KOREAN J. SOC. FOOD SCI.
Vol. 15, No. 4, November, 1999

약산 처리가 찰전분의 저항전분수율에 미치는 영향

이신경* · 홍윤호 · 신말식
전남대학교 가정과학연구소*, 전남대학교 식품영양학과

The Effect of Mild-Acid Treated Waxy Starches on the Yield of Resistant Starch

Shin-Kyung Lee*, Yun-Ho Hong and Mal-Shick Shin
*Institute of Science for Better Living, Chonnam National University
Department of Food and Nutrition, Chonnam National University

Abstract

The characteristics and yield of resistnat starch (RS) in waxy starches which were treated with 0.1N HCl were investigated. Hydrolysis rate of waxy starches were 0.32-0.88%. The yields of RS in waxy maize and waxy barley starches increased with acid treatment time up to 12hr and then decreased. The yield of RS in waxy rice starches increased with acid treatment up to 8hr and then decreased. The hydrolysis and yield of RS were different depending upon the varieties of starch source. Autoclaved normal maize starch showed a gel-like structure, but autoclaved normal maize starch showed crystal particle on the surface by SEM. The shape of autoclaved resistant starch was not different from acid treated ones. X-ray diffraction patterns of native and acid treated starches were all A-types. X-ray diffraction patterns of autoclaved waxy maize starches showed amorphous structures, however, those of RS showed all completely crystalline structure.

Key Words: mild acid-treatment, waxy starch, resistant starch

I. 서 론

전분을 함유한 곡류, 서류 및 두류 등의 식품은 중요한 에너지원으로 주로 주식으로 이용되고 있는데 그 중 전분은 분리하여 생전분 그대로 사용하거나 화학적, 물리적 처리를 하여 적당한 성질을 갖는 변성전분을 만들어 여러산업에 응용하고 있다[1-4]. 식품에 사용된 변성전분은 화학적, 효소적 처리에 의한 경우만 일부 규정이 정해져 있으며 물리적 처리한 경우는 특별한 규정이 없이도 오래전부터 먹어왔기 때문이 안전하다고 생각되었다. 전분을 이용한 다양한 소재 개발은 다양한 기능적인 면과 안정성에서 관심을 받고 있으며 많은 연구들이 진행되고 있는데 최근 특히 전분의 소화성을 감소시킨 올리고당이나 덱스트로오스, 저항전분 등에 대한 개발과 생리활성연구가 활발히 진행되고 있다.

저항전분(RS, Resistant Starch)은 식이섬유소처럼 소장에서 소화되지 못하고 흡수되지 못한 전분과 전분분해산물을 통틀어 말하며 4가지 형태로 나누고 있는데[5-7], RS-1 type은 전분이 물리적으로 효소가 접근하지 못하므로 분해가 되지 못하는 것을 말하며, RS-2 type은 생전분 중에서 감자나 바나나전분, 고아밀로오스 전분처럼 B-형의 결정형인 전분이 속하고, RS-3 type은 주로 노화된 아밀로오스에 의해 호화된 전분이 노화됨으로써 효소의 작용을 잘 받지 못하는 것들이 포함된다고 한다[8,9]. 여기에 최근에는 화학적처리에 의해 변성시킨 전분 중에서 가교결합과 같이 결정성을 증가시키므로 전분분해효소가 쉽게 작용할수 없는 것을 RS-4 type으로 분류하여 RS의 범주에 포함시키고 있다[10].

이런 RS는 식이섬유소처럼 혈중 콜레스테롤이나 지방질의 축적을 저하시켜 성인병을 예방하는 효과가 있으며, 소화되지 않은 부분은 인체내의 장내세균에 의해 발효되어 단쇄지방산을 생성하는데 암세포 성장을 억제하는 뷰티릭산의 생성은 섬유소 섭취시보다 많아 대장암의 억제능력이 더 큼이 밝혀졌다[5,11-16].

식품 산업에서 전분의 역할은 다양한데, 이런 성질을 이용하기 위해 각 용도에 맞도록 물리화학적이나 효소적 처리를 함으로써 전분을 변성시켜 적합한 성질을 갖도록 하여 사용하고 있다. 그 중 산처리 방법은 산가수분해물을 얻어 점도를 저하시키거나 당류를 제조하는데 많이 사용하고 있는데 산처리 과정은 초기에 무정형부분에서

먼저 가수분해가 일어나며 아밀로펙틴 분자 곁가지 부근의 α-1,6 glycosidic 결합의 분해가 일어난다. 그래서 산처리 초기에는 산가수분해물의 직쇄상 분자로 인해 결정성이 증가되고 이런 구조의 전분은 호화 후 노화과정에서 긴 사슬 구조의 아밀로펙틴 사슬이 아밀로오스처럼 결정화가 일어나게 되어 효소저항전분의 수율을 증가시킬 수 있을 것으로 생각된다.

