

Annealing 처리가 가교결합 옥수수전분의 저항전분 수율에 미치는 영향

문세훈 · 신말식*

전남대학교 식품영양학과 및 생활과학연구소

The Effects of Annealing on Resistant Starch Contents of Cross-linked Maize Starches

Saehun Mun and Malshick Shin*

Department of Food and Nutrition and HERI, Chonnam National University

To develop a method for increasing RS level in maize starch, cross-linked resistant starches treated with annealing were prepared. Maize starch and amylomaize VII were used in the study and annealed at 40~60°C before cross-linking modification. To compare effect of annealing below gelatinization temperature, starches were heat treated at 70 and 100°C. RS contents were assayed by pancreatin-gravimetric (P/G) method. When maize starch and amylomaize VII were cross-linked at 45°C and pH 11.0 by slurring the starch on a solution of STMP(sodium trimetaphosphate), STPP(sodium tripolyphosphate), and sodium sulfate, RS content was 14.7% and 45.3%, respectively. Annealing below gelatinization temperature before cross-linking increased RS contents of prepared cross-linked starches but did not affect the swelling power. Heat treatment above gelatinization temperature increased the swelling power of cross-linked starch prepared from maize starch. The characteristics by X-ray diffractometry and scanning electron microscopy of cross-linked resistant starch were not changed by annealing.

Key words: annealing, cross-linked starch, resistant starch, normal maize starch

서 론

최근 식생활의 변화로 인한 비만이나 당뇨병, 동맥경화, 심장병 등의 성인병의 증가 추세로 저칼로리 식품에 대한 요구가 높아지고 있다. 이러한 상황에서 저항전분(resistant starch, RS)의 연구와 이를 이용한 식품 및 새로운 자원으로서의 개발이 유익한 결과를 초래할 수 있으리라 생각된다.

소장에서 흡수되지 못한 RS는 대장으로 이동하여 대장환경에 영향을 주는 것으로 알려져 있는데, 특히 단쇄지방산(short chain fatty acid, SCFA)의 생산이 두드러진 특징이며, 대장암의 위험도를 낮추는 부티르산의 생성이 현저히 증가한다고 알려져 있다^(1,9). 다른 생리작용으로는 RS가 소장에서 소화, 흡수되지 못하기 때문에 식후의 혈액중 인슐린과 혈당을 낮출 수 있다는 것이며, 이러한 역할들을 통하여 비만이나 당뇨병 환자의 치료 예방에 RS 첨가 식사가 유익한 결과를 줄 수 있을 것으로 예상된다.

*Corresponding author : Malshick Shin, Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, Bukgu Yongbongdong 300, Kwangju 500-757, Korea
 Tel: 82-62-530-1336
 Fax: 82-62-530-1339
 E-mail: msshin@chonnam.ac.kr

미국, 유럽, 호주, 일본등지에서 RS를 포함하는 전분이 생산, 판매되고 있는데, 이 제품들은 모두 고아밀로오스 옥수수전분을 사용하고 있다. 그러나 우리나라에서는 고아밀로오스를 함유하는 옥수수가 생산되지 않을 뿐만 아니라 가격도 매우 비싸므로 보통 아밀로오스 함량을 함유한 옥수수를 이용하여 RS 함량이 다양하고 식품에 첨가할 때 그 물성 또한 다양화 할 수 있는 RS 함유 전분을 제조 생산할 수 있는 방법이 개발되어야 하리라 생각된다. 그 시도의 하나로 이 등⁽¹⁰⁾은 아밀로오스 함량이 다른 옥수수전분을 약산(1 N HCl) 처리하여 RS 수율을 증가시킬 수 있는지를 실험하였다. 산처리 기간에 따른 RS의 수율은 12시간 산처리했을 때까지 모든 시료에서 증가하였으나, 24시간 처리시켰을 때는 오히려 감소하였으며, 칼전분의 수율 증가정도는 12시간 처리시 8배로 다른 전분에 비해 높은 증가를 나타내었다. 이러한 산처리법은 무정형 부분중 α -1,6 글리코시드 결합을 가수분해하여 오히려 전분의 노화를 촉진시키는 방법이었다⁽¹¹⁾.

본 연구에서는 산처리법 이외에 보통 옥수수전분으로 제조한 RS 함유전분의 RS 수율을 높일 수 있는 방법을 개발하고 개발한 RS 함유전분의 특성 조사를 그 목적으로 하였다.

