

팽윤 Extrusion 전분을 기질로 한 불균일상 효소반응계에서의 Maltose 생성 반응 특성

김동선 · 박동찬 · 조명진 · 이용현*

경북대학교 자연과학대학 유전공학과

Characteristics of Maltose Formation in Heterogeneous Enzyme Reaction System Utilizing Swollen Extrusion Starch as a Substrate

Kim, Dong-Sun, Dong-Chan Park, Myung-Jin Cho and Yong-Hyun Lee*

Department of Genetic Engineering, College of Natural Sciences
Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract — The production of maltose utilizing swollen extrusion starch seems to have many technical advantages, such as, high reaction rate and high yield, production of high purity concentrated maltose, and low energy consumption, over the conventional method utilizing liquefied starch. The characteristics of maltose formation in heterogeneous enzyme reaction system containing swollen extrusion starch was investigated using fungal α -amylase. The influence of extrusion conditions on structure of extruded starch, such as, degree of gelatinization, water absorption index, and water solubility index was analyzed. The relationship between the structural features and maltose forming reaction was investigated, and the result was analyzed in terms of surface reaction of insoluble extruded swollen starch. The characteristics of maltose formation from swollen extrusion starch was compared using endo-type fungal α -amylase and exo-type β -amylase, and the structural transformation of extruded starch was also observed to clarify the reaction mechanism.

Maltose는 저흡습성, 열안정성, 결정화 저해성, 혈중에서의 저분해성 등 기능적으로 독특한 특성으로 인하여 식품산업에서 널리 사용되고 있는 전분유래의 감미료이다. 현재 maltose 생산에는 전분을 증자액화시켜 dextrose equivalent(DE) 12~20 정도로 가용화시킨 후 각종 maltose 생산효소를 첨가하여 maltose를 제조하는 증자액화법이 이용되고 있다. 이와 같은 증자액화법은 전분의 증자액화에 많은 에너지가 소모되고, maltose의 농도 및 순도가 낮고, 또한 maltose의 분리정제가 어려운 등 결점이 있다.

이와 같은 결점을 개선코저 저자들은 전보(1)에서 전분을 extrusion 처리하여 얻어진 팽윤 extrusion 전분을 기질로 한 새로운 maltose 생산법에 관한 연구를 수행한 바 있다. 반응조건을 최적화한 결과 maltose 생산에 적합한 extrusion 전분의 호화도는 60~70%이고, 생산효소인 fungal α -amylase의 첨가량은

전분 1g당 400 unit였고, 최적 반응시간은 12시간이었다. 또한 전분을 700 g/l(w/v)와 같은 고농도로 첨가하여 고농도의 maltose 생산이 가능함을 밝혔으며, 또한 전분을 fed-batch식으로 첨가하여 24시간 반응 후 maltose 농도 및 순도를 각각 465 g/l, 70%(w/w)까지 증가시킬 수 있음을 보고한 바 있다(1). 또한 불용성 extruded 전분을 기질로 한 maltose 생산법의 효용성을 기존의 액화전분을 기질로 한 공정과 비교 검토한 바 있다.

Maltose 생산효소는 α -amylase와 β -amylase계로 구분된다. α -amylase로 대표적인 것은 곰팡이 유래의 endo형 효소로서 전분을 maltose와 maltotriose로 분해하며, *Aspergillus oryzae* 유래의 fungal α -amylase가 현재 산업적으로 주로 사용되고 있다. 한편 β -amylase는 주로 식물에서 추출되는 exo형 효소로서 전분의 비환원성 말단에서 maltose를 유리시키며, *Bacillus megaterium*(2), *B. cereus*(3), 그리고 *Streptomyces sp.*(4)등과 같은 미생물 유래의 β -amylase도 알려져 있다.

본 연구는 전보(1)의 후속 연구로서, 먼저 extrusion

Key words: Reaction characteristics, maltose production, swollen extrusion starch, fungal α -amylase, heterogeneous enzyme reaction system

*Corresponding author

조건이 전분의 구조에 미치는 영향을 검토하였고, 전분의 구조적 특성과 maltose 생산과의 상관관계를 규명하였으며, 팽윤 extrusion 전분으로부터의 당 생성양상을 endo 및 exo형 amylase를 이용하여 표면 효소반응의 관점에서 검토하였다. 또한 maltose 생성 반응에 따른 전분의 구조변화를 검토함으로써 불용성 extrusion 전분을 기질로 한 불균일상 효소반응계에서의 maltose 생성반응의 특징을 규명코저 연구하였다.

재료 및 방법

사용효소

Aspergillus oryzae 유래의 산업용 효소인 Fungamyl (1,100 unit/mg protein, fungal α -amylase, Novo Co.)를 주로 사용하였으며, 또한 고구마 유래의 분리정제된 β -amylase(4,470 unit/mg protein, Sigma Co.)도 함께 사용하였다. 효소활성과 효소액 중의 soluble protein의 함량은 전보(1)에서의와 같은 방법으로 측정하였다.

사용전분

옥수수 전분(corn starch, 수분함량 12%)을 사용하였고, 액화전분은 옥수수 전분을 전보(1)에서의와 같은 방법으로 DE 7~14가 되도록 액화시켜 사용하였다.

Extruder의 구조

Extruder는 자가발열형 single screw extruder로서, 구동장치, 원료사입장치, barrel, screw, 사출장치, 그리고 절단이송장치로 구성되었다. Barrel의 직경은

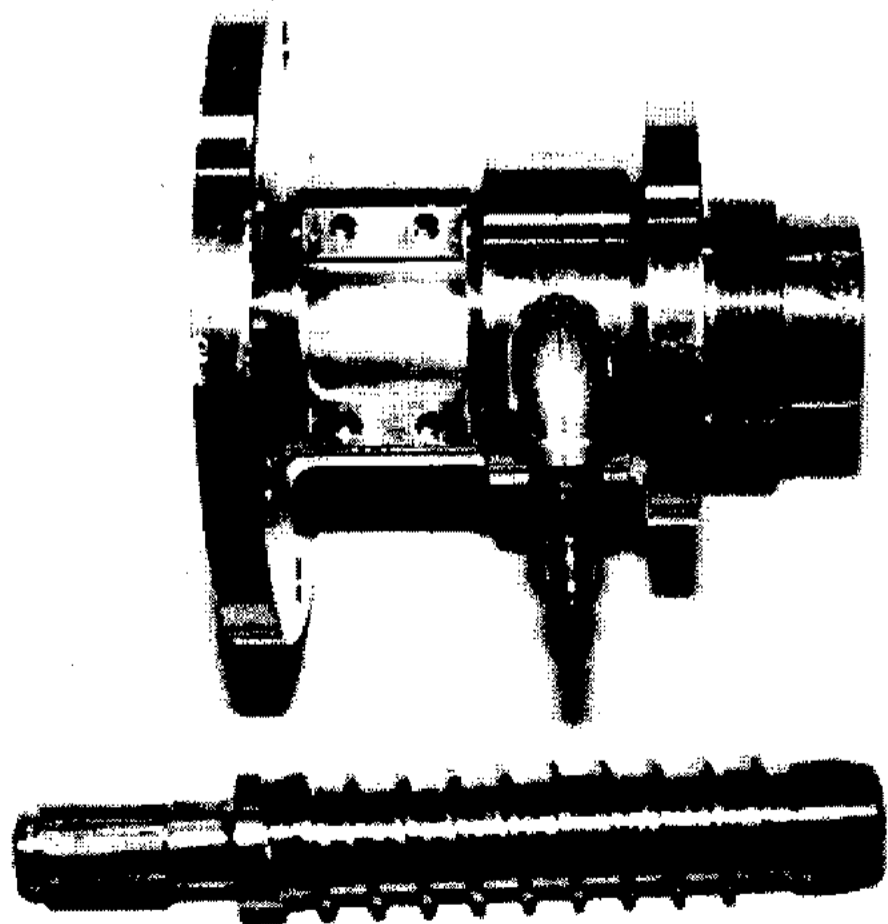


Fig. 1. Photogram of barrel and screw of extruder.

