

# 식이 단백질 및 섬유질이 납중독 흰쥐의 단백질과 납대사에 미치는 영향

— Effect of dietary protein and fiber on the lead and  
protein metabolism in lead poisoning rats —

이화여자대학교 가정과학대학 식품영양학과  
김지희 · 김미경

Dept. of Food & Nutrition, Ewha Womans University  
Kim, Jihee and Kim, Mikyung

## 目 次

I. 서  론	II. 실험 재료
III. 결과 및 고찰	IV. 결  론

## 〈Abstract〉

This study was performed to investigate the effects of dietary protein and fiber on the lead and protein metabolism in lead poisoning rats. Seventy male rats of Sprague-Dawley strain weighing  $172 \pm 2g$  were blocked into 14 groups according to body weight. Protein(casein) was given at levels of 15 or 40%, and fibers(pectin, cellulose and CMC) were given at levels of 0, 4 or 10%.

The results are summarized as follows:

1. Food intake, weight gain and food efficiency ratio(FER) in groups fed high protein diets were higher than those in low protein groups. Liver weight in groups fed no dietary fiber was higher than that of animals fed fiber. Kidney and femur weights were greater in high protein groups. Tibia and femur lengths, and tibia weight were not significantly different among groups.

2. Hemoglobin content and hematocrit values showed no significant difference with dietary factors.

3. Total protein contents of serum and liver showed no significant difference, but tended to increase with increasing dietary protein level. Both daily urinary and fecal nitrogen excretions in high protein groups were higher than those in low protein groups. Especially daily fecal nitrogen excretions in high dietary fiber groups were

significantly high. Body nitrogen absorption rate was the highest in animals fed no fiber.

4. Pb levels in blood, liver, kidney and bone tended to decrease with high dietary protein and fiber levels. Especially Pb level of kidney was high in all groups. Daily urinary Pb excretion showed no significant difference with dietary factors, but fecal Pb excretion increased significantly in high protein and fiber groups.

## I. 서 론

최근 환경 오염이 심각해지면서 Pb, Cd, Hg 등 중금속에 의한 식품 오염과 더불어 이로 인한 인체의 중독 현상이 사회적 문제로까지 대두되고 있다.<sup>1,2)</sup> 환경오염 중금속 중에서 납은 자연계에 널리 존재하고 있으며 인체가 노출될 우려가 많고 체내로 들어오는 경로 또한 다양하여 오염된 식수 및 식품의 섭취, 대기중의 납 흡입과 피부를 통해서도 체내로 쉽게 들어올 수 있다.<sup>3)</sup>

인체에 납이 축적되었을 때에는 체중 감소, 빈혈의 발생, 간과 신장 등 장기의 생화학 및 형태학적 변화, 면역 능력의 감소, 뇌의 손상과 같은 중독 현상을 일으킨다.<sup>4)</sup> 이러한 납에 의한 중독 현상은 연령, 영양 상태 및 식이 조성의 영향을 받는데, 이는 이들 요인이 납 흡수 및 조직내 축적에 관여하기 때문이라고 하며 최근 납 중독을 완화할 수 있는 식이 요인에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 영양불량일 경우 납중독의 위험이 커지고, 식이 제한시 납 흡수율이 증가된다고 하며, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Cu, Cr, Se 등의 무기질 및 비타민 A, B, C, D, E 등의 식이 인자가 납 중독 현상을 증감시킨다고 보고되고 있다.<sup>5-9)</sup>

또 단백질이 납 중독을 완화시킨다는 보고가 많이 있는데 그 기전은 대체로 납이 이온 형태로 단백질과 결합하여 metallothionein으로 전환되어 소변으로 배설되거나, 또는 단백질이 납으로 인해 손상된 조직의 재생에 관여함으로써 간접적으로 납 독성을 완화시킨다고 한다.<sup>10)</sup> 최근에는 단백질이 납과 복합체를 이루어 변으로 배설됨으로써 납 흡수율을 감소시킨다는 설<sup>11)</sup>도 대두되고 있다.

