

특집 : 곡류와 영양

저항전분의 개발과 응용

신 말 식

전남대학교 식품영양학과

Development and Applications of Resistant Starch

Malshick Shin

Dept. of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

저항전분이란

전분은 식물체의 저장 탄수화물로 중요한 에너지원으로 알려져 왔다. 탄수화물은 글루코오스를 비롯한 단당류, 단당류 두 분자가 글리코시드 결합에 의해 형성된 말토오스나 수크로오스 같은 이당류, 단당류가 여러 개 결합된 올리고당류와 다당류로 구분한다. 이중 최근에 관심이 증가되고 있는 것은 체내의 효소에 의해 분해되지 않는 저항성 탄수화물로 여기에는 폴리올, 대두올리고당이나 분지 올리고당과 같은 저항성 올리고당(resistant oligosaccharide), 저항 말토덱스트린(resistant maltodextrin), 저항 전분(resistant starch) 등이 포함된다. 최근 들어 이런 Indigestible carbohydrate(난소화성탄수화물)를 resistant carbohydrate(저항성 탄수화물)로 부르는데 이들이 식이섬유와 비슷한 생리적인 특성을 갖고 있음이 보고되어 건강에 도움을 주는 기능성 소재로 개발되고 있다.

1980년대 이후부터 알려진 전분 중에 체내에서 소화되지 않고 남는 부분이 있음이 알려지면서 Englyst 등(1)은 전분을 Table 1과 같이 영양적인 측면에서 빨리 소화되는

전분(RDS, rapidly digestible starch), 천천히 소화되는 전분(SDS, slowly digestible starch)과 저항전분(RS, resistant starch)의 3가지로 구분하였다. Fig. 1과 같이 RDS는 소장 상부에서 소화되며 SDS는 소장 전체를 통과하면서 서서히 소화되나 RS는 소장에서 소화되지 않고 대장에서 발효되는 과정을 거치게 된다. 이런 소화속도의 차이는 흡수된 혈당의 농도를 조절하게 되는데 RDS는 흡수된 후 경과가 지나면 급속하게 기준 이하로 혈당이 떨어져 쇼크를 초래할 수 있다. 반면 SDS는 혈당이 유지되어 쇼크를 예방할 수 있어 최근에는 RS뿐만 아니라 SDS가 type 2 당뇨병을 예방 하는데 도움을 줄 것으로 생각되고 있다.

이 중 저항전분은 EURESTA(European Resistant Starch research group)에서 건강한 개인의 소장에서 소화 흡수되지 않는 전분과 전분의 분해물의 총합이라고 정의하였다(2). 저항전분은 물리적으로 효소와 접근이 어려운 RS1, 생전분으로 B형의 결정형을 갖는 입자형의 RS2, 노화된 아밀로오스의 결정을 포함하는 노화전분인 RS3와 화학적 변성전분으로 소화되지 않는 전분인 RS4로 나눈다(1,3).

Table 1. Nutritional classification of starch

Type of starch	Example of occurrence	Probable digestion in small intestine
Rapidly digestible starch	Freshly cooked starchy food	Rapid
Slowly digestible starch	Most raw cereals	Slow but complete
Resistant starch		
Physically inaccessible starch (RS1)	Partly milled grains, seeds and legumes	Resistant
Resistant starch granules (RS2)	Raw potato, green banana, high amylose maize starch	Resistant
Retrograded starch (RS3)	Cooled, cooked potato and cereal products	Resistant
Chemically modified starch (RS4)	Chemically manufactured starch, cross-linked starch	Resistant

Englyst et al. 1992, Eerlingen et al. 1993.

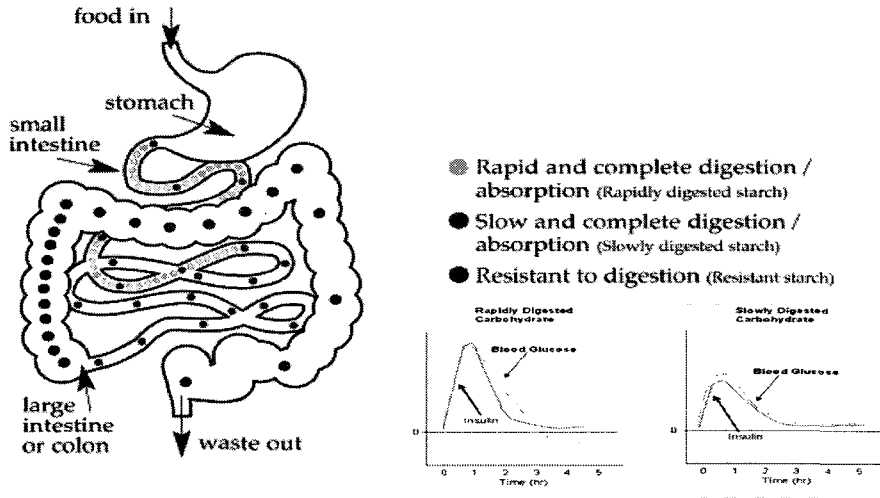


Fig. 1. Classification of starch with digestion and blood glucose level after digesting starches in human.

저항전분과 식이섬유

저항전분은 식이섬유와 비슷한 생리적 성질을 갖고 있으나 일부 차이를 보이기도 한다. 총식이섬유(total dietary fiber)에는 식물체의 세포벽을 구성하는 물질인 비전분다당류와 리그린을 포함하였으나 여기에 저항전분을 포함시켜 정의하고 있다(4). 최근 들어 저분자용해성 식이섬유와 이눌린 등을 첨가하고 있어 총 식이섬유의 분획은 Fig. 2와 같다.