36.0 mm, 또한 screw의 직경은 30.0 mm, 길이는 243 mm로서 L/D(length/diameter)의 비율은 8.1로서 전분의 팽화(puffing)에 적합하도록 제작되었으며, barrel과 screw의 모양은 Fig. 1과 같다.

전분의 extrusion 처리

옥수수 전분을 수분함량이 12, 15, 18, 20, 그리고 25%가 되도록 평형화시킨 후 single screw extruder에서 screw와 사출구의 간격을 2.7 mm로 유지하면서 원료를 300 g/min 속도로 사입하면서 extrusion시켰다. 경우에 따라 screw 회전속도를 150, 200, 250, 그리고 300 rpm으로 변화시켰으며, 얻어진 extrusion 전분을 건조한 후 분말화하여 사용하였다.

호화도 측정

Wooton 등(5)의 방법에 따라 전분분말 시료를 20 g/l로 현탁하고, 3,000×g에서 10분간 원심분리하여 얻은 상등액을 100배 희석한 후, iodine 용액(4% KI, 1% I₂) 1%(v/v)를 첨가하여 600 nm에서 흡광도(A)를 측정하였다. 또한 전분을 0.5 M KOH 용액으로 처리하여 완전 호화시킨 전분질의 흡광도(A₀)를 측정하였으며, 호화도는 (A/A₀)×100의 비로부터 얻었다.

수분 흡수도 지수(WAI) 및 수분 용해도 지수(WSI) 측정

수분 흡수도 지수(water absorption index; WAI)와 수분 용해도 지수(water solubility index; WSI)값은 Anderson(6)의 방법에 따라 전보(1)에서의와 같은 방법으로 측정하였다.

전분입자 미세구조의 관찰

생전분, extrusion 전분, 그리고 미반응 잔류 전분 입자를 ion coater(IB-5, Eiko Co.)를 이용하여 백금으로 coating한 후, scanning electron microscope(SEM, ISI-SS 130, Asahi Co.)로 구조를 관찰하였다.

Maltose 생성 효소반응

생전분 및 각종 extrusion 전분을 0.05 M acetate buffer(pH 5.5) 50 ml에 농도별로 현탁한 후 fungal α -amylase 400 unit/g starch를 첨가하여 항온 진탕장치에서 250 rpm, 50°C에서 반응시켰으며, 경우에 따라 상기 반응조건을 변화시켰다. 액화전분을 이용한 maltose 생성반응은 전보(1)에서의와 같이 전분을 DE 7~14로 액화시킨 후 위와 동일한 조건에서 반응시켰다.

Maltose 및 생성당 분석

Maltose의 정량 및 생성당 조성은 HPLC(Gilson Co.)로 분석하였다. Column은 Cosmosil 5-NH₂ column(Nacalai Technique Co.), mobile phase는 65대 35의 acetonitrile/water, mobile phase의 유속은 1 ml/min, 그리고 당검출은 RI detector를 사용하였다.

결과 및 고찰

Extrusion 처리조건에 따른 전분의 구조변화

Extrusion 조건에 따른 전분의 구조변화를 검토하기 위하여 원료 생전분의 수분함량을 12에서 25%로 평형화시키고, screw 회전속도를 각각 150에서 300 rpm로 변화시키면서 extrusion 전분의 호화도를 측정하였다.

전분 호화도 : Fig. 2는 처리조건에 따른 호화도의 변화를 나타낸 것으로 다양한 호화도의 extrusion 전분을 얻을 수 있었으며, 호화도가 28.3~92.9%까지 넓게 분포하였다. 또한 일정한 screw 회전속도하에서 호화도는 원료의 평형수분함량이 증가됨에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 이는 Gomez와 Aguilera(7)의 결과에서와 같이 평형수분함량이 낮을 경우 전분의 응밀림에 의한 마찰열 발생이 적어 extrusion 온도가 낮아짐으로 충분한 호화가 이루어지지 못하였기 때문으로 사료된다.

한편 screw 회전속도의 영향은 평형수분함량이 낮은 12%와 15%일 경우에는 회전속도가 증가할수록 호화도가 증가하는 경향을 보였으며, 높은 값인 25%에서는 회전속도가 증가할수록 호화도는 오히려 감소하였다. 이와 같은 경향은 사용 extruder가 팽화용으로 제작되어 barrel의 길이가 짧아 수분함량이 낮을 경우 회전속도가 증가할수록 강한 응밀림 현상이 일어나고, 따라서 사출구 부위의 온도가 급격히 상

승되어 호화도가 증가되게 되며, 높은 수분함량의 경우에는 응밀림 현상이 감소되어 마찰열 발생이 적어 extruder 내의 온도가 낮게 될 뿐만 아니라 또한 회전속도가 빨라 barrel 내에 체류하는 시간이 짧아 호화가 충분히 진행되지 못하기 때문이다.

Extrusion 조건을 변화시킴으로써 넓은 범위의 팽윤 extrusion 전분을 제조할 수 있었으며, 사용 extruder는 전분의 팽화에 적합한 구조를 갖고 있다고 판단된다.

수분 흡수도 지수 및 용해도 지수 : Fig. 3은 extrusion 조건에 따른 전분 구조변화를 검토하기 위하여, screw 회전속도를 200 rpm으로 고정하고 평형수분함량을 달리하면서 extrusion시켜 얻어진 팽윤 전분의 수분 흡수도 지수(water absorption index; WAI)와 용해도 지수(water solubility index; WSI)를 측정하여 결과를 나타내었다.

전분의 수분 흡수도는 extrusion 전분의 수분 결합력을 나타내는 지수로서 팽윤된 전분분자의 양과 밀접한 관계가 있으며, dextrinization이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내게 된다(6). 또한 수분 용해도는 전분의 용해성 분자의 함량을 나타내는 지수로서 전분 고분자쇄의 분해에 의한 dextrinization이 증가할수록 그 값은 증가하게 된다(8).

