

식이섬유가 무기질의 생체이용에 미치는 영향

최 면

강원대학교 축산대학 축산가공학과

Effect of Dietary Fiber on Mineral Bioavailability

Myeon Choe

Department of Animal Products Science, College of Animal Science,
Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea

ABSTRACT—Among the nutrients of biological importance, minerals are of particular interest in human nutrition because the range of adequate intake is so narrow. As the results of a series of interaction experiments between dietary fiber sources and minerals, there are many inconsistencies in the experimental data regarding the effect of dietary fibers on mineral bioavailability. The mechanism by which dietary fiber might influence mineral absorption is related to its physicochemical properties. These properties involve the ability of dietary fiber to 1) act as a weak cation exchanger, 2) decrease transit time, 3) dilute mineral concentration by increasing fecal bulk and 4) resist digestion in the large bowel. Regardless of the large number of human and animal studies available, a careful review of these publications does not provide the answer as to whether the adverse effect of dietary fibers on mineral absorption is the fiber itself or some associated dietary factors (e.g. phytate, oxalate, ascorbate, citrate and protein, mineral-mineral interaction, etc.) that are responsible for this action. As a result of the complexity of interaction that may take place between minerals, dietary fiber, and other component of food; it becomes very difficult to blame fiber alone as a negative factor of mineral nutrition. We absolutely need more research with advanced tools rather than metabolic balance study.

Keywords □ Dietary fiber, Mineral bioavailability

오늘날 식이섬유(dietary fiber)는 인간의 영양과 건강이라는 측면에서 매우 중요한 역할을 갖는 식품성분으로 인정 받고 있다. 또한 식이섬유는 각종 천연식품 성분 중에서도 독특한 성질을 가지고 있어서 식품 공업에서도 매우 중요하다. 식이섬유의 구성성분인 여러가지의 복합다당류 중합체들은 식물성 식품의 외형을 형성하는데 도움을 주며 또한 사과, 오렌지, 당근, 배추, 상치 등과 같은 우리가 즐겨 찾는 식물성 식품들의 각기 다른 조직감을 형성하는데도 도움을 준다. 각종 과일류, 야채류, 두류 등에 함유된 이들 다당류 복합체들은 매우 다양한 화학적, 물리적 성질을 갖기 때문에 각종 기능을 갖는 다당류 복합체들을 식물의 줄기(아라비아 검(arabic gum), 라치 검(larch gum)), 종자류

(구아 검(guar gum), 메뚜기콩 검(locust bean gum)), 그리고 해조류(카라기난(carrageenan), 알진산류(alginates)), 미생물류(잔산 검(xanthan gum), 젤란검(gellan gum)) 등에서 추출하거나 인공적(폴리덱스트로스(polydextrose))인 방법에 의해 합성해 왔다.

식이섬유는 식품에 바람직스러운 조직이나 맛을 제공하는 것 이외에도 인공건강과 관련되어 매우 유익한 연관성을 가지고 있다.¹⁾ 그 이유는 식이섬유가 소장내에서 소화분해되지 않기 때문에 소장내에서 유익한 생화학적, 물리적, 형태학적 변화를 가져오고 궁극적으로는 인체 전체에 좋은 영향을 주는 것으로 믿어진다. 역으로 대장내에서 발효를 통한 식이섬유의 전체적인 또는 부분적인 분해는 인간건

Table 1. Essential and toxic minerals along with their highest recommended dietary allowances (RDA), estimated safe and adequate daily dietary intake (ESI)

	RDA ^{a)} mg/day		ESI ^{a)} mg/day	No exact requirement/intake	Toxic
Ca	1,200	Na	1100~3300	Ni	Ab ^{b)}
P	1,200	K	1875~5625	Ab ^{b)}	Hg
Mg	400	Cl	170~5100	Co ^{c)}	Cd
Fe	15	Cu	1.5~3.0	Si	Pb
Zn	15	Mn	2.0~5.0	Sn	
I	0.15	F	1.5~4.0	V	
Se	0.070	Cr	0.05~0.2	B	
		Mo	0.075~0.250		

^{a)}National Academy of Science 1989.

^{b)}Essential in only trace amounts but toxic in higher amounts.

^{c)}Essential as a components of vitamin B₁₂.