식이섬유로 구분되었던 셀룰로오스를 포함한 비전분다

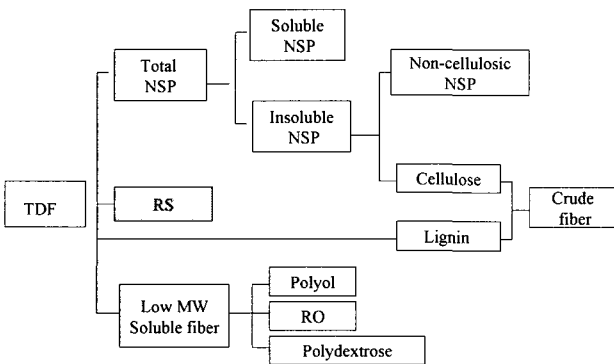


Fig. 2. Schematic diagram of dietary fiber fractions (4-6).

당류(NSP, nonstarch polysaccharide)의 생리적인 성질에는 혈당을 감소하고 체중을 조절하며 심혈관계의 건강을 유지하고 변비를 줄이고 대장의 pH를 낮추어 대장 건강을 개선하는 것으로 알려져 있다. 또한 여러 가지 성인병과의 연구가 계속되면서 식이섬유 종류에 따른 효과들이 보고되고 있어 중요한 생리활성물질로 일일 필요한 권장량을 제시하고 식생활지침이나 기초식품으로서 복합탄수화물로 섭취를 권장하고 있다(7). 식이섬유를 포함하거나 첨가한 식품은 강한 냄새나 거친 느낌을 주어 품질이 저하될 뿐만 아니라 수분흡수력도 높아 저장 중 식품의 변질이 일어날 수 있어 식품에 식이섬유 첨가량을 증가하기는 매우 어렵다.

반면에 비슷한 생리적 특성을 갖는 저항전분은 부드럽고 냄새가 온화하며 입자가 작고 수분흡수력이 낮아 가공식품의 품질을 유지 개선할 수 있어(8), 비전분다당류보다 많은 양을 첨가할 수 있다. 저항전분은 대장의 건강에 도움을 주는 단쇄지방산(SCFA, short chain fatty acid)의 생성과 그 중 부티르산 비율이 높아 대장암 억제 효과 및 prebiotic fiber 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Table 2). 무기질의 흡수 저해가 없고 대장에서 수분 흡수를 조절하여 콜레라의 설사를 줄일 수 있다고 보고되었다(9,10). 특히 저항전분은 불용성식이섬유이지만 용해성식이섬유의

Table 2. Short chain fatty acid production pattern from various dietary fibers and resistant starch in large bowel

Substrates	Percentages of short chain fatty acids production		
	Butyrate	Propionate	Acetate
Resistant starch	38	21	41
Starch	29	22	50
Oat bran	23	21	57
Wheat bran	19	15	57
Cellulose	19	20	61
Guar gum	11	26	59
Pectin	9	14	75

prebiotic fiber로서 대장에서 발효에 의한 단쇄지방산의 생성뿐만 아니라 불용성식이섬유의 변통을 개선하고 변비를 줄이는 효과를 모두 갖고 있는 것으로 보고되고 있다 (11,12).

저항전분은 소장에서 소화되지 않기 때문에 글리세믹 인덱스가 낮으며 이로 인해 인슐린의 예민도도 증가하며 혈당을 낮추는 중요한 역할을 담당한다. 일반 전분인 RDS의 에너지는 1 g당 4 kcal인데 저항전분 1 g은 1.6~2.8 kcal를 내며 이는 주로 대장에서 생성된 단쇄지방산의 흡수로 인해 대사되어 발생하는 에너지이다. 저항전분에 의해 그 생성비율이 증가하는 단쇄지방산인 부티르산은 대장암을 예방하는 biomarker로 알려져 있다.

저항전분은 4가지 형태로 구분하고 있으며 전분의 급원, 전분을 구성하는 아밀로오스 함량이나 구조, 저항전분 형성방법이 다르므로 저항전분 형태에 따라 이화학적 특성도 달라져 필요에 따라 적절한 형태의 저항전분을 선택할 수 있는 장점을 가지고 있다.

식이섬유 종류에 따라 수분결합력을 비교하면 귀리섬유, 셀룰로오스, 밀섬유 등은 1 g 시료당 5~8 g의 물을 결합하지만 저항전분은 1~1.5 g 정도의 물만 흡수하여 낮은 수분흡수력을 나타낸다. 비전분다당류인 섬유 종류에 비하여 상품화된 저항전분은 낮은 수분결합력을 보이고 있으며 고아밀로오스 옥수수전분이 아닌 보통 아밀로오스 전분으로 개발된 RS3나 RS4의 경우에도 수분결합력은 2~3을 유지하며 식품가공 적성에 따라 수분결합력을 증가한 저항전분의 제조가 가능하다.

RS를 포함한 총 식이섬유에 대한 일일권장량은 총 섭취량을 16.3~43.4 g 범위로 정하고 있으며 이 중 비전분다당류는 11.8~16.4 g, RS는 1.5~1.5 g, 기타는 3~13 g 섭취하도록 제안하고 있다(7). 식이섬유에서도 나타나는 문제이지만 과량 섭취하였을 때 인체에 대한 부작용은 가스의 생성으로 인한 문제로 독성이나 안전성에 저해 되는 부분은 거의 발견되지 않았다.

