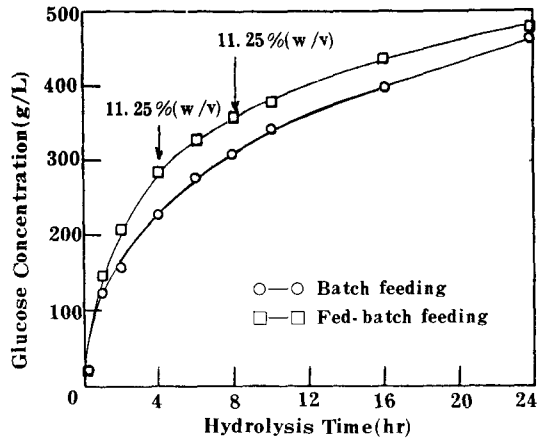


Fig. 3. Comparison of batch and fed-batch feeding of uncooked starch at high concentration of 45% (w/v); initial feeding 22.5% (w/v), the second and third feeding (11.25%) after 4 and 8 hrs, respectively

Fed-Batch의 전분첨가 방법

45% (w/v) 과 같은 초 고농도의 경우 생전분을 반응초기에 전량 첨가하여 당화시킬 경우는 유동성 수분이 대부분 전분에 흡수되어 현탁액이 paste 상태로 변하여 전분에 대한 분쇄마찰 효과가 현저히 감소하게 된다. 이 결점을 극복하기 위하여 corn starch를 반응초기에 전량 투입하지 않고 당화가 일부 진행된 후 분할하여 첨가하는 fed-batch식 기질 첨가법을 실험하여 시료를 일시에 첨가하는 batch식 기질 첨가법과 비교한 결과는 Fig. 3과 같다.

예상대로 fed-batch식 기질 첨가법은 batch식 기질 첨가법에 비하여 좋은 결과를 보였다. 당화개시 8 시간 후의 당화율을 비교하여 보면 batch식 기질 첨가의 경우는 약 65%가 당화됨에 비하여 fed-batch식 기질 첨가의 경우에는 75%가 당화되었다. 24시간 경과후에는 fed-batch식 기질 첨가법의 당화율은 94%의 수준에 이르렀고 이때 포도당 농도

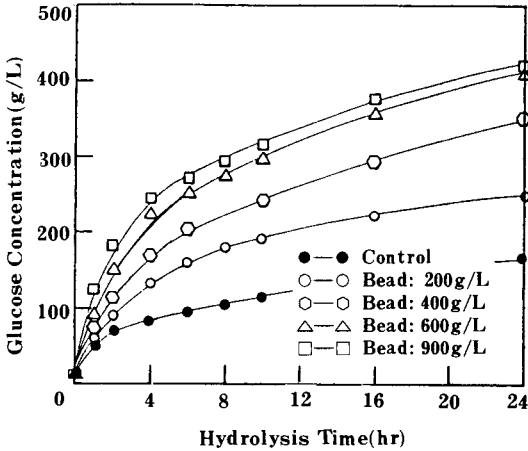


Fig. 4. The effect of the amounts of attrition - milling media on the saccharification of uncooked corn starch at 39%(w/v).

는 460 g/l 라는 높은 수준에 이르렀다. 이와 같은 fed-batch식 기질 첨가법이 batch식 기질 첨가법에 비하여 당화율이 증가한 이유는 fed-batch법의 경우 전분 현탁액의 점도에 직접적 영향을 주는 잔여 전분농도가 batch식 기질 첨가법에 비하여 낮기 때문에 bead의 분쇄마찰 효과가 크게 되는데 기인된다고 생각된다. Fed-batch식 전분투여는 전분-효소 현탁액의 유동성을 유지하면서 충분한 분쇄마찰 효과를 주면서 고농도 무중자 당화를 행할 수 있는 효율적 당화방법임을 알 수 있다.

고농도 당화에 미치는 적정 마찰매체 첨가량과 크기의 영향

분쇄마찰매체인 유리구의 적정 혼합 양은 전분-효소 현탁액의 물리적 특성과 밀접한 상관관계가 있다고 본다. 따라서 적정분쇄 마찰매체 사용량을 결정하기 위하여 glass bead의 양을 200, 400, 600, 900 g/l로 변화시키며 39% (w/v)의 corn starch를 당화시킨 결과 Fig. 4와 같다.

