

# 식이섬유의 정량 및 기능성 분석

이성현<sup>†</sup> · 박홍주 · 조수목

농촌자원개발연구소

## I. 서 언

식이섬유는 1953년 Hipsely에 의해 처음 소개되었으며 식물성 식품에서 소화되지 않는 물질로 간주되어 왔다. 그러나 1970년대 식이섬유 결핍은 여러 가지 질병에 관여한다는 보고가 밝혀지면서 인체 건강 증진을 위한 식이섬유 공급 방안이 모색되고 있다. 식이섬유의 정의는 사람의 소화효소에 의하여 분해되지 않는 다당류와 리그닌 외에 식물의 세포벽을 구성하고 있는 다당류, 펙틴질, 검(gum) 등의 집합체로 표현되고 있다.

식이섬유는 물리화학적 성질에 따라 크게 불용성과 수용성으로 나누어진다. 불용성 식이섬유는 셀룰로즈, 헤미셀룰로즈 및 비당질인 리그닌으로서 주로 식물세포의 구조성분에 해당되며 곡류나 야채에 많이 들어 있고, 수용성 식이섬유는 과일류의 펙틴, 식물성 검류, 해조류의 다당류 등이 속하며, 과일, 콩류 그리고 귀리 등에 함유되어 있다. 최근에는 생물공학적인 방법에 의해 생산되는 저분자량의 수용성 식이섬유, 즉 polydextrose, 난소화성 텍스트린, 저분자량 알긴산 등이 식품 제조에 널리 쓰이고 있다.

식이섬유의 특성은 물을 흡수하는 능력, gel의 형성 능력, 양이온 교환능력 등이 있어서 변비의 완화, 혈장 콜레스테롤 수준의 저하, 내당능력의 개선 효과, 유독성 유기물질의 흡수 및 희석 효과 등이 있는 것으로 알려져 있고, 식이섬유의 섭취량 증가는 심장혈관질환, 대장암, 당뇨병의 유병률을 낮추어 준다는 보고가 있다. 특히 수용성 식이섬유는 점성이 강하며 장내 미생물에 의하여 분해되어 흡수 가능한 짧은 사슬 지방산으로 전환됨에 따라 간에서의 콜레스테롤 합성 저해 효과에 관여한다. 우리나라 사람을 위한 식이섬유 권장량은 20~25 g/일(10 g/1000 kcal)이나, 식이섬유 섭취량 조사 결과에 의하면 거의 모든 계층에서 20 g/일 미만인 것으로 나타나고 있고, 청소년에서는 10 g/일 또는 그 이하로 보고되어 식이섬유 섭취량에 대한 다각적인 교육과 홍보가 있어야 될 것으로 생각한다. 또한 우리가 이용하는 식이섬유 함량에 대한 자료는 대부분 외국 문헌을 인용하고 있는 실정으로, 우리 식품의 식이섬유 함량 분석이 필요하며 인체에서의 생리활성을 고려한 방법으로 식이섬유 분석이 수행되어야 할 것이다. 즉, 식품 중의 총 식이섬유 함량뿐 아니라 수용성 및 불용성 식이섬유 함량이 분석되어야 식단 작성 및 임상 연구를 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것이다.

식이섬유의 정량분석은 효소중량법이나 효소분할법을 이용하는데, 효소중량법은 시료를 각

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-31-299-0561 (E-mail) lshin@rda.go.kr

각 다른 효소로 처리 후 여과해서 분석하는 방법이고, 효소분할법은 효소 처리 후 섬유소 구성물질을 HPLC, GLC 또는 colorimetry로 정량하는 방법으로 여기에서는 분석방법이 비교적 쉽고 경제적인 효소중량법(Enzymatic-Gravimetric Methods)을 소개하고자 한다. 특히 독자의 이해를 돕기 위하여 국가 식품성분표(농촌자원개발연구소 발간)와 최근 발표되는 논문에서 보고한 한국인 상용 식품 중의 총 식이섬유 함량을 소개하고, 작물과학원에서 개발하고 본 연구소에서 그 기능성을 검토한 고식이섬유 쌀의 식이섬유 함량 및 최근 문제되고 있는 질환에 대한 동물 모델에서 고식이섬유쌀의 생리조절 효과 연구를 중심으로 설명하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 식이섬유의 정량 분석