강에 또 하나의 식이섬유의 중요한 대사적 측면을 더하는 것으로 믿어진다. 또한 대부분의 현대병들이 식이섬유가 많이 함유된 식사를 통해서 조절될 수 있다는 연구가 계속되고 있는데 이것이 식이섬유설(dietary fiber hypothesis)의 기초이다.²⁾ 식품에 부피를 주고 물과 결합할 수 있는 능력을 지닌 식이섬유는 식품의 에너지 밀도를 낮출 뿐 아니라 소화기관내에 음식물이 머무는 시간(transit time)을 줄이고, 대변을 부드럽게 하여 변비와 계실(diverticulosis)을 완화시키는데 도움이 된다. 또한 젤(gel)을 형성하는 성질을 가진 식이섬유는 혈중 콜레스테롤과 혈당을 낮추어 당뇨나³⁾ 관상심장질환의 위험을 줄인다⁴⁾고 알려져 왔다.

그러나 식이섬유 섭취증가를 둘러싼 영양학적 쟁점은 실험실적 방법으로(*in vitro*) 식이섬유가 이온들과 결합할 수 있는 능력(즉, 양이온 교환능력)과 관련되어 있는데 무기질 흡수를 방해해서 결국은 무기질 영양에 악영향을 미칠 가능성이 있다는 것이다.⁵⁾

많은 실험결과와⁶⁻¹²⁾ 총설에서는¹³⁻¹⁹⁾ 식이섬유가 무기질 영양에 나쁜영향을 준다고 기술되어 왔는데 최근의 현대 과학기술을 이용한 연구자들은 무기질 영양에 영향을 주는 것은 식이섬유가 아니라 다른 영양소나 식품 성분임을 주장하고 있다. 이번 주제 발표에서는 무기질 영양에 대한 개요를 간단히 언급하고, 식이섬유가 무기질영양에 영향을 미친다는

이론에 대한 pro와 con의 주된 연구들을 소개하고자 한다.

무기질 요구량과 흡수

현재까지 25종의 무기질이 인체영양이나 건강에 매우 중요한 역할을 한다고 알려져 있는데(Table 1) 크게 세 부류로 나눌 수 있다. 이 부류를 보면 요구량이 알려진 필수무기질(15종), 요구량이 정확히 알려지지 않는 필수무기질(6종) 그리고 독성이 있는 무기질(4종), 네번째 또 다른 부류에 관해서도 언급하면 많은 연구가 니켈(Ni), 비소(As), 규소(Si), 주석(Sn), 바나듐(V), 붕소(B) 등이 필수무기질이라고 제안하고 있는데 아직까지는 이들 무기질을 필수무기질 부류에 넣기에는 과학적 연구자료가 충분하지 않다.

미국의 경우 Ca, P, Mg, Fe, Zn, I, Se에 대해서는 RDA가 설정되어 있지만 나머지 8개의 필수무기질에 대해서는 확실한 RDA를 설정하기에는 정보가 부족하므로 Estimated Safe and Adequate Daily Intake(ESI)가 사용되고 있다. ESI에서는 특정한 숫자를 표기하기 보다는 섭취범위를 사용하고 있다.

식품공급에서 오염될 수도 있고 우리의 건강을 해칠 수 있는 독성 무기물 4종은 독성이 있을 뿐만 아니라 다른 무기질 특히 전이 원소들의 체내대사나 흡수를 방해하기도 하기 때문에 주의해야 한다.

Table 2. Factors affecting nutrient bioavailability

1. Extrinsic ^{a)}	Intrinsic
A. Macronutrients	a. Age
1. Carbohydrates	b. Sex
2. Protein	c. Health status
3. Fat	d. Nutritional status
	e. Stress
B. Micronutrients	
1. Vitamins	
2. Minerals	
C. Other dietary components	
1. Tannins	
2. Dietary fiber	
3. Maillard products	
4. Phytic acid	
5. Ascorbic acid	

^{a)}Dietary in origin.

단백질, 지방, 탄수화물과 같은 대량 영양소와는 달리 무기질은 열량으로 대사분해되지 않기에 체내로 흡수된 양을 이론적으로 제한하려면 섭취량과 체손실량(대변, 소변, 땀 등)을 측정하면 된다. 대부분 무기질의 경우 흡수량은 섭취량에 비례하지 않으며, 무기질의 흡수는 식사내 단백질의 양과 질에 따라 부분적으로 영향을 받기도 하며, 식사내 다른 무기질과 그 무기질의 체내 함유량에 의해서도 영향을 받는다. 무기질 흡수에 영향을 주는 인자는 내적인 인자와 외적인 인자로 구분하며(Table 2), 필수무기질의 대략적 흡수율은 Table 3에서 보여주고 있다. 할로젠족 원소를 제외하면 흡수율은 일반적으로 50% 이하이며 다양한 편이다.

