

무증자전분의 분쇄마찰매체에 의한 효소당화촉진 Mechanism의 규명

조구형 · 이용현

경북대학교 자연과학대학 유전공학과
(1986년 9월 2일 수리)

Enhancing mechanism of the saccharification of uncooked starch in an agitated bead reaction system

Ku-Hyung Jo and Yong-Hyun Lee

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

In an agitated bead reaction system, the enzymatic saccharification of uncooked starch was substantially enhanced. The enhancement mechanism was investigated from the view of the structural aspect of starch. The mechanical impact caused by the movement of the attrition-milling media resulted neither the destruction of microcrystalline structure nor the fragmentation of starch granule. Instead, the most distinct phenomenon was the swelling of starch granule up to about 2.5 times, and the swelling mechanism was not similar with that caused by cooking. However, in the case of the enzyme addition in the attrition coupled reaction system, the swollen starch was easily fragmented into the large number of small particles by the synergistic action of the enzyme and milling-media. The exposed surface area of the fragmented particles plays the major role in enhancing the saccharification. The saccharification rate was quite different depending on the source of starch, the reason was discussed in terms of the granular structure of uncooked starches.

전분의 무증자 당화는 증자당화에 비하여 많은 장점이 있으며 특히 에너지절약형 공정으로 그 중요성이 크다. 그러나 생전분의 당화속도 및 당화율이 낮아 이에 대한 보완이 요구되고 있다^(1,2). 본 연구자들은 무증자 전분의 당화를 촉진시키기 위하여 생전분과 효소현탁액에 분쇄마찰매체를 첨가하여 전분을 분쇄 또는 마찰하는 효과를 주면서 생전분을 무증자 상태로 효소당화시키는 새로운 당화법을 연구한 바 있다. 무증자 쌀보리를 기질로 당화시킨 결과 당화속도는 증자법과 유사하며 당화율은 증자법을 능가하는 매우 고무적인 결과를 얻은 바 있다³. 뿐만 아니라 무증자 당화는 증자에 의한 전분의 팽윤현상을 수반치 않음으로서 45% (w/v)라는 고농도로 전분을 첨가하여 고효율, 고농도 당화가 가능

함을 보고한 바 있다⁽⁴⁾. 이는 지금까지 발표되지 않은 새로운 기술혁신형 무증자 당화법으로서 그 실용화를 위한 기초연구가 요망되고 있다. 분쇄마찰매체에 의한 생전분 당화촉진 mechanism의 규명은 당화촉진 현상의 이해 뿐만 아니라 보다 효율적인 반응장치 (bioattritor)의 개발에 필요한 필수적인 연구과제이다.

분쇄마찰매체 함유반응계에서 생전분의 효소당화가 촉진되는 그 원인을 다음 몇가지로 유추할 수 있다. 첫째 분쇄마찰매체의 물리적 충격에 의하여 전분의 미세결정구조 (microcrystalline structure)가 파괴되어 생전분의 효소당화가 촉진되는 경우, 둘째 물리적 충격으로 전분입자에 균열이 생기고 그 틈으로 물분자가 스며들어 일어나는 전분입자의 구조

적 팽윤(swelling)에 의한 당화촉진, 세제 분쇄마찰매체 상호간의 마찰에 의해 발생될 수 있는 교반열에 의한 전분의 호화와 이에 따른 전분의 구조변형에 의한 당화촉진, 네째로는 분쇄마찰매체에 의하여 전분입자가 작은 입자로 붕괴(fragmentation)되고 효소와 결합할 수 있는 표면적이 증대되고 이에 따른 당화촉진 등을 들 수 있다.

본 연구의 목적은 분쇄마찰매체 반응계에서 생전분의 효소당화가 촉진되는 mechanism을 생전분의 구조적 측면에서 규명함에 있다. 따라서 위에서 유추한 당화촉진 mechanism의 가능성과 상대적 중요성을 검토하였다. 이 연구는 불용성 기질인 생전분의 효소분해 mechanism의 이해 뿐만아니라 보다 효율적인 무증자 당화법의 개발에 필요한 기초적 자료가 된다.