본 연구에서 시도된 방법은 RS4를 제조하는 방법으로 최근에는 전분을 화학적으로 처리함으로써 전분분해효소에 대한 저항성을 증가시킨 RS4에 대한 연구가 진행되고 있는데⁽¹²⁾,

첫째로 STMP(sodium trimetaphosphate)를 이용하여 전분을 가교결합시킴으로써 RS4를 제조하는 조건을 확립하였고, 다음으로 확립된 제조방법을 크게 변화시키지 않으면서 RS 함량을 높일 수 있는 방법을 찾기 위해 RS4 제조단계 직전에 annealing 처리를 병행하여 RS 함량을 더 높일 수 있는지를 조사하였다.

재료 및 방법

옥수수전분은 삼양제넥스(한국), 고아밀로오스 옥수수전분인 amylo maize VII은 Cerestar Co.(USA)에서 구입하였으며 각각의 아밀로오스 함량은 28%와 70%였다.

저항전분은 pancreatin-gravimetric method로 분리하였으며, 사용된 효소는 pancreatin(Cat. No. P7545 from Porcine Pancreas, Sigma, USA)과 pullulanase(Promozyme, Novo Nordisk, Denmark)였다. 가교결합제인 sodium trimetaphosphate(STMP)와 sodium tripolyphosphate(STPP)는 Sigma Chemical Co.(St Louis, Mo. USA)에서 구입하여 사용하였다.

가교결합 전분의 제조

전분 혼탁액이 가교결합 과정 중 마그네티ック 바에 의해 회전될 수 있는 전분과 물의 비율을 먼저 결정한 후 가교결합 전분을 제조하였다. 전분과 물의 비율은 다음과 같이 결정하였다.

시료 전분 10 g을 50 mL 페스실린더에 넣고 전분과 물의 비율을 달리하여 만든 전분액에 마그네티ック 바를 넣고 3분간 교반한 후, 1 M NaOH 용액을 NaOH가 전분의 2%가 되게 첨가하여 계속 교반하면서 Brookfield viscometer로 점도를 측정하였다. 전분액에서 마그네티ック 바(50×7 mm)가 회전할 수 있을 때의 점도는 30 rpm에서 No. 3 spindle을 사용하였을 때 100 cps였다. 각 전분을 사용하여 100 cps가 유지되는 전분과 물의 비율을 결정하였다. 결정된 비율로 annealing 처리를 병행하여 가교결합 전분을 제조하였는데, 먼저 전분 50 g(건물당)에 증류수 70 mL를 넣어 잘 분산시키고, 호화온도 이하의 온도범위인 40~60°C의 항온 진탕기(Vision Scientific, Korea)에서 24시간 annealing 처리하였다. 호화온도 이상에서 전분입자의 열처리 효과는 70°C와 100°C의 항온진탕기에서 진탕하면서 옥수수전분은 15분, 고아밀로오스 옥수수전분은 25분 처리하여 비교하였다. Annealing과 습열처리 후의 전분 혼탁액은 마그네티ック 바(50×7 mm)를 이용하여 저어주면서 45°C를 유지시켰다. 가교결합 전분의 제조는 위에 처리한 시료와 생전분과 함께 실시하였는데 먼저 혼탁액을 10분간 저어준 다음 10% sodium sulfate(전분 기준)를 혼합하고 30분 진탕하였다. 여기에 STMP(99.0~99.9%)와 STPP(0.1~1.0%)를 전분 기준으로 12% 첨가하였다. 가교결합제를 첨가한 후 20분간 진탕한 다음 1 M NaOH 22.5~25.0 mL를 첨가하여 pH 11.5가 되도록 한 후 일정 시간 반응시켰다. 반응이 끝난 전분액은 1 M HCl을 사용하여 중화하였고 원심분리를 이용하여 가교결합제와 염을 4회 이상 반복하여 씻어내었다. 남은 전분은 40°C 오븐에서 건조시키고 마쇄하여 100 메쉬체를 통과시키고 시료로 사용하였다.