저항전분을 과량으로 섭취하였을 때 나타날 수 있는 부작용을 제시하면 주로 대장에서 발효에 의해 생성되는 가스체인 수소, 이산화탄소, 메탄가스에 의해 복부의 팽대함이 나타나고, 복부의 뒤틀림이 생기며 통증이 유발하는 것과 대변이 묽어지고 설사가 나타날 수 있는 점들이며 개인과 저항전분의 종류에 따라 다르나 식이섬유로 35~45 g 이상 섭취하였을 때 나타날 수 있는 것으로 보고되었다.

저항전분의 종류와 그 제조

저항전분은 RS1, RS2, RS3, RS4로 나뉘며 현재 RS2와

RS3 형태의 저항전분은 판매되고 있는데 주로 고아밀로오스 옥수수전분으로 제조하며 일부 효소와 물리적 처리를 통하여 개발한 제품이다. RS3 형태의 전분은 완전히 호화될 수 있는 조건의 가열과정과 냉각과정을 거쳐 많은 전분 구조를 재결정화 시켜야 RS 함량이 증가하는데 이 처리과정은 많은 비용이 요구된다. RS4 전분은 화학적 처리로 변성시킨 전분 중에 효소에 대한 저항성을 증가시키는 방법으로 전분의 아밀로오스 함량과는 상관성이 적어 다양한 전분을 이용하여 개발할 수 있으며 double modification 등을 통해 이화학적 특성이나 RS함량을 조절할 수 있으며, 현재 일부 국가에서 산업체와 함께 연구가 진행되고 있다.

RS1과 RS2

RS1은 도정이나 제분 등의 가공과정에서 생성될 수 있지만 일반적인 전분처럼 가열처리하면 호화되어 효소에 의해 쉽게 분해되어 RS의 효과가 없다. RS2는 B형의 결정형을 갖는 생전분으로 감자나 털 익은 바나나전분, 고아밀로오스 옥수수전분이 속하는데 감자나 바나나 전분은 가열에 의해 호화되면 RS로서의 역할을 하지 못한다. 고아밀로오스 옥수수전분은 100°C에서 완전히 호화되지 않으므로 총 식이섬유를 분석하는 AOAC 방법에 의해서도 효소에 저항하는 부분이 남는다. 즉, 고아밀로오스 옥수수전분과 같이 아밀로오스 함량이 높은 전분의 경우 구조상 높은 RS 함량을 보인다. 시판되는 RS2형의 전분에는 National Starch Co.의 Novelose 240와 Novelose 260이 있는데(현재는 Hi-Maize로 상품명을 바꾼 것으로 알려짐) 모두 고아밀로오스 옥수수전분으로 70% 아밀로오스 함량의 전분을 수분 열처리하여 제조한 것과 아밀로오스 함량을 거의 90%까지 높여서 만든 전분으로 일반적인 전분으로는 높은 RS 함량을 갖는 RS2 전분의 제조는 어렵다 (8,13,14). 유럽, 일본, 호주 등지에서도 생산되는 저항전분은 고아밀로오스 옥수수전분으로 RS2 형태가 대부분이다. RS2 전분은 전분 입자의 모양을 그대로 유지하고 있다는 특성을 갖고 있지만 일부 학자들은 수분열처리과정을 가열처리로 생각해야 한다고 주장하고 있다. 생전분에 수분열처리를 하여 천천히 소화하는 SDS 전분을 제조하기도 한다.

RS2는 입자크기가 작으며 수분 결합력이 낮고 향미가 거의 없고 색깔이 희며 높은 RS 함량을 가지므로 식품에 첨가하여 RS 함량, 즉 식이섬유 함량을 강화한 식품을 제조하기에 매우 좋은 소재이다(15). 그러나 고아밀로오스 옥수수전분 이외의 보통 전분은 식품을 가열처리하는 가공과정에서 RS 함량이 거의 손실되기 때문에 고아밀로오스 옥수수전분으로 제조하는 것이 바람직하다. 그래서 최

근에 National Starch에서 개발된 소재나 각 나라에서 개발된 RS2 형태의 전분은 모두 고아밀로오스 옥수수전분의 아밀로오스 함량을 증가시킨 재료를 사용하고 있다.

RS3

충분히 호화된 전분을 노화시키면 전분의 결정화로 인해 효소에 대한 저항성을 갖게 되는데 주로 노화된 아밀로오스의 결정에 기여한다고 한다. 그래서 RS3 형태의 저항 전분을 제조하기 위해서는 가압 하에 121 또는 135°C에서 1시간 가열하여 완전히 호화시키고, 냉각하는 과정을 거쳐 결정화가 많이 이루어지도록 한다. 특히 아밀로오스 함량이 많은 전분의 경우에 가열-냉각과정을 거쳐 노화를 촉진하면 RS 함량이 증가하는데 이는 노화된 아밀로오스 결정에 의하므로 아밀로오스 함량이 영향을 준다고 할 수 있다(16-19). RS3를 제조하기 위해서 고 아밀로오스 옥수수전분을 시료로 사용하며 아밀로오스 함량이 높은 옥수수전분으로 만든 RS 형성전분의 경우 RS 함량이 높은 결과를 나타낸다. 일반적인 RS3 제조 방법을 도식화하면 Fig. 3과 같다. 노화된 아밀로오스가 용융되기 위해서는 ~155°C이상에서 가열하여야 하므로 RS3는 일반적인 가열조건에 안정한 형태로 알려져 있다(20).