재료 및 방법

사용 전분

시판 옥수수전분(corn starch, 풍진화학)을 주 기질로 사용하였으며, 비교를 목적으로 감자전분(potato starch, Hayashi 1급)과 고구마전분(sweet potato starch, Hayashi 1급)도 병용하였다.

사용 효소

효소는 현재 국내 곡산 회사에서 HFCS 제조 및 주정회사에서 전분질 당화에 사용하고 있는 상업용 효소를 사용하였다. 전분 액화효소는 Taka Therm L-34D (Miles) 으로서, soluble protein 함량은 188mg/ml 이고, 효소역가는 8,100 IU/ml 이었다. 당화효소는 Diazyme L-30D (Miles) 이었으며 soluble protein 함량은 303 mg/ml 이고 효소역가는 11,000 IU/ml 이었다¹². 상기 당화 및 액화효소를 그 혼합비가 6:4가 되도록 혼합하여 사용하였다.

분쇄마찰매체

분쇄마찰매체는 직경이 3 mm인 유리구(glass bead)로서 비중은 2.54, void space는 0.37이었다.

분쇄마찰매체 함유반응계에서 효소당화 및 교반 방법

전분의 무증자 당화는 먼저 corn starch 15g과 0.05 M citrate buffer (pH 3.8) 50 ml를 250 ml 삼각 플라스크에 혼합하였다. 혼합액의 용적은 68 ml 로 증가하였으며, 이 현탁액의 전분농도는 22.5% (w/v)에 상당된다. 이 전분 현탁액에 분쇄마찰매체인 유리구를 20 g 혼합한 후 액화효소(Taka Therm L-34 D) 0.1 ml와 당화효소(Diazyme L-30 D) 0.12 ml를 넣고 항온진탕장치(회전운동, 진폭 3 cm)에서 250 rpm의 교반속도로 교반시키면서 50°C에서

당화시켰다. 효소당화 경우와 비교하기 위하여 경우에 따라 효소 첨가없이 위와 같은 방법으로 교반하면서 시료를 채취하였다.

채취된 시료는 물에 swollen된 상태를 유지하고 또 건조시 일어나는 전분응집을 방지코져 환류장치에서 methanol과 acetone으로 solvent drying시킨 후 P₂O₅로 충전한 진공 데시케이터에 보관하였다¹⁵.

당 분석

포도당은 효소적 방법인 PGO (Peroxidase Glucose Oxidase-o-paranisidine, Sigma Kit 510 A)¹⁶ 법으로 선택적으로 정량하였으며, 환원당은 DNS (3,5-Dinitro Salicylic Acid)¹⁷법으로 분석하였다.

Infrared Spectrophotometer 분석

IR 분석은 Pye Unicam SP 3-300 (Philips)로 조사하였으며, sample 조제는 methanol과 acetone 으로 탈수시켜 풍건한 P₂O₅가 들어있는 데시케이터에서 건조시킨 생전분분말 10 mg을 KBr 200 mg과 섞어 200 mesh 정도로 마쇄하여 시료로 하였다. 기계사용 조건은 scan time은 7 min, response 2, %T E-XP는 250%, %T back off는 994의 조건에서 파장 4,000 cm⁻¹에서 600 cm⁻¹까지 측정하였다.

X-ray Diffraction

회절도는 X-ray diffractometer (Rigaku, Japan)을 사용하였다. Sample charge는 powder method로 하였으며, target으로는 Cu(K α)를 사용하였다. Dispersion slit 1°, receiving slit 0.3 mm, time constant는 2로 count range 800c/sec의 조건으로 회절각도 5°에서 30°까지 주사하면서 측정하였다.

현미경적 관찰

Solvent drying시킨 전분분말을 glycerol:water의

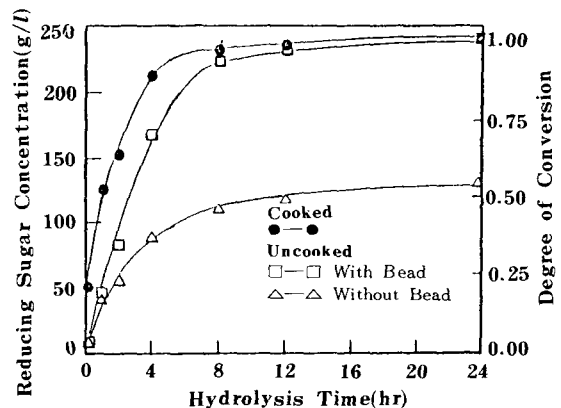


Fig. 1. Enzymatic hydrolysis of uncooked corn starch in an agitated bead system; 22.5% (w/v), 4.4 ml/l mixed enzyme, 400 g/l glass bead, 250 RPM, 50°C.