RS 분석

Pancreatin-gravimetric method에 의한 RS 함량 분석: Pancreatin-gravimetric method는 AOAC 방법⁽¹³⁾과 같은 직접법으로 인체효소와 비슷한 효소인 pancreatin을 사용하며, 분해 후 잔사를 측정하는 방법이다. 원심분리관(50 mL)에 시료 전분 1 g(건물당)과 초산 완충용액(pH 5.2) 20 mL를 넣고 잘 섞은 다음, 끓는 항온수조에서 교반하면서 가열하였다. 이를 급속히 냉각하고, 37°C 항온수조에서 두어 온도를 같게한 후 효소용액 2 mL를 넣고 16시간 반응시켰다. 반응 후 총 용액의 알코올 농도가 80%가 되게 에탄올을 첨가하여 1시간이상 방치한 다음, 미리 건조시켜 항량해 두었던 celite가 담겨진 crucible(2G3, IWAKI, Japan)로 여과하였다. 에탄올(95%, 78%)과 아세톤 순으로 세척하고 불용성 잔사를 105°C 오븐에서 16시간 건조시켰고, 무게를 측정한 후 여과전의 crucible 무게와의 차이로 저항전분의 수율을 계산하였다. 효소용액은 pancreatin 1 g에 12 mL 2차 증류수에 넣고 10분동안 교반한 후, 이를 3000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상정액 10 mL와 0.2 mL의 pullulanase, 1.8 mL 2차 증류수를 혼합하였다. 효소액은 사용 직전에 만들었으며 전분을 첨가하지 않고 같은 조건으로 효소반응시켜 blank를 병행한 다음 blank 값을 빼고 계산하였다.

$$\text{RS 함량}(\%) = \frac{\text{불용성 잔사의 무게(g)} - \text{blank}}{\text{시료의 무게(g)}} \times 100$$

Pancreatin-gravimetric method에 의한 RDS 및 SDS 분석: 빨리 소화되는 전분(RDS, rapidly digestible starch)은 같은 조건에서 20분간 37°C에서 반응시켰을 때 분해될 수 있는 전분이다. 천천히 소화될 수 있는 전분(SDS, slowly digestible starch)은 소화가 느리게 일어나지만 완전히 소화될 수 있는 부분으로 37°C에서 16시간 반응한 후 얻은 RS 함량과 RDS를 합하여 100에서 감하여 구하였다.

원심분리관(50 mL)에 시료전분 1 g(건물당)과 초산 완충용액(pH 5.2) 20 mL를 넣고 잘 섞은 다음, 1시간동안 끓는 항온수조에서 교반하여 두었다가 40°C까지 냉각한 후, 미리 준비한 효소용액 2 mL를 넣고 37°C 항온수조에서 교반하면서 20분간 반응시켰다. 이 후의 반응과정과 효소용액은 RS 함량과 동일하였다.

가교결합 전분의 특성 측정

팽윤력 측정: 팽윤력은 Schoch법⁽¹⁴⁾으로 실시하였는데 전분 0.5 g을 50 mL 원심분리관에 넣고 증류수 40 mL에 잘 분산시킨 다음 30°C와 100°C에서 교반기로 30분간 저온 후 1000 ×g에서 30분간 원심분리하고 침전된 무게로부터 아래 식에 의해 팽윤력을 계산하였다.

$$\text{팽윤력} = \frac{\text{침전된 전분의 무게} \times 100}{\text{시료의 무게(건량기준)} (100 - \% \text{용해도})}$$

용해도는 원심분리한 후의 상등액을 페놀-황산법⁽¹⁵⁾으로 총당을 측정하여 아래 식에 의하여 계산하였고 총당 표준곡선은 글루코오스를 이용하여 페놀-황산법으로 구하였다.

$$\text{용해도. } (\%) = \frac{\text{상등액의 총당 (mg/100g)}}{\text{전분의 무게 (mg)}} \times 100$$

X선 회절기에 의한 특성 측정: X-ray diffractometer(D/Max 1200, Rigaku Co., Japan)를 이용하여 회절각도(2θ) 40~5°까지 회절시켜 얻었으며 회절각도에 따른 피크의 위치와 강도로써 결정성 정도를 비교하였다. 이때 이용한 기기조건은 각각 target; Cu-K α , Filter; Ni, Voltage; 40 kV, Current; 20 mA였다.

주사전자현미경에 의한 특성 측정: 시료들의 입자 표면관찰은 각각의 시료에 아세톤을 가하여 입자를 분산시키고 금으로 도금시켜 전도성을 갖게 한 다음, 주사전자현미경(Scanning electron microscope, JEOL JSM-5400, Japan)을 사용하여 가속전압 25 kV, Phototimes 85초, 2000배의 배율로 관찰하였다.