일반적으로 산처리는 2.2 N HCl로 30일 정도까지 가수분해를 실시하여 산처리(lintnerization) 정도를 비교하는데, 산처리 전분으로 저항전분을 제조하여 수율을 측정한 결과 산처리에 의해 저항전분의 수율이 감소되었고[17], 전보[18]에서는 약산처리를 단시간 함으로써 저항전분의 수율이 증가됨을 확인하였다.

그러므로 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 옥수수전분에 약산인 0.1 N HCl로 24시간 처리하여 약산처리 전분의 특성과 효소중량법으로 효소저항전분의 수율을 비교하였고, 분리된 저항전분의 특성을 알아보았다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 전분은 국내에서 생산되고 있는 옥수수전분으로 보통옥수수전분과 찰옥수수전분은 대상에서 찰옥수수전분은 삼양제넥스에서 구하여 사용하였다. 또한, 찰성분을 갖는 수원236 쌀보리는 나주 농촌진흥청, 찹쌀인 신선벼는 나주 농총진흥청, 화선벼는 수원 농촌진흥청에서 구하여 알칼리침지법[19]으로 전분을 분리하여 사용하였다.

RS분석은 total dietary fiber assay kit를 Sigma Chemical Co.(St Louis, Mo. U.S.A)에서 구입하여 사용하였는데, kit의 효소는 thermostable α-amylase(No. A-3306), Aspergillus niger로부터 분리한 amyloglucosidase(No. A-9913)와 protease(No. P-3910)이었다.

2. 약산처리 전분의 산가수분해율 측정

전분의 약산처리는 Biliaderis 등[20]의 방법에 따라 전분 1 g에 0.1N HCl 40 ml를 가하여 35℃ 항온수조에서 0, 4, 8, 12, 24시간 약산처리하여 시료로 사용하였고, 페놀-황산법[21]에 따라 전분의 가수분해율을 측정하였다.

3. RS의 형성 및 분석

Sievert와 Pomeranz의 방법[22]을 변형하여 전보[23]에서와 같은 방법으로 실시하였다. RS의 형성 조건은 약산처리 전분과 물의 비율을 1:3.5로 하였고 121℃에서 1시간 호화시켰으며, 가열-냉각 과정을 4회까지 반복하였다.

RS의 분리는 AOAC에 의한 효소-중량법[24]을 변형하여 사용하였고, 시료간의 유의적인 검정을 SAS 통계분석 프로그램을 이용하여 Duncan의 다범위 검정으로 해석하였다.

4. RS형성 약산처리전분의 형태

전분의 형태 및 표면 구조는 주사전자현미경(scanning electron microscope, JEOL JSM-5400, Japan)을 사용하여 가속전압 25 kV, Phototime 85초, 2000배의 배율로 관찰하였다.

5. RS형성 약산처리전분의 X-선 회절도

X-선 회절도는 X-ray diffractometer (D/Max 1200, Rigaku Co, Japan)를 이용하여 회절각도 (2θ) 70~5°까지 회절시켜 얻었으며 이때 사용한 기기조건은 target: Cu-Kα, filter: Ni, viltage: 20 mA, full scale range: 2000과 7000 cps, scanning speed: 8°/min 조건에서 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 전분의 약산처리에 의한 가수분해 특성

0.1 N HCl로 35°C에서 산처리시 여러전분의 가수분해율은 Fig. 1과 같다. 산처리 시간에 따라 약산처리 전분

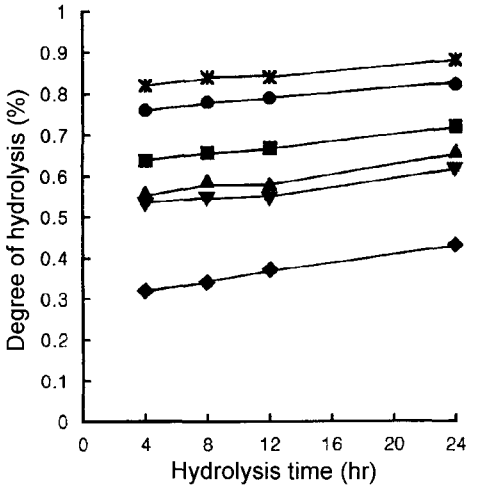

Fig. 1. Degree of hydrolysis of starch with 0.1 N HCl at 35°C.
◆ : normal maize starch(Daesang)
▼ : waxy maize starch(Daesang)
▲ : waxy maize starch(Samyang)
■ : waxy barley starch(Suwon 236)
✳ : waxy rice starch(Sinsun chalbyeo)
● : waxy rice starch(Hwasun chalbyeo)

의 가수분해율은 0.32~0.88%로 증가하였으나, 0.1 N HCl의 약산처리 조건에서는 24시간 처리시간에 따라 가수분해율이 직선적으로 증가하지는 않았다.

이는 전보[18]에서 아밀로오스 함량이 다른 옥수수전분을 1 N HCl로 24시간 산처리시 가수분해율이 산처리 시간에 따라 직선적으로 증가한 결과나 김 등[25]이 쌀전분을 1N HCl로 산처리시 가수분해율이 직선적으로 증가하였다는 보고와는 다른 경향으로 이는 산처리 조건이 0.1 N HCl로 위의 실험 조건보다 산농도가 약한 조건으로 인한 것으로 생각되었다.