시판되는 RS3는 전분이 호화되어 입자 모양을 상실한 덩어리모양으로 RS 함량에 따라 다르나 전분의 약 70~90%는 호화된 무정형 상태로 물에 닿으면 쉽게 낮은 점도를 갖는 호화액의 형태로 된다. 호화된 상태이므로 초기의 흡수량은 많으나 가열을 하더라도 지속적인 물의 흡수는 증가되지 않고 부피의 유지나 점도를 요구하지 않는 식품 가공에 사용되는 것이 바람직하다고 생각된다.

RS3의 결정성부분의 구조는 효소에 의해 저항을 갖는 구조로 micelle과 lamellar를 제시하고 있다. 이런 구조도

수분열처리(HMT, heat moisture treatment) 처리를 하면 더 밀집된 구조로 바뀔 수 있어 실질적인 RS 함량을 증가할 수 있다(21). 현재 National Starch Co.의 Novelose 330이나 노화된 저항전분으로 소개되고 있는 것은 모두 고아밀로오스 옥수수전분을 가열처리하고 노화시켜 RS 함량이 30%라면 나머지 70%는 호화된 상태로 존재하기 때문에 초기에는 쉽게 수분을 흡수하지만 점성이 매우 낮으며 일단 호화된 부분의 결정화는 잘 일어나지 않아 저장 중의 전분으로 인해 텍스처의 변화를 줄일 수 있다. RS3 전분의 활용은 extruder를 이용하여 생산하는 스낵이나 씨리얼과 같은 전분질 식품제조에 가능하므로 맛을 변화시키지 않으면서 식이섬유를 함유한 제품 생산을 할 수 있다.

RS4

전분은 무정형부분과 결정성부분으로 이루어져 있으며 직선상의 아밀로오스와 분지상의 아밀로펙틴으로 구성되어 화학적 처리 조건에 따라 다양한 성질을 갖는 전분을 만들 수 있다. 일반적으로 화학적 변성전분에는 효소, 산에 의한 가수분해로 생성된 전분분해물, 산화전분, 안정화전분, 가교결합전분 등이 속하는데 가공적성을 개선하기 위해 여러 가지 변성처리를 하여 왔다. 그 중 가교결합전분은 전분 분자 내 또는 전분분자간의 가교결합에 의해 형성되며 알칼리를 이용하여 실온에서 호화시키고 무정형 전분 구조에 가교결합제를 사용하여 만드는 것으로 가교결합 정도가 낮으면 산, 열, 전단에 안정성을 주며 점성을 조절하고 겔 형성을 억제하도록 하는 성질을 갖게 된다(22). 가교결합 정도를 CODEX에서 제한한 범위내에서 증가하면 가교결합이 전분분해효소의 가수분해를 억제하므로 RS 함량이 증가하는 경향을 보이게 되며 생전분과 같은 입자 형태를 유지하게 된다(23,24). 또한 수분흡수력이

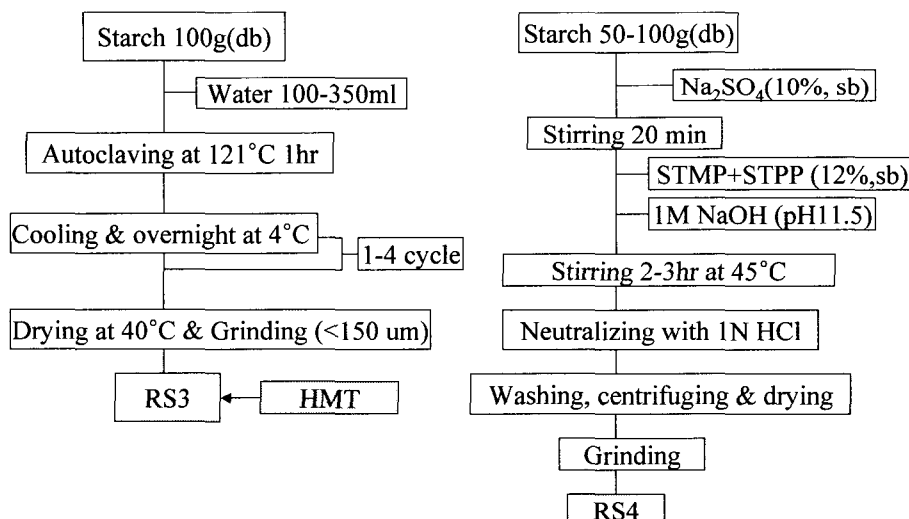


Fig. 3. Flow diagrams of RS preparation procedures.

낮아 일반적인 식이섬유에서 가공, 저장 중에 단점에 속하는 수분흡수를 조절할 수 있다. 또한 원료 전분의 반응과정 중 결정성부분까지 부분적으로 무정형으로 만들면 수분흡수력을 부분적으로 증가시킬 수 있어 이화학적 성질 조절이 가능한 장점을 가지고 있다. RS3는 가열과정을 거쳐 생산되므로 갈색화가 일어나 색깔이 갈색을 띠게 되는데 일부 제품에서는 바람직하지 않은 성질로 생각할 수 있지만 RS4는 색깔이 하얗게 유지되어 좋은 가공적성을 제공한다.

저항전분의 구조

RS1이나 RS2뿐만 아니라 RS3와 RS4 형태의 저항전분을 제조하였을 때 제조된 전분에는 일부가 전분분해효소에 저항성을 보이므로 RS 형성전분이라는 용어를 사용하기도 한다. RS1과 RS2는 Lineback(25)이 제안한 전분 입자처럼 무정형부분과 결정성 부분을 갖는 전분으로 RS2는 결정성 부분의 결정형이 B-형을 나타내므로 생전분일 때는 전분분해효소에 의해 분해되지 않는 부분이 있으나 감자나 바나나전분은 가열과정을 거쳐 호화되면 거의 완전한 분해를 보이며 고아밀로오스 전분은 호화온도가 100°C 이상이므로 일부는 저항전분 함량으로 분석된다. 즉 감자나 바나나전분은 AOAC 방법(26,27)에 의해서는 저항전분으로 분석되지 않지만 Englyst 등의 방법(1,28)에 의해서는 분석된다.