결과 및 고찰

Annealing 처리한 가교결합 전분

RS 함량: 전분 혼탁액을 각각 다른 온도에서 전처리를 하고 STMP와 STPP로 가교결합시킨 전분의 RS 함량은 Table 1과 같다. Pancreatin-gravimetric(P/G)법에 의한 RS 함량은 옥수수전분이 14.7%, 고아밀로오스 옥수수전분이 45.3%이었다. 현재 승인된 방법인 AOAC 방법으로는 가교결합에 의한 RS4의 RS 함량이 각각 78.9%, 88.9%로 매우 높게 나왔다⁽¹⁶⁾. 이는 전분입자의 막을 이루는 단백질과 전분 분자사이의 가교결합에 의해, 또는 단백질이 입자표면의 구멍(channel)을 막아 효소 특히 heat-stable α -amylase가 작용하는 것을 어렵게 하기 때문이라고 생각된다. 반면 P/G법에서 사용하는 pancreatin은 protease나 lipase의 활성도 함께 갖고 있어 보다 효과적으로 전분입자를 통과해 전분을 잘 분해할 수 있었으리라 생각된다(unpublished data). Valetudie 등⁽¹⁷⁾은 yam 전분의 단백질 부분을 protease로 처리한 후 α -amylase로 반응시켰을 때 가수분해정도가 증가하였음을 보고한 바 있다.

Annealing 처리 후 가교결합시켜 만든 시료들의 RS 함량은 처리 온도와 상관없이 모두 annealing 하지 않은 시료보다 증가되었으나, annealing 처리한 온도의 증가에 따라 RS 함량이 비례적으로 증가하지는 않았다. Annealing 처리로 인해 전분의 분자구조적 재배열이 일어나며, 무정형 부분에서의 결정성이 증가할 뿐 아니라 결정형과 무정형 부분의 결합에 변화가 생기는 것으로 알려져 있는데⁽¹⁸⁻²⁰⁾, 이런 변화로 annealing 처리한 전분이 생전분보다는 phosphate에 의해 전분분자내의 가교결합이 형성되는데 더 적합한 상태로 변화

Table 1. RS yield (%) of cross-linked starch prepared from annealed starch¹⁾ with different annealing temperature using P/G method

Starch	No-heating	Heating temperature (°C)				
		40	50	60	70	100
Normal maize starch	14.7	16.2	21.2	28.0	12.5	16.0
Amylomaize VII	45.3	57.7	60.1	63.4	39.1	44.7

¹⁾Starch: water ratio was 50 g: 65~70 mL.

하는 것으로 생각되었다. 60°C에서 annealing 처리한 후 가교결합시킨 전분의 RS 수율이 28.0%로 가장 높았는데, 이는 옥수수전분을 2회 가열-냉각했을 때의 17.8%⁽²¹⁾와 압출성형했을 때의 8.4%⁽¹⁶⁾에 비해 높은 수준이었다. 옥수수전분을 2회 가열-냉각한 후 형성된 저항전분을 1 N HCl로 산처리하고 남은 잔사의 RS 함량은 33.0~45.1%이었다⁽²¹⁾.

호화온도 이하에서의 annealing 처리는 RS 수율을 증가시키는데 효과적이었으나, 호화온도 이상의 온도 즉 70°C 이상에서의 전처리는 RS 수율을 증가시키지 못했고, 오히려 감소시켰다. 이는 호화온도 이상에서 처리했기 때문에 전분입자가 팽윤되어 분자간의 가교결합을 방해할 수 있으며 온도가 높아질수록 전분입자 형태가 없어지고 부분적으로 용출된 직선적 사슬이 서로 결합하기 때문에 가교결합 형성이 억제되었을 것으로 생각되었다. Knutson⁽²²⁾은 amylo maize V starch를 annealing 하고 DSC thermogram을 조사했을 때 75°C에서 annealing 처리된 시료부터 호화 endotherm이 감소하고 높은 온도쪽으로 endothermic peak가 이동했다고 했으며 이는 annealing 과정중 부분적으로 호화가 일어남과 동시에 전분분자들의 재배열로 인해 더 높은 온도에서 용융될 수 있는 새로운 구조가 생성되기 때문이라고 보고하였다.

RDS와 SDS의 함량: 옥수수전분과 고아밀로오스 옥수수전분을 annealing 처리한 후 제조한 가교결합 전분들의 RDS와 SDS 함량은 Table 2에 나타내었다.