대상옥수수전분의 경우 산가수분해율은 0.32~0.43%였으며, 찰옥수수전분은 0.54~0.66%, 찰보리전분은 0.56~0.66%, 찹쌀전분은 0.76~0.88%로 아밀로오스를 함유하고 있는 보통옥수수전분이 찰옥수수전분보다 가수분해가 적게되어 약산에 의한 초기 가수분해는 주로 무정형부분의 아밀로펙틴 부분에서 일어나 찰전분이 높음을 알 수 있었다. 같은 조건에서 전분의 종류에 따른 가수분해율은 찹쌀전분>찰보리전분>찰옥수수전분의 순으로 찰옥수수전분이 산가수분해에 저항을 갖는 것으로 생각되었다.

Pessa 등[26]은 0.1~1 M HCl로 옥수수전분을 산처리하여 HPLC로 분석하였을 때 amylopectin, intermediate fraction, amylose 순으로 분획되었고, 산처리 4시간까지는 아밀로오스 함량변화가 매우 적게 일어나 초기에는 아밀로펙틴이 가수분해되고 아밀로오스는 큰 영향을 받지 않는다고 하였으며, 1 M HCl로 4시간 산처리한 옥수수전분의 가용성 탄수화물의 양이 1.2%였다고 보고하였다. Ali 등[27]도 0.5 M HCl로 50°C에서 4시간 동안 처리한 감자전분은 약1%정도의 가수분해율을 나타내었다고 하였고, 김 등[25]의 보고에서도 1 N HCl로 쌀전분을 산처리시 산처리 3시간까지는 아밀로펙틴의 분해가 일어나고 24시간 이후에는 아밀로펙틴이 완전히 분해되고 아밀로오스 부분의 분자량도 감소하였다고 하여 약산처리에 의한 전분 구성성분의 변화는 아밀로오스보다는 아밀로펙틴의 변화로 생각되었다.

2. 약산 처리전분의 저항전분 형성

0.1 N HCl로 산처리를 실시하여 각 가수분해 시간에 따른 시료로 가열-냉각 싸이클을 4번 반복하여 형성한 저항전분의 수율은 Table 1과 같다. 전분의 종류에 따라 산처리 효과가 달라 보통옥수수전분은 24시간까지 RS수율이 증가하였고 찰옥수수와 찰보리전분은 산처리 12시간에, 찹쌀전분은 산처리 8시간에 최대 RS수율을 보였다. 보통옥수수전분의 RS수율은 산처리하지 않은 전분의 경우 17.8%였으며 24시간 처리할때까지 수율이 증가하여 12시간에는 23.2%, 24시간 처리시에는 36.7%를 나타내어 아밀로오스를 함유한 보통전분의 경우 산처리에 의해 아밀로펙틴의 가지 부분이 일부 가수분해되어 긴사슬이 증가되고 이러한 직쇄상의 분자들이 아밀로오스 같이 작용하여 RS함량이 증가하는 것으로 생각되었다. 무처리 찰옥수수전분은 종류에 따라 1.5%와 0%였으며 찰보리인 수원 236전분은 2.7%로 찰보리전분이 높았으나, 12시간 처리시 각각 5.5%, 13.2%, 5.7%로 찰옥수수전분 중 삼양제넥스제품의 수율이 가장 높은 값을 보였으며, 24시간 처리하면 수율이 다시 감소하였는데, 이는 산처리에 의해 α-1,6 glycosidic 결합 뿐만아니라 α-1,4 glycosidic 결합이 끊어져 전분분자의 사슬길이가 짧아져 RS를 형성

Table 1. Yield(%) of resistant starch from acid-treated starches with 0.1 N HCl at 35°C which are 4 autoclaving-cooling cycle

Starches		Acid hydrolysis time (hr)				
		0	4	8	12	24
Maize	Normal maize starch (Daesang)	17.8 ± 0.2^{e}	19.4 ± 0.2^{d}	21.3 ± 0.3^{c}	23.2 ± 0.0^{b}	36.7 ± 0.2^{a}
	Waxy maize starch (Daesang)	1.5 ± 0.3^{c}	1.6 ± 0.3^{c}	3.6 ± 0.1^{b}	5.5 ± 0.0^{a}	1.3 ± 0.1^{c}
	Waxy maize starch (Samyang)	0 ± 0.0^{c}	0 ± 0.0^{c}	0.1 ± 0.3^{c}	13.2 ± 0.3^{a}	3.6 ± 0.1^{b}
Barley waxy	Waxy barley starch (Suwon 236)	2.7 ± 0.2^{d}	3.2 ± 0.0^{c}	3.8 ± 0.0^{b}	5.7 ± 0.1^{a}	2.0 ± 0.1^{e}
Rice	Waxy rice starch (Sinsun chalbyeo)	0.7 ± 0.1^{d}	1.3 ± 0.0^{c}	8.3 ± 0.1^{a}	3.1 ± 0.1^{b}	0 ± 0.0^{e}
	Waxy rice starch (Hwasun chalbyeo)	0.3 ± 0.0^{d}	0.6 ± 0.0^{c}	6.2 ± 0.1^{a}	1.0 ± 0.1^{b}	0.5 ± 0.1^{c}

Values with different superscript in the row are significantly different at $p<0.05$.

