

Psyllium Husk의 식이섬유 소재로서의 기능성 탐색

Screening Study for the Functionality of Psyllium Husk as a Dietary Fiber Material

이 신 영* 백 진 홍**
Lee, Shin-Young, Back, Jin-Hong

Abstract

Dietary powder from *Plantaginis ovatae* testa was prepared by mechanical milling/grinding of the outer layer of the seed. The crystalline/surface structures of its powder (100 mesh) were examined, and several physical functionalities including, water capacity, oil holding capacity, emulsion/foam properties and physiological functionality such as *in-vitro* glucose and bile acid retarding effects were also investigated. Water holding capacity(WHC) of psyllium powder was 33.71 ± 0.10 g water retained/g solid at room temperature, whileas oil holding capacity(OHC) for soybean or rice bran oil were about 1.80g oil retained/g solid. These values of WHC and OHC were about 5.6 times higher and 2.8 times lower than those of commercial α -cellulose, respectively. Changes of pH showed a small effect on WHC, but WHC increased with temperature. Emulsion capacity of 2%(w/v) psyllium was about 60% level of 0.5%(w/v) xanthan gum but emulsion stability after incubation of 24 hours showed about 1.4 times improvement of xanthan gum(0.5%,w/v). Also, psyllium(above 2%, w/v) alone had higher foam capacity than that of xanthan(1.1 times) and especially, 1 or 2% addition of psyllium improved the foam stability of protein solution(1% albumin+0.5% CaCl_2) by factor of 3.3 and 6.0 times, respectively. The glucose and bile acid retarding effects of psyllium powder were relatively very excellent suggesting the prevention from diabetes and arteriosclerosis. Especially, psyllium showed the 3.7 and 3.3 times higher effect on *in-vitro* glucose and bile acid retardation than those of commercial α -cellulose, respectively.

키워드 : 차전자피, 식이섬유, 물성 및 생리기능성, *in-vitro* 포도당 및 담즙산 흡수지연효과
Keywords: *Psyllium husk*, *dietary fiber*, *physiological property*, *in-vitro glucose and bile acid retarding effect*

1. 서론

식이섬유(dietary fiber)는 사람의 소화 효소로는 소화되지 않는 식물 세포의 구조 잔사로, 그 동안 소화, 흡수되지 않기 때문에 영양적 가치가 없는

것으로 인식되어 왔다. 그러나, 1970년대에 Trowell [1,2]에 의해서 심장계 질환, 장 질환을 비롯한 비만증, 당뇨병, 담석 등의 질병들이 식이섬유의 섭취 부족과 관련이 있다고 보고된 이래 그 생리적 역할에 대한 연구와 관심이 크게 고조되었다[3,4,5]

식이섬유는 크게 불용성 및 수용성 식이섬유로 구분되며, 이들의 생리적 효과는 서로 다른 것으로 알려지고 있다[6,7]. 수용성 식이섬유는 과일, 보리,

* 강원대학교 바이오산업공학부 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 생물공학과 박사과정,
(주) 김정문 알로에, 연구원

두류 식품 등에 주로 함유되어 있으며, 수분 보유능(water-holding capacity)이 크고, gel 형성능이 우수하여 음식물의 점성을 높여 준다. 또 위에서의 체류시간을 증가시키고, 포만감을 제공하여 영양분의 흡수를 느리게 하며, 담즙산(bile acid)과 결합하여 분변으로 배출됨으로써 체내 담즙산 보충을 위한 콜레스테롤의 소모를 유도한다[8,9]. 이에 따라 혈중 콜레스테롤 값을 저하시키며, 심장병 및 동맥경화를 예방하고 대장암의 발병율을 낮춰 준다[10]. 반면, 불용성 식이섬유는 주로 식물 세포벽의 구성성분으로 밀 겨, 옥수수 겨 및 곡류에 함유되어 있으며, 수분 보유능이 커서 위에 포만감을 주고, 변을 묽게 하여 장에서의 이동시간을 감소시켜 통변을 용이하게 한다[8]. 또 대장 내에서 세균에 의해 일부 분해되어 짧은 사슬 지방산(short chain fatty acid)으로 발효되는 등, 주로 대장 기능에 관련된 효과를 나타내고 있다[9]. 이외에도 식이섬유는 혈압강화 작용이 있으며, 비만에 좋고, 특히, 포도당의 흡수를 지연시켜 인슐린 요구량을 감소시킴으로써 당뇨병의 치료에도 많은 도움이 되고 있는 것으로 알려져 있다[10,11,12].

일반적으로 생리기능성과 같은 식품의 제 3차 기능과 관련되는 식이섬유의 대표적 특성은 보수력과 졸(sol)의 형성능, 양이온 교환능, 담즙산 결합력 등의 물리·화학적 특성에 의해서 크게 영향을 받는다[13,14,15].

그러므로 물성기능 자료는 식이섬유원으로서의 생리기능성 탐색에 매우 중요한 지표로 볼 수 있다.

이와 관련하여 질경이의 씨로부터 얻어지는 차전자피의 껍질성 점액질은 수용성 식이섬유로 각종의 생리기능성을 나타내는 것으로 잘 알려져 있음에도 불구하고 물성기능에 대한 자료는 비교적 제한되어 있는 실정이다.

질경이(*Plantago* L)는 쌍떡잎식물 질경이목 질경이과의 다년생 초본식물(여러해살이풀)로, 세계적으로 약 250여종이 분포하고 있으며, 우리나라의 산과 들에서도 흔히 볼 수 있으며, 풀밭이나 길가, 또는 빈터에서 자란다[16,17]. 원줄기없이 근생엽만이 지면에 비스듬히 퍼지며, 삭과에서는 타원형(길이 2~2.5mm x 너비 0.7~1mm x 두께 0.3~0.5mm)의 검은색 종자가 나오는데, 한방에서는 잎을 차전(車前), 질경이 종자를 차전자(車前子)라 하여 약제로 사용한다[17].

차전자는 이뇨 작용이 있고, 설사를 멈추게 하며, 간 기능을 활성화하여 어지럼증·두통에 의 효과 및 폐열로 인한 해수에의 효과가 알려지고 있는데, 최근에는 항암, 감염치료 효과 및 총 콜레스테롤 저하작용 등에 관한 연구가 꾸준히 발표되고 있다[18,19,20,21]. 차전자피는 주요 구성성분을 보면 셀룰로오스, 리그닌, 헤미셀룰로오스, 펙틴, 검, 점액

질(mucilage) 등으로서 특히, 다량의 점액질을 형성하는 arabino-xylan-polysaccharide는 수분보유량이 뛰어난 식이섬유원이다. 저칼로리 소재는 물론, 변비개선, 혈당 및 콜레스테롤 저하, 간기능 보호 등의 생리 소재로서 크게 주목되고 있다[18,19,20,22]. 특히, FDA[23]는 차전자 섬유가 심장 건강상의 이점, 즉 “차전자피 유래의 수용성 섬유 7g/day를 함유한 낮은 수준의 포화지방 및 콜레스테롤 식이는 콜레스테롤을 저하시켜 심장질환의 위험을 감소시킨다”는 주장을 승인하였다.