수분 흡수도 지수와 용해도 지수는 Fig. 3에서와 같이 원료의 평형수분함량과 밀접한 관계가 있었으며, 수분함량이 낮을수록 수분 흡수도 지수는 감소하였고 용해도 지수는 증가하였다. 이는 Mercier와 Feillet(9)이 관찰한 바와 같이 수분함량이 낮을수록 barrel내

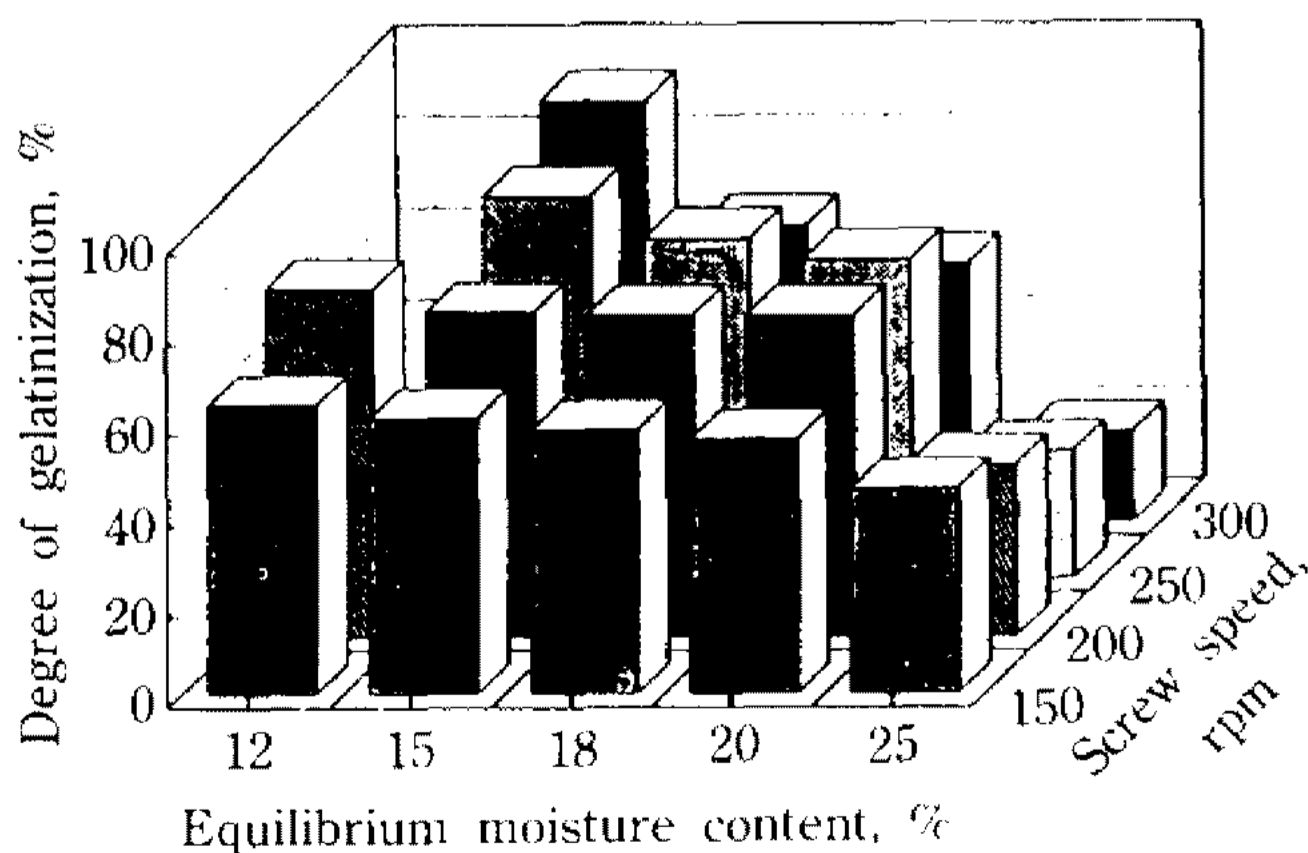


Fig. 2. Effect of equilibrium moisture content of raw corn starch and screw speed of extruder on degree of gelatinization of extrusion starch.

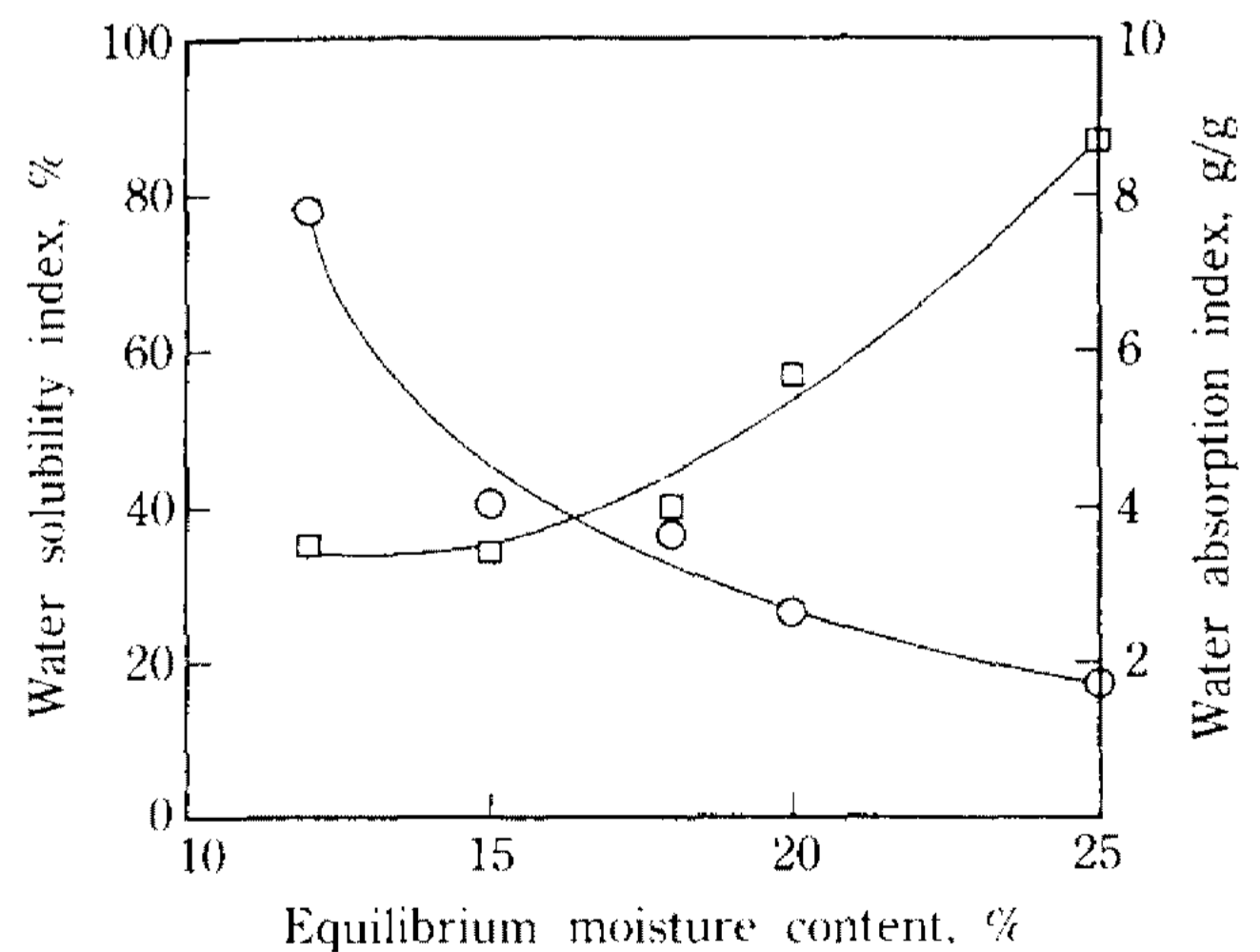


Fig. 3. Effect of equilibrium moisture content of raw corn starch on water solubility index(WSI) and water absorption index(WAI) after extrusion. 200 rpm of screw speed of extruder. ○; WSI(%), □; WAI(g water/g starch)