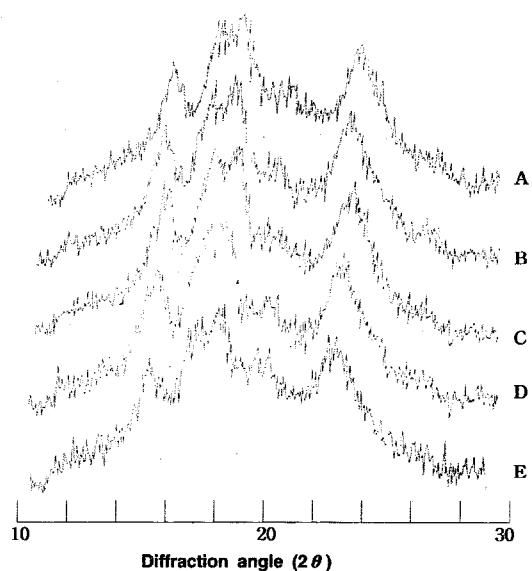
RDS는 빨리 소화, 흡수될 수 있는 전분을 의미하고, SDS는 느리지만 완전히 소화, 흡수될 수 있는 전분으로 SDS는 RS 함량과 더불어 중요한 의미를 포함한다. 당뇨병 환자, 특히 type II 환자의 경우는 식후 혈당의 급속한 증가로 인슐린의 과잉 반응이 일어나 혈당이 떨어지게 되면 저혈당을 일으킬 수 있는데, SDS는 천천히 소화, 흡수가 이루어지므로 혈당의 급속한 상승을 막아 인슐린의 반응을 조절할 수 있다는 이점이 있다. 그래서 최근에 RS 뿐만 아니라 SDS의 함량을 증가시킬 수 있는 방법을 마련하는 것을 중요한 과제로 생각하고 있다. 가교결합 전분을 annealing 처리함으로써 RS가 증가될 뿐만 아니라 SDS가 증가함으로써 영양, 생리활성에 기여할 수 있을 것으로 생각되었다. 옥수수 전분과 고아밀로오스 옥수수전분을 annealing한 후 가교결합 전분을 제조하고 RDS와 SDS를 측정했을 때, SDS는 6.6~16.8% 범위의 수준을 보였고 특히 50, 60°C에서 annealing한 후 가교

Table 2. RDS, SDS and RS yield (%) of cross-linked starches prepared after annealing at different temperature

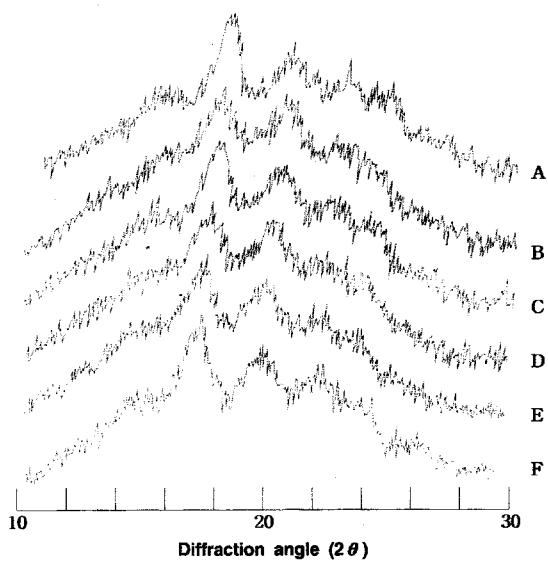
Starch	Annealing temp. (°C)	RDS	SDS	RS
Normal maize starch	Without annealing	75.5	9.8	14.7
	40	77.4	6.6	16.0
	50	69.2	9.6	21.2
	60	60.9	11.1	28.0
Amylomaize VII	Without annealing	41.6	13.1	45.3
	40	33.1	9.2	57.7
	50	23.1	16.8	60.1
	60	21.3	15.3	63.4

Table 3. Swelling power measured at 100°C and 30°C of cross-linked starches prepared after annealing at different temperature

Starch	Heating temperature (°C)											
	No-Heating		40		50		60		70		100	
	100°C	30°C	100°C	30°C	100°C	30°C	100°C	30°C	100°C	30°C	100°C	30°C
Normal maize	3.9	2.0	3.9	2.1	3.8	2.0	3.8	2.4	6.3	4.0	8.4	5.6
Amylomaize VII	3.3	2.9	3.4	2.9	3.6	3.1	3.3	2.7	3.3	2.8	3.6	3.4

**Fig. 1. X-ray diffractogram of cross-linked starches prepared from normal maize starches annealed at different temperatures.**

A: native starch, B: without annealing, C: 40°C, D: 50°C, E: 60°C.

**Fig. 2. X-ray diffractogram of cross-linked starches prepared from amylo maize VII annealed at different temperatures.**

A: native starch, B: without annealing, C: 40°C, D: 50°C, E: 60°C, F: 70°C.