비가 1:1 되는 용액에 현탁시킨 후 optical microscopy로 400배 확대하여 촬영하였다.

결과 및 고찰

분쇄마찰매체 반응계를 활용한 전분의 무증자 효소당화 양상

분쇄마찰매체 반응계에서 생전분의 효소당화 양상을 분쇄마찰매체를 함유하지 않은 통상의 생전분 효소분해의 경우와 포도당 생성량을 기준으로 비교한 결과는 Fig. 1과 같다.

생전분에 분쇄마찰매체인 bead를 첨가할 경우에는 당화가 현저히 촉진되어 대부분의 당화작용이 초기 수시간내에 신속히 진행됨을 알 수 있다. 반응속도는 bead 첨가하지 않은 비교군에 비하여 현저히 증가하였고 당화율의 경우도 4시간 이후에는 첨가한 생전분의 75%가, 8시간 후에는 92%가 당화되었다. 반면, 분쇄마찰매체를 첨가하지 않은 무증자 당화군은 당화속도가 매우 낮고 또 당화율도 24시간 경과후 60%라는 낮은 결과를 나타내어 생전분 무증자 당화의 한계성을 잘 보여주고 있다. 또한 증자법으로 당화시킨 결과도 비교를 목적으로 아울러 표시하였으며, 이 경우에는 전분에 먼저 액화효소만을 첨가하여 100℃에서 30분간 증자하여 호화와 동시에 액화시킨 후 50℃로 냉각시키고 이 전분 액화액에 당화효소를 첨가하여 당화를 시켰으며, 이때를 당화개시 시간으로 하였다. Bead 첨가군을 증자군과 비교할 때도 당화속도 및 당화율에서 유사한 수준에 있음을 알 수 있다. 증자군의 경우 반응 초기에 포도당 생성량이 다소 높지만 이 중 일부는 액

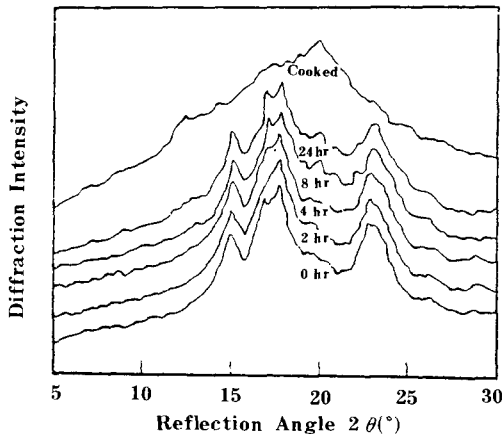


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of uncooked corn starch pretreated with glass bead for different period of times, and that of cooked corn starch.

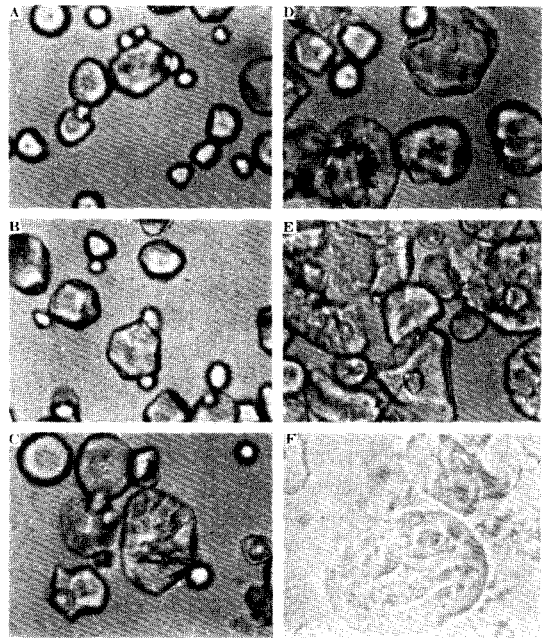


Fig. 3. Microscopic photograph of granular structure of uncooked corn starch subjected to the bead milling for different times, native(A), bead milled for 1 hr(B), 2 hr(C), 4 hr(D), 8 hr(E), and that of cooked starch(F).