하지만 이미 언급한 바와 같이, 차전자피에 대한 각종 생리기능성에 대한 광범위한 보고에도 불구하고, 물성 및 생리 기능성에 대한 정량적인 기초 자료는 별로 알려지지 않고 있어 검토의 필요성이 높다.

일반적으로 기능성 식품 소재 및 성분으로서의 잠재성을 알기 위한 예비단계는 우선적으로 이들의 기능성을 결정하는 것이다. 이에 본 연구에서는 차전자피의 식이섬유로서의 물성 및 *in vitro* 생리 기능성을 특성화하고자 하였다.

즉, 1) 차전자피 식이섬유의 분말제품을 생산하고, 2) 이의 기능성을 평가하기 위해 결정 및 표면구조 특성을 알아본 다음, 수분 및 오일 흡수능, 거품능과 안정성, 유화능과 안정성과 같은 물성 기능을 표준시료(α -cellulose)와 비교하면서 탐색, 조사하였다. 아울러, *in-vitro* glucose와 bile acid 흡수지연효과 등의 생리 기능성을 조사하여 혈당강하나 콜레스테롤 저하 소재로서의 가능성을 탐색하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 연구에 사용한 psyllium은 (주) 김정문알로에로부터 제공받았으며, 100mesh 분말을 시료로 사용하였다. 비교 시료로 사용한 α -cellulose는 Sigma-Aldrich사의 제품(product no. C8002)을 사용하였고, 각 재료는 4°C의 냉장고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

2.2. 결정 및 표면구조

결정구조는 X-ray diffractometer(Bruker model D5005)로 관찰하였다. 조작조건은 40kV/ 30mA에서 대음극으로 동(Cu K α)관을 사용하고, step size 0.04로 2 θ =10-60. 까지 회전시켰다.

표면구조는 주사형 전자현미경(Hitachi SEM model S-4300)으로 관찰하였다. 즉, 시료를 양면 집착 테이프에 얇게 분산시킨 후, Au로 진공증착(100Å 두께)하여 전압 5kV, 시료 경사 30°의 조건에서 1,000-50,000배로 촬영하여 관찰하였다.

2.3. 물성 기능성 분석

2.3.1. 보수력(Water holding capacity; WHC)

AACC 방법[24]을 사용하여 결정하였다. 시료 5g을 칭량하여 미리 칭량한 50ml 원심분리관에 넣었다. 각 시료에 대해 증류수를 소량 가한 후 유리봉으로 저어주었다. 혼합물이 완전히 젖은 후 2000g에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리후 관에 있는 상정액 액체의 양을 측정하였고, 수분보유능(시료 고형분 g당 물의 g)은 다음 식으로 구하였다.

$$WHC = (W_2 - W_1) / W_0$$

여기서 W_0 는 건조시료 중량(g), W_1 은 관과 시료의 무게(g), W_2 는 관과 침전물의 무게(g)이다. 각 시료에 대해 3회 반복 실험하였다.

2.3.2. 보유능(Oil absorption capacity; OAC)

보유능은 Chakraborty의 방법[25]으로 측정하였다. 시료 1g을 칭량하여 미리 칭량된 50ml 원심분리관에 넣고 10ml의 soybean oil 또는 rice bran oil과 철저히 혼합하였다. 시료-oil 혼합물을 1600g에서 10분간 원심분리하고 상정액을 제거하여 관 무게를 측정하였다. 지방 흡수능(시료 고형분 g당 oil g)은 다음과 같이 계산하였다.

$$OAC = (W_2 - W_1) / W_0$$

여기서 W_0 는 건조시료 중량(g), W_1 은 관과 시료의 무게(g), W_2 는 관과 침전물의 무게(g)이다. 각 시료에 대해 3회 반복 실험하였다.

2.3.3. 유화능 및 안정성(Emulsifying capacity and stability)

유화능(EC) 및 유화 안정성(ES)은 Yasumatsu 등의 방법[26]에 따라 3회 반복 실험하였다. 각 시료 8g을 칭량하고 blender로 옮겨 증류수 100ml 및 soybean oil 100ml와 혼합하고 고속으로 1분간 혼합하여 유화액을 형성하였다. 각 시료에 대해 유화액의 고정량(40ml, V_t)를 취하여 50ml 원심분리관에 옮기고 1475g에서 5분간 원심분리하였다. 유화분획의 부피(V_f)를 기록하고 o/w 유화분획을 포함한 관은 80°C 수욕(water bath)에서 30분간 가열한 후, 실온으로 냉각하였다. 냉각에 따라 이들 관이 1475g에서 5분간 원심분리후 남아있는 유화분획의 부피(V_f)를 기록하였다. EC 및 ES는 각각 다음 식으로 나타내었다.

$$EC(\%) = (V_f / V_t) \times 100$$

$$ES(\%) = (V_f / V_t) \times 100$$

2.3.4. 거품 형성능과 안정성(Foaming capacity and stability)

거품 형성능(FC) 및 거품 안정성(FS)은 Mitchell의 방법[27]을 사용하여 3회 반복 실험하였다. 0~3wt%의 시료(1% egg albumin + 0.5% $CaCl_2$ 함유) 수용액 75ml(V_i)를 고속 균질기로 3분간 혼합하였다. 메스 실린더에 붓고 즉각 foam 부피(V_f)를 측정하였다. Foam은 25°C에서 30분간 그대로 방치하였고, 거품 밑에 생성된 액체부피(V_o)를 측정하였다.

FC(액체 ml당 거품 ml) 및 FS(초기부피 ml당 거품에 남아있는 액체의 ml)를 다음 식에 의해 각각 구하였다.

$$FC = V_f / V_i$$

$$FS = (V_i - V_o) / V_i$$

2.4. 생리 기능성 분석

Biocellulose의 식이섬유로서의 특성을 알아보기 위해 식이섬유가 투석막을 빠져나오는 glucose 및 bile acid의 투과를 지연하는 원리를 이용한 Adiotomre 등[28]의 반투막 투과 실험법으로 각각 다음과 같이 glucose 및 bile acid의 흡수지연효과를 측정하였다.