각각 선택된 분석 방법으로 시료 저항전분의 RS 함량을 측정하지만 활용할 때는 효소로 분해한 다음 순수한 100%의 저항전분을 분리하여 사용하는 것은 경제적인 면이나 제조 및 가공 공정면에서도 비효율적이므로 제조과정을 거친 RS가 형성된 전분을 그대로 사용한다. 제조된 저항전분이 효소저항성을 갖고 있지 않는 부분을 포함하더라도 식품 가공 적성과 함유된 저항전분 함량이 생리적인 기능을 유지하는데 바람직하다면 분리하지 않고 사용하는 것이 더 효율적이라고 생각되어 RS로 불리는 전분시료는 RS를 형성하여 RS를 함유하고 있는 전분을 일컫고 있다. 30%의 RS를 함유한 RS3 형태의 Novelose 330은 70%의 호화전분과 30%의 저항전분을 함께 갖는 전분이며 RS2인 Novelose 240은 40%의 저항전분과 60%의 생전분과 같은 호화되지 않은 전분으로 이루어져 있다. RS4는 생전분이 무정형 구조에 경우에 따라서는 결정성 부분까지 가교결합에 의해 단단히 결합되어 있어 효소에 의한 작용은 저항을 받으나 가열에 의해 결정성부분이 호화되고 어떤 형태의 저항전분이고 몇 %의 RS 함량을 갖고 있는가에 따라 이화학적 특성과 가공적성이 달라진다.

저항전분의 분석

저항전분은 식이섬유의 일부로 생각하고 있기 때문에 총식이섬유를 측정하기 위한 Prosky에 의해 제안된 AOAC 방법(26)이 사용되고 있으며 식이섬유 중에서 저항전분만을 분리하기 위한 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 저항전분을 분석하는 방법에는 직접 저항전분을 측정하는 방법인 Berry(29)나 AOAC 방법(27,30)에서와 같은 직접법과 전분을 분해하여 남은 잔사를 효소를 이용하여 다시 가수분해 시켜 당을 측정하고 당을 전분으로 환산하여 함량을 계산하는 간접법인 Englyst 등(1)의 방법이 있다. 두 방법은 서로 차이를 보이는데 우선 AOAC 방법은 heat stable α -amylase를 100°C 가열 조건에서 작용시키고 여기에 단백질 분해효소와 amyloglucosidase를 작용하여 잔여 당류를 가수분해 한 다음 80% 알코올에 의해 침전되는 부분은 여과 건조하여 측정하는 방법이며(Fig. 4) Englyst 등(1)의 방법은 저항전분 시료에 pancreatic α -amylase를 체온인 37°C에서 2시간 작용하여 분해되지 않는 부분을 DMSO나 KOH에 녹여 효소 작용에 의해 분리된 glucose를 glucose oxidase로 분석하여 여기에 0.9를 곱하여 계산한다. AOAC 방법(27)은 간편하고 재현성이 있지만 효소나 작용조건이 인체 내의 조건과 다르며 Englyst 등(1)의 방법은 생리적인 조건과 비슷하나 복잡한 단계를 거치는 단점이 있다. 또한 *in vitro* 상에서 측정된 저항전분 함량이 *in vivo*와 같은 결과를 얻을 수 있는지에 대한 연구는 지속적으로 진행되고 있으나(31) 정확한 방법이 제시되지 않고 있다. 간단히 RS 함량을 분석하는 방법으로 승인된 AOAC 방법(26,27)과 효소를 pancreatin을 사용한 직접법으로 제안한 pancreatin-gravimetric method (P/G 방법) 과정은 Fig. 4와 같다.

현재 대부분의 나라(미국, 호주, 독일 스위스, 일본, 한국 등)에서는 AOAC 방법을 사용하고 있으며 영국이나 프랑스 등은 Englyst 등(1)의 방법을 이용하고 있다. RS4는 DMSO나 KOH 같은 알칼리용액에 분산되지 않으므로 Englyst 등(1)의 방법에 의해 glucose로 분해하거나 glucose를 측정할 수 없는 제한점이 있다.

위에서 언급한대로 RS1과 RS2 형태는 Englyst 등(1)의 방법으로 측정이 가능하며 P/G 방법을 사용할 때는 가열하지 않은 시료에 효소를 넣어 37°C로 효소 반응을 시키면 분해되며 RS3는 두 방법의 결과가 크지 않다. 그러나 RS4 시료를 분석하면 Table 3과 같이 AOAC 방법으로 분석하면 RS 함량이 높으나 P/G 방법으로 분석하면 낮은 값을 보였으며 두 방법간이 차이를 보였다. 여러 실험을 통해 확인한 결과 RS4는 전분 입자의 단백질막이 가교 결합과정에서 구멍을 막거나 단백질과 전분 분자의 결합은 강화