한편, 식이 섬유질은 여러가지 기전을 통하여 영양소 및 중금속의 장내 흡수를 방해한다고 알려졌

다. 식이 섬유질이란 "소화기관에서 분비되는 소화효소로는 소화되지 않는 polysaccharide와 lignin을 통칭"<sup>12)</sup>하는데 그 구조 및 물리적 성질은 종류마다 다르다고<sup>13)</sup> 한다. 이러한 식이 섬유질이 Cd의 간 및 신장 등 장기내의 축적을 방해한다는 연구보고<sup>14)</sup>는 있으나 납에 대한 섬유질의 영향은 연구가 미진한 편이다.

이처럼 식이 단백질이 납중독에 미치는 영향 및 식이 섬유질의 중금속 흡수 방해에 관한 각각의 연구는 있으나 두 요인의 상호작용에 관한 연구보고는 거의 없으며 특히, 식이 섬유질 수준에 따른 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 흰쥐의 납 중독시 식이내 단백질 및 섬유질 수준에 따라 납중독의 경감 효과에 차이가 있는지를 비교하고 두 식이 인자의 상호작용에 의한 영향을 조사하며 식이 섬유질 종류에 따른 영향을 알아보려 하였다. 본 실험실의 선행연구<sup>33)-35)</sup>에서 납 중독 여부에 따른 흰쥐의 대사를 비교하여 보았으므로 본 연구에서는 이에 대한 조사는 되풀이 하지 않았다.

## II. 실험 재료

### 1. 실험 동물의 사육

실험동물은 평균 체중이 172±2g인 Sprague Dawley종 수컷 흰쥐 70마리를 실험시작 전 환경에 적응시키기 위하여 표준식이(15% casein diet)로 7일간 사육한 후 체중에 따라 난괴법에 의하여 5마리씩 14군으로 나누어 28일간 Table 1과 같은 내용으로 사육하였다.

실험동물은 한 마리씩 분리하여 stainless steel cage에서 사육하였으며 무기질에 의한 오염을 방지하기

Table 1. Classification of experimental animals

Experimental groups <sup>1)</sup>	Dietary protein level <sup>2)</sup>	Dietary fiber level <sup>2)</sup>
LF <sub>0</sub>	15	0
LP <sub>4</sub>	15	4
LC <sub>4</sub>	15	4
LM <sub>4</sub>	15	4
LP <sub>10</sub>	15	10
LC <sub>10</sub>	15	10
LM <sub>10</sub>	15	10
HF <sub>0</sub>	40	0
HP <sub>4</sub>	40	4
HC <sub>4</sub>	40	4
HM <sub>4</sub>	40	4
HP <sub>10</sub>	40	10
HC <sub>10</sub>	40	10
HM <sub>10</sub>	40	10

1) L : Low Protein

H : High Protein

F : Fiber-free diet

P : Pectin

C : Cellulose

M : Na-CMC(Na-Carboxy Methyl Cellulose)

0 : Fiber 0% added

4 : Fiber 4% added

10 : Fiber 10% added

2) Percentage(W / W) of total diet

위하여 0.4% EDTA(Ethylene Diamine Tetraacetic Acid) 용액으로 cage, 식이 그릇 및 물병을 세척한 후 탈이온 증류수로 행구어 사용했다.

본 실험에서 사용한 식이의 구성 성분은 Table 2 와 같다. 탄수화물 급원으로는 옥수수 전분(corn starch, 두산곡산)을 사용하였고, 지방급원으로는 옥수수유(corn oil, 서울 식품)를 사용하였으며 단백질 급원으로는 casein(Port Curtis Coop Dairy)을 사용하였고 무기질과 비타민류를 첨가하였다. 식이 섬유질 첨가시에는 섬유질 공급량(4% 또는 10%)에 해당하는 양을 corn starch 양에서 감하였으며 섬유소의 종류와 급원으로는 pectin(citrus pectin, 남영상사), cellulose( $\alpha$ -cellulose fiber, sigma chemicals company), Na-CMC(Na-carboxymethyl cellulose, Yakury Pure Chemicals Co.)을 사용하였다. 모든 실험군에게 아세트산 납을 일정한 수준(무게비로 lead acetate 1%, Pb 0.64%)으로 식이에 섞어 공급하였다. 물은 탈이온 증류수를 제한없이 먹게 하였다.