화 과정에서 생성된 것으로서 액화과정과 그 후의 냉각과정에 소요되는 시간을 고려한다면 분쇄마찰매체함유 무증자군과의 사이에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

분쇄마찰매체의 기계적 충격의 전분입자의 미세 결정구조(microcrystalline structure)에 미치는 영향

분쇄마찰매체의 물리적 충격이 생전분의 미세 결정구조(microcrystalline structure)에 미치는 영향을 검토하기 위하여 젖은 상태의 생전분에 bead를 첨가하고 250 rpm의 속도로 24시간까지 교반하여 분쇄 및 마찰효과를 주면서 경시적으로 시료를 취하여 생전분의 X-ray 회절패턴의 변화를 측정한 결과는 Fig. 2와 같다.

본 실험에서 사용한 corn starch는 X-ray diffraction의 2θ 각도가 15.3°, 17.2°, 18.1°, 23.2°일 때 강한 peak를 보였으며, 이 전분을 가열호화시켰을 경우 모든 peak는 거의 소실되었고 20°에서 약한 peak를 보였다. 24시간이라는 장시간동안 분쇄마찰매체를 혼합하여 효소첨가 없이 bead milling한, 생전분의 X-ray 회절모양은 bead milling하지 않은 비교군과 비교할때 큰 차이가 발견되지 않았다. 반

Table 1. Water binding capacity of bead milled uncooked and cooked corn starch.

Starches	Water Binding Capacity
Uncooked Starch	
Bead milled 0 hr	0.72
" 2 hr	1.02
" 4 hr	1.31
" 8 hr	1.76
" 24 hr	2.02
Cooked Starch	4.44

면 증자균과는 큰 차이를 보여 대조적이었다. 이는 본 실험에서 사용하고 있는 조건의 교반강도 하에서 전분의 미세구조는 분쇄마찰매체와의 충돌에 의하여 파괴되지 않음을 나타낸다. 다시 말하면 분쇄마찰매체 함유 반응계를 활용할 경우에는 본실험 조건과 같은 결정구조 파괴를 수반치 않는 강도의 기계적 충격으로도 충분한 당화촉진 효과를 얻을 수 있음을 나타낸다.

분쇄마찰매체가 생전분의 입자구조 (granular structure)에 미치는 영향

분쇄마찰매체의 기계적 충격이 생전분의 입자구조에 미치는 영향을 검토하기 위하여 생전분에 효소를 첨가하지 않고 bead만을 첨가하여 8시간 동안까지 교반분쇄마찰시킨군과 가열 호화시킨 증자균의 전분입자의 구조변화를 현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 3와 같다.

Bead를 첨가하여 교반시킨 생전분 입자의 경우 fragmentation 현상은 별로 관찰되지는 않았다. 그러나 전분입자는 분쇄마찰개시 2시간 전후부터 팽윤 (swelling) 되기 시작하였으며, 8시간 경과후까지 급속히 팽윤이 진행되었다. 이때 전분입자의 직경은 약 2.5배 정도 증대되었으며 8시간 이후에는 완만히 팽윤이 진행되었다. Bead를 첨가하지 않은 경우의 생전분 입자의 구조는 24시간 경과후에도 큰 변화가 없었다. 반면 가열호화시킨 생전분 입자는 크게 팽윤되었으며, 그 형태는 무정형이었다.

이와 같은 팽윤현상은 생전분의 효소당화 촉진과 밀접한 관계를 갖을 것으로 사료된다. 따라서 전분입자의 팽윤된 정도를 비교하고자 전분입자의 보수용량 (water binding capacity)를 측정 한 결과는 Table 1과 같다.