2.4.1. *In-vitro* glucose 흡수 지연효과

Glucose 흡수 지연효과는 유리상태의 glucose는 투석막을 그대로 통과하지만 고분자 물질에 흡착된 glucose는 투석막을 통과하지 못하므로 투석외액의 glucose 농도를 분석하여 측정하였다. 넓이 3.2cm², 길이 10cm의 투석막(Sigma D7884 : M.W. cut-off <1200)을 0.1% sodium azide 용액에 하룻밤 담근후 사용하였다. 투석막의 한쪽 끝을 목면실로 단단하게 묶은 후 투석막 내부에 시료 0.2g을 넣고, 여기에 glucose 36mg을 용해시킨 0.1% sodium azide 용액 6ml를 넣었다. 반대편의 투석막 끝도 단단히 묶은 후 150ml 용량의 용기에 넣고 14시간 동안 수화시켰으며, 이 때 대조구의 경우는 시료만을 제외하여 마찬가지로 실시하였다. 수화 종료후 용기에 0.1% sodium azide 용액 100ml를 첨가하였으며, 이를 37°C로 유지한 진탕 항온조에서 100 rpm으로 24시간 동안 투과실험을 실시하였다. 일정 시간(30분~24시간) 간격으로 투석외액 1ml씩을 취하여 glucose 함량을 측정하였으며, 흡수 지연 효과를 다음 식에 의해 계산하였다.

$$Glucose\ retardation\ index(\%) = 100 - \frac{\text{Total glucose diffused from sack containing fiber}}{\text{Total glucose diffused from sack without fiber}} \times 100$$

이 때, glucose 함량은 DNS 또는 ABTS 법[29]

에 따라 측정하였다. ABTS 법에서는 0.1% sodium azide 용액에 용해시킨 시료 및 표준 glucose 용액 1ml에 ABTS 시약(glucose oxidase 60mg, peroxidase 6mg 및 ABTS 50mg을 0.12M phosphate buffer 용액 250ml에 용해한 것) 5ml를 첨가한 후, 실온에서 30~40분간 방치하였고, 450nm에서의 흡광도를 측정하였다.

2.4.2. *In-vitro* bile acid의 흡수 지연효과

Bile acid 흡수 지연효과는 glucose의 경우와 마찬가지로, 유리상태의 bile acid가 투석막을 빠져나오므로 투석막 내부에 시료 0.2g을 넣고 0.1% sodium azide 용액으로 조제한 0.05M phosphate buffer(pH 7.0)에 1L당 15mmole taurocholic acid (Sigma T-4009)를 녹인 용액 6ml를 넣어 투석막 끝을 단단히 묶었다. 이를 150ml 용량의 용기에 넣어 14시간 동안 수화시켰으며, 대조구의 경우는 시료만을 제외하여 마찬가지로 실시하였다. 여기에 0.1% sodium azide 용액으로 조제한 0.05M-phosphate buffer(pH 7.0) 100ml를 첨가한 후 37℃의 항온수조에서 100rpm으로 72시간 동안 진탕하였다. 일정 시간 간격으로 1ml씩을 취하여 bile acid 함량을 측정하였으며, bile acid 흡수 지연 효과는 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{Bile acid retardation index(\%)} = 100 - \frac{\text{Total bile acid diffused from sack containing fiber}}{\text{Total bile acid diffused from sack without fiber}} \times 100$$

이 때, bile acid 함량은 Boyd 등의 방법[30]에 따라 측정하였다. 즉 bile acid(Sigma B-8756) 용액 1ml에 70% H₂SO₄ 용액 5ml를 넣고 5분 후에 0.25% furfural 용액 1ml를 각각 첨가하였다. 60분간 방치하여 분홍색이 최대로 발색된 후의 최대 흡수 파장인 510 nm에서 흡광도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 결정구조와 표면구조

Psyllium 및 α-cellulose의 결정구조를 x-선 회절에 의해 조사한 결과는 Fig. 1과 같다.

일반적으로 2θ=10~40° 범위에서 결정성분에 유래하는 peak는 7개인데, 이 중 천연 셀룰로오스에 특징적인 것은 4개(2θ≃15, 17, 22, 34)이다. α-cellulose 회절 peak의 2θ는 15.4 및 22.2로, cellulose IV의 회절양상을 나타낸 반면, psyllium 은 결정성분 유래의 회절 peak를 보이지 않아 결

정성을 갖지 않았다.

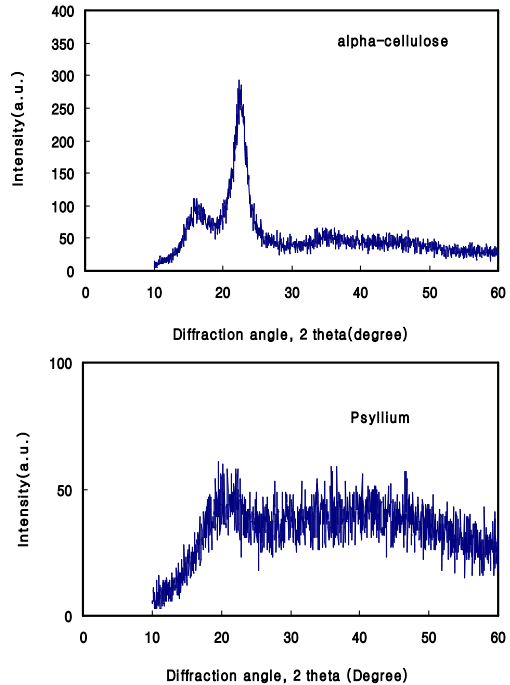


Fig. 1. X-ray diffraction diagrams of α-cellulose and psyllium by reflection method.

한편, psyllium 및 α-cellulose의 표면구조를 주사형 전자현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 2와 같다.

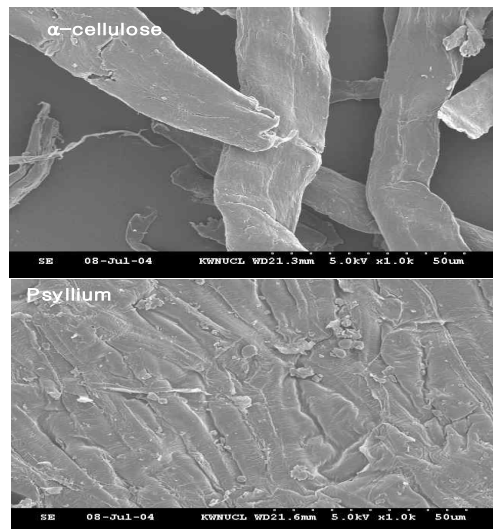


Fig. 2. Scanning electron microscopic view of psyllium and α-cellulose(x1,000).

Psyllium Husk의 식이섬유 소재로서의 기능성 탐색

1,000배의 배율로 관찰하였을 때(Fig. 2), α -cellulose는 섬유상 구조를 보인 반면, psyllium은 겔 유사 구조를 보였다. 또, Fig. 3에서와 같이, 고배율로 관찰하였을 때 psyllium의 표면은 다공성이 전혀 없는 매끄럽고 주름이 많은 특징을 보였다.