식이 섭취량은 실험기간 동안 매일 일정한 시간에 측정하였고, 체중은 매주 한번씩 일정한 시간에 측정하였으며, 식이 효율(Food Efficiency Ratio)과 단백질 효율(Protein Efficiency Ratio)을 산출하였다.

## 2. 각종 장기, 혈액, 뇨, 변의 채취

혈액은 실험기간 종료시 12시간 굶긴 동물들을

Table 2. Composition of experimental diet

Ingredients	exp. groups	per Kg diet					
		LF <sub>0</sub>	LP <sub>4</sub> LC <sub>4</sub> LM <sub>4</sub>	LP <sub>10</sub> LC <sub>10</sub> LM <sub>10</sub>	HF <sub>0</sub>	HP <sub>4</sub> HC <sub>4</sub> HM <sub>4</sub>	HP <sub>10</sub> HC <sub>10</sub> HM <sub>10</sub>
Corn starch (g)		740	700	640	490	450	390
Casein (g)		150	150	150	400	400	400
Corn oil (g)		100	100	100	100	100	100
Lead acetate (g)		10	10	10	10	10	10
Dietary fiber (g) <sup>30)</sup>		-	40	100	-	40	100
Salt mixture (g) <sup>30)</sup>		40	40	40	40	40	40
Vt.A.D mixture (ml) <sup>30)</sup>		1	1	1	1	1	1
Vt.E.K mixture (ml) <sup>30)</sup>		2	2	2	2	2	2
Water soluble vitamins		*	*	*	*	*	*
Vt.B <sub>12</sub> (ml)		1	1	1	1	1	1
Calories		4,460	4,300	4,060	4,460	4,300	4,060

ethylether로 마취시켜 단두하여 희생시킨 후 혈액을 채취하였다. 채혈 직후 hematocrit, hemoglobin을 측정하고 나머지 혈액은 heparin처리된 시험관에 받아 Pb 분석을 위해 냉동 보관하였고, 일부는 2000 rpm에서 30분간 원심분리하여 혈청(serum)을 얻었다.

채혈 직후 실험동물을 해부하여 간과 신장의 무게, 대퇴골(femur)과 경골(tibia)의 무게와 길이를 측정하였다.

노와 변은 실험 종료전 3일간 stainless steel metabolic cage에서 채취하였다.

### 3. 시료의 분석

Hemoglobin은 채혈 직후 Sahli씨 색소계를 사용하여 측정하였고, hematocrit은 heparin처리된 모세관에 빨아올려 hematocrit centrifuge에서 원심분리시킨 후 packed red cell volume의 백분율을 측정하였다.

혈액과 뇨중 Pb 함량은 Zinterhofer법<sup>18)</sup>에 의해 수포화 MIBK(Methyl Isobutyl Ketone)로 Pb를 추출한 후 원자 흡광 광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin-Elmer Co. Model 2380) 283.3nm에서 납농도를 측정하였다. 간, 신장, 뼈, 변의 Pb 함량은 110°C drying oven에서 항량이 되도록 건조시킨 후 550°C muffle furnace에서 회화시켜 Yeager법<sup>19)</sup>을 이용하여 원자 흡광 광도계 283.3nm에서 측정하였다.

또한 체내 Pb 흡수율과 보유율을 다음과 같이 구하였다.

Pb흡수율(%)

$$= \frac{1일\ 동안의\ Pb\ 경구\ 투여량(mg) - 1일\ 동안의\ 변\ 배설량(mg)}{1일\ 동안의\ Pb\ 경구\ 투여량} \times 100$$

Pb 보유율(%)

$$= \frac{1일\ 동안의\ Pb\ 보유량(\mu g)}{1일\ 동안의\ Pb\ 경구투여량(\mu g)} \times 100$$

### 4. 통계 처리

식이 단백질 수준(A), 식이 섬유질 수준(B), 및 두 인자의 상호작용의 영향(AB)은 2원 분산 분석하였고 식이 섬유질 종류(C)에 의한 영향과 식이 단백질 수준과 섬유질 종류의 상호 작용(AC)에 의한 영향 및 식이 섬유질 수준과 섬유질 종류의 상호 작용(BC)에 의한 영향은 3원 분산 분석하였다.