전분의 보수용량측정 방법은 먼저 bead milling한 군, control 군, 그리고 증자하여 호화팽윤시킨 군을 methanol과 acetone으로 탈수 건조시켜 물에 2시간 동안 침지시킨 후 3,500g로 15분간 원심분리하여

상등액을 제거한 후 수분흡수에 의하여 증가된 전분의 무게를 측정하여 결정하였다.

Bead를 첨가하여 milling한 군은 bead를 첨가하지 않은 control 군에 비하여 water binding capacity가 현저히 증가되었으며, 최고 2.5배 정도까지 증가되었다. 그러나 이 경우에도 증자균의 보수용량과 비교할 때는 약 절반수준으로 낮았다. 이와 같은 기계적 충격에 의한 생전분의 팽윤은 아밀로스와 아밀로 펙틴으로 뭉쳐진 전분입자의 층 구조에 균열이 생기고 그 사이로 물분자가 스며들어 보다 연한 입자로 변하여 팽윤되는데 기인한다. 다시 말하면 분쇄마찰매체의 기계적 충격은 전분입자의 fragmentation을 일으키는 정도의 강도는 아니며 단지 입자의 외부에 균열을 만들고 그 사이로 물분자가 스며들어 구조적으로 전분입자를 팽윤시키는 정도의 강도임을 알 수 있다. 또한 가열호화 전분의 경우에도 전분입자의 팽윤이 일어나지만 그 모양은 쭉그러진 무정형적 구조를 갖고 있어 분쇄마찰에 의한 팽윤과는 형태상 큰 차이가 있었다.

분쇄마찰매체의 물리적 충격으로 팽윤된 전분과 가열호화에 의하여 팽윤된 전분의 IR pattern의 비교

생전분 입자는 분쇄마찰매체의 기계적 충격에 의하여 구조적으로 팽윤되는데, 이러한 팽윤 현상이 분쇄마찰의 마찰시 발생하는 열에 전분의 α-전분화와 유사한 형태의 팽윤인지 또는 가열호화된 전분과는 다른 형태의 팽윤인지를 규명하기 위하여 bead를 첨가하여 교반한 군, 증자균, 그리고 bead를 첨가하지 않은 비교군의 infrared absorption pattern을 파장 4,000-600 (cm⁻¹)까지 변화시키면서 측정 한 결과는 Fig. 4와 같다.

가열호화된 전분은 파장 3,200-3,500 (cm⁻¹)사이의 -OH group peak 증가와 1,400 및 1,100-1,000사이의 peak 증가등 비교군에 비교할 때 peak pattern의 변화는 없고 비교적 단순히 특정한 peak 증

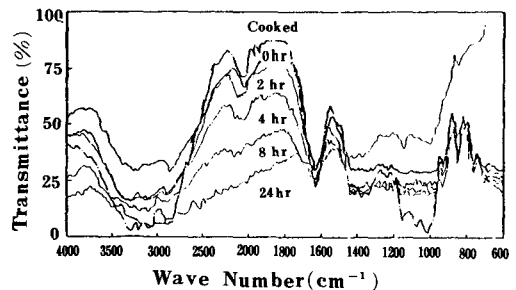


Fig. 4. Infrared spectrophotogram of uncooked starch agitated with bead for different period of times, and that of cooked starch.

가만을 나타냈다. 그러나 bead 첨가군은 시간이 경과됨에 따라 peak는 3,600-1,700 (cm⁻¹) 까지 broad 하게 증가현상을 나타내고 그 이하는 현저히 감소함을 볼 수 있다. 특히 1,400-1,200 (cm⁻¹)의 peak 감소는 c-o-c의 glucosidic bond가 파괴되는데 기인된다고 볼 수 있으며 3,600-2,800 (cm⁻¹)의 peak 증가는 분자내의 glucosidic bond가 깨어지면서 -OH group이 생성되는데 기인된다고 생각된다. 일반적으로 IR spectrophotogram으로 polymer 형태인 starch의 구조를 정확히 설명하기는 어렵다. 그러나, 위 결과를 종합해 보면 가열호화 전분의 경우는 -OH group의 peak만이 증가하지만 bead 첨가군의 경우 peak pattern은 가열호화 경우와 전혀 다르며, 이 경우에도 3,000-1,700 (cm⁻¹)의 peak가 두드러진다. 따라서 가열호화에 의한 팽윤과는 상이한 mechanism에 연유함을 알 수 있다.