식이섬유와 무기질 흡수

식이섬유 섭취량과 무기질 흡수량간의 역상관성은 1942년 발표된 McCance와 Widdowson의 보고²⁰⁾에서 부터 시작되었을 것이다. 이들은 40~50%의 열량을 갈색빵에서 얻는 식사를 한 사람들이 흰빵으로 식사하는 사람들에 비교할 때 적은 양의 Ca, Mg, P를 흡수한다는 사실을 알아낸 것이다. 곧이어 1947년에는 Walker가 인산피틴(phytate phosphorus)이 많이 함유된 빵이 Ca 흡수에 영향을 준다고 보고

Table 3. Approximate dietary mineral absorption by humans

Mineral (Element)	Absorption (%)
Ca	30~50
P	70~80
Mg	25~50
Na	100
K	100
Cl	100
Fe	1~5 Nonheme; 10~20 Heme
Zn	20~40
Cu	25~35
Se	50~70
F	100
Mn	2~15
Cr	<1
Mo	25~80
I	100

하였다.²¹⁾ 그 이후 식이섬유가 무기질 흡수에 악영향을 준다는 많은 연구보고가 계속되었다. 식이섬유의 무기질에 대한 영향을 다루는 대부분의 연구자들의 결론은 부정적인 것이었다.¹³⁻¹⁹⁾

일반적으로 식이섬유가 어떻게 무기질 흡수에 손상을 주는가를 제안하는데는 두가지의 이론이 있어 왔다. 첫번째 이론은 식이섬유는 음식물이 소화기관내 머무르는 시간을 줄임으로서 무기질이 소장 상피세포 및 흡수부위와 접촉할 수 있는 시간을 줄인다는 것이다. 두번째 이론은 식이섬유의 양이온 교환능력이 무기질의 흡수를 방해하는 역할을 한다는 것이다. 이 이론은 실험실적으로(*in vitro*) 식이섬유가 무기질과 결합하는 것을 보여준 많은 실험들에 근거를 둔다.²²⁻²⁴⁾ 그러나 무기질의 식이섬유와의 결합은 생체내(*in vivo*) 실험에서는 한 가지의 예외를 제외하고는 연관성을 보인 적이 없었다.^{25,26)} 한가지 예외에 해당하는 리그닌(Lignin)과 실리움(psyllium)은 실험실적으로 철방사선 동위원소 Fe⁵⁹와 결합함이 알려졌다으며 이들은 Fe⁵⁹가 개의 장기인 십이지장-공장(duodenal-jejunal)에서 이동됨을 방해한다는 것이 알려졌다. 식이섬유가 무기질 흡수를 감소시킴을 암시하고 있는 모든 연구 중에서 가장 큰 주목을 받으며 인용되는 연구는 Reinhold 등²⁷⁾에

Table 4. Physiological or biochemical parameters dependent on minerals and common indices used to determine nutrition status or nutrient bioavailability of these minerals in animals and humans

Mineral	Physiological or biochemical functions	Index
Ca	Bone growth/metabolism	Bone density
Mg	Neuromuscular transmission	Serum Mg
Fe	Hemoglobin for oxygen transport	Serum ferritin
Zn	Growth/RNA polymerase activity	Serum Zn
Cu	Decomposition of superoxide free radicals: Collagen and elastin crosslinking	Serum Cu
Se	Removal of hydrogen peroxide and other free hydroperoxides	Erythrocyte glutathione Peroxidase activity

의한 연구이다. 이들 연구자들은 흰색 빵 대신 Bazarip빵을 급여한 병원 실험식사가 두명의 실험대상자에게 어떠한 영향을 미치는가를 알기 위해 각각 2일간의 10개 실험기간동안 무기질 체내 수치균형을 측정하였다. 이들의 에너지 섭취의 약 50%가 빵에서부터 공급된 것으로 계산되었다. 실험대상자가 섭취하는 식이섬유의 양은 흰빵을 섭취할 때 1일 21.9 g, Bazarip 빵을 섭취할 때 29.7 g과 34.0 g으로 측정되었다. 이 실험의 결과는 Bazarip 빵을 섭취할 때 Ca, P, Mg, Zn가 negative balance를 보였으며 질소는 양의 평형을 유지하고 있었다.