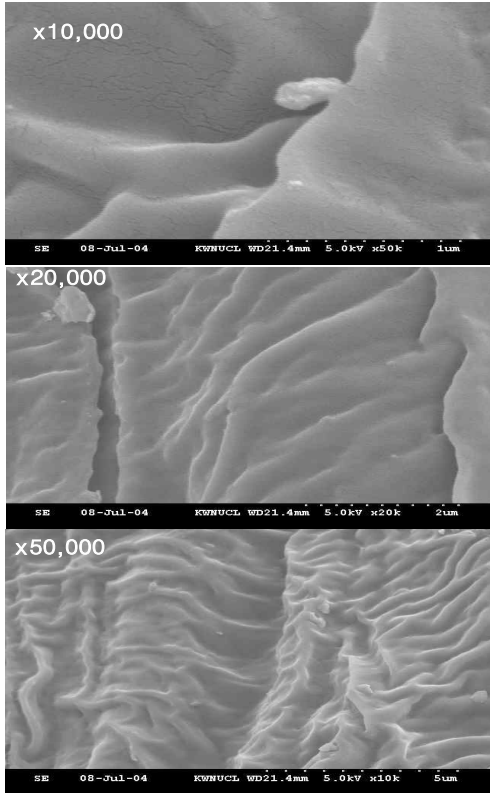


Fig. 3. Scanning electron microscopic view of psyllium under the different magnifications.

3.2. 보수력과 보유력

식이섬유는 그 동안 인체의 각종 장 및 대사성 질환의 발생 방지에 크게 관여하는 것으로 알려져 크게 주목받아 왔으며, 최근 들어서는 각종의 새로운 식이섬유원 탐색을 위한 활발한 연구가 수행되고 있다[14].

분말 차전자피는 총 식이섬유 함유량이 98% 이상인 수용성의 식이섬유(soluble dietary fiber)이다. 이들 식이섬유를 함유한 식품을 섭취하면 소화관 운동의 촉진, 변 용적의 증가, 장내 물질의 통과 시간 단축, 장내압, 복압 저하, 식사 성분의 소화, 흡수 저하, 장간 순환 담즙산의 감소 및 장내 세균총의 종류와 대사 변동 등의 각종 생리 효과를 나타낸다. 일반적으로 이러한 식이섬유의 생리기능은

식이섬유의 구성 성분과 조성, 함량, 결합상태 및 입자크기나 식품의 종류, 가공법, 조리조건 및 식이섬유원 등에 따라서도 그 기능이 다르게 나타난다[15]. 그러나 식품의 제 3차 기능과 관련된 식이섬유의 대표적 특성은 보수력과 졸(sol)의 형성능, 양이온 교환능, 담즙산 결합력 등의 물리·화학적 특성에 의해서 크게 영향을 받는다[[13,14,15].

그러므로 식이섬유의 보수력과 같은 물성 기능의 탐색은 식이섬유원으로서의 기능성 탐색에 매우 중요한 지표가 되고 있다.

특히, 식이섬유원의 수분 흡착력은 소화력의 저하, 변의 부피와 무게 증가, 혈청 triglyceride를 낮추는 기전과 관련이 있는 것으로 알려지고 있다[6,31]. 따라서 psyllium 식이섬유의 보수력을 불용성 식이섬유인 α -cellulose와 비교하면서 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 4와 같다.

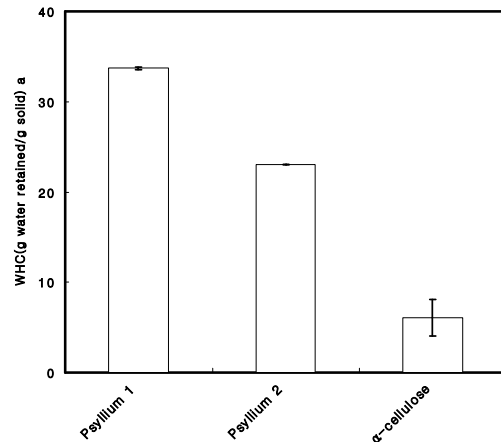


Fig. 4. Water holding capacity of psyllium and α -cellulose.

α -cellulose 및 psyllium의 보수력은 각각 6.08 ± 0.15 및 $23.04 \pm 0.11 \sim 33.71 \pm 2.00$ g water retained/g solid이었다. 여기서 psyllium 1은 겔층과 점성액 체층을 합한 총 용량기준이고, psyllium 2는 겔층만을 기준으로 한 것이다. Ang[32]은 셀룰로오스의 경우 입자크기가 작을수록 보수성이 증가하여 섬유길이에 따라 4-10배를 유지한다고 보고하였는데, α -cellulose의 보수력은 이와 비교적 잘 일치하는 값 범위이었고, 시판용 펙틴과 비슷하였다. 일반적으로 셀룰로오스나 리그닌의 보수력은 낮고, 식이섬유의 통상 물 흡착력이 약 4배임을 고려할 때[33], psyllium은 8배나 되는 매우 높은 물을 흡수하는 특징을 갖는다고 볼 수 있다.

또 수분 흡착력은 식이섬유의 종류, 함량, 입자크기에 따라 크게 영향을 받는다[34]. 주로 식이섬유의 구성성분, 입도, pH 및 이온강도가 주요인인으로 보고되고 있는데[15], 셀룰로오스의 경우는 높

은 결정성을 가지면 직접적인 수소결합에 의해 물의 결합이 적어진다. 차전자피의 높은 물 보유능은 앞서 표면 및 결정구조에서 살펴본 바와 같이, 결정성을 갖지 않는 무정형과 많은 주름의 표면적 효과에 기인하는 것으로 보인다.

한편, Fig. 5는 pH 2-9의 범위에서 각 시료의 보수력을 조사한 결과이다.

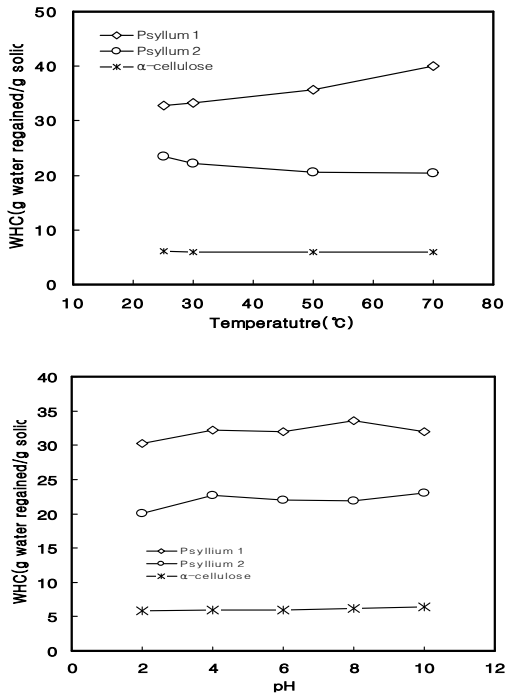


Fig. 5. Effect of pH and temperature on water holding capacity of psyllium and α-cellulose.

알칼리성 pH에서 다소 보수력이 높아지는 경향이 있으나 각 pH에서 보수력의 차이는 매우 미미하였다. 그러나, 역시 Fig. 5에서 보는 바와 같이, 온도 증가로 보수력은 다소 증가하고 온도 의존성을 나타내었다.

한편, α-cellulose 및 psyllium의 soybean oil과 rice bran oil에 대한 보유능을 조사한 결과는 Fig. 6과 같다.