#### 1) 시험재료의 전처리

식이섬유 분석에서 시료 전처리는 분석결과의 오차를 줄이기 위해 매우 중요하다. 적절한 시료의 전처리는 사용될 효소와의 접촉면적을 증가시키고, 반응률을 높여주나 너무 미세하게 분쇄된 시료는 효소용액의 접촉을 방해하게 되므로 얻어지는 결과의 정확도에 영향을 줄 수 있다. 모든 시료는 분쇄 전에 미리 균질화와 건조처리가 되어야 하는데, 만일 시료에 열을 가할 수 없다면 동결 건조하여 사용하며 0.3-0.5 mm mesh(체)를 통과할 수 있도록 분쇄하여 실험에 사용한다. 특히 지방함량이 10% 이상 많은 시료나 여러 식품이 혼합된 시료는 미리 탈지방(petroleum ether 25 ml/시험재료 g, 3회)하여 사용하고, 건조 상태에서 시료의 당 함량이 50% 이상인 경우 85% methanol로 당을 제거한 후 실험한다. 특히 시험재료에서 탈지방한 경우, 제거된 지방 함량을 최종 계산식에서 보완하도록 주의한다.

#### 2) 시약 및 필요 장치

##### (1) 시약

$\alpha$ -amylase(heat stable), protease, amyloglucosidase, celite(acid-washed), 95% ethanol, 78% ethanol, acetone, 0.08M phosphate buffer(pH 6.0), 0.275M sodium hydroxide solution, 0.325M hydrochloric acid

##### (2) 필요장치 및 준비물

analytical balance(0.1 mg 까지 측정 가능), fritted crucible-porosity No. 2(coarse 40-60  $\mu$ m), vacuum source, beakers(400-600 ml), oven, desiccator, boiling water bath, shaking water bath, pH meter, microliter dispenser, muffle furnace, magnetic stirrer, aluminum foil

#### 3) 분석 단계

##### (1) 총 식이섬유 함량 분석

① 한 시험재료에 대해 최소한 4개의 샘플을 준비해야 되는데, 400-600 ml 정도의 긴

### 식이섬유의 정량 및 기능성 분석

비이커 4개에 약 1 g 정도의 시험재료를 각각 넣는다. 여기에서 2개는 총 식이섬유 함량, 2개는 단백질과 회분 정량을 위해 사용된다.

※ 모든 샘플의 무게는 20 mg 이상의 차이가 없도록 조정한다.

- ② 50 ml의 phosphate buffer(pH 6.0)를 각 비이커에 넣는다.
- ③ 0.1 ml의  $\alpha$ -amylase solution을 넣고 잘 흔들어 준 후에, aluminum foil로 덮어 boiling water bath에 넣는다. 비이커 내부의 온도가 95-100°C에서 15분간 유지될 수 있도록 하되 boiling water bath에서 30분 정도면 충분하고, 5분 간격으로 비이커를 흔들어 준다.
- ④ 비이커를 꺼내어 실온에서 식히고, 10 ml의 0.275 M sodium hydroxide solution을 넣어 pH를  $7.5 \pm 0.2$ 로 조정한다.
- ⑤ 비이커에 0.1 ml의 protease(50 mg/ml phosphate buffer, 사용 바로 전에 제조)를 넣고, aluminum foil로 덮은 후에 60°C shaking water bath에 30분간 넣어 두었다가 꺼내어 실온에서 식힌다.
- ⑥ 비이커에 10 ml의 0.325 M HCl solution을 넣어 pH 4.0-4.6이 되도록 조정한 후, 0.3 ml의 amyloglucosidase를 넣고 aluminum foil로 덮어 60°C shaking water bath에 30분간 넣어 둔다.
- ⑦ 60°C로 데운 280 ml의 95% ethanol을 넣고, 한 시간 동안 실온에 둔다.
- ⑧ 약 0.5 mg의 celite를 넣어 130°C에서 1시간 이상 건조된 crucible의 무게(W1, 공시험의 경우 W<sub>01</sub>)를 달고, 78%의 ethanol을 wash bottle에 담아 뿌려 주어, crucible 안의 celite를 적시고 다시 고루 잘 가라앉게 한다. 그리고 흡입기를 이용하여 비이커의 내용물이 crucible에 안착되도록 한다.
- ⑨ 20 ml의 78% ethanol로 3번, 10 ml의 95% ethanol로 2번, 10 ml의 aceton으로 2번, 비이커 및 crucible을 씻어내되 벽에 잔류물이 남지 않도록 spatula로 긁어 준다. 이 과정에서 한 시료에 대해 소요되는 시간은 약 0.1-6시간이나 보통 0.5시간으로 본다.
- ⑩ 식이섬유가 들어 있는 crucible을 70°C의 vacuum oven이나 105°C의 air oven에서 하룻밤 동안 건조하고, desiccator에서 건조하여 0.1 mg까지 무게(W2, 공시험의 경우 W<sub>02</sub>)를 측정한다.
- ⑪ 두 개의 crucible은 각각 단백질(P, 공시험의 경우 P<sub>0</sub>)과 회분(A, 공시험의 경우 A<sub>0</sub>) 함량 분석을 위해 사용한다.
- ⑫ 총 식이섬유 함량에 대한 계산식은 다음과 같다.

