

## 식이섬유로 분류되는 저항전분의 식품에 이용

신 말 식  
전남대학교

### I. 저항전분이란?

에너지원의 대표적인 영양성분인 전분은 오래 전부터 인류가 사용해 온 안전하고 경제적인 소재로 식물체의 저장 탄수화물이다. 1980년도 후반까지

전분은 섭취하면 체내에서 완전히 분해되는 것으로 알려져 왔었는데, 그 후 전분 중에 소장에서 분해되지 않는 부분이 있음이 밝혀졌고 분해 정도가 다르며 이에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있다.

Englyst 등(1992)은 영양적인 측면에서 전분을 빨리 소화되는 전분(RDS, rapidly digestible starch), 천천히 소화되는 전분 (SDS, slowly digestible starch), 전혀 소화되지 않는 저항전분(RS, resistant starch)으로 구분하였다.

1990년 EURESTA(European Flair Concerted Action on Resistant Starch)에서 저항전분을 건강한 개인의 소장에서 흡수되지 않는 전분과 전분 분해물의 총합이라고 정의를 내렸다(Asp 1992). Englyst와 관련학자들은 이 RS를 3가지로 나누어

Table 1. Nutritional classification of starch.

Type of Starch	Example of Occurrence	Degree of digestion in small intestine
Rapidly digestible starch (RDS)	Freshly cooked starchy food	Rapid
Slowly digestible starch (SDS)	Most raw cereals	Slow but complete
Resistant starch (RS)		
Physically inaccessible starch	Partly milled grains and seeds	Resistant
Resistant granular starch	Raw potato, banana, & high amylose maize starch	Resistant
Retrograded starch	Cooled, cooked cereal products	Resistant
Chemically modified starch		Resistant

효소와 접근할 수 없어 소화되지 않은 상태의 RS1, B형의 결정형을 갖는 입자형의 저항전분으로 감자, 바나나, 고아밀로오스 옥수수전분과 같은 생 전분을 RS2, 노화된 아밀로오스의 결정형을 포함한 노화전분을 RS3로 구분하였다. 최근 화학적으로 변성된 전분 중에 소화되지 않는 전분을 RS4로 구분하여 저항전분에 포함하였다(Englyst et al 1992, Eerlingen et al 1993).

## II. 저항전분의 생체 내에서의 역할

현재 식이섬유에는 비 전분 다당류와 저항전분, 리그린을 포함하고 있지만 나라마다 식이섬유에 대한 정의가 다르므로 아직 명확한 구분이 되고 있지 않으나 식이섬유와 비슷한 생리 활성을 갖는 것으로 알려져 있고 총 식이섬유 함량을 분석하는 방법으로 그 함량을 측정하고 있다.

### 1. 낮은 글리세믹 인덱스

glycemic index(GI)는 white bread를 섭취하

였을 때 분해, 흡수되어 생긴 혈당치에 대한 각각의 음식을 섭취한 다음의 혈당치의 증가량을 백분율로 나타낸 것으로 실제 소화될 수 있는 전분의 비율을 알 수 있다(Jenkins et al 1988). 저항전분은 소장에서 소화와 흡수되지 않는 전분으로 섭취 후 혈중의 포도당 함량과 인슐린농도는 감소된다. 이런 성질은 일반적인 식이섬유의 특성으로 혈당을 낮추어야 하는 당뇨병 예방에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각되고 지속적인 연구를 하고 있다(Grangfeldt et al 1995, Baghurst et al 1996). 저항전분을 함유한 낮은 GI를 갖는 식품은 만성질환의 위험이 감소시켰고 이는 식후 인슐린 농도의 저하 및 HDL-cholesterol의 증가와도 관련이 있으며 type2 당뇨병의 위험이 감소한 것에도 연관이 있다고 하였다. type2 당뇨병은 대장암에 의한 사망과 관련이 있어 대장암의 예방도 low GI와 관련된 효과로 생각하였다. 반면 Truswell(1992)은 많은 식품의 GI 결과와 RS 함량과의 관계를 확인할 수 없었다.

### 2. 대장암 억제와 변비 예방

소장에서 소화되지 않고 통과한 저항전분은 식이

$$\text{Dietary Fiber} = \text{Non-Starch Polysaccharide} + \text{Resistant Starch} + \text{Lignin}$$