분쇄마찰매체로 전처리하여 팽윤시킨 생전분의 효소당화

Corn starch에 bead를 첨가하여 용액상태로 24시간 동안 250 rpm으로 교반 마찰시켜 생전분을 전처리하여 팽윤시킨 후 이를 기질로 하여 bead 첨가없이 효소당화시킨 군, 생전분에 bead를 첨가하여 효소당화시킨 군, bead를 첨가하지 않고 생전분을 효소당화시킨 군을 비교한 결과는 Fig. 5와 같다.

그림에서와 같이 생전분을 bead milling하여 전처리한 군과 bead를 첨가하지 않은 control군을 비교할 때 전처리한 군은 당화율이 훨씬 증가하였다. 이는 glass bead에 의해서 팽윤된 생전분은 보다 쉽게 효소에 의해 분해가 된다. 그러나 이러한 전처리된 생전분의 당화율은 bead를 첨가하여 효소당화시킨 군에 비하여 열세하였다. Fig. 5의 결과로 미루어

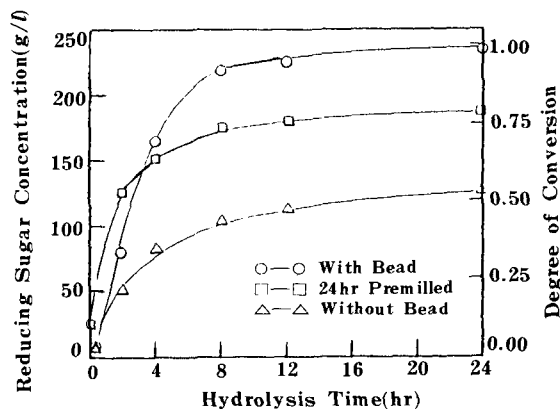


Fig. 5. Comparison of the hydrolysis curves of various starches; uncooked with bead, uncooked without bead, and 24 hr pre-bead milled hydrolyzed without bead.

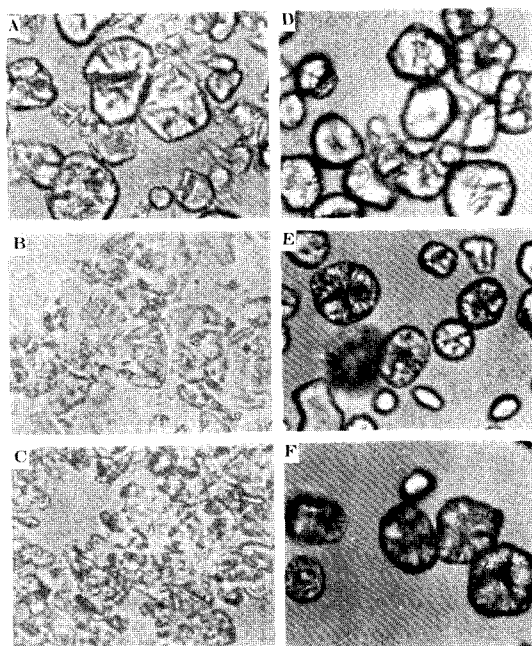


Fig. 6. Microscopic photograph of uncooked starch hydrolyzed in an agitated bead reaction system; 2 hr(A), 4 hr(B), 8 hr(C), and which was hydrolyzed without bead 2 hr(D), 4 hr(E), 8hr(F).

보아 분쇄마찰매체 반응계에서 생전분 효소분해 촉진 현상은 단지 팽윤과 같은 전분질 입자의 구조적 변형에만 기인되는 것까지는 않으며 효소와 bead의 상호 보완 작용으로 이루어짐을 알 수 있다.