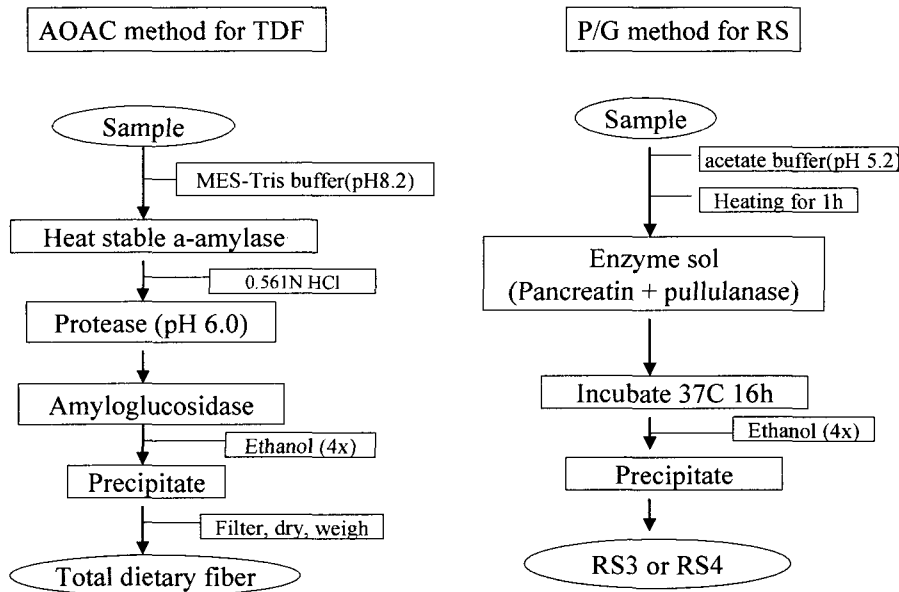


Fig. 4. Representations of analytical methods for total dietary fiber and resistant starch using AOAC and pancreatin-gravimetric methods.

Table 3. Comparison of RS levels measured by AOAC and pancreatin gravimetric methods with different RS type prepared from various starches

Resistant starch	RS levels (%)	
	AOAC method	Pancreatin-gravimetric method
Wheat	2.4	2.1
Corn	2.1	1.3
HylonVII	26.9	28.0
Novelose 240	57.9	39.9
RS3 wheat	10.4	11.7
RS3 corn	10.5	12.2
Novelose 330	39.9	50.4
RS4 wheat	72.9	10.5
RS4 corn	52.2	10.5
RS4 Hylon VII	51.2	39.6

게 하여 효소의 확산이나 효소의 작용을 억제하는 것으로 확인하였으며(32,33) AOAC 방법으로 처리하기 전에 단백질을 분해효소를 사용하여 전처리하여 얻은 결과는 P/G 방법으로 분석한 결과와 비슷하여 RS3나 RS4의 RS 함량은 P/G 방법으로 분석하는 것을 제안하였으며, 최근에 저항전분을 분석하는 방법들이 제안되고 있다(34,35).

두 가지 방법으로 처리한 저항전분 잔사의 형태는 Fig. 5와 같이 AOAC 방법으로 처리한 경우 RS4 전분과 별 차이 없었으나 P/G 방법으로 처리하면 스펙과 같은 모양으로 많은 부분이 분해되었음을 알 수 있었다(32).

저항전분의 활용

최근 들어 식이섬유의 생리적 역할이 강조되고 저항전

분이 식이섬유와 유사한 기능성을 갖고 있음이 밝혀지면서 기능성 식품 소재로서의 저항전분의 임상적이고 생리적인 연구와 식품에 활용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다(36-40). 특히 고 식이섬유, 저지방 저칼로리의 복합 탄수화물을 강조하고 있는데 대부분의 식이섬유는 가공 적성이 좋지 않아 바람직하지 않는 품질을 생산하게 된다. 이에 반해 전분질 식품의 일부는 가공 처리 과정 중에 일부 저항전분이 생성되는데 그 저항전분 함량은 전분질 식품의 종류나 처리 조건 등에 의해 차이를 보이고 있다. 대부분은 소량의 저항전분이 생성되므로 added fiber나 functional fiber(5)라는 측면에서 저항전분을 식품에 첨가하여 일일 필요한 식이섬유 함량 또는 저항전분 필요량을 충족하는 것이 필요하다(7). 저항전분을 식품 산업에 활용할 수 있을 것으로 생각되는 분야를 정리하면 Table 4와 같다.

현재 판매되고 있는 저항전분은 미국의 National Starch Co.에서 초기에 개발된 RS2의 Novelose 240과 RS3의 Novelose 330이 있으며, 호주의 Penford의 Hi-Maize를 이용하여 개발된 RS2의 Novelose 260이 있다. 이 상품명들을 Novelose에서 Hi-Maize로 바꾸려고 한다고 알려져 있다. 이외에 CrystaLean(Opta)은 분지한 고아밀로오스 전분을 가열하여 노화시킨 것으로 Novelose 330과 유사하며 Actistar(Act*-RS3)는 저분자량의 형태로 촉감이 매끄럽게 만든 RS3 형태의 전분이다. 이런 전분들은 식품에 첨가하여 식이섬유의 함량을 증가한 제품 개발을 하고 있으며, 저항전분의 종류에 따라 그 용도가 차이가 난다. 일부는 밀가루에 첨가하여 식이섬유를 강화한 밀가루를 제품화하여 판매하고 있는데 점차 시장의 규모