그러나 이 실험 결과의 문제는 우선 이들 논문에 인용된 두사람의 실험대상자의 식이섬유 섭취량이 흰빵의 경우 1일 29.7 g과 34.0 g이었는데 이들이 사용한 식이섬유 측정법인 산성세제법(acid detergent method)은 수용성섬유소의 헤미셀룰로스를 검출하지 못한다는 점을 생각할 때 흰빵의 경우 1일 40 g, Bazarip 빵의 경우 1일 60~70 g의 식이섬유를 실제로 섭취했을 것으로 보인다. 두번째로는 실험대상자의 무기질 체내 잔류량을 측정하기 위해서 체내유입량과 체외배설량을 측정하는 수치균형법을 사용했다는 것이다. 전통적으로 수치균형법을 사용한 연구는 영양요구량을 평가하는데 사용되어 왔으며 영양소 흡수에 미치는 식이섬유의 영향을 연구하는데도 사용되어 왔다. 그러나 수치균형법은 의문스러운 결과를 가져오는 방법상의 문제를 가져올 수 있는 것이다. 첫째는 수치균형법을 사용한 연구의 결과는 무기질상태의 변화라는 면에서 상대적이지 절대적이지 아니라는 것이며 두번째로는 믿을만한 수

지균형법을 이용해서 좋은 결과를 얻기 위해서는 본 실험 기간에 앞서 장기간의 적응기간이 필요하다는 것이다. 마지막으로 시료채취 및 분석과정에서 오는 실수가 일반적으로 수치균형을 과대평가할 수 있다는 것이다.

또한 무기질영양에 관한 연구, 특히 인체내 무기질 영양에 관한 연구에 있어서는 무기질 영양 상태를 평가하기 위한 정확한 방법의 부재에 관해 언급하지 않을 수 없다. Table 4에서는 인체나 동물체내의 특정한 무기질 영양상태를 측정하기 위해 많이 사용하는 지표들을 나열하였다. 이들 지표들은 심각한 영양소 결핍상태에서는 감소될 수 있다고 하지만 아주 미세한 영양상태의 변화측정에는 적합하지 않다.

무기질영양에 관한 인체실험분야의 연구자들이나 임상학자들은 대상이 사람이기 때문에 사용할 수 있는 실험방법의 제한과 무기질의 흡수 대사 및 영양상태를 측정할 수 있는, 특히 식이섬유에 의해 영향받는 무기질의 작은 변화를 측정할 수 있는 정확하고 예민한 지표의 결핍 때문에 연구에 제한을 받는다.

식이섬유의 무기질 체내수지에 미치는 영향에 관해 가장 장기간동안 실험과정이 잘 조절된 대사연구는 Sandstead 등^{28,29)}에 의해 행해졌다. 실험대상자들은 하루에 26 g의 wheat bran, corn bran, 대두 껍질, 건조 사고분 또는 건조 당근분 등을 보충한 식사를 했으며 이 기간은 약 4~8개월간 이었다. 이 실험에서 조사된 무기질은 칼슘(Ca), 인(P), 마그네슘(Mg), 아연(Zn), 구리(Cu)와 철(Fe)이었는데 여러

종류의 식이섬유에 의한 무기질 영양에 어떤 악영향도 발견할 수 없었으며 어느 실험대상자도 한 종류의 무기질 조차 마이너스의 체내 무기질 수치를 보이지 않았다. 채식주의자들을 대상으로 한 실험에서도 여러 종류의 섬유소를 다양한 양을 투여해 본 결과 어떤 무기질의 결핍에 관해서도 일치된 결과를 얻을 수 없었다.³⁰⁻³³⁾

새로운 실험방법

식이내 무기질 한계량

무기질 흡수에 미치는 식이섬유의 영향을 평가하기 위한 실험방법과 실험설계를 개선하려는 노력의 일환으로 최근에 무기질 체내 잔류량을 측정하는 새로운 방법을 도입한 일련의 동물실험이 진행되었다.³⁴⁾ 이 연구는 식이 무기질 한계(dietary mineral threshold)에 관한 개념을 도입하는 것이다.