모든 실험 결과는 실험군당 평균치와 평균오차를 계산하였고  $\alpha=0.05$  수준에서 Duncan's multiple range test에 의해 각 실험군당 평균치간의 유의성을 검증하였다.

## III. 결과 및 고찰

식이섭취량, 체중 증가량 및 식이 효율은 Table 3에서 보는 바와 같이 고단백 식이군에서 증가하는 경향을 보였는데 이는 Pb 섭취시 감소된 식이 섭취량 및 식이 효율이 고단백 식이 섭취시 완화되었다는 보고<sup>20)</sup>와 일치하였다. 또 섬유질 수준이 높을수록 식이 섭취량이 증가하였는데 이는 식이내 비영양성 물질인 섬유질을 첨가할 경우 단위 무게당 열량 섭취가 저하되므로 이에 대응하기 위하여 식이 섭취량이 증가되지 않았나 생각한다. 식이 효율은 식이 섬유질 4% 수준에서 가장 높고 10% 수준에서는 감소하는 것으로 보아, 식이 섬유질 4% 수준에서는 Pb 중독으로 인한 성장저해를 완화시켰으나 10% 수준에서는 완화시키지 못했다고 본다. 너무 많은 양의 섬유질을 섭취하는 경우 다른 영양소의 흡수마저 방해하여 간접적으로 납의 독성을 가중시켰기 때문이라 생각된다.

장기 무게는 단백질 섭취와 관련된 체중의 증대와 관련된다고 한다.<sup>10)</sup> 본 실험의 결과 간의 무게(Table 4)는 식이 섬유질을 첨가한 군들에게서 작게 나타났는데 이는 식이 섬유질을 첨가하지 않은 군에 비해서 단백질의 이용이 비효율적으로 이용됨을 알 수 있었고 체중 증가량의 결과에서도 보듯이 특히 저단백 식이군에서 섬유질 첨가시 체중 증가량이 감소하는 것과 연관지어 생각할 수 있다. 신장의 무게는 고단백 식이군에서 큰 것으로 나타났다. 또 납 중독으