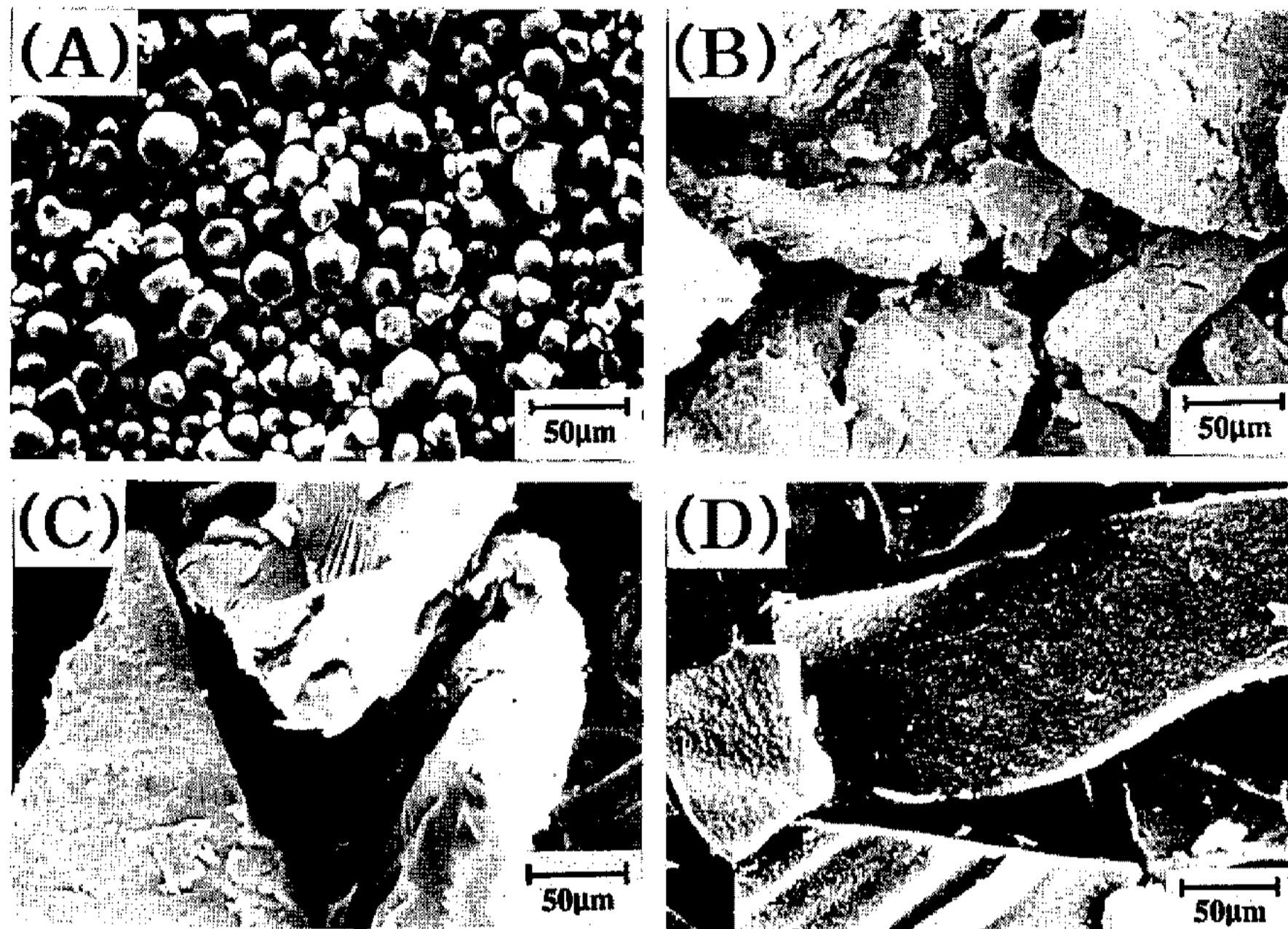


Fig. 4. Scanning electron micrographs of raw corn starch(A), and extruded starch at moisture content of 15(B), 20(C), and 25%(D) at screw speed of 200 rpm.

에서 총밀림에 의한 마찰열로 온도가 상승하고 강한 전단응력이 발생하여 전분이 일부 수용성 dextrin으로 분해되기 때문에 수분 용해도 지수는 증가하고 흡수도 지수는 감소하는 것으로 사료된다.

미세 입자구조 : Fig. 4는 extruder의 screw 회전속도를 200 rpm으로 고정하고 평형수분함량을 15, 20, 그리고 25%로 변화시킨 옥수수 생전분을 처리하여 얻은 extrusion 전분과 생전분의 미세 입자구조를 scanning electron microscope로 관찰한 것이다. 생전분은 표면이 매끄럽고 대체로 둥근형태의 구조를 가졌으며, extrusion 전분은 크게 변형된 무정형으로 입자의 크기가 현저히 증가하였다. 또한 Gomez와 Aguilera(7)가 관찰한 바와 같이 수분함량이 낮을수록 입자표면의 균열이 증가하였으며, 수분함량이 높을수록 입자표면이 비교적 매끄러운 경향을 나타내었다. 이는 수분함량이 낮을수록 barrel 내의 온도와 압력이 높아 외부로 사출될 때 더욱 강한 팽화력이 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

전분의 구조적 특성과 maltose 생성의 상관관계
 팽윤 extrusion 전분의 구조와 maltose 생성과의 상관관계를 규명하기 위하여 호화도가 1.25인 생전분과 여러 조건에서 extrusion시킨 호화도가 28.3에서 92.9%인 extrusion 전분들을 24시간 효소반응시킨 후 생성된 maltose 농도 및 순도를 측정된 결과는 Fig. 5와 같다.