무기질 체내 잔류량에 미치는 식이섬유의 영향을 측정하는 전통적인 방법은 섭취량과 손실량으로 체내 무기질 balance를 계산하는 방법이었다. 이전의 실험들로부터 백서에 대한 식이 무기질 권장농도가 적당한 영양상태의 유지와 성장을 뒷받침하기 위해 절대적으로 또는 최소한으로 필요한 양보다 무척 높다는 사실이 알려졌다. 적당한 영양상태 유지와 성장에 필요한 최소치의 식이 무기질 농도와 AIN이나 NRC가 권장하는 식이 무기질의 농도가 Table 5에 나와있다. 만일 동물성장에 필요한 최소치의 무기질농도가 결정될 수도 있다면 이 농도보다 낮은 어떤 농도의 무기질 급여도 동물성장을 저해하거나 또는 기타 영양상태를 측정하는데 사용되는 생화학적, 생리학적 지표들도 부정당한 반응을 보일 것이라는 것이다.³⁴⁾ 또한 무기질영양에 영향을 줄 수 있는 식이내 어떤 영양인자도 동물성장 등을 저해하는 원인이 된다는 것이 이론화되어 있기 때문에 무기질 최소농도치를 이용하면 무기질과 다른 영양소의 상호작용 또는 무기질간의 상호작용을 실험하는데도 매우 유용하다. 무기질 영양과 관련해서 가능성이 있는 anti-nutrient로서의 식이섬유에 대한 정확한 실험을 위해서는 무기질양을 최소 농도치로 하여 실험식이를 제조하는 것이 바람직한 방법이 될 수 있다.

여러가지 식이섬유와 최소 무기질 한계량 정도를

Table 5. Recommended calcium phosphorous, Magnesium, Iron, Copper, Zinc and Manganese requirements for the rate and threshold values

Element	AIN-76 ^{a)}	NAS-NRC ^{b)}	Threshold ^{c)} (한계치)
	µg/100 g diet		
Calcium	5,200.0	5,000.0	3,640 ^{c)}
Phosphorous	4,000.0	4,000.0	2,800 ^{c)}
Magnesium	500.0	400.0	350 ^{c)}
Iron	35.0	35.0	22.0~25.04 ^{d)}
Copper	6.0	5.0	2.0~3.0 ^{d)}
Zinc	30.0	12.0	9.~11.0 ^{d)}
Manganese	54.0	50.0	3.0~4.0 ^{d)}

^{a)} J. Nutr., **107**, 1340-1348 (1977).

^{b)} National Research. 1972. Nutrient Requirements of Laboratory Animals. No. 10. Washington, D.C.

^{c)} Exact threshold not determined, but 70% of the amount recommended by the American institute of nutrition (AIN-76) Provided by the salt mixture.

^{d)} Estimated minimum amount or range of each element to sustain optimum growth and maintenance in the growing rat.

함유하는 11종류의 실험식이, 무기질 한계량 정도를 함유하는 식이섬유가 없는 실험식이, AIN³⁵⁾에서 권장하는 농도의 무기질을 함유하는 실험식이를 제조하여, 동물들을 8주간 자유로이 각 실험식이를 섭취케 한 후 무기질 영양상태를 평가할 수 있는 여러가지 지표들을 조사한 실험결과를 보면, 높은 무기질을 함유하는 AIN 식이군과 최소 무기질 한계량을 함유하는 12개의 식이 실험군사이에 유의성이 없다는 것을 보여주고 있다. 측정된 19가지의 지표들 중에서 유의적인 차이를 보인 지표가 5개 있었는데 이에 대한 결과를 자세히 보면 여러가지 실험식이 섬유군으로부터 측정된 모든 지표중에서 어떤 무기질이 영양상태를 일관성 있게 낮추는 식이섬유는 없었다는 것이다. 식이섬유군간의 유의성, 각기 다른 조직에서 다른 무기질의 유의성은 볼 수 있었지만 어떤 특정한 무기질의 영양상태를 일관성 있게 변화시키지는 못했다는 사실은 식이섬유가 무기질 영양상태에 어떤 영향도 없다는 강력한 증거를 보여 주는 것이다.

식이섬유가 무기질 흡수에 미치는 영향을 정확히

Table 6. Radionuclides uses to assess the effects of dietary fibre on mineral retention

Radionuclide	Source	t 1/2 days	Energy (keV)
Se-75	Se-74	119.8	264.65
Mn-54	Fe-54	312.5	834.84
Fe-59	Fe-58	44.5	1099.25
Zn-65	Zn-64	243.9	1115.55
Ca-47	Ca-46	4.5	1296.8

Table 7. Possible mechanism by which mineral absorption and metabolism could be affected by dietary components

Mineral Intake
Speciation/Chemical Form
Solubility
Site of Absorption
Mechanism of Absorption
Interactions Among Minerals
Transport
Nutrient Status of the Host

측정하기 위한 또 하나의 실험방법으로는 방사성 동위원소를 이용하는 방법인데 최근 실험에 사용되는 동위원소들이 Table 6에 나타나 있다.

무기질간의 상호작용

식이섭유가 무기질 영양에 영향을 줄 수 있는 인자들이 Table 7에 나와 있다. 그러나 많은 실험 결과와 여기에 인용된 다른 정보들을 근거로 볼 때 식이섭유가 무기질 흡수에 영향을 미칠 수 있는 단독요인은 아닌 것 같다.