분쇄마찰매체 함유한 효소반응계에서 생전분입자의 fragmentation

생전분의 효소당화 촉진에 미치는 효소와 bead의 상호보완적 작용을 검토하기 위하여 bead 첨가군과 bead를 첨가하지 않은 비교군에 효소를 각각 첨가하고 교반당화 시키면서 시료를 경시적으로 취하여 전분입자의 구조변화를 현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6 (A), (B), (C)에서 관찰되는 바와 같이 bead 첨가군은 반응 2시간 전후부터 전분입자의 fragmentation이 현저하게 진행되기 시작하였으며, 반응 4시간 후에는 거의 모든 생전분 입자가 작은 조각으로 분쇄되었다. 그러나 bead를 첨가하지 않은 비교군의 생전분 입자는 효소에 의해서 침식은 당하지만 Fig. 6 (E), (F), (G)에서와 같이 fragmentation은 별로 일어나지 않고 전분입자 형태는 그대로 유지하여 bead 첨가군과 큰 대조를 이루었다. 생전분 당화시 효소와 분쇄마찰매체의 상호보완 작용은 Fig. 7에서와 같이 생전분이 효소에 의하여 다

공질 입자로 침식되고 또한 침식된 전분입자는 분쇄마찰매체의 충격에 의하여 쉽게 분쇄되어 좀 더 작은 입자로 깨어짐으로써 효소접촉 면적이 현저히 증대되어 당화가 촉진됨을 알 수 있다.

분쇄마찰매체 반응계에서 각종 생전분의 무증자 당화

전분은 그 종류에 따라 미립입상 구조가 현저히 다르다. 분쇄마찰 반응계에서 각종 전분의 효소당화도를 비교하고자 옥수수전분, 감자전분 그리고 고구마전분을 기질로하여 실험하였다. 이때 전분농도는 39% (w/v)라는 고농도로 혼합하였고, 전분액화 및 당화효소(4:6)의 혼합액 8.5 ml/l, 유리구 500 g/l을 첨가하여 280 rpm으로 교반하면서 50°C에서 당화시켰다. 각종 전분의 당화곡선은 Fig.8과 같다.

무증자 옥수수전분과 고구마전분의 당화율은 매우 높은 반면 감자전분은 현저히 낮아 대조적이었다. 전분종류별 당화율의 차이는 사용효소의 특성에 따라 크게 영향을 받게 되지만 다른 중요한 요인으로 전분입자의 구조적 양상과도 관련된다고 본다. 전분의 종류에 따라 전분입자의 모양과 경도는 물론, 전분농도 첨가가능량, 무증자 전분현탁액의 점도등 물리적 특성이 결정된다. 또한 전분입자가 쉽게 효소작용을 받게되기 위해서는 위에서 고찰한 바와 같이 분쇄마찰매체에 의하여 쉽게 구조적으로 팽윤될 수 있을 뿐만 아니라 효소와 상호보완 작용을 받아 쉽게 fragmentation되어져야 한다. 생전분의 입상구조를 살펴보면 옥수수전분 입자나 고구마전분 입자는 표면이 주름잡히고 무정형인데 반하여 감자전분 입자는 표면이 매끈하며 타원형 형태로



Fig. 7. SEM photograph of uncooked corn starch exposed to glucoamylase attack⁽⁷⁾.

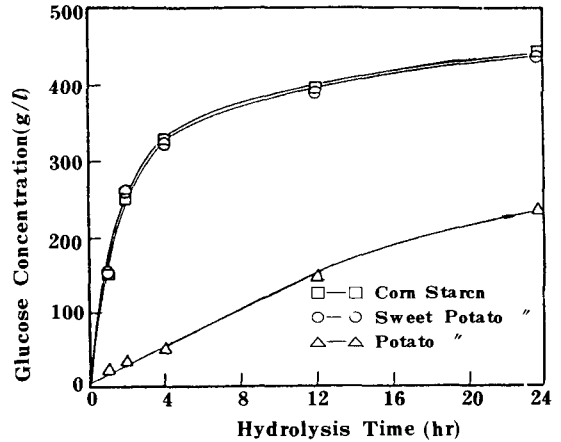


Fig. 8. Saccharification of uncooked corn, sweet potato, and potato starches in an attrition coupled reaction system; 39% (w/v) slurry, 8.8 ml/l mixed enzyme, 600 g/l glass bead, 280 RPM, and 50°C.