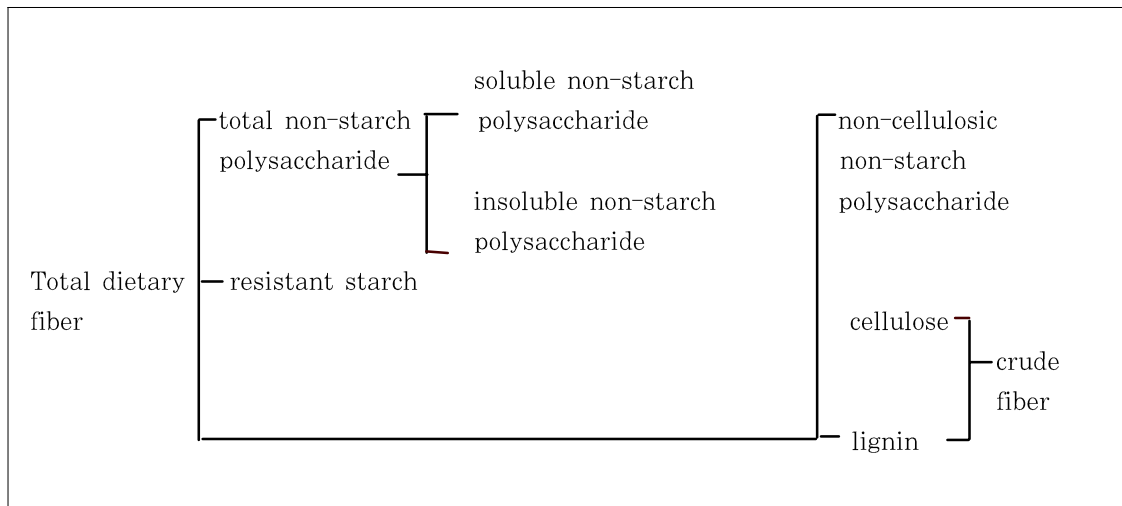


Fig. 1. Schematic diagram of fiber fractions

섬유처럼 대장에서 발효되어 단쇄지방산(short chain fatty acid, SCFA)을 생성하고 대장의 pH도 낮추어 대장암 억제 효과를 보인다. 특히 다른 대장암의 위험도를 낮추는 뷰티릭산(butyric acid)의 생성이 현저히 증가하여 대장암 억제 효과가 크고 퀘양성 대장염의 치료도 가능하다고 알려져 있다. Van Munster와 공동연구자들(1994)의 보고에 의하면 저항전분이 대장의 세포 증식을 감소하고 단쇄지방산 생성을 증가하며 2차 담즙산(디옥시콜릭산) 농도를 낮춘다고 하였다. 대장내의 암모니아 생성을 줄여 암모니아에 의한 독성의 영향을 줄이고 니트로소아민의 함량도 줄일 뿐만 아니라, 페놀이나 질소화합물의 생성과도 관계가 있는 것으로 생각되고 있으나 아직 확실하지 않다(Phillips et al 1995).

배설물의 부피증가는 변비를 막는데 매우 중요하며 대장에서 생성될 수 있는 독성물질을 희석하는 효과도 있다. Heijnen 등(1995)은 포도당을 공급한 경우와 RS2와 RS3를 32g/일 보충한 경우 비교했을 때 성인남자에게서 대장암의 위험요소로 알려진 효과를 확인할 수 없었고 배변 양이나 대장의 발효력의 활성이 증가함을 확인하였다. Silvester 등(1997)은 저항전분을 포함하여 섭취한 경우 배변량의 증가와 대변의 pH 감소가 뚜렷하였지만 질소화합물이나 암모니아의 변화는 확인할 수 없었고, Hylla 등(1998)은 저항전분이 대변의 스테롤을 감소시켰으며 대장내의 미생물 대사에 중요한 영향으로 주므로 대장암 억제와 관련이 있을 것으로 제안하였다.

### 3. 콜레스테롤과 HDL의 대사의 영향

식이 섬유소의 발효에 의해 생성된 단쇄 지방산이 콜레스테롤 합성을 억제하는 효과가 있다는 증거가 있으며, Asp 등(1996)도 동물실험에서 혈 중 콜레스테롤을 낮춘다는 결과를 보고하였다. 동물실험에서 저항전분을 첨가한 실험군과 다른 식이 섬유소를 첨가한 군을 비교한 결과 총 콜레스테롤은 비슷하였

지만 HDL-cholesterol은 저항전분을 첨가한 군이 높은 경향을 보였다.

Marchini 등(1998)은 저항전분을 보충한 그룹에서 식후 혈장 트리아실글리세리드를 많은 함유한 지단백의 감소가 chylomicron의 제거를 증가시키는데 이는 관상동맥 질환을 예방할 수 있는 흥미로운 결과라고 하였다.

### 4. 체중 조절과 열량

저항전분은 정의에서 알 수 있듯이 소장에서 소화되지 않아 낮은 에너지값을 나타내므로 열량의 균형에 밀접한 관련이 있는데 ileostomy 환자의 최근 연구에서 저항전분이 많은 식사를 한 경우 지방질의 배설을 증가시켜 열량 균형에 영향을 준다고 하였다. 저항전분을 많이 함유한 식사를 먹었을 경우 소화가 안되어 배변 양이 많아지는 것은 비만이나 인슐린 비의존성 당뇨병을 조절할 수 있음을 보여준다고 할 수 있다. 저항전분을 섭취하였을 때 발생하는 열량은 대장에서의 발효에 의해 생성된 지방산 흡수로 발생하는 약 2.2 kcal/g 정도로 평가하고 있는데 Ranhotra 등(1996)은 쥐로 동물 실험한 결과 저항전분의 1/3이 발효되었지만 열량이 없었다고 보고하였고, Behall과 Howe(1997)는 8.4 kJ(2 kcal/g)의 열량을 낸다고 하였다. 발효로 생성된 지방산 모두 열량을 발생하지 않을 수 있으며 결과적으로 최대로 낼 수 있는 열량은 전분이 100% 소화되었을 때 발생할 수 있는 4 kcal/g의 50% 정도로 생각되었다.

### 5. 비타민과 무기질의 유용성에 대한 영향

저항전분의 미량영양소인 비타민과 무기질의 유용성에 대하여 보고된 바 없지만 식이섬유의 효과와 관련지어 생각하면 저항전분이 지방의 흡수를 억제한다고 하였을 때 지용성 비타민의 유용성에 영향을 줄 것으로 생각된다. 무기질에 대해서는 별 연구가 되어있지 않으나 제초제나 농약에 의해 무기질 양이

증가됨으로써 이에 관련된 접근이 필요하다.

### III. 저항전분의 식품에 이용

#### 1. 저항전분의 생성

식품 중에 함유될 수 있는 저항전분의 형태에 따라 분류하여 살펴보면 다음과 같다.