총 식이섬유 함량(%) =  $(W2 - W1 - P - A - B) / SW \times 100$

B : blank, mg =  $W_02 - W_01 - P_0 - A_0$

SW : 시험재료의 무게

#### (2) 용해성 식이섬유의 함량분석

- ① 총 식이섬유 함량 분석과정에서 ⑧이 끝난 후, 용해성 식이섬유 분석용 crucible

을 10 ml의 증류수로 2번, 10 ml의 95% ethanol로 2번, 10 ml의 aceton으로 2번 씻어내며, 여과액은 미리 장착된 비이커에 받는다.

- ② 여과액이 100 g이 되도록 증류수로 보정한다.
- ③ 60°C로 미리 예열한 95%의 ethanol을 400 ml을 넣고, 실온에서 60분 동안 방치한다.
- ④ 총 식이섬유 함량 분석과정의 ⑧에서와 같이 약 0.5 mg의 celite를 넣어 130°C에서 1시간 이상 건조된 crucible의 무게(W1, 공시험의 경우 W<sub>01</sub>)를 달고, 78%의 ethanol을 wash bottle에 담아 뿌려 주어, crucible 안의 celite를 적시고 다시 고무 잘 가라앉게 한다. 이 때 흡입기를 이용하여 비이커의 내용물이 crucible에 안착되도록 한다.
- ⑤ 총 식이섬유 함량 분석의 ⑨에서와 같이 20 ml의 78% ethanol로 3번, 10 ml의 95% ethanol로 2번, 10 ml의 aceton으로 2번 crucible을 씻어내되 벽에 잔류물이 남지 않도록 spatula로 긁어 준다.
- ⑥ 식이섬유가 들어 있는 crucible을 70°C의 vacuum oven이나 105°C의 air oven에서 하룻밤 동안 건조하고, desiccator에서 건조하여 0.1 mg까지 무게(W2, 공시험의 경우 W<sub>02</sub>)를 측정한다.
- ⑦ 두 개의 crucible은 각각 단백질(P, 공시험의 경우 P<sub>0</sub>)과 회분(A, 공시험의 경우 A<sub>0</sub>) 함량 분석을 위해 사용한다.
- ⑧ 용해성 식이섬유 함량에 대한 계산식은 다음과 같다.

용해성 식이섬유 함량(%) = (W2-W1-P-A-B)/SW × 100

B : blank, mg = W<sub>02</sub>-W<sub>01</sub>-P<sub>0</sub>-A<sub>0</sub>

SW : 시험재료의 무게

### (3) 불용성 식이섬유의 함량분석

- ① 약 0.5 mg의 celite를 넣어 130°C에서 1시간 이상 건조된 crucible의 무게(W1, 공시험의 경우 W<sub>01</sub>)를 달고, 78%의 ethanol을 wash bottle에 담아 뿌려 주어, crucible 안의 celite를 적시고 다시 고무 잘 가라앉게 한다.
- ② 용해성 식이섬유의 함량분석 과정 ①을 끝낸 crucible을 70°C의 vacuum oven이나 105°C의 air oven에서 하룻밤 동안 건조하고, desiccator에서 건조하여 0.1 mg까지 무게(W2, 공시험의 경우 W<sub>02</sub>)를 측정한다.
- ③ 두 개의 crucible은 각각 단백질(P, 공시험의 경우 P<sub>0</sub>)과 회분(A, 공시험의 경우 A<sub>0</sub>) 함량 분석을 위해 사용한다.
- ④ 불용성 식이섬유 함량에 대한 계산식은 다음과 같다.