생전분의 경우에는 반응이 거의 진행되지 않아 ma-

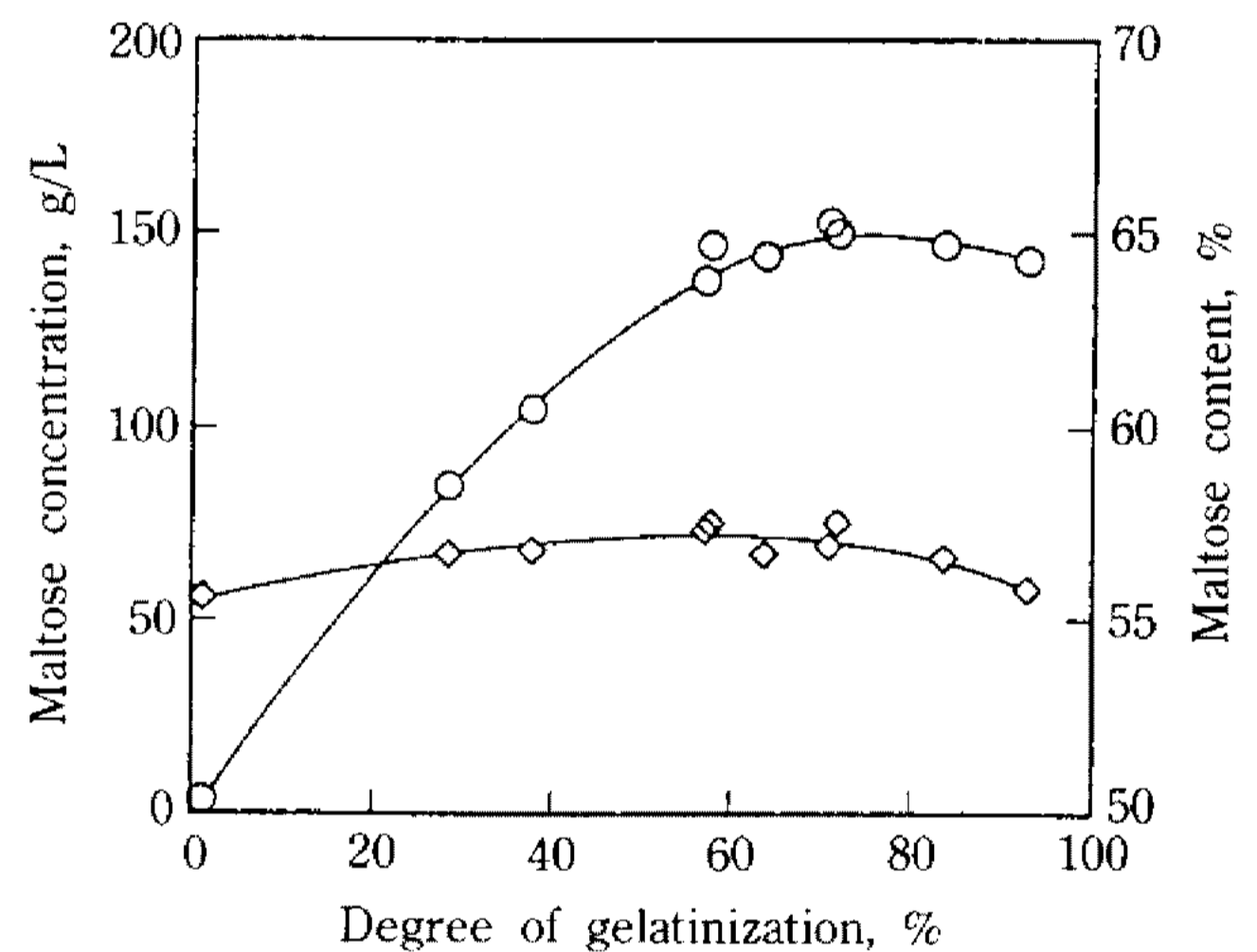


Fig. 5. Maltose concentration and content produced from different degrees of gelatinization of extrusion starch.

Conditions; 300 g extrusion corn starch/L, 40 unit fungal α -amylase/g starch, 0.05 M acetate buffer(pH 5.5), 50°C, 250 rpm, and after 24 hours. ○; maltose concentration, ◇; maltose content

ltose가 4 g/l(w/v) 생성되는데 그쳤다. 그러나 extrusion 전분은 호화도가 증가할수록 비례하여 maltose 농도가 증가하였으며, 호화도가 71.9%일 때 최대값인 153 g/l(w/v)를 보였고, 80% 이상에서는 다소 감소하였다. 호화도가 증가될수록 maltose 생성이 촉진되는 이유는 호화도가 클수록 전분의 팽윤정도가 커 효소작용을 받을 수 있는 표면적이 증대되기 때문이다. 반면 호화도가 80% 이상으로 과다하게 높을 경우에는

반응액 중 용해성 전분이 많을 뿐만 아니라 다량의 수분을 전분입자가 흡수하므로 유동성 수분이 부족하여 maltose 생성반응이 저해받기 때문이다. 따라서 적절한 호화도의 extrusion 전분의 선택은 고농도의 maltose 제조시 고려하여야 할 중요한 과제가 됨을 알 수 있었다.

한편 생성된 당인 maltose, glucose, 그리고 maltooligosaccharides 중 maltose 함량을 표시하는 maltose 순도는 호화도와는 밀접한 관계가 없이 56~57%(w/w) 전후를 유지하였으나 호화도가 80% 이상에서는 다소 감소하는 경향을 보였다. Maltose 농도와 순도를 고려할 때 maltose 제조에 적합한 호화도는 60~70%인 것으로 판단된다.

이와 같은 범위의 팽윤 extrusion 전분을 제조하기 위해서는 extruder의 barrel의 길이가 짧아 puffing에 적합한 구조를 가짐이 바람직하며, 또한 비교적 저평형수분함량인 12~20% 범위와 screw 회전속도 150~200 rpm 조건에서 extrusion 시킴이 적절함을 알 수 있었다.

Extrusion 전분 함유 불균일상 효소반응계에서의 maltose 및 기타 당의 생성양상

Fig. 6은 extrusion 전분(A)과 증자액화전분(B)을 기질로 하여 12시간 반응시키면서 생성된 glucose, maltose, maltotriose, maltotetraose, 그리고 기타 maltooligosaccharides의 농도의 변화를 비교한 결과이다.

팽윤 extrusion 전분을 기질로 한 경우의 가장 큰 특징은 maltose 생성속도가 매우 빠르다는 점으로 반응 1시간 경과 후 maltose 농도는 122 g/l(w/v)에 이르렀으며, 이는 액화전분을 기질로 한 경우에 비하여 1.7배 증가된 수치이다. 또한 반응액 중 축적된 maltooligosaccharides의 양도 적은 특징을 보였다. 반응초기의 maltooligosaccharides의 주 구성당은 maltotriose였고 maltose 생성반응이 진행됨에 따라 감소되었으며, glucose는 반응 2시간 후부터 생성되기 시작하여 소량씩 증가하여 12시간 후에는 17 g/l(w/v)로서 액화전분에 비해 다소 높은 결과를 보였다. 12시간 경과 후의 maltose의 순도는 77%(w/w)였다.