되었다⁽⁸⁾. 표면이 주름잡히고 무정형인 구조를 갖는 옥수수, 고구마전분의 당화율이 높은 이유는 불용성 기질인 생전분의 효소당화에는 먼저 복합체를 형성할 수 있는 가용입자 표면이 클 뿐만 아니라 이와 같은 형태의 전분입자는 bead에 비하여 보다 쉽게 swelling 되고 또 fragmentation 될 수 있는 구조를 갖고 있다고 유추된다. 또한 감자전분의 경우 당화율이 저조한 이유는 입자표면이 매끈하며 둥근 형태를 취하고 있어, 이러한 전분구조는 bead에 의해서 swelling 되고 fragmentation되기 어려운 전분구조라 생각된다. 일반적으로 전분입자의 표면이 매끈하고 둥근형태보다는 주름잡히고 무정형인, 또 전분이 용액중에 잘 현탁되고 유동성이 높고 또한 점도가 낮은 특성을 갖춘 전분이 마찰반응계 무증자 당화에서 적합한 전분이라 유추되며 이에 대한 보다 면밀한 검토가 요망된다.

요 약

분쇄마찰매체에 의한 무증자 생전분의 효소당화 촉진 mechanism을 전분의 구조적 측면을 중심으로 규명하였다. 당화촉진 효과를 줄 수 있는 수준의 분쇄마찰매체의 기계적 교반운동은 생전분의 미세 결정구조(microcrystalline structure) 파괴는 물론 전분입자를 붕괴(fragmentation)시키는 효과도 없었다. 생전분 입자구조 변화의 중요한 특징은 입자구조의 팽윤(swelling) 현상으로써 팽윤된 전분은 보수능력이 2.5배 정도까지 증가되었다. 이와 같은 기계

적 충격에 의한 전분입자의 팽윤현상은 가열호화에 의한 α -전분화에 따른 팽윤현상과는 상이하였다. 생전분을 장시간 bead-milling 하여 전처리하며 팽윤시킨 생전분은 당화가 촉진되었으나 bead와 효소를 동시에 첨가시킨 경우의 당화속도와 수율에는 미치지 못하였다. 분쇄마찰 반응계에서 효소를 첨가 무증자 전분을 당화시킬 경우에는 생전분입자 2시간 전후하여 수많은 입자로 fragmentation 되었다. 생전분의 당화촉진 mechanism은 분쇄마찰매체에 의하여 전분입자가 균열팽윤되고 이 팽윤된 생전분은 보다 쉽게 효소작용을 받아 침식되며 이 침식된 전분입자는 분쇄마찰매체에 의하여 더욱 가속적으로 fragmentation 되어 효소작용이 촉진된다고 판단된다. 옥수수, 감자, 고구마 등 각종 생전분은 그 종류에 따라 분쇄마찰 반응계를 활용한 무증자 당화에 많은 차이가 있었으며 이를 전분입자의 구조와 연결시켜 고찰하였다.

사 사

본 연구는 1984-85년도 한국과학재단 연구비의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Ueda, S., C.T. Zenin, D.A. Monteiro, and Y.K. Park: *Biotechnol. Bioeng.* **23**, 291 (1981)
2. Matsumoto, N., O. Fukushi, M. Miyanaga, K. Kakihara, E. Nakajima, and H. Yoshizumi: *Agric. Biol. Chem.*, **46**(1), 1549 (1982)
3. 이용현, 조구형: 한국산업미생물학회지 **14**(1), 29 (1986)
4. 이용현, 조구형: 한국산업미생물학회지, **14**(5), 399 (1986).
5. Merchant, M.V.: *TAPPI*, **40**, 771 (1957)
6. Sigma Cooperation: Sigma Diagnostics Glucose Procedure No. 510, Sigma (1984)
7. Miller, G.L.: *Anal. Chem.* **31**, 426 (1959)
8. Whistler, R.L., J.N. Bemiller and E.F. Paschall: *Starch (Chemistry and Technology)*, 2nd ed., Academic Press, New York, p. 688 (1984)
9. Whistler, R.L., J.N. Bemiller and E.F. Paschall: *Starch (Chemistry and Technology)*, 2nd ed., Academic Press, New York, p. 683 (1984)