불용성 식이섬유 함량 (%) = (W2-W1-P-A-B)/SW × 100

B : blank, mg = W<sub>02</sub>-W<sub>01</sub>-P<sub>0</sub>-A<sub>0</sub>

SW : 시험재료의 무게

식이섬유의 정량 및 기능성 분석

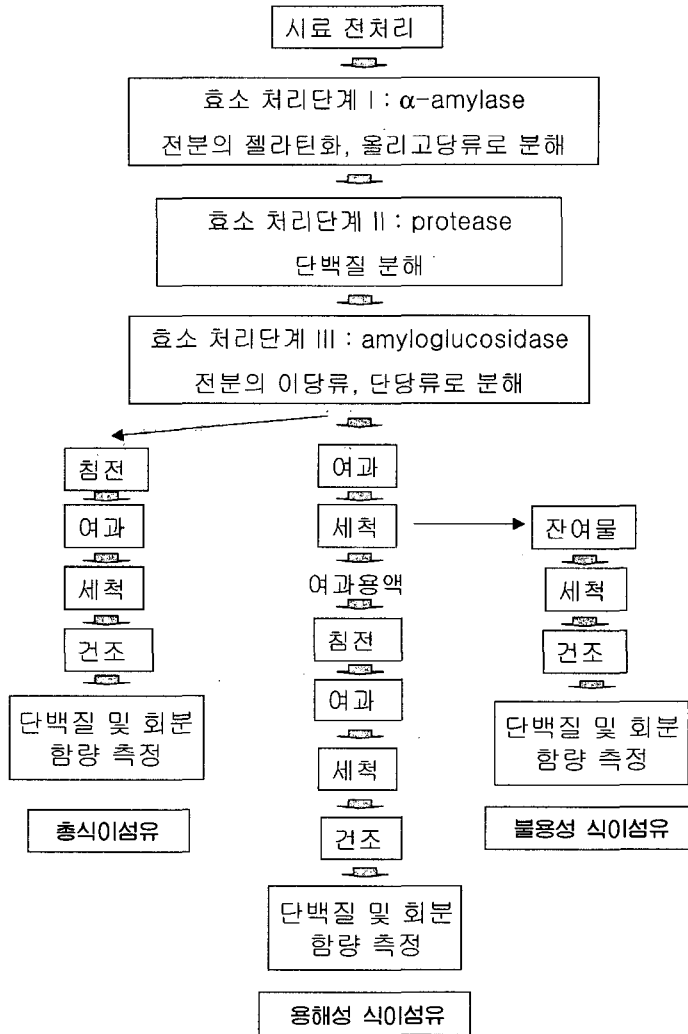


그림 1. 식이섬유 분석 방법

2. 식이섬유의 기능성 분석

1) 실험식이

식품 및 추출물 중 식이섬유의 체내 생리 조절 효과는 정상적인 식이조성(AIN-93M, AIN-93G) 보다 저식이섬유 식이에 이들 물질을 보충하거나 정상수준보다 많은 수준에서 과량 공급하여 검토할 수 있다.

2) 실험동물

정상 모델에서는 과량 급여시 나타나는 성장 및 영양상태에 미치는 영향을 조사할 수 있

고, 식이섬유와 관련이 있는 것으로 보고된 질환 모델을 이용하여 실험을 계획할 수도 있다.

### 3) 조사 내용

실험동물의 식이섭취량, 성장, 체중의 변화, 장기의 무게, 지방 조직의 무게, 혈당 등 혈액의 생화학적 분석을 통해 관련 요인을 집중적으로 조사한다.