- i) RS1은 분쇄가 되지 않은 곡류나 두류 중에 포함될 수 있으며 가공 중에 일부 발견할 수 있지만 그 양이 적으며,
- ii) RS2는 B형의 결정형인 입자형 생 전분으로 가열, 조리, 가공 중에 전분이 호화 되면 더 이상 효소에 저항성이 없어진다. 예로 RS2인 감자전분을 37°C로 porcine pancreatin을 이용하여 분해시키면 RS 함량이 75% (Englyst et al 1992), 76.6% (Englyst data), 38.7% (P/G method)이나 AOAC 방법으로 처리하면 그 과정 중에 가열하여 효소반응을 거치므로 거의 2% 미만의 결과를 보인다. 또한 가열한 감자전분에 pancreatin을 작용하면 1% 미만 (P/G method)의 저항전분을 함유한다. 가열 처리로 호화된 전분은 효소에 의해 쉽게 분해되는 구조로 변화되었기 때문에 생각된다. 고 아밀로오스 옥수수전분은 호화에 많은 수분이 필요하고 호화온도도 높아 보통 100°C 정도로 가열하면 호화되지 않는 부분이 있다. 이로 인해 분석 방법에 따라 약간 다르나 높은 저항전분을 함유하게 된다. RS2는 가열하지 않는 식품에 첨가하거나 수분이 제한적으로 사용되어 호화되지 않은 상태로 섭취하는 음식(쿠키)에 사용하면 섭취 저항전분 양을 증가할 수 있을 것이다.
- iii) RS3는 가열에 의해 호화된 전분이 저장 중에 노화되면서 재결정화에 의해 만들어진 부분으로 주로 직선적인 구조를 갖는 아밀로오스 결정의 함량에 의해 영향을 받게되므로 고아밀로오스 함량을 갖는 전분으로 처리된 경우

RS함량이 높다. 제조된 RS3 전분에 들어있는 저항전분은 145-160°C에서 용융되므로 이 온도 이하에서 가열처리하여 만든 가공식품은 효소에 대한 저항성이 안전하게 유지된다. 주로 완전히 호화를 시킨 전분 호화액을 가열-냉각과정을 반복하던지, 또는 결정화가 잘 될 수 있도록  $\alpha$ -1,6 결합을 끊어주면 전분 분자가 무정형 구조를 갖고 다시 결정화될 때 이중나선형 구조가 층을 이루는 라멜라(lamella) 또는 미셀(micelle)형태로 모여있는 구조로 되어 저항성이 증가된다. 전분의 종류에 따라 저항전분(RS3)의 생성 정도는 달라지며, 일반적으로 보통 아밀로오스 함량을 갖거나 찰 전분으로 아밀로오스를 거의 갖고 있지 전분은 가열과정에서 완전히 호화되어도 재결정할 때 분지된 아밀로펙틴에 의해 저항성을 갖는 구조를 형성하기 어렵다. 여러 가지 가능성을 고려하여 본 연구실에서는 보통 아밀로오스를 함유한 여러 종류의 전분으로 가열 냉각과정을 거친, 즉 노화전분을 형성하는 RS3 전분을 제조하면서 RS 수율을 25%이상으로 증가시키도록 물리, 화학적인 변성처리를 실시하여 RS 수율을 높일 수 있는 조건을 확립하였다.

또한 가열-냉각 과정이 아닌 가열 용융 과정인 압출성형기(extruder)를 이용하여 현재 생산되는 호화전분(0% RS)에 RS를 5% 이상 함유할 수 있도록 extrusion의 조건을 설정하였다. 설정된 압출성형 조건으로 RS 수율을 높일 수 있는 방법을 모색하였으며 발표한 바 있다.

- iv) RS4 전분은 화학적인 변성처리를 하여 RS 수율을 높일 수 있는 방법으로 Seib와 Woo(1999, 2001)에 의해 가교결합 저항전분이 얻어졌으며, 본 실험실에서 가교결합 조건에 다른 물리화학적 처리를 병행하여 RS 수율을 증가시킨 방법도 확인하였다. RS4는 생전분과 같이 입자형태를 그대로 유지하여

RS3 전분과는 성질이 차이가 나며, 제조 방법을 조어하면 팽윤력의 차이를 조절할 수 있어 다양한 전분질 식품에 식이섬유 첨가소재로 가능성을 갖고 있다. 이 RS4 전분은 총식이섬유 분석 방법으로 승인된 AOAC 방법에 의해 측정하면 매우 높은 RS 수율을 보였다. Codex에서 허용하는 범위의 조건으로 제조된 가교결합전분과 현재 사용되는 가교결합전분은 주로 냉동-해동 안정성을 갖게 한다거나 점도를 증가시키고 안정하게 하는 목적으로 이 조건의 변성전분은 매우 낮은 RS 함량을 보인다.

## 2. 저항전분의 분석

미국과 호주 등의 일부 국가에서는 저항전분을 식이섬유 범주에 넣어(그림1) 총 식이섬유소를 분석하는 방법인 approved AOAC 방법을 사용하고 있다. 여기에 유럽의 과학자들은 이 방법의 문제점을 제시하면서 porcine pancreatin을 이용한 Englyst 등(1992)에 의한 방법을 사용하고 있으며, 이외에 효소의 종류나 조건을 달리하여 여러 과학자들에 의해 많은 방법이 제안되고 있다. 그러나 *in vivo* 조건인 인체 내에서 일어나는 전분의 장내 소화작용의

결과를 그대로 얻을 수 있는 *in vitro* 방법이 무엇인지를 밝히기에는 어려움이 있다. Englyst 등(1992)이나 Champ(1992), Champ 등(1998)은 *in vitro* 실험의 결과를 *in vivo* 결과와 비교하였는데, Englyst가 제시한 *in vitro*에서 RDS(초기 20분까지의 분해), SDS(2시간과 20분에 일어나는 분해)와 RS(2시간 이후에도 분해되지 않는 부분)는 실제 인체내의 분해되는 결과와 비슷하다고 하였다. Champ는 *in vitro* 시험에서 측정된 값이 체내의 분해되지 않는 부분의 값보다 낮은 값을 보인다고 하였다.