이들의 보유능은 soybean oil의 경우, 각각 5.01 ± 0.04 및 1.86 ± 0.06 g oil retained/g solid이었고, rice bran oil에 대해서도 각각 비슷한 값 범위이었다. α-cellulose의 보유력은 분말 셀룰로오스에 대한 Ang[32]의 결과(약 2.5~8.5배)와 잘 일치하는 값 범위이었으나, psyllium은 이의 35%수준으로 매우 낮았다.

일반적으로 보유능은 보수력에 비하여 상대적으로

로 낮게 나타나며, 그 범위는 30~80%로 알려지고 있다[35]. 따라서 psyllium의 경우 보수력은 매우 높으나 보유능이 매우 낮은 특징을 보였다.

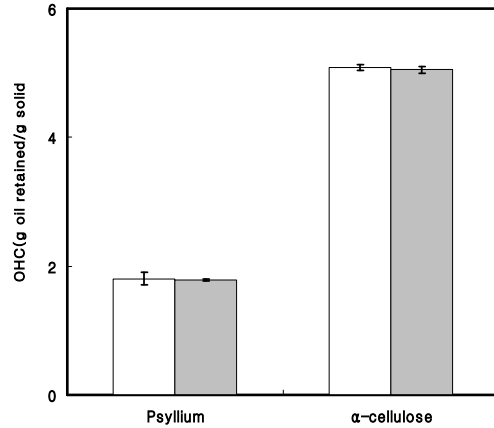


Fig. 6. Soybean oil(open) and rice bran oil(closed) holding capacity of psyllium and α-cellulose.

3.3. Glucose의 흡수 지연효과

식이섬유는 각종의 생리효과를 나타내며, 특히, 포도당의 흡수를 지연시켜 인슐린의 요구량을 감소시킴으로써 당뇨병의 치료에도 많은 도움이 되고 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 *in-vivo* 혈당강하 실험과 매우 높은 상관성을 갖는 투석막을 통해 투석되는 glucose의 양을 측정하는 *in-vitro* 법에 의한 glucose 흡수 지연 효과를 24시간 동안 일정시간 간격으로 조사하였으며, 그 결과를 glucose 투과율(%)의 경시변화로서 Fig. 7에 나타내었다.

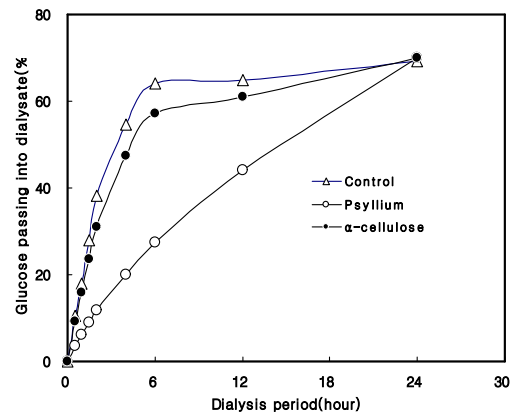


Fig. 7. Glucose movement across dialysis bag in the presence of psyllium and α-cellulose.

Psyllium Husk의 식이섬유 소재로서의 기능성 탐색

대조구의 glucose 투과율은 투석 초기 6시간에 급격히 증가하여 약 64.2%에 달하였고, 이후 미미하게 증가하여 24시간 후에 약 70%를 나타내었다.

반면, psyllium 첨가구는 초기 급격한 투과율의 증가없이 서서히 증가하여 24시간 후 대조구와 비슷한 glucose 투과율을 보였다. α-cellulose의 셀룰로오스 첨가구는 시료간의 큰 차이 없이 대조구와 비슷한 경향을 나타내었으나 각 대응시간에서 대조구보다 glucose의 투과율이 낮았으며, 그 값은 6시간 후에 약 47.5-57.2 %이었다. 하지만 24시간 후에는 대조구와 마찬가지로 약 70%의 glucose 투과율을 보여 glucose 투과의 저해효과는 초기에 더욱 유효한 것으로 나타났다.

따라서 투석 6시간 이내에 셀룰로오스 시료들이 glucose의 투과를 지연시킴을 알 수 있는데, 이는 Schneeman[6]에 의하면 식이섬유가 그 구조내에 glucose를 가두어 두는 효과(entraping effect)에 기인한다.

한편, 자료로 나타내지는 않았으나 투석 초기의 glucose retardation index(%)는 glucose의 흡수 지연 효과를 판단하는 지표로 이용되므로, 초기 30, 60 및 120분에서의 glucose 흡수 억제 지수를 구한 결과, 투석 30~120분 경과시 α-cellulose의 glucose 흡수 억제지수값은 11.64%에서 18.89%로 증가하였으나 psyllium은 같은 기간 중 glucose 흡수 억제지수가 65.12-69.56%의 수준을 유지하여 glucose 흡수억제효과가 매우 높음을 보였다.

한편, α-cellulose의 실험값은 투석 30분 경과시 불용성 식이섬유인 시판용 α-cellulose의 glucose 흡수지연효과가 10.5%라고 한 이와 이[36]의 보고와 비교적 일치하였다. 또, psyllium이 매우 높은 glucose 흡수억제 지수를 보인 것은 매우 강력한 보수능(Fig. 4)과 관련되는 것으로 생각된다. 일반적으로 보수력과 점성이 높은 수용성 식이섬유에서 glucose 흡수 억제지수가 높은 것으로 알려지고 있다.

현재 시판용 식이섬유중 수용성 식이섬유인 alginic acid, guar gum, CM-cellulose 및 citrus pectin의 투석 30분 경과시 glucose 흡수 억제지수도 약 30% 수준이다. 따라서 psyllium(투석 30~120분 경과시 65.12-69.56% 수준)은 이들의 2배 이상이나 되는 매우 강력한 glucose 흡수지연 억제 효과를 가짐을 알 수 있으며, 항 당뇨효과가 기대된다.

3.4. Bile acid의 흡수 지연 효과

In-vitro법에 의한 bile acid 흡수 지연 효과를 알아보기 위하여 투석막을 통해 투석되는 bile acid의 양을 60시간 동안 경시적으로 측정여 조사한 결과는 Fig. 8과 같다.

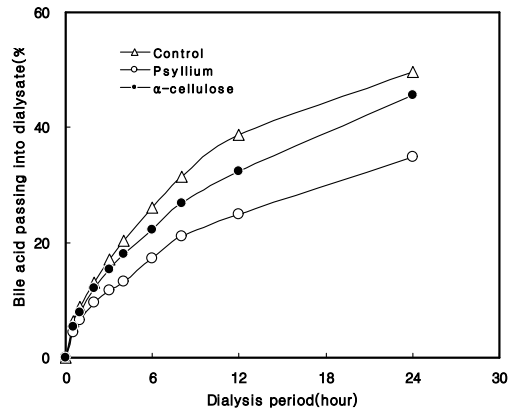


Fig. 8. Bile acid movement across dialysis bag in the presence of psyllium and α-cellulose.