하기 어려웠을 것으로 생각되었다. 찹쌀전분인 신선과 화선은 무처리시 0.7%와 0.3%로 RS의 형성이 거의 안되었으나 8시간 처리시까지 수율이 증가하여 8.3%, 6.2%를 나타내다가 12시간 이후에는 다시 감소하였다. 이 결과, 찰전분의 종류와 품종에 따라 약산처리에 따른 가수분해 정도가 다르며 효소저항전분의 형성과 수율에도 영향을 미침을 알 수 있었다.

효소저항전분은 아밀로펙틴보다는 직선상의 긴사슬인 아밀로오스가 회합함으로써 형성되는 것으로 알려져 있고 아밀로오스 함량이 높은 전분이 RS를 형성하기 쉬운 것으로 알려져 있으며[22,28]. amylomaize, barley, pea, lentil 전분을 2.2 N HCl로 산처리 후 가열 처리하여 RS를 형성시 30분 산처리시까지는 RS형성이 증가하다가 점차 RS형성이 감소하였다고 보고하였는데[29], 이는 pullulanase 처리와 같이 산처리 초기단계에 전분내의 무정형부분이 일부 가수분해되고 이러한 가수분해가 주로 아밀로펙틴 분자의 가지 근처에서 일어남으로써 산가수분해물에 아밀로오스와 같은 직쇄상의 분자나 이중나선형 분자들이 증가되며, 이 전분을 가열-냉각 과정을 반복시켰을 때 긴 직쇄상의 분자들이 열에 의해 강한 결합을 형성하여 효소저항전분을 형성함으로 효소에 대한 저항성이 커져 수율이 증가되었다고 하였다.

3. 주사전자현미경을 이용한 전분의 형태

주사전자현미경(SEM)에 의해 관찰된 12시간 산처리한 옥수수전분의 특성은 Fig. 2~4와 같다.

무처리전분은 Fig. 2와 같이 둥글고 다각형으로 찰전분의 입자의 크기가 작은 경향을 보였으며, 12시간 산처리하면 전분입자의 모양이나 크기의 변화는 거의 없었다.

가열-냉각 싸이클을 4회 반복 실시한 후 옥수수전분의 형태는 Fig. 3과 같이 전분 입자의 모양은 없이 덩어리 형태를 보여 가열에 의해 입자의 붕괴가 일어난 것을 알 수 있었다. 보통옥수수전분의 경우 산처리에 의해 RS형성전분의 모양이 단단한 구조로 된 것 같았으며, 찰옥수수전분은 모두 유리질과 같은 모양을 보였고 약산처리에 의해 유리질 중간에 결정 덩어리가 포함된 거친 표면 구조를 보였다.

약산처리한 후 분리한 저항전분의 형태는 Fig. 4와 같

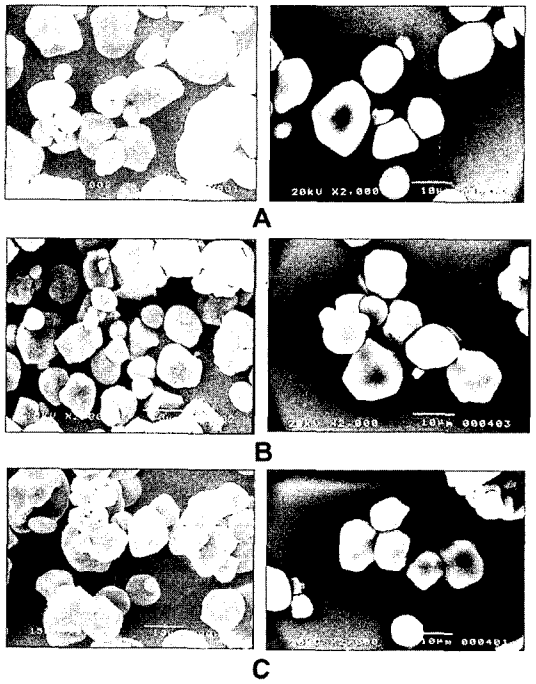

Fig. 2. Scanning electron microphotographs of untreated (left) and 12hr acid-treated(right) maize starches with 0.1 N HCl.
A: Normal maize starch(Daesang)
B: Waxy maize starch(Daesang)
C: Waxy maize starch(Samyang)