현재까지 알려진 많은 방법들이 있지만 제조된 여러 형태의 저항전분 수율을 간편하고 정확하게 측정할 수 있는 방법을 확립하는 것이 중요하며 또한 RS가 첨가된 식품이나 식품의 조리, 가공 중에 생성된 RS의 함량을 측정할 수 있는 방법을 정립하는 것이 필요하다. 식이섬유 중에 포함되는 여러 탄수화물들을 구분하여 그 함량을 측정할 수 있고, RS 함량, RS 형태에 따른 함량을 구분하여 측정하는 방법도 필요하고 모든 형태의 전분에 대해 RDS, SDS와 RS를 분석하여 용도에 따라 구분하여 식품에 사용하는데 분석자료를 제공할 수 있는 방법의 제시가 필요하다. 이런 분석방법을 확립하기 위해서는 현재까지 사용되는 분석 방법에 대한 검토가 필

Table 2. Comparison of RS level measured by *in vivo* and *in vitro* methods

Method	RS level (%)	
	RAS (retrograded high-amylose starch)	CAS (complexed high-amylose starch)
<i>in vivo</i> Champ et al(1998)	51 ± 2	21 ± 2
<i>in vitro</i> Siljeström & Asp(1985) Champ(1992) Englyst et al(1985)	14.1	9.7
	29.9	12.8
	26.1	13.9

요하므로 식이섬유와 RS의 분석방법을 정리하였다. 이 방법 외에 여러 과학자들에 의해 제안된 방법 등이 많이 보고되었으나 흔히 알려진 방법들만 소개한다. 앞으로 식품에 다른 영양소를 표시하듯이 식이섬유소나 저항전분의 함량을 표시해야 될 것으로 생각되므로 분석방법은 더욱 중요하다.

2.1. 식이섬유와 저항전분의 분석

2.1.1. AOAC or Prosky method

직접적인 효소-중량법으로 가열에 의해 전분을 호화시키고 heat stable  $\alpha$ -amylase (100°C, 15min, with stirring), protease(60°C, 30min with shaking), and amyloglucosidase(60°C, 30min with shaking)로 분해한 다음 총 반응액의 알코올 농도가 80%가 되도록 에탄올을 첨가하여 이 조건에서 침전되는 부분을 유리 필터로 모아 건조시킨 후 그 무게를 측정한다. 이 잔여물에는 회분이나 단백질이 함께 정량되므로 이 부분을 회분함량, 단백질 함량을 따로 분석하여 감한 값으로 한다. 이 방

법의 제한점은 80% ethanol에 녹을 수 있는 용해성 부분은 총 식이섬유 함량에서 제외될 수 있는 점이다. 이 방법을 사용하는 나라에는 미국, 호주, 독일, 스위스, 스웨덴, 노르웨이, 덴마크, 일본 등이 포함된다.

2.1.2. Englyst et al method

전분을 pullulanase, pancreatin, alpha-amylase로 처리 후에 DMSO로 분산시키고, 용해성 비전분 다당류는 에탄올로 침전, 셀룰로오스는 12M 황산으로 분산, 모든 다당류는 2M 황산으로 가수분해하여 가수분해물을 결정한다. RS는 total starch를 enzyme solution을 이용하여 측정하고(측정시 가수분해된 당의 함량을 측정하여 간접적으로 총 전분 함량 계산), 효소(pancreatin과 amyloglucosidase)에 의해 소화될 수 있는 전분 부분을 구한 다음 Resistant starch = total starch - digestible starch로 계산한다. 두가지 방법을 간단히 도식화하면 다음과 같다.

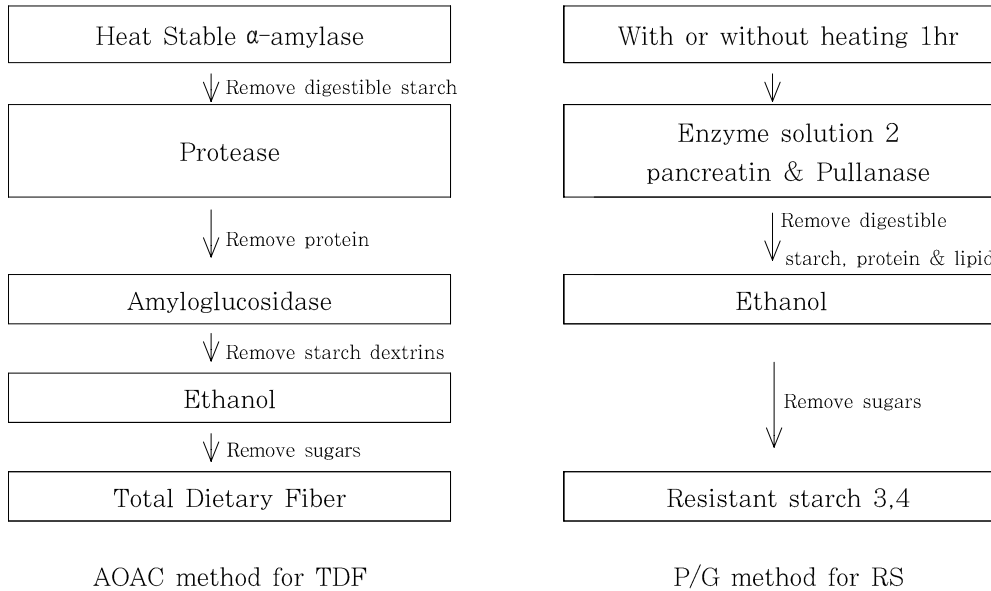


Fig. 2. Flow chart of assay methods for TDF and RS

2.1.3. Southgate method

Hot ethanol로 당과, 지방질을 제거하고, hot water로 물에 용해되는 전분과 텍스트린을 추출하고 나머지는 불용성 전분을 추출하기 위해 taka diastase로 처리하고, 헤미셀룰로오스는 5% 황산, 셀룰로오스와 펙틴은 진한 황산으로 추출, 마지막에 남는 것은 리그린이다.

제한점: 전분의 제거가 완전하지 않음, 각각의 당을 측정하는 비색법이 nonspecific하다. 영국에서 비전분 다당류와 리그린을 양적으로 측정하여 식이 섭취량을 측정하고 있다.

2.1.4. Theander(or Uppsala) method

100°C에서 내열성 효소(Termamyl)로 반응시키고 60°C에서 amyloglucosidase로 작용한 뒤 에탄올로 침전하여 침전물을 12M 황산으로 가수분해하고 희석된 황산으로 고압살균하면 여과로 리그린이 제거되고 당만 측정한다(당은 GLC, uronic acid, 비색법).