한편 액화전분의 경우는 반응초기 액화과정에서 생성된 maltooligosaccharides가 소량 함유되어 있었다. 반응 1시간 경과 후 maltose 농도는 70 g/l(w/v)였고, maltooligosaccharides의 농도는 152 g/l(w/v)로서 extrusion 전분에 비하여 1.3배 정도 높았으며, 주로 maltotriose와 maltotetraose로 구성되어 있었으며, 반응이 진행됨에 따라 감소하였으나 다량의 maltotriose가 잔류하였다. 반응 12시간 후 잔류하는 maltooligosaccharides의 농도는 80 g/l(w/v)로서 extrusion 전분의 52 g/l(w/v)에 비하여 1.5배 정도 높았으며, maltose 순도는 상대적으로 낮아 65%(w/w)였다.

Extrusion 전분을 이용한 maltose 생성반응은 maltose의 생성속도가 높고 또한 maltooligosaccharides의 축적이 적어 maltose의 순도가 높은 특징을 보였다. 이와 같이 maltooligosaccharides가 다량으로 생성되어 있지 않은 상태에서 반응초기부터 다량의 maltose가 직접 생성되는 현상은 매우 흥미로운 반응특성으로 불용성 extrusion 전분의 구조적 관점과 표면 효소작용의 관점에서 검토가 필요하다.

팽윤 extrusion 전분에 대한 endo 및 exo형 효소의 작용양상 비교

Maltose 생성 mechanism을 규명하기 위하여 본 실험에서 사용한 endo형 fungal α -amylase와 비환원성 말단기로부터 maltose를 유리하는 exo형 β -amylase로 12시간 반응시킨 후 생성된 당조성은 Table 1과 같다. Fungal α -amylase의 경우 maltose 순도는 extrusion 전분의 경우 77%(w/w)로서 액화전분의 65%(w/w)에 비하여 매우 높았다. 또한 exo형인 β -amylase의 경우에도 extrusion 전분의 경우 94%(w/w)로서 액화전분의 87%(w/w)에 비하여 매우 높았으며, 특히 maltooligosaccharides의 함량은 6%(w/w)로서 액화전분의 12%(w/w)에 비하여 매우 적었다.

이와 같이 extrusion 전분의 경우 maltose의 순도가

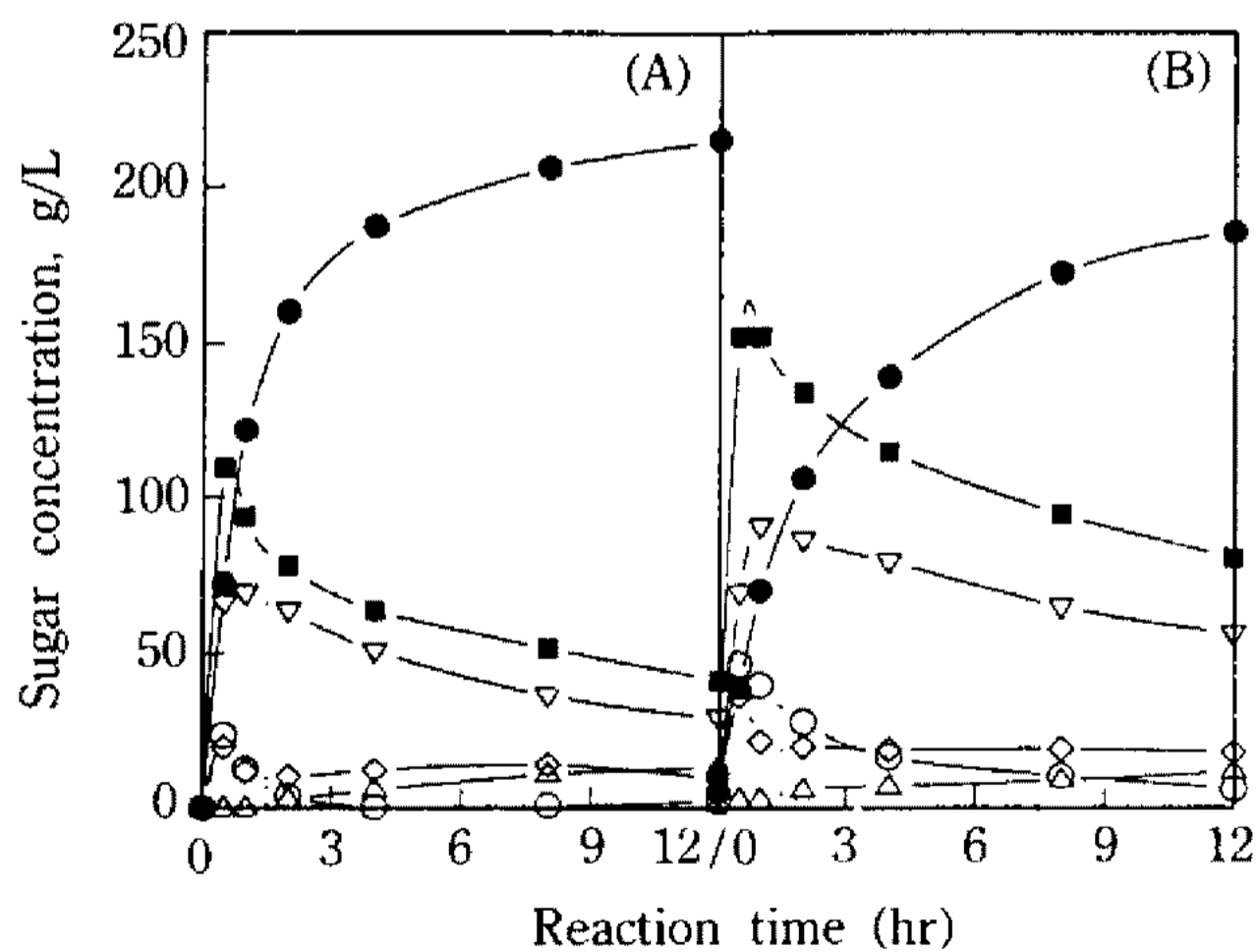


Fig. 6. Comparison of progress of reactions from insoluble extrusion starch(A) and liquefied starch(B). Conditions; 300 g substrate/L, 400 unit fungal α -amylase/g starch, 0.05 M acetate buffer(pH 5.5), 50°C, and 250 rpm. ●; maltose, ■; total maltooligosaccharides, △; glucose, ▽; maltotriose, ○; maltotetraose, ◇; other maltooligosaccharides

높은 것은 액화전분은 DE 7~14로 가용 저분자화되어 있고 또한 maltose 생성반응이 전분쇄의 말단에서 진행됨으로 반응 잔기가 남아 다량의 maltooligosaccharides가 축적되는 반면 extrusion 전분의 경우는 Lee와 Park(10, 11), Fuwa(12), 그리고 Sugimoto(13)가 관찰한 바와 같이 효소반응이 주로 불용 상태로 현탁되어 있는 extrusion 전분의 입자표면에서 반응이 진행되어 내부로 침식되어 가는 작용양상으로 이루어짐으로 maltooligosaccharides의 축적이 상대적으로 적고, 직접 maltose가 생성되는 것으로 유추된다.

Fungal α -amylase는 액화전분을 기질로 한 maltose 제조공정에 적합하도록 개발된 효소라 할 수 있다. 그러나 팽윤 extrusion 전분을 기질로 한 maltose 생성반응은 표면 효소반응으로서 이와 같은 불균일상

효소반응계의 특성에 맞는 새로운 maltose 생성효소의 개발이 요망된다.