결합 전분을 제조한 시료들의 SDS가 다른 온도조건에서보다 높았다. Annealing 처리 온도를 세분화하고 이에 따른 물과 전분의 비율, 처리시간, annealing 처리시 물의 pH 등을 고려한다면 SDS와 RS를 증가시킬 수 있을 것으로 생각되었다.

Annealing 처리한 가교결합 전분의 특성

팽윤력: 옥수수전분으로부터 제조한 가교결합 전분의 팽윤력은 Table 3에 나타내었다. 100°C와 30°C에서의 팽윤력은 두 전분 사이에 큰 차이를 보이지 않았고, annealing 처리한 시료와 처리하지 않은 시료사이에서도 팽윤력의 차이는 나타나지 않았다.

70°C와 100°C에서 전처리하여 가교결합 전분을 제조한 경우 옥수수전분은 6.3, 8.4로 100°C에서 팽윤력이 증가하였고 30°C에서의 팽윤력 역시 50°C annealing 까지는 약 2.0 정도의 팽윤수준을 보이다가 4.0, 5.6까지 증가하였다. 이는 호화온도에 가까울수록 annealing 효과가 아닌 부분적인 호화로 수분흡수정도가 증가하였기 때문이라고 생각된다. 그러나 고아밀로오스 옥수수전분의 경우는 70°C 이상에서 처리하더라도 팽윤력에 있어서 큰 효과를 나타내지는 않았다. 고아밀로오스 옥수수전분은 높은 아밀로오스 함량 때문에 호화온도가 높을 뿐 아니라 그 자체내 결정형도 다른 전분에 비해 강하기 때문인 것으로 생각된다⁽²³⁻²⁵⁾.

X-선 회절도에 의한 특성: 가교결합 전분의 X-선 회절도에 의한 결정도 양상은 Fig. 1, 2와 같았다. 옥수수전분으로부터 제조된 모든 시료가 공통적으로 $2\theta = 15, 17, 20, 23^\circ$ 에서 피크를 나타냈고, 거의 유사한 강도를 나타내었으나 annealing 처리후 제조한 가교결합 전분 시료들의 $2\theta = 20^\circ$ 에서의 피크가 annealing 처리 하지 않은 시료에 비해 강하게 나타났다. 고아밀로오스 옥수수전분으로부터 제조된 가교결합 전분 시료들은 $2\theta = 17, 20, 22, 24^\circ$ 에서 피크를 나타냈다.

Annealing 처리와 전분의 가교결합이 전분자체의 X-선 회절도에 의해 나타날 수 있는 결정형에는 영향을 주지 않았다. Gough와 Pybus⁽²⁶⁾는 밀전분을 50°C에서 annealing한 후 X-선 회절도에 의한 특성을 조사했을 때 annealing 처리하지 않은 시료와 차이를 보이지 않았고, 호화개시온도가 높아지고 호화범위가 좁아지는 변화를 보였다고 하였다. 이런 변화들은 전분입자의 내부구조 변화 즉 부분적인 결정형의 용융과 분자들의 재배열 때문이라고 하였다.

주사전자현미경에 의한 특성: 옥수수전분과 고아밀로오스 옥수수전분을 annealing 처리하여 제조한 가교결합 전분의 입자 형태는 Fig. 3과 4에 나타내었다. 옥수수전분으로 제조된 시료들은 모두 입자형태를 그대로 유지하였고, annealing도 전분의 입자모양에는 큰 영향을 주지 않았다.