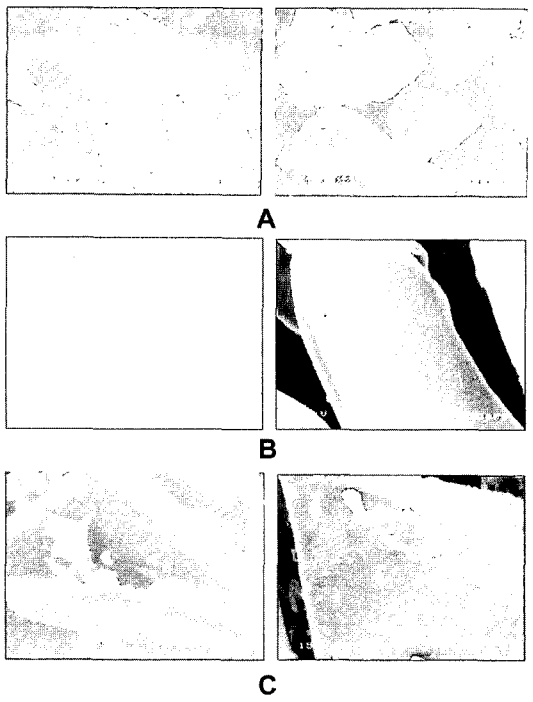

Fig. 3. Scanning electron microphotographs of autoclaving-cooling cycled untreated(left) and 12hr acid-treated(right) maize starches with 0.1 N HCl.
A: Normal maize starch(Daesang)
B: Waxy maize starch(Daesang)
C: Waxy maize starch(Samyang)

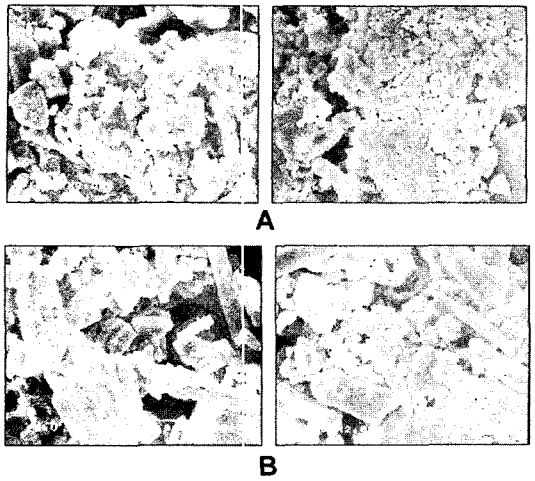

Fig. 4. Scanning electron microphotographs of resistant starches of untreated(left) and 12hr acid-treated(right) maize starches with 0.1 N HCl.
A: Normal maize starch(Daesang)
B: Waxy maize starch(Daesang)

이 보통옥수수전분의 경우 표면에 작은 알갱이들이 붙어 있어, 옥수수전분에서 분리한 RS의 표면에 작은 알갱이들이 많이 붙어 있었다는 보고[28]와 같았으며 산처리의 경우 알갱이 크기가 감소하였으며, 찰옥수수전분의 경우는 작은 알갱이와 막대 모양의 단단한 결정들이 관찰되었고 약산처리에 의해 저항전분의 형태는 큰 변화가 없었다. 이는 전보[28]에서 아밀로오스 함량이 다른 옥수수전분으로 형성된 저항전분의 형태와 약간의 차이를 보였는데 아밀로오스 함량이 높으면 RS수율도 높아 노화 아밀로오스에 의해 만들어진 미셀구조의 알갱이들이 더 많을 수 있으며 이는 전분을 구성하는 아밀로오스와 아밀로펙틴의 함량과 각각의 구조에 의해 영향을 받을 수 있다고 생각되었다.

옥수수전분과 찰옥수수전분의 형성된 효소저항전분과 분리된 효소저항전분의 형태가 다른 것은 전분의 재결정화될 때 아밀로오스 사슬이 결정화에 참여함으로써 아밀로펙틴만 결정화된 것과는 결정의 정도나 결정 구조가 다르기 때문으로 생각되었다.

4. X-선 회절기에 의한 전분의 특성

시료 옥수수전분의 X-선 회절도 양상은 Fig. 5~7과 같다.

12시간 산처리한 전분과 무처리전분의 X-선 회절도는 Fig. 5와 같이 무처리전분의 경우 $2\theta = 15°$, $17°$, $23°$ 근처에서 피크를 보이는 전형적인 A형을 나타냈으며 약산처리에 따른 결정형의 변화나 피크 위치, 강도에는 변화