사용 마찰매체량이 증가함에 따라 당화속도 및 당화율이 증가되었으나 600 g/l 이상 사용시에는 그 증가폭이 크지 않았다. 가능한한 소량의 매체를 활용하여 필요한 당화촉진 효과를 얻을 수 있다면 교반 에너지를 절약할 수 있어 600 g/l 정도가 적절한 첨가량이라 볼 수 있다. 물론 매체의 적정 첨가량은 교반속도와도 밀접한 관계를 갖고 있으리라 예상된다. 본 실험에서 사용하고 있는 분쇄마찰매체의 사용 첨가량을 용적으로 보면 전체 전분-효소 현탁액의 용적의 0.3에 불과하다. 또 교반시 반응 조건내에서 유리구의 운동 상태를 관찰하여 보면 전 반응장치에 균일하게 혼합되어 있는 상태가 아니며

반응장치의 저변에서 운동하고 있으며 생전분의 당화촉진 효과는 이와 같은 정도의 교반으로도 충분히 달성할 수 있음을 알 수 있다.

전분의 첨가농도가 증가됨에 따라서 전분 현탁액의 점도가 상승하게 되고 그 결과 milling media의 마찰효과가 떨어지게 된다. 현탁액 중에서 분쇄마찰매체의 운동 양상은 그 크기에 따라 현저히 다르게 된다. 따라서 여러 전분 농도에서 bead 크기가 당화에 미치는 영향을 검토하기 위하여 전분 농도를 22.5%, 39%, 45% (w/v)로 조절한 후 3, 4.5, 그리고 6 mm의 유리구를 같은 무게로 첨가한 후 280 rpm의 교반속도로 교반하면서 당화시킨 결과 Table 1과 같다.

전분농도 22.5% (w/v)에서는 3 mm 유리구 첨가군이 4.5, 6 mm 유리구 첨가군보다 당화율이 우수하였다. 이는 3 mm 유리구의 경우에는 그 입자가 작아 분쇄마찰의 표면적이 4.5, 6 mm의 경우에 비하여 커서 보다 좋은 분쇄마찰 효과를 주기 때문이라 생각된다. 기질농도 39%에서는 반응 초기에 6 mm 유리구 첨가군의 당화율이 우수하나 12시간 이후에는 3 mm 유리구 첨가군이 6 mm 유리구 첨가군의 당화율을 능가하였다. 이는 반응 초기에는 기질의 점도가 높아 3 mm bead의 마찰효과가 6 mm에 비하여 적으나 당화가 진행됨에 따라 반응액의 점도가 낮아짐과 더불어 유리구의 마찰효과가 상승하게 됨에 기인하는 것으로 판단된다. 45% (w/v) 기질농도에서는 6 mm 유리구 첨가군이 3 mm 첨가군에 비하여 계속 우수하였다. 이는 45%와 같은 고농도의 전분을 투입한 진한 현탁액 속에서는 무게가 무거운 6 mm 유리구의 운동성이 좋아 더 큰 마찰 효

Table 1. Comparison of bead size on the saccharification of different concentrations of uncooked starch.

Concn. of Starch	Bead Size	Times					
		1 hr	2 hr	4 hr	8 hr	16hr	24hr
22.5% (w/v)	3 mm	42	68	182	221	240	249
	4.5 mm	41	67	173	205	228	235
	6 mm	43	67	170	197	220	227
39% (w/v)	3 mm	74	172	220	290	370	425
	4.5 mm	76	175	225	292	368	420
	6 mm	81	181	230	291	365	417
45% (w/v)	3 mm	110	162	225	312	408	470
	4.5 mm	115	167	230	318	412	475
	6 mm	118	172	235	325	421	480

(g/l)

과를 주기 때문이다. 기질농도가 매우 높은 경우에는 bead size가 큰 것이 더 효과적임을 알 수 있고 또 당화율도 증가함을 알 수 있다. Bead size는 실용적인 bioattritor를 개발할 경우 당화장치의 선별과 조작에 중요한 요소로 작용하리라 예상된다.