## III. 식품 중의 식이섬유 함량과 기능성

### 1. 식품 중의 식이섬유 함량

우리가 섭취하는 식품 중 총 식이섬유 함량이 10% 이상(생물 기준)인 식품으로 곡류에는 밀(whole grain, 10.5%), 보리(whole grain, 17.9%), 팥콩(10.2%), 두류에는 강낭콩(18.6%), 녹두(17.5%), 대두(20.4~21.1%), 붉은 팥(16.7%), 견과류 및 종실류에는 도토리(13.1%), 아몬드(10.6%), 검정깨(21.3%), 흰깨(19.5%)가 있다. 채소류로는 고구마줄기(12.0%), 말린 고사리(38.4%), 마늘(10.1%), 무말랭이(15.8%), 무시래기(10.8%), 박오가리(31.6%), 버섯류에서는 목이(18.2%), 석이(52.9%)에 10% 이상의 총 식이섬유가 함유되어 있다. 과일류에서 생물 기준하여 10% 이상의 총 식이섬유를 함유하는 식품으로 꽃감(17.7%)이 유일하고, 해조류에는 김(31.4%), 다시마(말린 것, 29.3%), 미역(말린 것, 37.8%), 조미료류 중에 겨자(분말, 14.0%), 고춧가루(39.4%), 깨소금(17.9%), 산초가루(52.4%), 청국장 분말(20.9%), 후춧가루(검은 색, 24.6%)가 있다.

우리 국민이 섭취하는 식품의 총량은 1인 1일 평균 1,314.7g으로, 이중 식물성 식품이 80.1%, 동물성 식품이 19.9%를 차지한다. 곡류 및 그 제품은 총 식품섭취량의 24%, 식물성 식품 섭취량 중의 29%를 차지하는 주요 식품으로, 식이섬유 함량이 많지는 않으나 일반적인 하루 섭취량을 고려할 때 중요하며, 곡류 및 그 제품 원료의 도정률을 낮춘다면 식이섬유 함량이 많은 형태로 섭취가 가능할 것이다. 채소류는 우리 국민의 주요 식이섬유 급원으로 하루 평균 섭취하는 식물성 식품의 약 28%를 차지하며, 과일류 및 해조류는 하루 평균 식물성 식품 섭취량의 20%와 1%를 차지한다. 따라서 식품의 식이섬유 공급은 그 식품에 들어 있는 식이섬유의 비율 뿐 아니라 우리 국민이 하루 평균 섭취하는 식품 섭취량을 고려하여 연구되어야 할 것이다. 또한 식품 중의 총 식이섬유 함량뿐 아니라 수용성 및 불용성 식이섬유 함량이 분석되어야 식단 작성 및 임상 연구를 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것이다. 수용성 식이섬유 함량에 대한 국내 분석자료는 많지 않지만, 두부(94.3%), 마늘(86.2%), 건미역(67.9%) 및 마른 김(50.4%)에 50% 이상의 수용성 식이섬유 함량을 보였고 식품에 들어 있는 식이섬유의 상당부분은 불용성 식이섬유로 구성되어 있다.

### 2. 식품 중 식이섬유의 기능성

쌀은 우리의 주식으로 1인 1일 평균 섭취량은 215.9g으로 조사되었고, 총 에너지 섭취량의 40.2%를 차지하는 한국인의 주요 에너지 급원이다. 이러한 시점에서 농촌진흥청 작물과학원

에서는 식이섬유 함량이 높은 고식이섬유 쌀을 개발하게 되었고, 농업과학기술원 농촌자원개발연구소에서는 식이섬유 함량을 분석한 후 질환 모델에서 최근 문제되고 있는 주요 성인병 관리 효과를 검토하였다. 그 결과 고식이섬유 쌀의 총 식이섬유 함량은 일품 백미와 현미(각각 4.1%와 5.6%)에 비해 2배 이상(백미 8.7%, 현미 11.4%)인 것으로 나타났고, 당뇨병 및 고혈압 모델에게 고식이섬유 쌀을 급여하였을 때 고식이섬유 현미군에서 대조군(옥수수전분 급여군)보다 비공복혈당과 당화혈색소 수준이 34%, 41%, 수축기 및 이완기 혈압이 12%와 16%씩 낮게 나타났다. 따라서 고식이섬유쌀 중에서도 현미에 혈당과 혈압 감소 효과가 우수한 것으로 나타나 당뇨 및 고혈압 환자의 건강관리에 유용할 것으로 기대되었다. 이와 같이 식이섬유 보충은 우리나라 주요 사망원인 질환의 관리에 도움이 되는 것으로 보이나 수용성 및 불용성 형태에 따라 체내에서의 생리조절 효과가 다르게 보고되고 있으므로, 인체에서의 기능성을 고려한 방법으로 식이섬유 함량이 분석되어야 할 것이다.