Table 3에서 보여지듯이 대부분 무기질의 흡수는 섭취와 비례하는 것은 아니다. 무기질 흡수와 체내 수지에 미치는 내적, 외적 요인들이 Table 2에 열거되어 있다. 무기질 영양에 가장 큰 영향을 줄 수 있고 무기질 간에 관찰된 흡수량과 체내 잔류량의 차이를 설명할 수도 있는 내적, 외적 인자의 복합 작용은 실험대상의 무기질 영양상태와 무기질간의 체내 상호작용과 관련이 있다. 무기질간의 상호작용이 어떻게 그들의 생체이용에 영향을 주는 것인지의 한 예로서 Fe, Zn, Cu간의 상호작용에 관한

일련의 연구보고가 있었다.³⁶⁻³⁸⁾ 이들 무기질간의 화학적 유사성 즉 전이원소들은 생물체내에서 서로 상호작용을 할 수 있음을 암시하였다.

무기질 최소농도를 결정하는 실험들로서 이들 세 무기질의 식이농도를 엄격히 조절하여 실험식을 제조하였다. 황산염 형태의 Fe, Zn, Cu가 실험식 내에 각각 8.5, 10.5, 42.5 또는 180 µg Zn/g당 식이, 2, 10 또는 40 µg Cu/g당 식이, 25, 90 또는 270 µg Fe/g당 식이로 첨가되었다. 이들 각 실험군은 4×3×3 factorial 실험설계로 각 군당 5마리의 백서를 배정하여 실시하였다. 28일간의 실험기간 동안 식이와 종류수를 자의대로 섭취하게 하고 실험기간이 종료됨과 동시에 헤모글로빈, 대퇴골 Zn, 간장내 Cu 농도를 측정하였다.

이 실험의 결과를 보면 각각의 Cu 농도 실험군에서 Zn과 Fe간의 유의성 있는 체내 상호작용을 보였다. 식이내 Cu의 농도가 2 µg/g 당 식이일 때 Zn의 식이내 농도를 증가시키면 시초에는 헤모글로빈 농도가 낮아지는 것이 나타났으나 식이내 Cu의 농도를 10 µg/g당 식이로 했을 때 Zn의 농도를 증가시키면 처음에는 헤모글로빈 농도를 오히려 증가시키다가 그 후 감소시키는 결과를 보였다. 두 농도의 Cu 식이에서 식이내 Fe의 증가는 헤모글로빈 농도를 처음에는 증가시키다가 후에 오히려 저해하는 경향을 보였다. 대퇴골 Zn과 간장 Cu는 식이내 Fe, Cu를 증가시키면 대퇴골 Zn이 감소하였으며 식이내 Fe, Zn을 증가시키면 간장내 Cu가 감소하였다.

다른 연구들로부터 인체내에서도 이들 무기질간의 상호작용이 존재한다는 발표가 있었지만,^{39,40)} 이는 좀 더 많은 연구를 통해 이들 무기질간의 유의성있는 상호작용이 있는지를 연구함이 필요하다.

이들 무기질간의 상호작용에 관한 연구, 즉 interaction study는 체내잔류량 실험, 즉 balance study에서 주로 보여지는 식이섭유가 무기질 체내 잔류량에 미치는 영향에 관한 실험의 결과에 대한 좋은 설명일지도 모른다. 중요한 것은 이들 무기질간의 상호작용은 영양학자 모두에게 또 하나의 중요한 암시를 준다는 것이다. 식품의 지나친 무기질 강화와 무기질이 상당히 함유하는 무기질 제제를 상용하는 것은 무기질 상호작용이 고려되어야 한다는 영양학적 우려를 안고 있다.