또한 전분의 표면에 균일하게 움푹 패여있는 형태도 종종 발견되었는데, 이는 전분입자 표면에 결합되어있던 단백질들

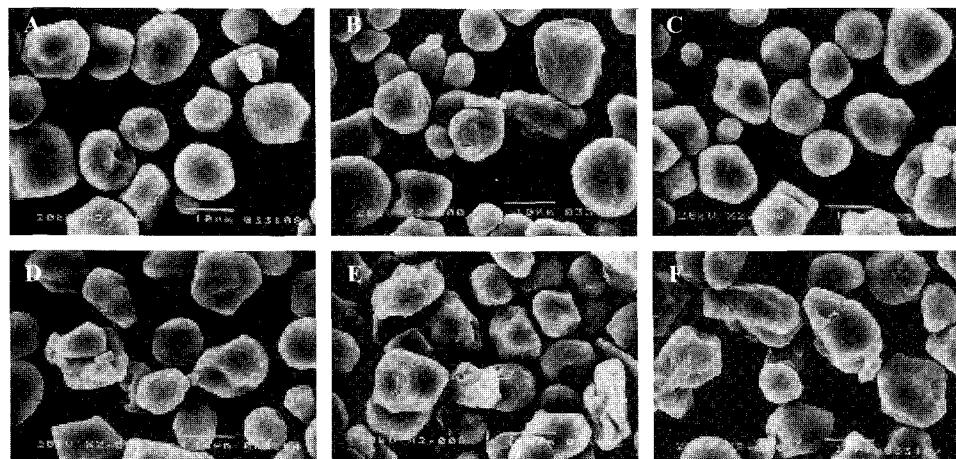


Fig. 3. Scanning electron microphotographs of cross-linked starches prepared from normal maize starches annealed at different temperatures.

A: without annealing, B: 40°C, C: 50°C, D: 60°C, E: 70°C, F: 100°C.

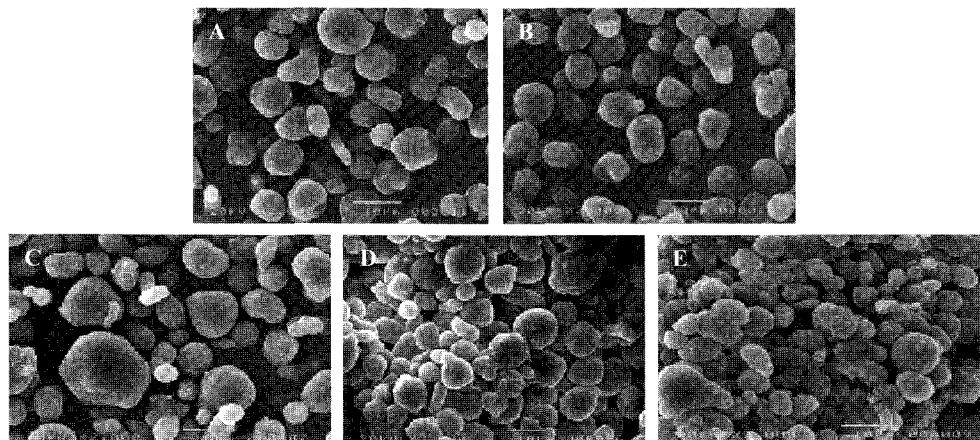


Fig. 4. Scanning electron microphotographs of cross-linked starches prepared from amylomaize VII annealed at different temperatures.

A: without annealing, B: 40°C, C: 50°C, D: 60°C, E: 70°C.

이 가교결합 전분을 제조할 때 첨가되는 알칼리에 의해 전분입자로부터 해리되어 생긴 형태인 것으로 생각된다.

고아밀로오스 옥수수전분의 경우는 보통의 옥수수전분처럼 퍽여있는 부분은 드물었으나 annealing 처리시 전분입자로부터 분자들이 용출된 듯한 양상을 보였다.

요 약

보통 옥수수 전분을 이용하여 저항전분을 제조할 때 저항전분의 수율을 높일 수 있는 방법을 개발하기 위한 목적으로 가교결합 전분을 제조하고 annealing 처리를 병행하였다. Annealing은 40~60°C 범위에서 실시하였고, 이와 비교하기 위하여 70°C와 100°C에서 열처리한 후 가교결합 전분을 제조하였다. RS 분석방법으로는 pancreatin-gravimetric법(P/G법)을 사용하였다. 보통 옥수수전분과 고아밀로오스 옥수수전분으로 annealing하지 않고 가교결합 전분을 제조했을 때의 RS 수율은 각각 14.7, 45.3%였고, annealing 한 후 가교결합 전분을 제조했을 때 28.0, 63.4%까지 증가하였다. 가교결합 전

분의 팽윤력은 annealing 처리에 의해 영향받지 않았으나, 보통 옥수수전분으로 제조한 시료의 경우는 호화온도이상에서 열처리했을 때 팽윤력이 2배이상 증가하였다. 두가지 전분으로부터 제조된 가교결합 전분의 X-선 화질도와 주사전자현미경에 의한 특성 역시 annealing에 의해 영향받지 않았다.