국제화와 개방화의 추세 속에 식이섬유 섭취량이 점차 감소하고 있는 상황에서 현미와 같이 도정 정도가 낮은 곡류의 섭취와 채소류 및 해조류는 총 식이섬유 함량이 많은 양질의 식이섬유 급원이라 생각된다. 건강 증진과 질병 예방 차원에서 식이섬유의 역할이 중요함을 고려할 때, 우리나라의 전통적 식생활인 채식위주의 식생활 패턴을 권장하며 특히 총 식이섬유량이 높은 것으로 나타난 버섯 및 해조류를 우리의 식생활에 널리 이용하는 것도 좋은 방법이라 하겠다. 또한 우리가 상용하는 식품의 식이섬유 함량 특히 수용성과 불용성 함량에 대한 연구 자료가 여전히 미흡한 실정으로, 지속적인 분석과 자료 공유 및 홍보를 통한 국민 건강 증진 방안이 모색되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA.
2. Gallaher, D. D. and B. O. Schneeman. 1996. Dietary fiber In: Ziegler, E. E., L. J. Filer, Present knowledge in nutrition. 7th Ed. ILSI Press, Washington DC, pp. 87-97.
3. Hwang, S. H., J. I. Kim, and C. J. Sung. 1996. Analysis of insoluble(IDF) and soluble dietary fiber(SDF) content of common Korean foods consumed by Korean male college students. Kor. J. Nutr. 29(3) : 278-285.
4. Hwang, S. H., J. I. Kim, and C. H. Sung. 1996. Analysis of dietary fiber content of some vegetables, mushrooms, fruits and seaweeds. Kor. J. Nutr. 29(1): 89-96.
5. Hwang, S. H., J. I. Kim, and C. J. Sung. 1996. Assessment of dietary fiber intake in Korean college students. J. Kor. Soc. Food Nutr. 25(2) : 205-213.
6. Korean Nutrition Society. 2000. Recommended dietary allowances for Koreans. 7th Edition.
7. Lee, K. H., M. A. Park, E. S. Kim, and H. K. Moon. 1994. A study on dietary fiber intake of Korean. Korean J. Food Sci. Nutr. 23(5) : 767-773.
8. Lee, H. S., Y. K. Lee, and S. C. Chen. 1991. Estimation of dietary fiber intake of college students. Korean J. Nutr. 24(6) : 534-546.
9. Lee, H. S., Y. K. Lee, Y. J. Seo. 1994. Annual Changes in the Estimated Dietary Fiber Intake of Korean During 1969-1990. Kor. J Nutr. 27(1) : 59-69.

10. Lee, S. H., H. J. Park, S. Y. Cho, I. K. Jung, T. Y. Kim, H. G. Hwang, and Y. S. Lee. 2004. Supplementary effect of the high dietary fiber rice on blood glucose in diabetic KK mice. *Kor J Nutr.* 37(2): 75-80.
11. Lee, S. H., H. J. Park, S. Y. Cho, H. K. Chun, H. G. Hwang, and H. C. Choi. 2004. Supplementary effect of the high dietary fiber rice on lipid metabolism in diabetic KK mice. *Kor J Nutr.* 37(2): 81-87.

## ***Analysis of Dietary Fibers and its Biofunctional Effect***

***Sung-Hyeon Lee<sup>†</sup>, Hong-Ju Park, and Soo-Muck Cho***

*Rural Resources Development Institute, NIAST, R.D.A., Suwon 441-853, Korea  
+82-31-299-0561, lshin@rda.go.kr*