2.2. Resistant starch의 분석

아직까지도 저항전분을 식이섬유 중의 하나로 구분하여 그 함량도 식이섬유소 측정 방법에 준하고 있으며, Englyst 등은 RS 함량과 RS 형태에 따라 측정할 수 있는 방법을 제안하여 사용하고 있다. 또한 Englyst는 천천히 소화되는 전분인 SDS (slowly digestible starch)와 빨리 소화되는 전분인 RDS(rapidly digestible starch)를 *in vitro*에서 분석할 수 있는 조건을 제시하였다. 우선 RS 형태에 따른 분석의 특징을 알아본다.

i) RS1: 곡류나 전분질 식품의 가공과정 중에 physical barriers/entrapment로 효소에 접근하지 못해 효소 작용을 받지 못하므로 시료를 처리하는 분쇄 과정이나 분석 방법과정 중에 쉽게 효소를 만날 수 있는 조건이 되어 정확히 측정하기도 힘들다.

ii) RS2: 생 전분으로 존재할 때는 전분입자의 구조로 인해 전분분해효소의 작용에 저항을 받게되어 저항전분으로 분리된다. Englyst 등에 의한 37°C 조건에서 pancreatin과 amyloglucosidase로 효소반응을 하면 반응 시간에 따라 저항전분의 수율에 차이를 보이거나 다른 전분보다 높은 저항성을 보인다. 그러나 승인된 방법인 AOAC 방법은 heat stable  $\alpha$ -amylase을 이용하여 가열 호화 상태에서 반응하므로 호화과정을 거치게 되며 이때는 저항전분으로서의 가치가 없어진다.

iii) RS3: 노화된 전분이므로 AOAC 방법으로 측정이 가능하며, Englyst 등의 pancreatin을 이용한 경우에도 효소반응 전에 가열과정을 거쳐 효소와의 반응이 잘 되도록 한다. 효소 작용 후에 남은 부분을 DMSO나 2M KOH에 용해하여 용해된 부분의 총당을 측정하고 여기에 0.9를 곱하여 전분으로 환산하여 RS 함량을 계산한다. RS3 형태로 제조된 저항전분의 경우에도 실제 식품이 섭취될 때까지 가열되는 과정이 없는 경우에는 효소반응 전에 가열과정은 제거되어도 무방할 것으로 생각된다.

iv) RS4: 화학적 변성처리된 전분과 일부 전분이 마이알 반응이나 카라멜화 등으로 구조가 달라지고 중합반응을 통해 형성된 것을 포함하였는데 후자는 전분과는 다른 구조가 예상되므로 RS4로 구분된 저항전분에는 화학적 변성 전분만을 고려한다.

RS4 전분으로 알려진 가교결합된 변성전분은 전분의 종류에 따라 약간은 다르나 AOAC 방법으로는 정확한 RS 함량을 측정하기 어려움이 밝혀졌고, 이를 측정하기 위한 방법으로 pancreatin을 사용하는 방법인 Englyst 등의 방법은 가능하나 분해된 잔여 전분인 RS4 전분이 DMSO나 2M KOH에 용해되지 않아 그 다음 단계의 총당을 확인할 수 없다. 그래서 본 연구실에서는 새로운 방법을 제안하여 사용하고 있다.

Table 3. Various methods for the assay for resistant starch

Authors of published paper	Technique
Johanssen & others(1984)	Dietary fiber analysis (direct method) and residual & resistant starch analysis using amyloglucosidase
Berry(1986)	$\alpha$ -Amylase digestion:analyse remaining starch (no gelatinization, direct method)
Englyst & others(1992)	Standard ball milling & amylase digestion: measure the sugar hydrozate: analysis of resistant starch fractions (indirect method)
Muir & O'Dea(1992)	Chewing: pepsin & pancreatin digestion: analysis of remaining starch
Shin & others(unpublished data)	Heating or not: pancreatin + pullulanase solution: measure residual starch

### 3. 저항전분의 특성

#### 3.1. 형태적인 특징

전분은 종류에 따라 그 형태와 결정형이 다르며 그 중 B 형의 결정형을 갖는 생전분인 감자나 바나나, 고아밀로오스 전분은 RS2 전분으로 그 입자 모양이 그대로 유지하나 충분한 물이 있는 상태에서 소화되면 그 모양이 변한다. 상업적으로 생산되는 Novelose 240 (National Starch and Chemical Co.)는 고아밀로오스 옥수수전분으로 수분-열처리를 하여 저항전분의 수율을 증가시켰다. 제한된 수분에서 열처리를 하였으므로 입자 형태가 그대로 유지되며 소화도 되지 않아 RS2로 불리고 있다. 그러나 일부 학자는 생전분이라는 RS2의 정의에 어긋나므로 RS3로 구분하는 것이 타당하다고 주장하기도 한다. Novelose 260나 Hi-maize는 아밀로오스 함량을 70% 이상으로 증가시켜 재배한 옥수수전분으로 현재 판매되고 있는 입자형 저항전분이다.

RS3 전분은 충분한 물이 있는 조건에서 고압 가

열과 냉각과정을 거치므로 입자는 소화로 인해 본래의 입자 모양을 유지하지 못하며 소화된 전분이 서로 엉겨 덩어리져 보이고 여기에 미셀 같은 입자들이 붙어 있는 것이 관찰된다. RS3 전분은 RS 형성과정을 거친 후에 건조 후 분쇄를 하였기 때문에 생전분과는 다른 형태를 갖는다.

RS4 전분은 가교결합 과정을 거쳐서 전분 입자의 모양이 그대로 유지되며 팽윤력이 낮은 경우보다는 높은 경우 입자의 크기가 크다.