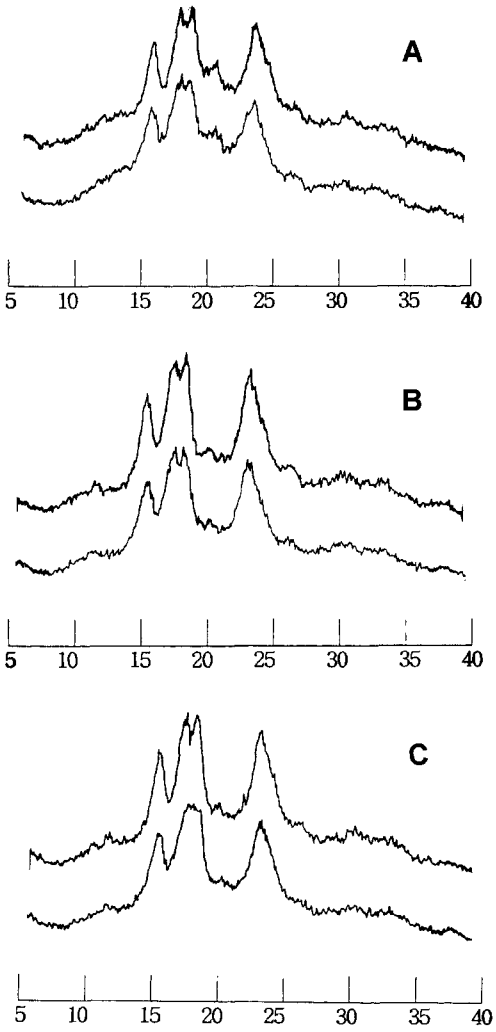

Fig. 5. X-ray diffraction patterns of untreated(down) and 12hr acid-treated(up) maize starches with 0.1 N HCl.
A: Normal maize starch(Daesang)
B: Waxy maize starch(Daesang)
C: Waxy maize starch(Samyang)

가 없었으며, 이는 가수분해율이 1% 미만으로 낮은 가수분해율과 주로 무정형 부분의 α-1,6 결합 부근의 가수분해로 인해 결정형의 변화는 없을 것으로 생각되었다. 단시간 산처리시 전분입자의 결정성 영역에는 산의 침투가 어려워 가수분해가 전혀 일어나지 않은 것으로 생각된다. 일반적으로 산처리에 의해서는 전분의 결정형은 변화되지 않으며 산가수분해가 진행됨에 따라 피크는 점점 예리해지는데 이는 무정형부분의 가수분해로 인해 상대적인 결정강도가 증가하기 때문이라고 보고 되었고[17] 이런 결과는 주로 1~2.2 N HCl이나 H_2SO_4를 이용하여 수일

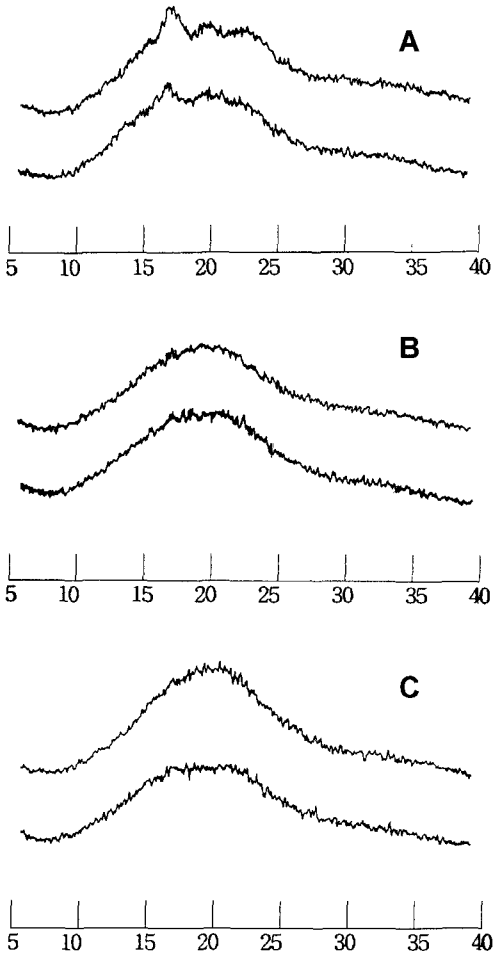

Fig. 6. X-ray diffraction patterns of autoclaving-cooling cycled untreated(down) and 12hr acid-treated(up) maize starches with 0.1 N HCl.
A: Normal maize starch(Daesang)
B: Waxy maize starch(Daesang)
C: Waxy maize starch(Samyang)

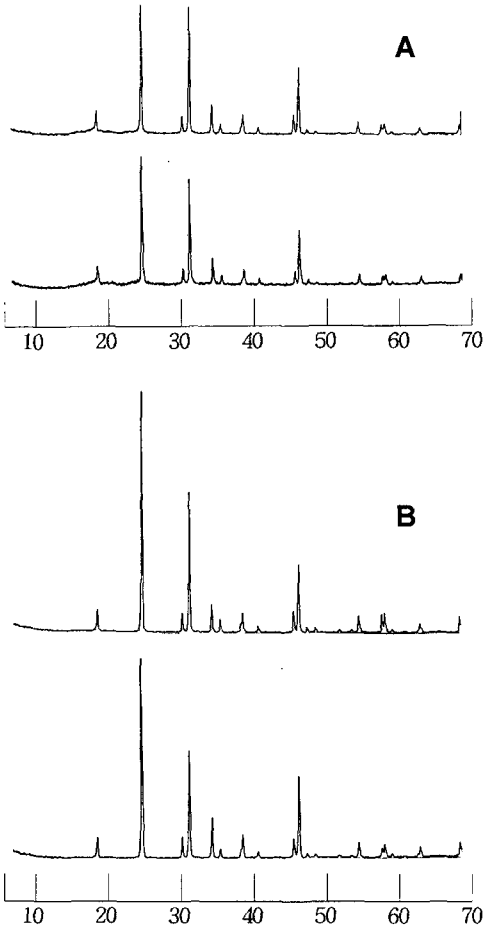

Fig. 7. X-ray diffraction patterns of resistant starches of untreated(down) and 12hr acid-treated(up) maize starches with 0.1 N HCl.
A: Normal maize starch(Daesang)
B: Waxy maize starch(Daesang)