감사의 글

본 연구는 농림부에서 시행한 1999년 농림기술개발 과제의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Birkett, A. Muir, J., Phillips, S.J., Jane, G. and O'Dea, K. Resistant starch lowers fecal concentrations of ammonia and phenol in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 63: 766-772 (1996)
- Lin, H-C. and Visek, WJ. Large intestinal pH and ammonia in rats. Dietary fat and protein interactions. *J. Nutr.* 121: 832-843 (1991)

3. Bingham, S.A. Meat, starch, and nonstarch polysaccharides and large bowel cancer. *Am. J. Clin. Nutr.* 48: 762-767 (1988)
4. Muir, J.-G., Birkett, A., Brown, I., Jones, G. and O'Dea, K. Food processing and maize variety affects amounts of starch escaping digestion in the small intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 61: 82-89 (1995)
5. Cummings, J.H., Edwards, C., Gee, J.M. Nagengast, F. and Mathers, J.C. Physiological effects of resistant starch in the large bowel. Final report of European FLAIR Concerted action on resistant starch (1995)
6. Mathers, J.C. Digestion of non-starch polysaccharides by non-ruminant omnivores. *Proc. Nutr. Soc.* 50: 161-172 (1991)
7. Ranhotra, G.S., Gelroth, J.A. and Glaser, B.K. Energy value of resistant starch. *J. Food Sci.* 61: 453-455 (1996)
8. Ranhotra, G.S., Gelroth, J.A. and Glaser, B.K. Effect of resistant starch on blood and liver lipids in hamsters. *Cereal Chem.* 73: 176-178 (1996)
9. Faisant, N., Champ, M., Colonna, P., Buleon, A., Molis, C., Langkilde, A.-M., Schweizer, T., Flourié, B. and Galimiche, J.-P. Structural features of resistant starch at the end of the human small intestine. *Eur. J. Clin. Nutr.* 47: 285-296 (1992)
10. Lee, S.K., Mun, S.H. and Shin, M.S. Enzyme-resistant starch formation from mild acid-treated maize starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 1309-1315 (1997)
11. Kang, K.J., Kim, K. and Kim, S.K. Three stage hydrolysis pattern of rice starch by acid treatment. *J. Appl. Glycosci.* 41: 211(1994)
12. Woo, K.S. and Seib, P.A. Food grade starch resistant to alpha-amylase and method of preparing the same. U.S. patent 5,855,946 (1999)
13. American Association of official Analytical Chemists. AOAC official method 991.43, The Association, St. Paul, MN (1995)
14. Schoch, T.J. Swelling power and solubility of granular starches, Vol. 4, p. 106, In: Methods in Carbohydrate Chemistry. Academic Press, New York, USA (1964)
15. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Robert, P.A. and Smith, F. Colorimetric method for determination of sugar and related substances, *Anal. Chem.* 28: 350-356 (1956)
16. Mun, S.H. Development of various resistant starches from maize starch. Ph D. Thesis, Chonnam N'tl Univ., Gwang-ju, Korea (2001)
17. Valetudie, J.C., Colonna, P., Bonchet, B. and Gallant, D.J. Hydrolysis of tropical tuber starches by bacterial and pancreatic -amylase. *Starch* 45: 270-276 (1993)
18. Kruger, B.R., Knutson, C.A., Inglett, G.E., and Walker, C.E. A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behavior of corn starch. *J. Food Sci.* 52: 715-718 (1987)
19. Kruger, B.R., Walker, C.E., Knutson, C.A., and Inglett, G.E. Differential scanning calorimetry of raw and annealed starch isolated from normal and mutant maize genotypes. *Cereal Chem.* 64: 187-190 (1987)
20. Larsson, I. and Eliasson, A.-C. Annealing of starch at an intermediate water content. *Starch* 43: 227-231 (1991)
21. Lim, J.W. Action of acid and α -amylase on resistant starches from maize starch. M.S. thesis, Chonnam N'tl Univ., Gwang-ju, Korea (2001)
22. Knutson, C.A. Annéaling of maize starches at elevated temperatures. *Cereal Chem.* 67: 376-384 (1990)
23. Lee, S.K., Mun, S.H. and Shin, M.S. Resistant starch yield from autoclaved maize starches with different enzymatic assay. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 383-386 (1997)
24. Kitamura, S. and Kuge, T. Conformation and physical properties of amylose in aqueous solutions. *Food Hydrocolloids* 3: 313 (1989)
25. Mun, S.H., Baik, M.Y. and Shin, M.S. Effect of amylose content on the physical properties of resistant starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 516-521 (1997)
26. Gough, B.M., and Pybus, J.N. Effect on the gelatinization temperature of wheat starch granules of prolonged treatment with water at 50°C. *Starch* 23: 210-212 (1971)

(2002년 3월 13일 접수)