Extrusion 전분의 미세 입자구조의 변화

Fig. 7은 maltose 생성반응 중 extrusion 전분의 미세 입자구조의 변화를 SEM으로 관찰한 것이다. Extrusion 전분은 위에서 유추할 수 있듯이 입자의 표면반응과 효소의 침식작용에 의해서 많은 작은 입자로 반응초기부터 급속히 단편화가 진행됨이 관찰되었다. 또한 12시간 반응 후에도 10%(w/w) 전후의 extrusion 전분이 반응되지 않고 잔류전분으로 남아 있었다.

또한 Fig. 8은 extrusion 전분의 효소반응 중 잔류전분의 호화도와 회수된 잔류전분의 초기 maltose 생성속도의 변화를 나타내고 있다. 전분의 호화도는 반응초기 71.8%에서 1시간 후 9.1%로 급속히 감소하였고 12시간 후에는 15.4%였다. 이와 같이 호화도가 급속히 감소하는 것은 maltose 생성반응이 extrusion 전분의 표면으로부터 급속히 진행되어 느슨한 구조를 갖는 팽윤된 비결정형 부분이 급속히 분해되기 때문이다.

또한 잔류전분의 반응성도 전분질의 구조가 급속히 변화됨에 따라 반응초기 22 g/l·h에서 반응 2시간 후 2.4 g/l·h로 급속히 감소하였다. 팽윤 extrusion 전분 함유 불균일상 효소반응계를 이용한 maltose 생산법은 10% 전후의 잔류전분이 반응계에 남게 되며, 각종

Table 1. Effect of enzyme sources on maltose formation from insoluble extrusion starch and liquefied starch (%)

	Insoluble extrusion starch			Liquefied starch		
	G1	G2	≥G3	G1	G2	≥G3
Fungal α -amylase	6	77	17	4	65	31
β -amylase	1	94	6	1	87	12

Conditions; 300 g extrusion corn starch/L, 400 unit each enzyme/g starch, 0.05 M acetate buffer(pH 5.5), 50 °C, 250 rpm, and after 12 hours.

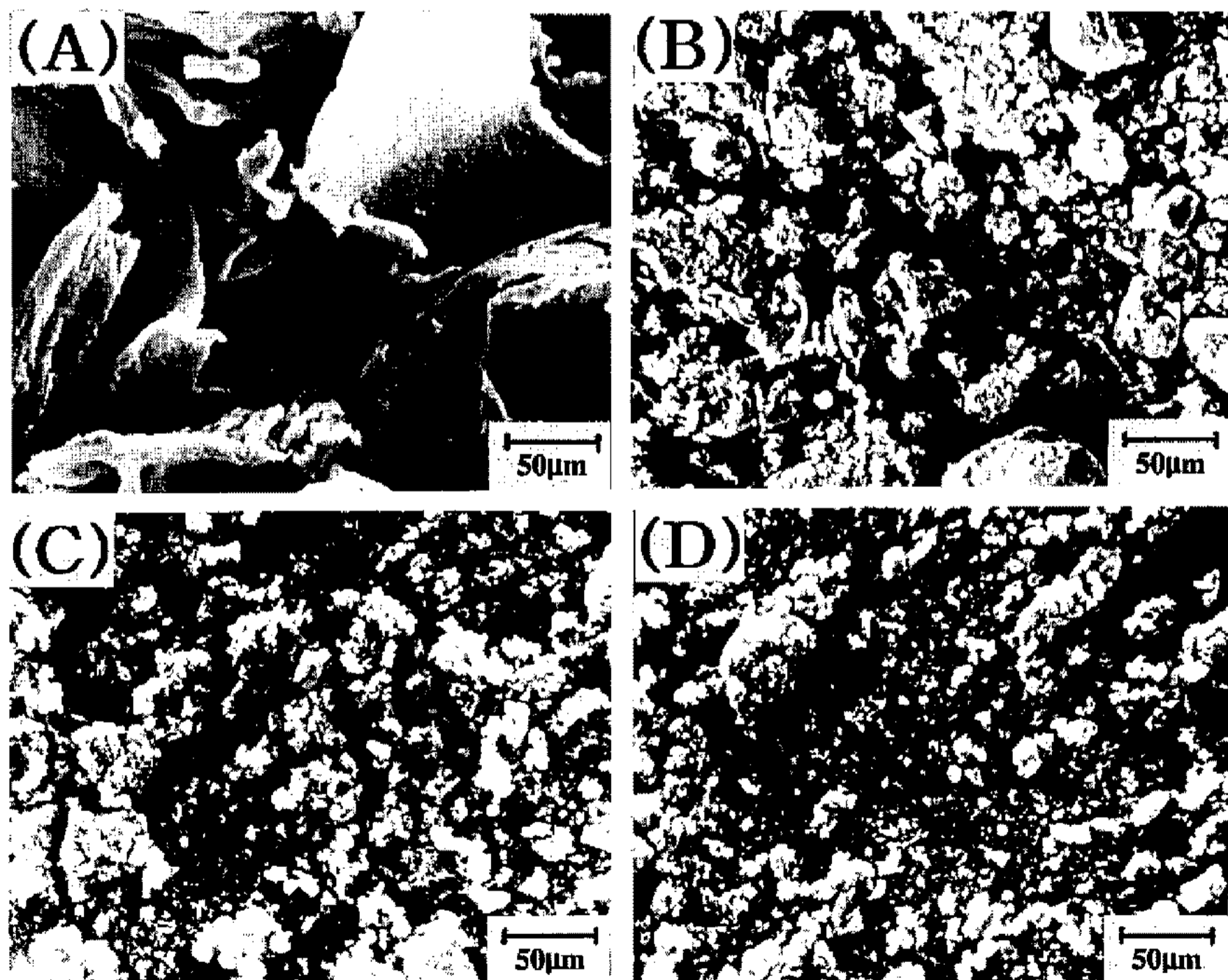


Fig. 7. Scanning electron micrographs of granular structure of residual extruded starch after 0(A), 1(B), 6(C), and 12 hr(D) reactions, respectively.