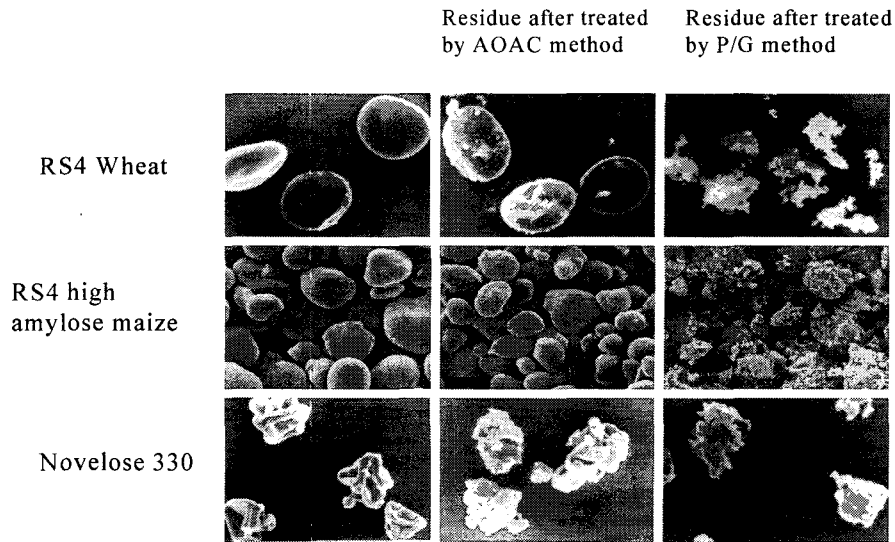


Fig. 5. Scanning electron microphotographs of residue after digested by AOAC and P/G methods with RS3 and RS4.

Table 4. Possible applications of resistant starches prepared from various starch sources

Food product types	Possible items
Bakery products	Bread, cake, cookie, pastry, hard roll, bagel
Noodles	White salted noodle, yellow alkaline noodle, ramen
	Pasta, dumpling, starch noodle
Flour mix	Premix flour, RS supplemented wheat, rice, rye and corn flours, Coating flour for frying
Rice product using flour	Rice cake and cookie, flour for bugak, rice noodle
Extruded products	Snack, breakfast cereal, noodles,
Fat replacer (emulsifier or stabilizer) thickener	Fat free or low fat dressing, sauce, low fat cheese
	Ice cream, yogurt
Encapsulating material	Powdered flavoring, capsule for probiotics and medicate
Coating material	Enriched cereal grain, coating powder for mochi
Pharmaceutical formulation	Excipient, binder, diluent powder
Absorbent	Anti-caking agent

가 증가할 것으로 생각된다.

전분의 종류에 따라 그 입자 크기나 구조, 아밀로오스 함량 등이 차이가 나고 이화학적 특성, 호화특성 및 노화 특성 등이 다르고 RS를 제조하는 방법에 따라 이화학적 특성 등을 변화시킬 수 있기 때문에 식품에 사용할 수 있는 범위는 매우 광범위하다. RS의 개발은 원료인 전분 자체가 안전하고 현재까지 사용된 변성 방법은 안전성이 확인된 범위 내에서 개발하였기 때문에 안전한 기능성 식이섬유 소재라고 이야기 할 수 있다. 또한 과용하였을 때 나타날 수 있는 부작용은 저항전분이 대장에서 발효에 의해 생성되는 가스체에 기인되는 복부 팽대함이나 더부룩함 등이며 이는 개인차가 심하고 섭취량에 따라 다르며 쉽게 자각할 수 있어 안전한 소재로 인정할 수 있다고 생각된다. RS를 원료전분을 선택하고 제조 방법을 결정하고 원하는 RS의 특성을 갖도록 고려하면 가공 적성을 조절할 수 있으며, RS 함량을 증가시킬 수 있는 제조 방법을 적용할 수 있으므로 저항전분의 생리적 우수성을 고려한 식이

섬유 소재로 다양한 목적에 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 본 실험실에서 다양한 식품에 첨가 가능성을 검토하였는데 빵 종류, 제과 종류, 국수, 쌀로 만든 식품, 압출성형을 이용한 스낵이나 씨리얼, 드레싱, 소스, 아이스크림 등 냉동 후식 등에도 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr* 46: S33-S50.
2. Asp N-G. 1992. Resistant starch. Proceedings the second plenary meeting of EURESTA: European FLAIR concerted action No1. on physiological implications of the consumption of resistant starch in man. *Eur J Clin Nutr* 46(S2): S1.
3. Eerlingen RC, Crombez M, Delcour JA. 1993. Enzyme-resistant starch. I. Quantitative and qualitative influence of incubation time and temperature of autoclaved starch on resistant starch formation. *Cereal Chem* 70: 339-344.