**분쇄마찰매체를 활용한 무증자 당화 생성물의 조성**

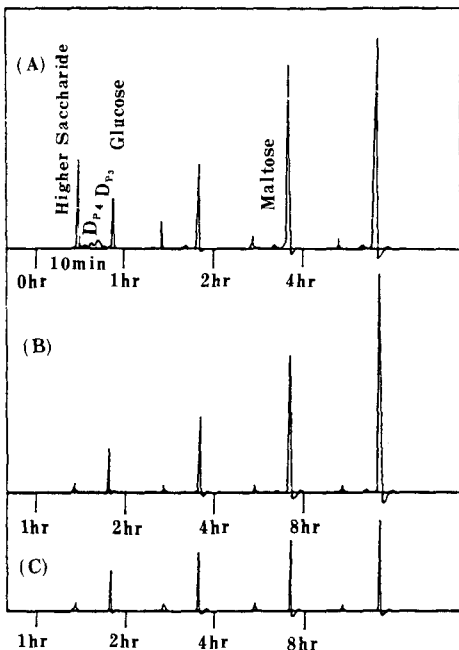
HFCS 제조에는 고순도의 glucose를 필요로 하며 주정생산을 포함한 발효기질로 사용할 경우에도 glucose가 가장 바람직한 형태의 단당류라 할 수 있다. 통상의 전분분해 방법인 증자법과는 달리 분쇄마찰매체 함유 반응계에서의 무증자 당화는 bead에 의한 물리적 충격효과를 줌으로써 당화를 촉진시키게 되므로 그 당화액의 조성의 일반적으로 수행되는 증자법과 다소 상이할 수도 있다. 만일 당화액의 조성이 다르고 또 기계적 충격으로 변형된 형태의 당류가 생성될 경우는 HFCS 및 주정발효의 기질로 이용하기 어려울 뿐만 아니라 주정발효시 미생물들의 다른 대사경로를 거쳐 불필요한 생성물이 생성될 수 있는 문제가 야기될 수도 있다. 따라서 HFCS 제조와 발효기질로서 적합한 조성을 갖고 있는지 여부는 산업화에 매우 중요한 요소가 된다. 분쇄마찰매체 함유 반응계에서 생성되는 당화액의 특

성을 검토하기 위하여 증자균, bead 첨가균, 그리고 bead를 첨가하지 않은 비교균 등으로 구별하여 당화시키고 경시적으로 시료를 위하여 HPLC로의 각 균의 당 분포를 분석한 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5(A)는 증자법으로 액화시킨 전분 액화액(0 hr)과 전분액화액에 당화효소를 첨가하여 당화시킨 후 1시간, 2시간, 4시간 경과후의 생성당의 분포도이다. 액화 전분액의 당조성은 대부분 higher saccharide로 존재하였으며 소량의 maltose, maltotriose(DP<sub>3</sub>), DP<sub>4</sub>로 구성되었다. Glucose도 상당량 액화과정중 생성됨을 알 수 있다. 당화효소 첨가 후 1시간 후에는 maltotriose, DP<sub>4</sub>는 감소되고 higher saccharide도 약 60% 정도 감소하였다. 반응 4시간 후에는 당화가 거의 종결됨을 알 수 있다. 그러나 일부 존재하는 higher saccharide는 그 이후에도 소량으로나마 계속 감소되어 감을 알 수 있다. Fig. 5(B)는 무증자 bead 첨가균의 경시적 HPLC pattern이다. 생성된 당은 반응초기부터 대부분 glucose로서 증자균과 비교하여 상이하였다. Higher saccharide 양은 반응개시 시간이나 반응 종료에도 변화가 없음을 알 수 있으며, 생성된 당은 대부분 glucose로 직접 전환되었다. 반응은 8시간을 전후하여 대부분의 당화작용이 종료됨을 알 수 있다. Fig. 5(C)는 bead를 첨가하지 않은 무증자 당화균의 pattern이다. 당 조성은 bead 첨가균과 유사하였으나 당화율은 매우 저조하였으며, 증자균과 bead 첨가균을 비교해 볼때 증자균의 경우 glucose의 생산은 빠른 시간내에 생성되지만 higher saccharide의 감소가 늦어 적어도 액화 후 4시간 이상이 경과되어야만 무증자 bead 첨가균의 higher saccharide의 농도와 같아졌다. 반응 종료후 당화액의 조성은 양균 공히 4.5% higher saccharide와 0.7% maltose 그리고 94%의 glucose로 똑같았다. Bead 첨가균과 bead 첨가하지 않은 균을 비교할 때 당생성 pattern은 유사하였으나 물론 당화율은 현저한 차이가 있었다. 분쇄마찰 반응계에서의 생성되는 무증자 당화액은 증자법으로 생산한 당분과 비교하여 그 조성이 유사하여 다른 불순물의 생성은 감지되지 않아 HFCS이나 주정발효의 기질로서 적절한 조성을 갖고 있다고 판단된다.