대조구의 bile acid 투과율은 초기 12시간까지 비교적 급격히 증가하다가 이후 60시간까지 서서히 증가하여 60시간 후에 거의 60%이상 투과하였다. 이러한 경향은 glucose 투과와 비슷하였으나, glucose의 경우보다는 비교적 서서히 이루어졌는데, 이는 bile acid의 분자량(538)이 glucose의 분자량(180)보다 크기 때문인 것으로 생각되었다[35].

시료 첨가구의 경우는 셀룰로오스 및 psyllium 시료 모두 각 대응하는 시간에서 bile acid의 투과를 지연시켰고 psyllium은 α-cellulose보다 더욱 억제하는 경향을 보였다. Bile acid의 흡수 지연효과를 보다 명확히 알아보기 위하여 glucose에서와 마찬가지로 투석 초기 1-4시간 사이의 bile acid 흡수 억제지수(bile acid retardation index, %)를 구한 결과, 투석 1~4시간에서 각 시료의 bile acid 억제 지수는 7.86~34.22%의 넓은 범위 값이었는데, glucose 흡수 지연효과와는 달리, 시간경과에 따른 bile acid 억제지수값은 뚜렷한 증가 경향을 보이지는 않았다. 투석 1시간 후의 bile acid 억제지수를 보면, α-cellulose는 10.749%로 시판용 불용성 식이섬유인 α-cellulose의 bile acid 흡수 억제지수가 8.9%정도라고 한 이와 [36]의 보고와 비교적 일치한다. 반면, psyllium의 bile acid 흡수 억제지수 값은 27.47%로 시판용 식이섬유중 수용성 식이섬유인 bile acid 흡수 억제지수가 citrus pectin 30.4%, guar gum 22.3%, alginic acid 17.0% 및 apple pectin 13.4%임을 고려할 때[36], bile acid 흡수 지연효과가 매우 우수함을 보여주는 결과라 할 수 있다.

Story[37]는 점질성의 식이섬유는 장에서 당 흡수를 지연시켜 혈중 인슐린치를 감소시킬 뿐만 아니라, bile acid와의 결합에 의해 유리 상태의 bile acid 함량을 감소시켜 재흡수되는 담즙산의 함량을

변화를 줌으로써 궁극적으로 지방대사에 영향을 미쳐 cholesterol 합성을 저하시킨다고 하였다. Olson 등[38]도 차전자 함유제품이 HDL 콜레스테롤 수준에의 영향없이 LDL 콜레스테롤 수준을 낮춘다고 보고하였다.

3.5. 유화능과 안정성

o/w 유화액은 oil/water 계면에서 계면활성제 또는 유화제에 의해 안정화된 물 속에 지방 방울이 부유된 현탁액이다. 단백질의 경우, 유화제로 작용하는 능력은 용해도, 표면번성 정도, 지방/단백질비, 유화액 점성에 대한 효과와 더불어 양쪽성 특성에 의존한다.

유화 안정제로 널리 사용되는 0.5% xanthan gum을 비교구로 하여 α -cellulose (4%) 및 psyllium(2%)의 첨가에 따른 유화능 및 안정성을 조사한 결과는 Fig. 9와 같다.

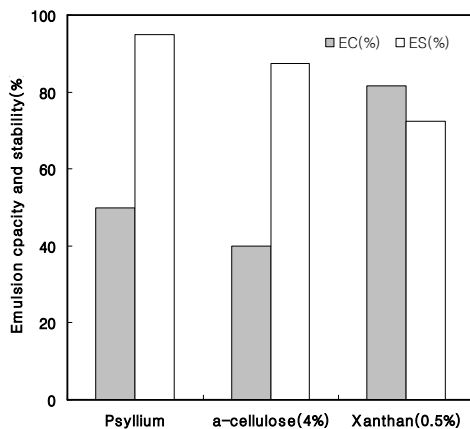


Fig. 9. Emulsion capacity and stability of psyllium and α -cellulose.

2% psyllium의 유화능은 50%로 0.5% xanthan gum(81.5%)의 수준인 약 60% 수준이었으나 유화 안정성은 xanthan gum의 72.3%보다도 매우 높은 95% 수준의 높은 안정성을 보였다.

자료로 나타내지는 않았으나 xanthan gum 무첨가의 대조구는 유화 직후 수분내에 물과 기름이 분리된 반면, 0.5% xanthan gum 첨가구는 24시간 까지도 전혀 분리되지 않고 높은 유화 안정성을 보였다. Xanthan의 높은 유화안정성은 높은 항복 응력 및 정지 상태에서의 응집력에 기인하는 것으로 밝혀졌는데, 일반적으로 다당류와 같은 고분자 물질은 물과 기름의 분산매속에서 녹아 점도를 높임으로써 크리미명을 방지하거나 점성 및 탄성이 강한 흡착층을 만들어 기름입자간의 합일을 방지하여 유화안정성을 높인다고 보고되었다[39].

3.6. 거품 형성능과 거품 안정성

거품은 물리적 교반 및 통기에 의해 공기가 수용액에 혼입된 것으로 식품의 부드러움(smoothness), lightness, 향미, 분산 및 감칠맛에 기여한다. 더 작은 공기세포의 형성은 조직 및 입안에서의 느낌을 향상시키며, 또, 지방구 주위의 물상(water phase)을 조직화하는 것으로도 알려져 있다. 특히, 단백질 용액의 거품은 많은 식품 응용에서 바람직한데, 높은 거품 형성능과 거품 안정성은 케이크, 빵, whipped topping, 아이스크림, 디저트에서 요구된다[40].

일반적으로 거품에서 단백질의 1차적 기능은 공기/액체 계면에서 표면장력을 감소시켜 액상으로 공기의 혼입을 용이하게 하고 공기방울 주위에 응집 필름을 형성함으로써 거품을 안정화시키는 것이다.

따라서 α -cellulose와 psyllium의 거품 형성능을 조사하였으며, 자료로 타내지는 않았으나 각 시료 단독으로는 거품 형성능을 보이지 않았다. 하지만 psyllium은 α -cellulose에서는 보이지 않는 매우 양호한 분산능을 가짐을 관찰할 수 있었다.

아울러, Fig. 10에서와 같이, 거품형성을 하는 albumin(1%)과 CaCl_2 (0.5%)의 혼합 용액에 각 시료를 1% 첨가한 경우, 거품의 거동에 영향을 주었다.

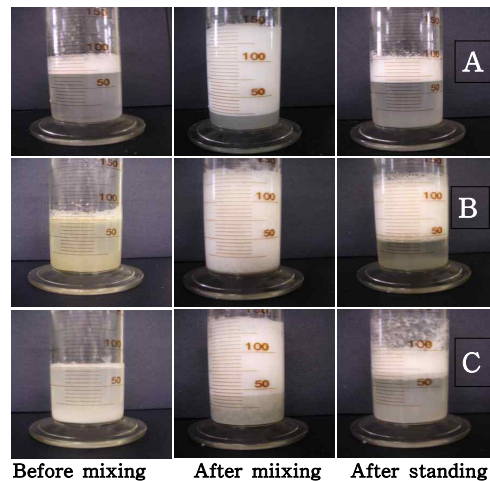


Fig.10. Foaming behaviors of α -cellulose and psyllium.