4. Baghurst PA, Baghurst KI, Record SJ. 1996. Dietary fibre, non-starch polysaccharides and resistant starch A review. *Food Australia* 48 (Suppl): S3-S35.
5. Institute of Medicine (IOM) Food and Nutrition Board 2001. Dietary reference intakes. Proposed definition of dietary fiber. National Academic Press.
6. Institute of Medicine (IOM) Food and Nutrition Board 2002. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients). The NAP.
7. Tunland BC, Meyer D. 2002. Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 1: 73-92.
8. Thompson DB. 2000. Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends in Food Science & Technology* 11: 245-253.
9. Heijnen M-L, Beynen A. 1998. Effect of consumption of uncooked (RS2) and retrograded (RS3) resistant starch on apparent adsorption of magnesium, calcium, and phosphorus in pigs. *Z Ernährungswiss* 37: 13-17.
10. Lopez HW, Levrat-Verny M-A, Coudray C, Besson C, Krespine V, Messenger A, Demigne C, Remesy C. 2001. Class 2 resistant starches lower plasma and liver lipids and improve mineral retention in rats. *J Nutr* 131: 1283-1289.
11. Silvi S, Rumney CJ, Cresci A, Rowl IR. 1999. Resistant starch modifies gut microflora and microbial metabolism in human flora-associated rats inoculated with faeces from Italian and UK donors. *J Appl Microbiol* 86: 521-530.
12. Brown I, Warhurst M, Arcot J, Playne M, Illman RJ, Topping DL. 1997. Fecal numbers of bifidobacteria are higher in pigs fed *Bifidobacterium longum* with a high amylose cornstarch than with a low amylose cornstarch. *J Nutr* 127: 1822-1827.
13. Jacobs H, Delcour J. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch with retention of granular structure: a review. *J Agric Food Chem* 46: 2895-2905.
14. Haralampu SG, Gross A. 1998. Granular resistant starch and method of making. US Patent 5,849,090.
15. Chiu C-W, Shi Y-C, Sedam M. 1999. Process for producing amylase resistant granular starch. US Patent 5,902,410.
16. Sievert D, Pomeranz Y. 1989. Enzyme-resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermo-analytical, and microscopic methods. *Cereal Chem* 66: 342-347.
17. Eerlingen RC, Crombez M, Delcour JA. 1993. Enzyme-resistant starch. I. Quantitative and qualitative influence of incubation time and temperature of autoclaved starch on resistant starch formation. *Cereal Chem* 70: 339-344.
18. Lee SK, Mun SH, Shin MS. 1997. Effect of heating conditions on the resistant starch formation. *Agric Chem Biotechnol* 40: 220-224.
19. Akerberg A, Liljeberg H, Björck I. 1998. Effects of amylose/amylopectin ratio and baking conditions on resistant starch formation and glycaemic indices. *J Cereal Sci* 28: 71-80.
20. Haralampu SG. 2000. Resistant starch—a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydr Polym* 41: 285-292.
21. Mun SH, Bae CH, Shin MS. 2002. RS level and characteristics of retrograded maize starches with heat-moisture treatment. *Food Sci Biotechnol* 11: 350-354.
22. Yeh A-I, Yeh S-L. 1993. Some characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rice starch. *Cereal Chem* 70: 596-601.
23. Woo KS, Seib PA. 2002. Cross-linked resistant starch: Preparation and properties. *Cereal Chem* 79: 819-825.
24. Mun S, Shin M. 2002. The effects of annealing on resistant starch contents of cross-linked maize starch. *Kor J Food Technol* 34: 431-436.
25. Lineback DR. 1986. Current concepts of starch structure and its impact on properties. *J Jpn Soc Starch Sci* 33: 80-88.
26. Prosky L, Asp N-G, Schweizer TF, de Vries JW, Furda I. 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory study. *J Assoc Offi Anal Chem* 71: 1017-1023.
27. AOAC. 2000. *Official methods of analysis of association of official analytical chemists*. International 17th ed Method 991.43 Total dietary fiber. Enzymatic-gravimetric method. The Association: Gaithersburg, MD, USA.
28. Englyst HN, Quigley ME, Englyst KN, Bravo L, Hudson GJ. 1996. Dietary fibre measurement by the Englyst NSP procedure measurement by AOAC Prosky procedure explanation of the differences. *J Assoc Publ Analyst* 32: 1-38.
29. Berry CS. 1986. Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fiber. *J Cereal Sci* 4: 301-314.
30. AOAC. 1995. *Official methods of analysis of association of official analytical chemists*. 9th ed method 991.43 Total dietary fiber. Enzymatic-gravimetric method. The Association: St. Paul, MN.
31. Akerberg AKE, Liljeberg HGM, Granfeldt YE, Drews AW, Björck ME. 1997. An *in vitro* method, based on chewing, to predict resistant starch content in foods allows parallel determination of potentially available starch and dietary fiber. *J Nutr* 128: 651-660.
32. Shin M, Song J, Seib PA. 2004. *In vitro* digestibility of cross-linked starches-RS4. *Starch* 56: (in press).
33. Shin M, Seib PA. 2004. Morphological change and RS level of RS mixture with cross-linked RS4 starch granule during *in vitro* digestion. *Food Sci Biotechnol* 13: Accepted.
34. McCleary BV, Monaghan DA. 2002. Measurement of resistant starch. *J AOAC International* 85: 665-675.
35. McCleary BV, McNally M, Rossiter P. 2002. Measurement of resistant starch by enzymatic digestion in starch and selected plant materials: collaborative study. *J AOAC International* 85: 1103-1111.
36. Schmieidl D, Bäuerlein M, Bengs H, Jacobasch G. 2000. Production of heat-stable, butyrogenic resistant starch. *Carbohydr Polym* 43: 183-193.
37. Namratha J, Asna U, Prasad NN. 2002. Effects of storage on resistant content of processed ready-to-eat foods. *Food Chem* 79: 395-400.
38. Robertson MD, Currie JM, Morgan LM, Jewell DP, Frayn

-
- KN. 2003. Prior short-term consumption of resistant starch enhances postprandial insulin sensitivity in healthy subjects. *Diabetologia* 46: 659-665.
39. Kim WK, Chung MK, Kang NE, Kim MH, Park OJ. 2003. Effect of resistant starch from corn or rice on glucose control, colonic events, and blood lipid concentrations in streptozocin-induced diabetic rats. *J Nutri Biochem* 14: 166-172.
40. Leu RKL, Brown IL, Hu Y, Young GP. 2003. Effect of resistant starch on genotoxin-induced apoptosis, colonic epithelium, and luminal contents in rats. *Carcinogenesis* 24: 1347-1352.