**분쇄마찰매체의 물리적 충격하에서의 전분 분해 효소의 안정성**

분쇄마찰매체를 첨가하여 교반하면서 무증자 전분(uncooked starch)를 효소당화시킬 경우에는 분쇄 또는 마찰과 같은 기계적 운동이 수반되며 이에 따른 효소의 실활이 예상된다. 따라서 shearing 상태하에서 사용된 전분 분해효소의 안정성을 검토하



**Fig. 5.** The comparison of HPLC patterns of hydrolysate of cooked corn starch(A), uncooked with bead(B) and uncooked without bead as control(C) at 22.5%(w/v).

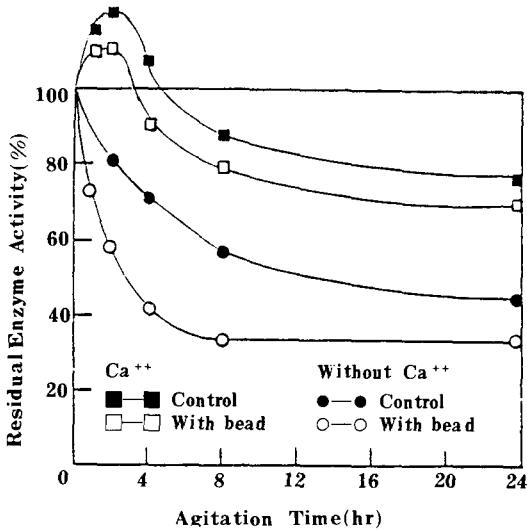


Fig. 6. Deactivation of mixed enzyme by the mechanical shearing of attrition-milling media; enzyme content 8.8 ml/L, 600 g bead/L, 280 RPM, pH 3.8, and 50 °C.

었다. 먼저 당화효소 Diazyme L-30 D와 액화효소 Taka Therm L-34 D의 혼합효소를 0.05 M citrate buffer (pH 3.8)에 8.8 ml/l가 되도록 희석시킨 후 효소안정제인 Ca<sup>++</sup>을 20 ppm 첨가하였다. 상기용액에 직경 3 mm인 유리구를 600 g/l 혼합한 후 항온 진탕장치에서 진폭 3 cm 회전운동으로 280 rpm의 속도로 50°C에서 교반하면서 분쇄마찰매체를 첨가한 군과 첨가하지 않은 control군의 효소여가의 변화를 측정하여 효소의 안정성을 비교 검토하여 보았다. 혼합효소 활성화도의 변화를 비교한 결과는 Fig. 6과 같다.

상기 혼합효소는 control의 경우에도 24시간 경과 후 약 20% 정도 실행되었으며 분쇄마찰매체 첨가군은 control에 비해 더 실행되었다. 그러나 그 차이는 매우 근소하여 약 5-8% 수준으로서 분쇄마찰매체의 기계적 운동이 효소실행에 미치는 영향은 예상과는 달리 매우 적어 본 연구에 사용하고 있는 분쇄마찰조건 하에서는 매우 안정함을 보여주고 있다.