#### 3.2. 구조적인 특성

전분은 직선상의 아밀로오스와 분지상의 아밀로펙틴으로 구성되어 있으며 표면에는 단백질 막이 있는 것으로 알려져 있다. 아밀로오스와 아밀로펙틴이 전분 입자내에 어떻게 분포하는지 정확히 알 수 없지만 직선상의 사슬끼리 단단한 결합을 하고 있는 결정성부분과 분지되는 부분과 같은 무정형 부분으로 되어 있고 대체로 결정성 비율이 40-46% 정도인 부분적 결정형 고분자로 불린다. 결정성부분을 이루



는 사슬의 결정형을 x-선 회절도에 의해 A, B, C 로 나누는데 RS2는 B형의 결정형을 갖는다. 노화된 전분인 RS3는 생 전분일 때의 결정형과는 관계 없이 모두 B형을 보여주어 효소가 분해하기 힘든 구조가 B형임을 알 수 있다. RS3의 열적 분석 결과인 시차주사열량기(differential scanning calorimetry, DSC)에 의한 thermogram을 보면 흡열곡선이 140-155°C에 나타나는데 이때 RS의 용융이 일어난다고 생각한다. 이 점에서 용융이 일어나는 저항전분의 특성으로 이 온도 이하에서는 RS가 결정형 그대로 유지하여 열에 안정성을 갖는다고 할 수 있다. RS3 전분을 형성할 때는 아밀로오스 함량이 많은 전분에서 매우 높은 RS 수율을 얻었는데 고아밀로오스 옥수수전분의 경우 물이 충분한 조건(전분:물=1:3.5이상)이라도 호화가 되기 위해서는 100°C이상의 온도를 요구하기 때문에 121°C에서 고압가열/ 냉각 과정을 거쳤고, 구조적으로 아밀로펙틴의 직선사슬의 길이가 길어 아밀로오스처럼 반응하여 보통 아밀로오스 전분보다 RS 수율이 높은 이유로 설명할 수 있다. 효소로부터 분리된 RS의 중합도는 DP가 100이상, 35-65, 10미만으로 구성되어 있었다.

아밀로펙틴으로만 구성된 찰 전분은 분지된 부분이 많고 쉽게 호화되면 노화가 더디게 일어나므로 이런 전분 자체의 특징이 RS3 전분을 제조하여도 RS 함량을 높이기 어렵음이 있었다. 아밀로펙틴의  $\alpha$ -1,6 결합을 효소나 산으로 분해시키면 RS 함량을 높일 수 있을 것으로 생각되었지만 얻어진 결과는 10% 내외의 RS를 함유하였다. 그래서 가열-냉각과정에 의한 RS 형성은 찰 전분보다는 보통 아밀로오스 전분으로 처리하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

RS4는 인산기에 의해 가교결합이 형성되어 수소 결합인 전분간의 결합과는 결합정도가 다르며 제조 조건에 따라 가교결합이 전분입자의 어느 부분(무정형 또는 결정형)에 형성되는지 알 수 없다. RS4 전분의 결정구조는 생전분과 같은 결정형을 유지하므로 B형의 결정구조를 갖는 RS2나 RS3와는 다름을

알 수 있었다.

### 3.3. 이화학적 특성

저항전분은 소화되지 않는 전분이라는 영양·생리적인 의미를 갖고 있지만 이런 기능성을 갖는 저항전분을 식품을 통하여 섭취하기 위해서는 RS를 첨가한 식품 개발이 매우 중요하다. 적당량 이상의 RS가 첨가된 또는 RS를 함유한 식품의 품질 관리를 좋게 하기 위해서는 생산되는 저항전분의 이화학적 특성을 알고 또 각 식품의 가공적성에 적합한 성질을 갖는 RS를 개발하는 것이 필요하다. 저항전분의 형태와 크기, 실온과 끓는 온도에서의 저항전분의 팽윤력, 용해도, 가열에 따른 점도의 변화, 주된 곡류와 혼합할 때 나타나는 적성, 식품의 조리, 가공 중의 변화와 만들어진 식품의 저장, 유통 중의 품질 특성 등이 상호 어떻게 영향을 주는지 파악해야 한다. 전분의 종류, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 함량에 따라 다르며 제조 조건이나 방법에 따라서도 이런 이화학적 특성은 달라지므로 이에 대한 계속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

### 3.4. 위생과 안전성

전분은 고대로부터 인류가 사용하여 온 식물성 자연식품에서 얻은 소재로 매우 안전하다고 할 수 있다. 제조된 저항전분은 분말로 유통되므로 일단 수분함량을 낮춰 저장성이 뛰어나며 생전분과 비교하였을 때 같은 온도에서의 수분함량에 비해 낮은 수분활성을 보이므로 생 전분보다 좋은 저장성을 유지할 수 있다. 화학적 처리에 의한 가교결합 저항전분은 현재 개발된 RS4는 변성전분의 세계적 기준의 인산함량으로 측정된 경우 허용된 범위 수준을 기준으로 제조하였으므로 안전성에 대하여 문제는 제외할 수 있다.

## 4. 저항전분의 이용

최근 들어 건강에 대한 관심이 증가되면서 소비자

Table 4. List of possible items for developing RS supplemented food products or other use

Classified products	Possible items
Bakery products	bread, cake, cookie, pastry
Noodles	white salted noodle, yellow alkaline noodle, ramen, buckwheat vermicell, pasta, dumpling etc
Flour mix	for bread and cake, for coating of fried food, for bugak, for rice cake(korean traditional food) and cookie, for frozen dough
Rice flour products	rice cake, injulmi, julpun, rice cookie, mochi, all kinds of rice cakes and cookies
Extruded products	snack, breakfast cereal, other starchy foods
Fat replacer (emulsifier or stabilizer)	low-calorie salad dressing, sauce, artificial cheese, ice cream, yogurt,
Flavor encapsulation	powdered flavoring
Coating material	for enriched rice grain, for rice cake
Pharmaceutical formulation	excipient in oral solid dosage formulation (binder, diluent and disintegrant)
Absorbent	for anti-caking(fine sugar, baking power)