간 처리하여 높은 가수분해를 보이는 경우로 본 실험에서처럼 산의 농도가 낮고 처리시간이 짧은 경우는 결정성의 증가는 없을 것으로 생각되었다.

12시간 산처리 전분으로 형성된 효소저항전분 X-선 회절도는 Fig. 6과 같다. 가열-냉각 싸이클을 4회 반복시 보통옥수수전분은 $2\theta = 16.5°$의 피크가 나타났으며 0.1 N HCl로 12시간 처리시 $2\theta = 16.5°$의 피크가 더 강해졌고 20°와 23°의 피크가 나타났으나, 찰옥수수전분은 무처리전분과 산처리전분 모두 무정형의 피크를 나타내었다. Kim 등[30]은 전분의 노화도를 효소법과 X-선 회절도, DSC로 비교하였을 때 X-선 회절도는 결과에 낮은 예민도를 보인다고 하여 RS가 일부 형성되어도 X-선 회절도의 피크가 나타나지 않을 수 있다고 생각된다. Sievert 등[31]의 연구에서도 가열-냉각 과정을 거친 옥수수전분들의 경우 X-선 회절도에 의해 B형을 나타내었으며 싸이클 수가 증가할수록 피크 강도도 증가하였다고 보고하였다.

분리된 효소저항전분의 X-선 회절도는 Fig. 7과 같이 공통적으로 $2\theta = 23.9°$, 30.8°, 46.5°의 큰 피크와 17.4°, 34.0°, 38.5°등의 작은 피크가 있는 매우 강한 결정형을 나타내어 전보[18]에서와 같이 효소저항전분의 분리로 강한 결정형만을 갖는 부분만이 분리되었음을 알 수 있었고, 보통옥수수전분에 비해 찰옥수수전분의 피크강도가 더 커서 찰전분으로 생성된 효소저항전분의 결정형이 큼을 알 수 있었으며 약산처리에 따른 결정형의 변화는 없었다.