참고문헌

1. Dietary Fiber, Chemistry, Physiology and Health Effects. (D. Kritchevsky, C. Bonfield and J.W. Anderson, eds.) Plenum Press, N.Y. pp. 1-499 (1990).
2. Southgate, D.A.T. Definitions and Terminology of Dietary Fiber in: Dietary Fiber in Health and Disease. (G.V. Vahouny and D. Kritchevsky, eds.), Plenum Press, New York, pp. 1-7 (1982).
3. Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Leeds, A.R., Gassull, M.A., Haisman, P., Dilawori, J., Goff, D.V., Metz, G.L. and Alberti, K.G.M.M.: Dietary Fibres, Fibre Analogues, and Glucose Tolerance; Importance of Viscosity. *Br. Med. J.*, **1**, 1392-1394 (1978).
4. Anderson, J.W.: Treatment of Diabetes with High Fiber Diets, in: CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition. (G.A. Spiller, ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 349-359 (1986).
5. Dietary Fiber: A Scientific Status Summary by the Institute of Food Technologists' Expert Panel on Food Safety and Nutrition. *Food Tech.*, **43**, 133-139 (1989).
6. Cummings, J.H., Southgate, D.A.T., Branch, W.J., Wiggins, H.S., Horston, H., Jenkins, D.J.A., Jivraj, T. and Hill, M.J.: The Digestion of Pectin in the Human Gut and its Effect on Calcium Absorption and Large Bowel Function. *Br. J. Nutr.*, **41**, 477-485 (1979).
7. McHale, M., Kies, C. and Fox, H.M.: Calcium and Magnesium Nutritional Status of Adolescent Humans Fed Cellulose or Hemicellulose Supplements. *Food Sci.*, **44**, 1412-1417 (1979).
8. Godara, R., Kaur, A.P. and Bhat, C.M.: Effect of Cellulose Incorporation in a Low Fiber Diet on Fecal Excretion and Serum Levels of Calcium, Phosphorus and Iron in Adolescent Girls. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 1083-1086.
9. Slavin, J.L. and Marlett, J.A.: Influence of Refined Cellulose on Human Bowel Function and Calcium and Magnesium Balance. *Am. J. Clin. Nutr.*, **33**, 1932-1939 (1980).
10. Hallberg, L.: Dietary Fibre and Mineral Absorption. Effects on Satiety, Plasma Glucose and Serum-Insulin. *Scand. J. Gastroenterol.* **22**(Suppl. 129), 66-67 (1987).
11. Kelsay, J.L., Behall, K.M. and Prather, E.S.: Effect of Fiber from Fruits and Vegetables on Metabolic Responses of Human Subjects. II. Calcium, Magnesium, Iron and Silicon Balances. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 1876-1882 (1979a).
12. Kelsay, J.L., Jacob, R.A. and Prather, E.S.: Effect of Fiber from Fruits and Vegetables on Metabolic Responses of Human Subjects; III. Zinc, Copper and Phosphorus Balances. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 2307-2402 (1979b).
13. Kelsay, J.: A Review of Research on Effects of Intakes on Man. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, 142-159.
14. Kelsay, J.L.: Effect of Diet Fiber Level on Bowel Function and Trace Mineral Balances of Human Subjects. *Cereal Chem.*, **58**, 2-5 (1981).
15. Kelasy, J.L.: Effects of Fiber in Mineral and Vitamin Bioavailability. Dietary Fiber in Health and Disease (G.V. Vahouny and D. Kretchevsky, eds.), Plenum Press, New York, pp. 92-103 (1982).
16. Kelsay, J.L.: Update on Fiber and Mineral Availability, in: Dietary Fiber Basic and Clinical Aspects (G.V. Vahouny and D. Kritchevsky, eds.), Plenum Press, New York, pp. 361-372 (1986).
17. Harland, B.F., Morries, E.R.: Fibre and Mineral Absorption, in: Dietary Fibre Perspectives Reviews and Bibliography (A. B. Leeds, ed.), John Libbey, London, pp. 72-82 (1985).
18. Toma, R.B. and Curtis, D.J.: Dietary Fiber; Effect on Mineral Bioavailability, *Food Technol.*, **46**, 111-116 (1986).
19. Marlett, J.A.: Dietary Fiber and Mineral Bioavailability, *Intern. Med. Special.*, **5**, 99-114 (1984).
20. McCance, R.A. and Widdowson, E.M.: Mineral Metabolism of Healthy Adults on White and Brown Bread Diets. *J. Physiol. (Lond.)*, **101**, 44-85 (1942).
21. Walker, A.R.P., Fox, F.W. and Irving, J.T.: Studies in Human Mineral Metabolism I. The Effect of Bread Rich in Phytate Phosphorus on the Metabolism of Certain Mineral Salts with Special References to Calcium. *Biochem. J.*, **42**, 452-462 (1948).
22. McConnell, A.A., Eastwood, M.A., Mitchell, W.D.: Physical Characteristics of Vegetable Foodstuffs that Could Influence Bowel Function. *J. Sci. Food Agr.*, **25**, 1457-1464 (1974).
23. Eastwood, M.A. and Mitchell, W.D.: Physical Properties of Fiber. A Biological Evaluation, in: Fiber in Human Nutrition (G.A. Spiller and R. J. Amen, eds.), Plenum Press, New York, pp. 109-129 (1976).
24. Rasper, V.F.: Chemical and Physical Characteristics of Dietary Cereal Fiber, in: Dietary, Fibers, Chemistry and Nutrition (G.E. Inglett and S.I. Fa-