Formular of foaming solution was consisted of 75ml distilled water containing 1% albumin, 0.5% CaCl_2 and 1% sample.

A: Control(1% albumin / 0.5% CaCl_2)

B: Psyllium

C: α -cellulose

Fig 11은 Fig. 10의 자료를 사용하여 거품 형성능과 안정성을 산출한 결과이다.

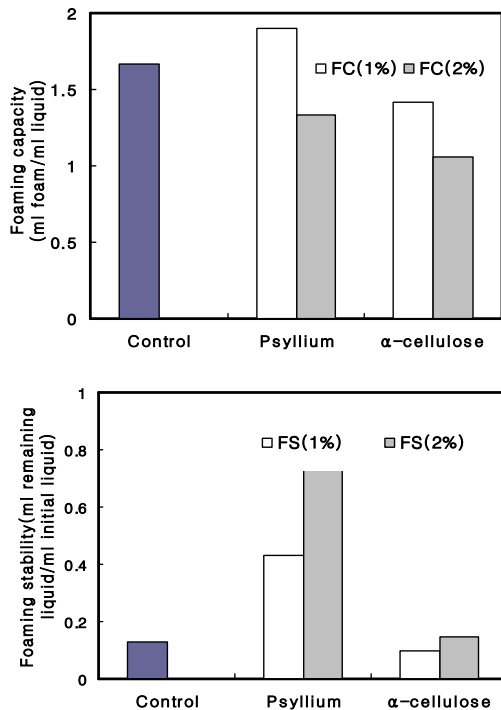


Fig.11. Foaming capacity and stability of psyllium and α-cellulose.

Psyllium 시료는 1% 첨가시 거품형성을 촉진하였고, 2% 첨가시는 다소 저해현상을 보였으나, α-cellulose 시료는 1 및 2% 첨가구 모두 거품의 형성을 다소 저해하였으며, 농도가 높을수록 저해정도도 더 커졌다. 즉, 대조구인 albumin(1%)과 CaCl₂(0.5%) 혼합 용액의 거품 형성능은 1.67ml foam/ml liquid이었으나 α-cellulose를 1 및 2% 첨가한 경우는 각각 1.42 및 1.06 ml foam/ml liquid로 거품 형성을 약 40-15% 저해하였다. Psyllium을 1% 첨가한 경우 거품형성능은 1.33 ml foam/ml liquid로 대조구보다 낮았으나 2% 첨가시는 1.90 ml foam/ml liquid로 약 12% 증가하였다.

또 형성 거품의 시간 경과에 따른 안정성은 역시 Fig. 12에서 보는 바와 같이, α-cellulose는 대조구(0.13mg remaining liquid/ml initial liquid)와 비슷한 값 범위이었으나 psyllium 첨가구는 거품안정성을 308-485%나 향상시켰다.

일반적으로 거품형성은 주로 분자간의 빠른 흡착과 재배열에 관계되는 반면, 중력 및 기계적 응력

에 대해 거품을 안정화시키는 안정능은 계면에서 유연성 응집필름의 형성에 의해 부여되는 것으로 알려지고 있다[40].

이상의 거품 및 유화 성질은 냉동 및 특수 케이크 제품에서 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구에서 공급된 이들 자료들은 제품개발 및 식품 가공의 기본 정보로서 활용될 수 있을 것이다. 아울러 이들 기능성의 특성화를 통해 적정 제품으로의 이들 이용을 안내하거나 최대화 할 것으로 생각된다.

4. 결론

차전자피(psyllium husk)의 물성 및 생리기능성 소재화 연구의 일환으로, *Plantaginis ovatae testa*의 추출 및 기계적 분쇄에 의해 얻어진 건조제품을 분말화(100 mesh)한 다음, 이들의 결정 및 표면구조를 조사하였다. 아울러 *in-vitro* 포도당 및 담즙산 흡수 지연 효과를 포함한 보수력, 보유력, 유화특성 및 거품특성 등의 몇몇 물성을 조사하였다. Psyllium의 보수력은 33.71±0.10g water retained/g solid이었고, 대두유 및 미강유에 대한 보유력은 모두 약 1.80g oil retained/g solid로, 보수력은 시판의 α-cellulose 식이섬유의 보수력 보다 5.8배나 높았으나 보유력은 2.8배 정도 낮은 특성을 보였다. 또 보수력은 pH 변화에는 거의 영향을 받지 않았으나 온도 증가로 다소 증가하는 경향을 보였다. 한편, 2%(w/v) psyllium의 유화능은 xanthan gum(0.5% w/v)의 60% 수준이었으나 24시간 후의 유화 안정성은 xantha gum보다 1.3배나 더 좋았다. 또 psyllium (1-2%)는 모두 우수한 분성을 보였으나 단독으로는 거품 형성능을 갖지 못하였다. 하지만 거품 형성능을 갖는 단백질 용액(1% albumin + 0.5% CaCl₂)에서는 거품안정성을 3.3배 및 6배나 향상시켰다. 아울러, psyllium은 투석막을 이용한 *in-vitro* glucose 및 bile acid 흡수 지연 실험에서 각각 α-cellulose의 약 3.7 및 3.3배에 달하는 매우 우수한 glucose 및 bile acid의 흡수지연 효과를 보여 당뇨 및 동맥경화 억제 효과를 기대할 수 있는 것으로 생각되었다.

참고문헌

- [1] Trowell, H. "Dietary fiber and coronary heart diseases." *Rev. European Studies Clin. Biol.* **17**: 345-349, 1972.
- [2] Trowell, H. "Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases." *Am. J. Clin. Nutr.* **29**: 417-427, 1976.