Ⅳ. 요 약

찰전분을 0.1 N HCl로 산처리하여 약산처리 전분의 특성과 효소저항전분의 수율 및 특성을 비교한 결과 가수분해율은 0.32~0.88%로 낮았으며 약산처리에 의해 처리시간에 따라 가수분해율이 직선적으로 증가하지는 않았다. 효소저항전분의 수율은 보통 옥수수전분은 24시간까지 RS수율이 증가하였고 찰옥수수전분과 찰보리전분은 산처리 12시간에, 찹쌀전분은 산처리 8시간에 최대 RS 수율을 보여, 찰전분의 종류와 품종에 따라 가수분해정도와 수율이 차이가 났다. 옥수수전분의 형태는 약산처리에 의해 형태변화가 없었으며, 효소저항전분 생성전분은 보통옥수수전분의 경우 그물망 같은 형태를 나타내었으나 찰옥수수전분은 표면이 강한 결정 입자를 보였으며, 약산처리에 의해 생성전분과 분리된 효소저항전분의 형태는 차이가 없었다. X-선 회절기에 의한 전분의 형태는 생전분의 경우 전형적인 A형을 나타내었으며 산처리에 의한 변화는 없었다. 형성된 효소저항전분은 보통옥수수전분의 경우 약산처리시 $2\theta = 16.5°$피크가 강해졌으며 찰옥수수전분의 경우 무정형의 피크를 나타내었고, 분리된 효소저항전분은 형성전분과는 다른 경향을 보여 완전한 결정형을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 1997년도 학술진흥재단의 박사후연수과정 연수비지원에 의하여 연구되었음에 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Wurzburg O.B.: Modified starches: properties and uses. New York: CRC Press, (1987).
2. Raja KCM: Studies on alkali-modified cassava starch changes of structural and enzyme(α-amylase) susceptibility properties. Starch, **44**: 133(1992).
3. Chinachoti P.: Carbohydrates: functionality in foods. Am. *J. Clin. Nutr.,* **61**: 922S(1995).
4. Annison G, Topping DL: Starch modification during food processing and its digestion. *Annu. Rev. Nutri.*, **14**: 297(1994).
5. Asp, N-G.: Resistant starch. Proceedings of the 2nd plenary meeting of EURESTA: European Flair Concerted Action No.11 on physiological implications of the consumption of resistant starch in men. *Eu. J. Clin. Nutr.,* **46**(Su 2): S1.(1992).
6. Colonna, P., Leloup, V. and Bul n, A.: Limiting factors of starch hydrolysis. *Eur. J. Clin. Nutr.,* **46**(Suppl. 2): S17(1992).
7. Leloup, V.M., Colonna, P. and Ring, S.G.: Physicochemical aspects of resistant starch. *J. Cereal Sci.,* **16:** 253(1992).
8. Berry, C.S.: Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fiber. *J. Cereal Sci.*, **4:** 301(1986).
9. Englyst, H.N. and Cummings, J.H.: Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.,* **46**(Su 2): S33(1992).
10. Woo, K. and Seib, P.A.: Cross-linking of wheat starch and hydroxypropylated wheat starch in alkaline slurry with sodium trimetaphosphate. Carbohydr. Polymers, **33:** 263(1997).
11. Alexander RJ: Resistant starch- New ingredient for the food industry. *Cereal Foods World,* **40**(6): 455(1995).
12. Champ, M.: Determination of resistant starch in foods and food products: Interlaboratory study. *Eur. J. Clin. Nutr.* **46**(suppl.2): S51(1992).
13. Ranganathan, S., Champ. M., Pechard, C., Blanchard, P., NGuyen, M., Colona, P. and Krempf, M.: Comparative study of the acute effects of resistant starch and dietary fibers on metabolic indexes in men. *Am. J. Clin. Nutr.* **59:** 879(1994).
14. Silvester, K. R., Bingham, S. A., Pollock, J.R.A., Cummings, J.H. and ONeill. I.K.: Effect of meat and resistant starch on fecal excretion of apparent N-nitroso compounds and ammonia from the human large bowel. *Nutr. and Cancer,* **29:** 13(1997).
15. Ann, B., Jane, M., Gwyn, J. and Kerin, O.: Resistant starch lowers fecal concentrations of ammonia and phenols in humans. *Am. J. Clin. Nutri.,* **63:** 766(1996).
16. Hylla, S., Gostner, A., Dusel, G., Anger, H., Bartran, H-P., Christl, S.U., Kasper, H. and Scheppach, W.: Effects of resistant starch on the colon in healthy volunteers: possible implications for cancer prevention. *Am. J. Clin. Nutr.*, **67:** 136(1998).
17. 이신경, 신말식: 아밀로오스함량이 산처리 옥수수전분의 특성 및 저항전분수율에 미치는 영향. 한국농화학회지, **40**(5): 395(1997).
18. 이신경, 문세훈, 신말식: 약산처리 옥수수전분으로 효소저항전분의 생성. 한국식품과학회지, **29**(6): 1309(1997).
19. Wilson, L.A., Birmingham, V.A., Moon, D.P. and Synder, H.E.: Isolation and characterization of starch from mature and soybeans. *Cereal Chem.,* **55**(5): 661(1978).
20. Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vosse, J.R.: Structural characterization of legume starches. II. Studies on acid treated starches. *Cereal Chem.,* **58:** 502(1981).
21. Dubois, M. Gilles, K.A., Mamilton, J.K., Rebers, P.A.

and Smith, F.: Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28:** 350(1956).
22. Sievert, D. and Pomeranz, Y.: Enzyme-resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods. *Cereal Chem.*, **66**(4): 342(1989).
23. 이신경, 문세훈, 신말식: 분리방법에 따른 효소저항전분의 수율 비교. 한국식품과학회지, **29**(2): 383(1997).
24. A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis.*, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Total dietary fiber in foods, enzymatic-gravimetric method, Washington, D.C., p.1105 (1990).
25. 김성곤, 김관, 신말식, 이신영, 변시명, 이애랑: 쌀전분의 노화과정 중 전분 구조의 변화 연구, 국방과학연구소보고서 (1995).
26. Pessa, E., Suortti, T., Autio, K. and Poutanen, K.: Molecular weight characterization and gelling properties of acid-modified maize starches. *starch,* **44:** 64(1992).
27. Ali, S.Z. and W. Kempf: On the degradation of potato starch during acid modification and hypochlorite oxidation. *Starch,* **38:** 83(1986).
28. 문세훈, 백무열, 신말식: 효소저항전분의 물리적 성질에 대한 아밀로오스 함량의 효과. 한국식품과학회지, **29**(3): 516(1997).
29. Vasanthan, T. and Bhatty, R.S.: Enhancement of resistant starch(RS3) in amylomaize, barley, field pea and lentil starches. *Starch,* **50:** 286(1998).
30. Jeong-Ok Kim, Wan-Soo Kim and Mal-Shick Shin: A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and α-amylase methods. Starch, **49:** 71 (1997).
31. Sievert, D., Czuchajowska, Z. and Pomeranz, Y.: Enzyme-resistant starch. III. X-ray diffraction of autoclaved amylomaize VII starch and enzyme-resistant starch residues. *Cereal Chem.*, **68:** 86(1991).

(1999년 8월 9일 접수)