- Ikehug, eds.), Academic Press, New York, pp. 93-115 (1979).
25. Fernandez, R. and Phillips, S.F.: Components of Fiber Bind Iron *in vitro*. *Am. J. Clin. Nutr.*, **35**, 100-106 (1982a).
 26. Fernandez, R. and Phillips, S.F.: Components of Fiber Impair Iron Absorption in the Dog. *Am. J. Clin. Nutr.*, **35**, 107-112 (1982b).
 27. Reinhold, J.G., Faradhi, B., Abadi, P. and Ismail-Beigi, F.: Decreased Absorption of Calcium, Magnesium, Zinc and Phosphorus by Humans Due to Increased Fiber and Phosphorus Consumption as wheat Bread. *J. Nutr.*, **106**, 493-503 (1976).
 28. Sandstead, H.H., Munoz, J.M., Jacob, R.A., Klevay, L.M., Rech, S.J., Logan, G.M., Dintzis, F.R., Inglett, G.I. and Shuey, W.C.: Influence of Dietary Fiber on Trace Element Balance. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S180-S184 (1978).
 29. Sandstead, H.H., Klevay, L.M., Jacob, R.A., Munoz, J.M., Logan, Jr., G.M., Reck, S.J., Dintzis, F.R., Inglett, G.E. and Shusey, W.C.: Effect of Dietary Fiber and Protein Level on Mineral Element Metabolism in; Dietary Fibers Chemistry and Nutrition (G.E. Inglett and S.I. Falkehag, eds.), Academic Press, New York, pp. 147-156 (1979).
 30. King, J.C., Stein, T. and Coyle, M.: Effect of Vegetarianism on the Zinc Status of Pregnant Women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 1049-1055.
 31. Anderson, B.M., Givson, R.S. and Sabry, J.H.: The Iron and Zinc Status of Long-Term Vegetarian Women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 1042-1048 (1981).
 32. Gibson, R.S., Anderson, B.M., Sabry, J.H.: The Trace Mineral Status of a Group of Postmenopausal Vegetarians. *J. Am. Diet. Assoc.*, **82**, 246-249 (1983).
 33. Abdulla, M., Aly, K.O., Anderson, I., Asp, N.G., Birkhed, D., Denker, I., Johansson, C.G., Jagestad, M., Kolar, K., Bair, B.M., Nilsson-Ekle, P., Norden, A., Rossner, S., Svensson, S., Akersson, B. and Ockerman, P.A.: Nutrient Intake and Health Status of Lacto Vegetarians; Chemical Analysis of Diets Using the Duplicate Portion Sampling Technique. *Am. J. Clin. Nutr.*, **40**, 325-338 (1984).
 34. Gordon, D.T.: Total Dietary Fiber and Mineral Absorption in; Dietary Fiber. (D. Kritchevsky, C. Bonfield and J. W. Anderson, eds.) Plenum. Publ. pp. 105-127.
 35. American Institute of Nutrition: Report of AIN Ad Hoc Committee on Standards for Nutritional Studies. *J. Nutr.*, **107**, 1340-1348 (1977).
 36. Gordon, D.T.: Interactions Among Fe, Zn and Cu Affecting Hemoglobin Status in the Rat. XIII International Congress of Nutrition. p. 154 (1985).
 37. Gordon, D.T.: Sites of the Intestinal Mucosal Cell Where the interactions Among Fe, Zn and Cu Occur Affecting the Bioavailability Aspects. Eds. Southgate, D.A.T., Johnson, I.T. and Fenwick, G. R., AFRC institute of Food Research, Norwich, U.K. pp. 147-149.
 38. Gordon, D.T.: Interactions Among Iron, Zinc and Copper in; AIN Symposium Proceedings, Nutrition 87. (A. Levander, ed.) The American Institute of Nutrition, Bethesda, MD. pp. 27-31 (1987).
 39. Hasckke, F., Ziegler, E.E., Edwards, B.B. and Fomon, S.J.: Effects of Iron Fortification of Infant Formula on Trace Mineral Absorption. *J. Ped. Gastroenterol. Nutr.*, **5**, 768-773 (1986).
 40. Festa, M.D., Anderson, H.L., Dowdy, R.P. and Eilersieck, M.R.: Effect of Zinc Intake on Copper Excretion Retention in Men. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 285-292 (1985).