Ca<sup>++</sup>은 전분분해 효소의 안정제로서 매우 중요하며, 특히 분쇄마찰 상태하에 있는 효소는 물리적 충격에 의한 효소실행이 수반되는데 효소의 안정성에 미치는 Ca<sup>++</sup>의 영향을 검토하고자 상기 혼합 효소액에 20 ppm의 Ca<sup>++</sup>를 첨가한 군과 첨가하지 않은 군의 효소실행 정도도 Fig. 6에 아울러 표시하였다. Ca<sup>++</sup>은 전분분해 효소를 크게 안정화시켰을

뿐 아니라 활성화시켰다. 특히, Ca<sup>++</sup>을 첨가하지 않은 경우에는 효소는 분쇄마찰매체의 물리적 충격에 매우 불안정하여 8시간 경과후 약 70% 정도가 실행되었다. 반면 Ca<sup>++</sup>을 첨가한 경우에는 8시간 경과후 약 10% 정도만이 실행되어 Ca<sup>++</sup>은 효소를 물리적 충격에 잘 적응할 수 있는 분자구조로 변형함을 알 수 있다. 이는 무증자 전분의 분쇄마찰매체 반응계를 활용한 당화에는 Ca<sup>++</sup>과 같은 효소안정제의 역할이 매우 중요함을 나타내고 있다.

## 요 약

무증자 전분의 효소당화시 분쇄마찰매체를 첨가하여 분쇄마찰 효과를 주어 당화를 촉진시키는 새로운 무증자 전분 당화법을 이용하여 HFCS의 제조에 적합한 포도당 함량이 높은 고농도 당액을 얻기 위해 연구하였다. 생전분을 고농도 당화를 위해 22.5, 39, 그리고 45% (w/v)와 같이 농도를 고농도까지 증가시켜 가면서 당화시킨 결과, 분쇄마찰 반응계를 활용할 경우 39% (w/v)와 같은 높은 전분 농도에서도 효율적인 당화가 가능하였으며, 8시간 후 75%, 24시간 후에는 92% 이상이 분해되었고 이때 당 농도는 425 g/l 수준에 이르렀다. 초 고농도로 전분을 투입한 경우에도 전분을 batch식으로 투입하지 않고 분할 투입하는 fed-batch식으로 분할 투입한 결과 45% (w/v)와 같은 초 고농도에서도 우수한 결과를 얻었다. 또한 고농도에서는 bead size가 큰 것이 당화촉진 효과가 컸다. 생성된 당조성을 HPLC로 분석한 결과 증자법의 당조성과 거의 유사한 glucose 95%, maltose 0.7%, 그리고 higher saccharide 4.5%로써 HFCS 제조에 적합한 특성을 갖추었다. 분쇄매체의 shearing에 의한 효소실행을 검토한 바 본 실험과 같은 교반하에서는 효소가 비교적 안정하였고, 특히 Ca<sup>++</sup>은 효소 안정화에 매우 중요한 역할을 수행하였다.

## 사 사

본 연구는 1984-85년도 한국과학재단 연구비의 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

1. Crueger, W. and A. Crueger: *Biotechnology, Science Tech. Inc., Madison, P.* 170 (1984).
2. Park, Y.K. and B.C. Rivera: *Biotechnol. Bioeng.* **24**, 495 (1982).

3. Fujio, Y., P. Suyanadona and P.S. Attasampunna: *Biotechnol. Bioeng.* **26**, 315 (1984).
4. 배 무, 이재문 : 한국산업미생물학회지 **11** (3), 181 (1983).
5. Ueda, S. and Y. Koba: *J. Ferment. Technol.* **58**(3), 237 (1980).
6. Matsuoka, H., Y. Koba and S. Ueda: *J. Ferment. Technol.* **60**(6), 599 (1982).
7. 이상열, 신용철, 이석희, 박성숙, 김형수, 변시명 : 한국식품과학회지 **16** (4), 463 (1984).
8. 박관화, 오경하, 이제호 : 한국농화학회지 **27** (1), 52 (1984).
9. 이용현, 조구형 : 한국산업미생물학회지 **14** (1), 29 (1986).
10. Sigma Cooperation: Sigma Diagnostics Glucose Procedure No. 510, Sigma (1984).
11. Miller, G.L.: *Anal. Chem.* **31**, 426 (1959).