가 원하는 고 섬유소, 저지방, 저 칼로리 식품의 개발이 식품산업체에서 중요하게 생각하는 과제이다. 현재 대부분의 나라에서 섭취하는 일일 식이섬유소량은 3.2-5.7g으로 하루 필요량으로 생각하는 20-35g에 훨씬 못 미친다. 제조된 RS는 식이섬유소보다 낮은 수분흡수력을 갖고 있으므로 스낵이나 과자류 등에 첨가하면 습기가 많은 기간에 눅눅해져 품질이 저하되는 문제점을 줄일 수 있으며 유통이나 저장성을 개선할 수 있을 것이다. 또 저항전분의 종류에 따라 팽윤력을 조절할 수 있어 이를 식품에 이용하는데 선택 가능성을 높일 수 있다. 또한 전분은 그 입자의 크기도 다르며 각 전분의 성질도 다르므로 제조된 저항전분의 성질을 다양하게 할 수 있으므로 식품에 따라 필요한 저항전분의 종류나 형태를 선정하여 개발할 수 있다. 팽윤력이 높은 것은 수분함량은 증가시키지만 수분활성을 낮출 수 있어 촉촉한 텍스처를 유지하여 맛을 보존할 수 있고 전분의 노화를 억제할 수도 있다고 알려져 있다. RS3 전분은

대부분이 호화된 상태로 존재하여 많은 물을 흡수하지만 생전분이 가열하면서 첨가되는 수분량보다 적으며 한번 가열조리시 최대 흡수가 일어나므로 더 이상의 수분 증가가 없어 조리한 국수나 라면 등이 붙어 맛이 없어지는 문제점을 보완할 수 있을 것으로 생각한다. 그래서 식품에 따라서는 비전분 다당류인 식이섬유를 첨가하는 것보다 저항전분을 첨가함으로써 많은 이점을 가질 수 있다. 또한 저항전분은 지방대체제로서의 기능도 있으며 안정제나 계면활성제로서의 역할을 할 수 있어 그 이용가능성은 방대하다. 현재 알려진 용해성 식이섬유 소재들(펙틴, 말토덱스트린, 올리고당, 폴리덱스트로오스)과는 특성이 다르므로 적용되는 식품이 다르다. 천연 식품을 그대로 사용하여 식이섬유를 함유하도록 하는 경우에는 다른 성분들로 인하여 나타날 수 있는 반응들이 많이 있으므로 최적의 제품 개발이 어려울 수도 있다. 이에 대해 RS는 콜로이드 상태의 식품으로부터 모든 고체상태의 식품까지 다양한 식품에

첨가가 가능하므로 식품에 이용하기에는 충분한 가치가 있는 것으로 생각된다.

전분질 식품에 저항전분을 첨가하여 하루 필요한 식이섬유 함량 범위를 만족하려면 매끼 주식으로 사용되는 식품(0-2%)에 5% 정도 더 함유하도록 하고 간식으로 사용되는 식품 중에서 비슷한 수준으로 첨가하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

Sugar cookie에 RS4를 25% 첨가한 경우에 대조군과 거의 비슷했으며(unpublished data), straight-dough bread에 밀가루에 대해 24% 대체하고 4% 활성 글루텐을 첨가하여 RS 10%인 빵을 만들었을 때 품질의 저하는 없었으며(Eerlingen et al 1996), 곡수에 RS2(Novelose 240), RS3(Novelose 330), RS4(cross-linked low and moderate swelling wheat starch)를 밀가루에 20% 대체하였을 때 맛에 차이가 없었으며(unpublished data), 식빵에 5%의 RS가 첨가되게 저항전분을 넣고 만들었을 때(송 등 2000), 또는 건면에 RS가 5% 첨가되게 하여 만들었을 때에도(문과 신 1999) 품질이 저하되지 않았으므로 조리 후에 저장에 따른 특성이나 텍스처는 좋은 결과를 보였다. Wepner 등(1999)은 저항전분으로 citrate starch를 제조하여 여러 식품에 적합성을 확인하였으며, Haynes 등(2000)은 저열량 밀가루 대용품으로 RS3 전분을 제조하였고 DSC로 RS를 분석하여 적어도 RS를 25% 함유하고 있다고 하였다.

지방대체제로 RS를 사용한 경우 쇼트닝에 대해 50%까지 대체가 가능했으며 yellow layer cake에 RS를 쇼트닝에 12.5%를 RS3로 대체하면 케이크의 품질이 향상되었으며, 25%까지 첨가하면 대조군과 비슷하였다고 보고하였다(Lin et al 1994).

저항전분으로 식이섬유, 저항전분의 함량을 증가시킬 수 있는 식품에 대해 정리한 자료는 다음과 같다.

#### IV. 참고문헌

1. American Association of Official Analytical Chemists. Official methods of

AOAC, 9th ed. method 991.43 Total dietary fiber. Enzymatic-gravimetric method. The association: St. Paul, MN. (1995)

2. Asp, N-G. Resistant starch. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> plenary meeting of EURESTA: European Flair Concerted Action No.11 on physiological implications of the consumption of resistant starch in men. Eur. J. Clin. Nutr. 46(Su 2): S1, (1992)

3. Asp, N-G., VanAmelsvoort, J.M.M. and Hautvast, J.G.A. Nutritional implications of resistant starch. Nutrition Res. Reviews 9: 1-31. (1996)

4. Baghurst, P.A., Baghurst, K.I. and Record, S.J. Dietary fibre, non-starch polysaccharides and resistant starch - A review. Supplement to Food Australia 48(3): S3-S35 (1996)

5. Behall, K.M. and Howe, J.C. High amylose starch has little effect on apparent mineral retention of hyperinsulinemic or control men. Agri. Res Service ARS Report No. 0000085042. (1997)

6. Berry, C.S. Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the termination of dietary fiber. J. Cereal Sci. 4: 310-314 (1986)

7. Champ, M. Determination of resistant starch in foods and food products: interlaboratory study. Eu. J. Clin. Nutr. 46(Su 2): S51-S62 (1992)

8. Champ, M.M.J., Molis, C., Flourie, B., Bornet, F., Pellier, P., Colonna, P., Galniche, J-P. and Rambaud, J-C. Small-intestinal digestion of partially