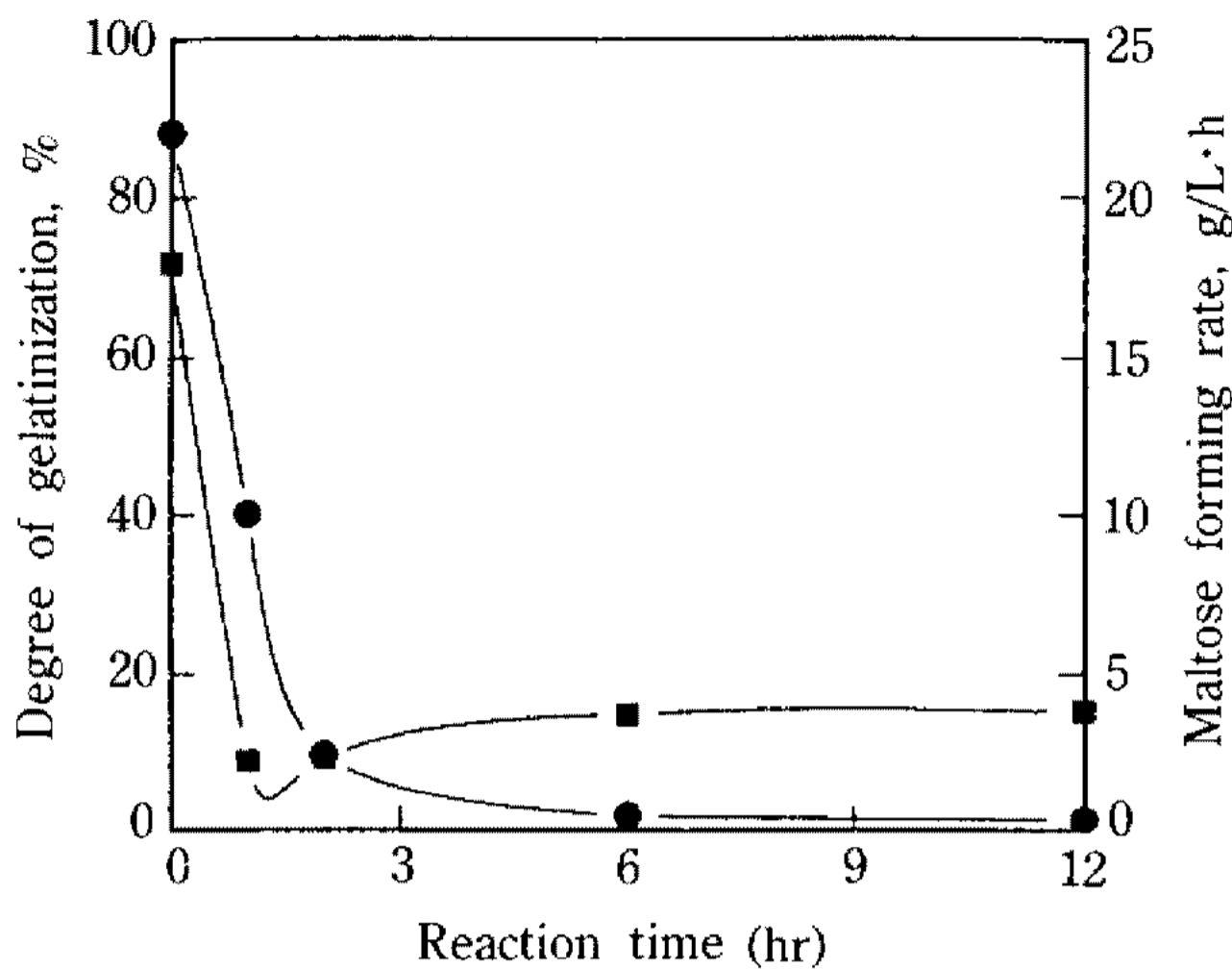


Fig. 8. Changes of degree of gelatinization and initial maltose forming rate of residual extrusion starch during reaction.

Conditions; 300 g extrusion corn starch/L, 400 unit fungal α -amylase/g starch, 0.05 M acetate buffer(pH 5.5), 50°C, and 250 rpm. ■; degree of gelatinization, ●; maltose forming rate

syrup 제조보다는 고순도 분말상 maltose 제조에 적합한 생산법으로 판단된다.

요 약

팽윤 extrusion 전분을 기질로 한 maltose 생산은 액화전분을 이용하는 기존의 생산법에 비하여 반응 속도가 빠르고, 고농도 고순도 maltose 생산이 가능하며, 에너지 절감이 기대되는 등 장점이 있다. 여기서는 extrusion 전분 이용 불균일상 효소반응계에서의 maltose 생성반응의 특성을 규명코져 연구하였다. 먼저 extrusion 조건이 extrusion 전분의 구조적 특성인 호화도, 수분 흡수도, 그리고 수분 용해도에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 extrusion 전분의 구조적 특성이 maltose 생성반응에 미치는 영향을 규명하였으며, maltose 생성반응에 적절한 팽윤 extrusion 전분의 호화도는 60~70%인 것으로 판단되었다. 팽윤 extrusion 전분을 기질로 한 fungal α -amylase의 효소반응 특성은 maltose 생성속도가 높고, 각종 maltooligosaccharides의 축적이 적어 maltose의 순도가 높은 특징이 있었다. 이러한 maltose 생성반응 특성을 표면 효소반응의 관점에서 규명하였으며, 팽윤 extrusion 전분에 대한 endo 및 exo형 효소의 작용양상도 비교 검토하였다.

감사의 말

본 연구는 한국과학재단지원 농업생물신소재연구

센터 1993년 연구비지원에 의한 것으로 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 이용현, 김동선, 신현동, 박진서. 1994. Extrusion시킨 팽윤 전분을 기질로 한 새로운 maltose 생산법. 산업미생물학회지 22: 106-113.
- Yoshiyuki, T. 1989. Novel maltose-producing amylase from *Bacillus megaterium* G-2. *Agric. Biol. Chem.* 53: 341-347.
- Nanmori, T., R. Shinke, K. Aoki, and H. Nishira. 1983. Purification and characterization of β -amylase from *Baillus cereus* BQ10-S1 Spo II. *Agric. Biol. Chem.* 47: 941-947.
- Wako, K., C. Takahashi, S. Hashimoto, and J. Kanaeda. 1978. Studies on maltotriose- and maltose-forming amylases from *Streptomyces*. *J. Jap. Soc. Starch Sci.* 25: 155-161.
- Wooton, K.W., C. Weeden, and N. Munk. 1971. A rapid method for the estimation of starch gelatinization in processed food. *Food Technol.* 23: 612.
- Anderson, R.A., H.F. Conway, V.F. Pfelfer, and L.E.J. Griffin. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today* 14: 4-12.
- Gomez, M.H. and J.M. Aguilera. 1984. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.* 49: 40-43.
- Anderson, R.A., H.F. Conway, V.F. Pfelfer, and L.E.J. Griffin. 1969. Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. *Cereal Sci. Today* 14: 372-376, 381.
- Mercier, C. and P. Feillet. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.* 52: 283.
- 이용현, 박동찬. 1991. Extrusion 전분을 기질로 한 불균일상 효소반응계에서의 cyclodextrin 효소합성. 산업미생물학회지 19: 514-520.
- Lee, Y.H. and D.C. Park. 1992. Direct synthesis of cyclodextrin in a heterogeneous enzyme reaction system containing insoluble extrusion starch. Pp. 127-129. In S. Furusaki, I. Endo, R. Matsuno (eds.), *Biochemical Engineering for 2001*, Springer-Verlag, Tokyo.
- Fuwa, H. 1977. Digestion of various starch granules by amylase. *J. Jap. Soc. Starch Sci.* 24: 128-140.
- Sugimoto, Y. 1980. Scanning electron microscopic observation of starch granules attacked by enzyme. *J. Jap. Soc. Starch Sci.* 27: 28-40.

(Received March 16, 1994)