- [3] Schneeman, B.O. "Dietary fiber : Physical and chemical properties, methods of analysis, and physiological effects." *Food Technol.* **40**: 104~110, 1986.
- [4] Schneeman, B.O. "Dietary fiber." *Food Technol.* **43**: 133-139, 1989.
Sosluski, F.W., and Cadden, A.M. 1982. "Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber." *J. Food Sci.* **47**(5): 1472-1477, 1982.
- [5] Reiser, S. "Metabolic effects of dietary pectins related to human health." *Food Technol.* **41**: 91-99, 1987.
- [6] Schneeman, B.O. "Soluble vs. insoluble fiber - Different physiological responses." *Food Technol.* **41**: 81-82, 1987.
- [7] Prosky, L., Asp, N.G., Schweizer, T.F., Devries, J.W., and Furda, I. "Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products : Interlaboratory study." *J.A.O.A.C.* **71**(5): 1017-1023, 1988.
- [8] Anderson, J.W., Story, L., Sieling, B., Chen, W.L., Petro, M.S., and Story, J. Hypercholesterolemic effect of oat bran or bean intake for hypercholesterolemic men." *Am. J. Clin. Nutr.* **40**: 1146~1155, 1984.
- [9] Van Horn, N.V., Parker, D.J., Emidy, L., and Stammer, J. "Serum lipid response to oat product intake with a fat modified diet." *J. Am. Diet. Assoc.* **86**: 759-764, 1986.
- [10] Koseki, M., Tsuji, K., Kazama, M., Kitabatake, N., and Dot, E. "Interaction between dietary cholesterol or fatty acids and water-soluble fibers and increase in cholesterol excretion by pectin in rats." *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* **37**(7): 559~564, 1990.
- [11] Yoon, J.W., Kim, C.J., Park, C.Y., and McArthur, R.G. "Effect of environmental factors on development of insulin dependent diabetes mellitus." *Clin. Invest. Med.* **10**: 459-464, 1987.
- [12] Torsdottir, I., Alpsten, M., Holm, G., Sandberg, A.S., and Tolli, J. "A small dose of soluble alginate - Fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes." *Am. Inst. Nutr.* 795~799, 1990.
- [13] 송정자. 1995. 식이섬유의 생리활성과 이용. *식품과학과 산업*, **28**(3): 2-23
- [14] Ebihara, K., and Kiriyama, S. "Physico-chemical property and physiological function of dietary fiber." *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* **37**(11): 916-933, 1990.
- [15] Eastwood, M.A., FRCP, M.B., Brydon, W.G., MRCPPath, BSc., and Anderson, D.M.W. "The effect of the polysaccharide composition and structure of dietary fiber on cecal fermentation and fecal excretion." *Am. Soc. Clin. Nutr.* **44**: 51-55, 1986.
- [16] 박찬호. "한국산 징경이속(Plantago L.)의 형태 및 화분형질에 의한 분류학적 연구." *고려대학교 석사학위논문*, 1996.
- [17] 서영배. 자생식물, *한국자생식물보존회지*, 제 51권, 6, 2000.
- [18] Chang, I.M. "Liver protective activities of aucubin derived from traditional oriental medicine." *Res. Commun Mol. Pathol. Pharmacol.* **102**: 189-204, 1998.
- [19] Davidson, M.H., Maki, K.C., Kong, J.C., Dugan, L.D., Torri, S.A., Hall, H.A., Drennan, K.B., Anderson, S.M., Fulgoni, V.L., Saldanha, L.G., and Olson, B.H. "Long-term effects of consuming foods containing psyllium seed husk on serum lipids in subjects with hypercholesterolemia." *Am. J. Clin. Nutr.* **67**: 367-376, 1998.
- [20] Anderson, J.W., Allgood, L.D., Turner, J., Oeltgen, P.R., and Daggy, B.P. "Effects of psyllium on glucose and serum lipid responses in men with types 2 diabetes and hypocholesterolemia." *Am. J. Clin. Nutr.* **70**: 466-473, 1999.
- [21] Anderson, J.W., Allgood, L.D., Lawrence, A., Altringer, L.A., Jerdack, G.R., Hengehold, D.A., and Morel, J.G. "Cholesterol lowering effects of psyllium intake adjunctive to diet therapy in men and women with hypercholesterolemia: meta-analysis of 8 controlled trials." *Am. J. Clin. Nutr.* **71**: 472-479, 2000.
- [22] Sandhu, J.S., Hudson, G.J. and Kennedy, J.F. "The gel nature and structure of the carbohydrate of ispaghula husk ex *Plantago ovata* Forsk. Carbohydr. es. 93: 247-259[23]FDA." Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration Statement. **63**: 32, 1981, 1998.
- [23] American Association of Cereal Chemists (AACC). "Method for water hydration

- capacity of plant protein material." *Cereal Foods World*, **26**, 291-293, 1981.
- [24] Chakraborty, P. Coconut protein isolate by ultrafiltration. "In *Food Engineering and Process Applications*, LeMeguer, M., Jelen, P." Eds., Elsevier Applied Science Publishers, New York, pp. 308-315.
- [25] Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Toda, S., and Ishii, K. "Whipping and emulsifying properties of soybean products." *Agric. Biol. Chem.* **36**: 719-727, 1972.
- [26] Mitchell, J. R. "Foaming and emulsifying properties of proteins." In *Development in Food Proteins-4*; Hudson, B.J.F. Ed., Elsevier Applied Science Publisher. New York, pp. 326-330, 1986.
- [27] Adiomre, J., Eastwood, M.A., Edwards, C.A., and Brydon, W.G. "Dietary fiber; *In Vitro* methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans." *Am. J. Clin. Nutr.* **52**: 128-134, 1990.
- [28] White, C.A., and Kennedy, J.F. "Manual and automated spectrophotometric techniques for the detection and assay of carbohydrates and related molecules." In *Techniques in Carbohydrate Metabolism* (H.L. Kornberg, J.C. Metcalfe, D.H. Northcote, C.I. Pogson, and K.F. Tipton Ed.), Elsevier, New York, B312, pp1-64, 1981.
- [29] Boyd, G.S., Eastwood, M.A., and MacLean, N. "Bile acids in the rat ; Studies in experimental occlusion of the bile duct." *J. Lipid Research* **7**: 83-94, 1966.
- [30] 김영수, 하태열, 이상효, 이현우. 미강에서 추출한 식이섬유추출물의 특성 및 제빵에의 응용. *한국식품과학회지*, **29**(3): 502-508, 1997.
- [31] Ang, J.F. "Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose." *J. Food Sci.* **56**(6): 1682-1684, 1991.
- [32] Cadden, A.M. "Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers." *J. Food Sci.* **52**(6): 1595-1599, 1987.
- [33] McCormell, M., Eastwood, M.A., and Mitchell, W.D. "Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function." *J. Food Sci. Fd. Agric.*, **25**: 1457-1464, 1974.
- [34] 이병우, 김태중, 최수현, 임근형, 유무영. "표고버섯균사체 식이섬유 소재의 물리적 특성." *한국식품과학회지*, **27**(2): 147-150, 1995.
- [35] 이경숙, 이서래. "In Vitro 법에 의한 식이섬유의 포도당 및 담즙산 흡수 지연 효과." *한국영양학회지*, **29**(7): 738-746, 1996.
- [36] Story, J.A. "Dietary fiber and lipid metabolism." *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **180**: 447-452, 1985.
- [37] Olson, B.H. *et al.* "Psyllium-enriched cereals lower blood total cholesterol and LDL cholesterol, but not HDL cholesterol, in hypercholesterolemic adults: Results of a meta-analysis." *Journal of the American Medical Association*, **279**: 414, 1998.
- [38] Hennock, M., Rahalkar, R.R. and Richmond, P. "Effect of xanthan gum upon the rheology and stability of oil-water emulsions." *J. Food Sci.* **49**: 1271-1274, 1984.
- [39] Dickinson, E. "Protein adsorption at liquid interfaces and the relationship to foam stability." In *Foams: Physics, Chemistry and Structure*, Wilson, A. J., Ed., Springer-Verlag, London, pp. 39-54, 1989.