- resistant cornstarch in healthy subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 68: 705-710 (1998)
9. Englyst, H.N., and Cummings, J.H. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 42: 778-787 (1985)
  10. Englyst, H.N., Cummings, J.H., Wood, R. Determination of dietary fiber in cereals and cereal products - Collaborative trials. *J. Assoc. Publ. Analyst* 25: 73-110 (1987)
  11. Englyst, H.N., Kingman, S.M., Cummings, J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutri.* 46(Su 2): S33-S50 (1992)
  12. Granfeldt, Y.E., Drews, A. and Björck, I. Arepas made from high amylose corn flour produce favorably low glucose and insulin responses in healthy humans. *J. Nutrition* 125: 459-465 (1995)
  13. Haralampu, S.G. Resistant starch - a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydr. Res.* 41: 285-292 (2000)
  14. Haynes, L. Gimmler, N., John, P., Kweon, M-R., Slade, L. and Levine, H. Process for making enzyme-resistant starch for reduced-calorie flour replacer. U.S.Patent 6,013,299 (2000)
  15. Heijnen, M-L.A., Van Amelsvoort, J.M.M., Deurenberg, P. and Beynen A.C. Limited effect of consumption of uncooked (RS2) or retrograded(RS3) resistant starch on putative risk factors for colon cancer in healthy men. *Amer. J. Clin. Nutr.* 67: 322-331 (1998)
  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 implication for cancer prevention. *Amer. J. Clin. Nutr.* 67: 136-142 (1998)
  17. Jenkins, D.T.A., and Kendall, C.W.C. Resistant starches. *Current Opinion in Gastroenterology* 16: 178-183 (2000)
  18. Johansson, C-G., Siljeström, M., and Asp, N-G. Dietary fiber in bread and corresponding flours-Formation of resistant starch during baking. *Z. Lebensm Unters Forsch* 179: 24-28 (1984)
  19. Lin, P-Y., Czuchajowska, A. and Pomeranz, Y. Enzyme-resistant starch in yellow layer cake. *Cereal Chem.* 71: 69-75 (1994)
  20. Lin, P-Y., Czuchajowska, A. and Gonzalez, M.C. Simultaneous determination of resistant and digestible starch in foods and food products. *Starch* 49: 448-453 (1997)
  21. Marchini, J.S., Faisant, N., Champ, M., Ranganathan, S., Azoulay, C., Kergueris, MF., Piloquet, H. and Krempf, M. Effects of an acute raw resistant potato starch supplement on postprandial glycemia, insulinemia, lipemia in healthy adults. *Nutrition Res.* 18: 1135-1145 (1998)
  22. Muir, J.G. and O'dea, K. Measurement of resistant starch factors affecting the amount of starch escaping digestion in vitro. *Am. J. Clin. Nutr.* 56: 123-127 (1992)
  23. Phillips, J., Muir, J.G., Birkett A., Lu, Z.X., Jones G.P., O'Dea, K., Young, G.P. Effect of resistant starch on fecal

- bulk and fermentation-dependent events in humans. *Amer. J. Clin. Nutr.* 62: 121-130 (1995)
24. Ranhotra, G.S., Gelroth, J.A. and Glaser, B.K. Energy value of resistant starch. *J. Food Sci.* 61: 453-455 (1996)
  25. Seib, P.A. and Woo, K.S. Food grade starch resistant to  $\alpha$ -amylase and method of preparing the same U.S. patent 5,855,946 (1999)
  26. Woo, K.S. and Seib, P.A. Cross-Linked Resistant Starch: Preparation and Properties. *Cereal Chem.* 79(6):819-825 (2002)
  27. Siljeström M. and Asp, N-G. Resistant starch formation during baking. Effect of baking time and temperature and variations in the recipe. *Z. Lebensm Unters Forsch* 181: 4-8 (1985)
  30. Silvester, K.R., Bingham, S.A., Pollock, J.R.A., Cummings, J.H. and O'Neill, 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: 13-23 (1997)
  31. Truswell, A.S. Glycaemic index of foods. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46(Su 2): S91-S101 (1992)
  32. Van Munster, I.P., Tangerman, A. and Nagengast, F.M. Effect of resistant starch on colonic fermentation, bile acid metabolism and mucosal proliferation. *Digestion Disease and Sciences* 39: 834-842 (1994)
  33. 권미라, 신말식. 수분-열처리와 노화에 의해 고아밀로오스 옥수수전분으로부터 형성된 효소저항전분의 특성 비교. *한국농화학회지* 40: 508-513 (1997)
  34. 문세훈, 신말식. 기능성 소재인 효소저항전분을 이용한 국수의 품질 특성. *한국식품과학회지* 32: 328-334 (2000)
  35. 문세훈, 백무열, 신말식. 효소저항전분의 물리적 성질에 대한 아밀로오스 함량의 효과. *한국식품과학회지* 29: 516-521 (1997)
  36. 송지영, 이신경, 신말식. RS-3 형태의 저항전분 첨가가 제빵 및 빵의 품질에 미치는 영향. *한국조리과학회지* 16: 188-196 (2000)
  37. 이신경, 문세훈, 신말식. 분리방법에 따른 효소저항전분의 수율 비교. *한국식품과학회지* 29: 383-386 (1997)
  38. 이신경, 문세훈, 신말식. 가열방법에 따른 효소저항전분 생성. *한국농화학회지* 40: 220-224
  39. 이신경, 문세훈, 신말식. 약산처리 옥수수전분으로 효소저항전분의 생성. *한국식품과학회지* 29: 1309-1315 (1997)
  40. 이신경, 신말식. 아밀로오스 함량이 산처리 옥수수전분의 특성 및 저항전분 수율에 미치는 영향. *한국농화학회지* 40: 395-399 (1997)
  41. 이신경, 홍윤호, 신말식. 약산처리가 찰전분의 저항전분 수율에 미치는 영향. *한국조리과학회지* 15: 418-425 (1999)