Table 3. Food intake, weight gain, FER and PER of experimental rats

Exp. groups	Food intake(g / day)	Weight gain(g / 4 weeks)	Food efficiency ratio (FER)	Protein efficiency ratio (PER)
LF <sub>0</sub>	8.78±0.11 <sup>c 12)</sup>	49.20±1.61 <sup>a</sup>	0.350±0.008 <sup>bc</sup>	2.33±0.06 <sup>de</sup>
LP <sub>4</sub>	7.38±0.24 <sup>b</sup>	44.88±2.99 <sup>a</sup>	0.398±0.014 <sup>cde</sup>	2.60±0.08 <sup>e</sup>
LC <sub>4</sub>	7.02±0.36 <sup>ab</sup>	38.21±3.64 <sup>a</sup>	0.346±0.019 <sup>bc</sup>	2.31±0.13 <sup>de</sup>
LM <sub>4</sub>	6.60±0.21 <sup>a</sup>	42.42±1.81 <sup>a</sup>	0.392±0.012 <sup>cde</sup>	2.61±0.08 <sup>e</sup>
LP <sub>10</sub>	9.50±0.17 <sup>def</sup>	47.94±2.18 <sup>a</sup>	0.316±0.019 <sup>b</sup>	2.11±0.13 <sup>d</sup>
LC <sub>10</sub>	9.46±0.19 <sup>cde</sup>	38.19±4.36 <sup>a</sup>	0.252±0.028 <sup>a</sup>	1.68±0.18 <sup>c</sup>
LM <sub>10</sub>	9.44±0.26 <sup>cde</sup>	47.30±1.05 <sup>a</sup>	0.341±0.010 <sup>b</sup>	2.09±0.07 <sup>d</sup>
HF <sub>0</sub>	10.18±0.22 <sup>f</sup>	63.10±4.17 <sup>b</sup>	0.350±0.008 <sup>bc</sup>	2.60±0.21 <sup>e</sup>
HP <sub>4</sub>	9.12±0.08 <sup>cd</sup>	79.49±3.10 <sup>c</sup>	0.544±0.020 <sup>g</sup>	1.36±0.05 <sup>b</sup>
HC <sub>4</sub>	9.68±0.16 <sup>def</sup>	81.14±3.69 <sup>c</sup>	0.524±0.020 <sup>g</sup>	1.31±0.05 <sup>b</sup>
HM <sub>4</sub>	10.06±0.30 <sup>ef</sup>	75.47±7.24 <sup>c</sup>	0.468±0.037 <sup>f</sup>	1.71±0.10 <sup>ab</sup>
HP <sub>10</sub>	11.36±0.26 <sup>g</sup>	77.20±3.75 <sup>c</sup>	0.420±0.021 <sup>def</sup>	1.05±0.05 <sup>ab</sup>
HC <sub>10</sub>	11.44±0.24 <sup>g</sup>	81.75±5.20 <sup>c</sup>	0.444±0.021 <sup>ef</sup>	1.11±0.06 <sup>ab</sup>
HM <sub>10</sub>	11.82±0.22 <sup>g</sup>	72.53±4.03 <sup>bc</sup>	0.382±0.016 <sup>cd</sup>	0.96±0.04 <sup>a</sup>
Significant-factor <sup>3)</sup>	A,B,C,AB,AC	A,AB,AC	A,B,AB,AC	A,B,C,AB,AC

1) Mean ± S.E

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.3) Effect of dietary factors is significant at  $\alpha=0.05$  level by F-test

A : protein level

B : fiber level

C : fiber source

AB : (protein level) × (fiber level)

AC : (protein level) × (fiber source)

로 인해 뼈의 성장 지연이 식이 단백질이나 섬유질 수준 증가에 의해 완화되리라 예상하였으나 본 실험 결과에서는 아무런 유의적 차이를 볼 수 없었다.

Hemoglobin과 hematocrit 값은 Table 5에서 보듯이 단백질 수준이 증가함에 따라 약간 증가하는 경향을 보일 뿐 흰 쥐의 정상범위인<sup>21)</sup> 14.0-15.6g / 100ml, 41.5-51.1%에 각각 미치지 못하였고 이로 미루어 볼 때 납 중독으로 인한 빈혈 현상이 나타났다고 볼 수 있다. Pb는 glycine으로부터 시작되는 일곱개의 heme 합성 단계중 다섯 단계에 관여하는 효소 작용을 저해하기 때문에 hemoglobin 및 적혈구 생성이 감소되어 빈혈을 야기한다고 하며<sup>22)</sup>, 단백질 섭취가 충분할

때 hemoglobin 함량 및 hematocrit값에 미치는 Pb의 영향이 완화된다는 보고<sup>30)</sup>가 있으나 본 실험 결과와는 일치하지 않았으며 이는 많은 양의 섬유질 섭취로 인하여 단백질 및 기타 영양소의 흡수율이 감소되었기 때문이 아닌가 생각된다.

혈청 및 간의 단백질 함량(Table 6)은 단백질 수준 및 식이 섬유질 수준에 의해서 유의적인 차이가 없었다. Shceham<sup>22)</sup>에 의하면 단백질섭취량의 적정선까지는 식이 단백질 수준이 증가함에 따라 식이 단백질의 소화 흡수증가나 질소의 조직 축적이 되지만 체내 조직 유지나 신체대사를 위한 요구량 이상으로 단백질을 섭취시켰을 때에는 그 수준이 증가되어도

Table 4. Liver and Kidney weights, and bone weight and length of experimental rats

Exp. groups	Liver weight (dry wt, g)	Kidney weight (dry wt, g)	Bone length(cm)		Bone weight(g)	
			Femur	Tibia	Femur	Tibia
LF <sub>0</sub>	2.33±0.17 <sup>b 12)</sup>	0.49±0.04 <sup>abcd</sup>	3.28±0.11 <sup>ab</sup>	3.74±0.08 <sup>N.S. 2)</sup>	0.47±0.04 <sup>N.S.</sup>	0.45±0.04 <sup>N.S.</sup>
LP <sub>4</sub>	1.88±0.22 <sup>ab</sup>	0.48±0.03 <sup>abcd</sup>	3.18±0.07 <sup>ab</sup>	3.64±0.11	0.44±0.02	0.44±0.03
LC <sub>4</sub>	1.59±0.20 <sup>a</sup>	0.42±0.04 <sup>ab</sup>	3.22±0.06 <sup>ab</sup>	3.58±0.06	0.39±0.03	0.39±0.03
LM <sub>4</sub>	2.06±0.19 <sup>a</sup>	0.41±0.03 <sup>a</sup>	3.22±0.09 <sup>ab</sup>	3.74±0.14	0.41±0.03	0.38±0.05
LP <sub>10</sub>	2.28±0.30 <sup>ab</sup>	0.48±0.06 <sup>abcd</sup>	3.16±0.12 <sup>ab</sup>	3.54±0.11	0.39±0.04	0.38±0.04
LC <sub>10</sub>	1.90±0.22 <sup>b</sup>	0.51±0.04 <sup>abcd</sup>	3.28±0.10 <sup>ab</sup>	3.60±0.11	0.43±0.04	0.41±0.04
LM <sub>10</sub>	2.53±0.23 <sup>ab</sup>	0.47±0.03 <sup>abc</sup>	2.92±0.31 <sup>a</sup>	3.50±0.06	0.39±0.03	0.39±0.03
HF <sub>0</sub>	2.53±0.25 <sup>b</sup>	0.56±0.04 <sup>abcd</sup>	3.44±0.05 <sup>b</sup>	3.68±0.04	0.50±0.02	0.45±0.02
HP <sub>4</sub>	2.13±0.21 <sup>ab</sup>	0.53±0.05 <sup>abcd</sup>	3.24±0.08 <sup>ab</sup>	3.58±0.04	0.44±0.04	0.41±0.03
HC <sub>4</sub>	2.28±0.13 <sup>b</sup>	0.53±0.04 <sup>abcd</sup>	3.32±0.08 <sup>ab</sup>	3.68±0.07	0.47±0.03	0.43±0.02
HM <sub>4</sub>	1.92±0.12 <sup>ab</sup>	0.54±0.04 <sup>abcd</sup>	3.26±0.07 <sup>ab</sup>	3.62±0.09	0.41±0.03	0.39±0.01
HP <sub>10</sub>	1.99±0.16 <sup>ab</sup>	0.53±0.03 <sup>abcd</sup>	3.24±0.06 <sup>ab</sup>	3.54±0.06	0.43±0.03	0.40±0.02
HC <sub>10</sub>	2.35±0.14 <sup>b</sup>	0.60±0.02 <sup>cd</sup>	3.34±0.07 <sup>ab</sup>	3.72±0.06	0.49±0.03	0.45±0.03
HM <sub>10</sub>	2.13±0.22 <sup>ab</sup>	0.61±0.06 <sup>d</sup>	3.36±0.32 <sup>ab</sup>	3.72±0.06	0.43±0.04	0.42±0.03
Significant factor <sup>4)</sup>	B	A			A	

1) Mean±S.E

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

3) N.S. : not significant at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

4) Effect of dietary factors is significant at  $\alpha=0.05$  level by F-test

A : protein level

B : fiber level

질소 축적에는 큰 차이가 없다고 하였다. 본 실험의 결과는 저단백 식이군의 단백질 수준이 15%로 간의 질소 함량을 증가시킬 만큼의 충분한 수준이었고 체내 질소 농도에까지 영향을 줄 만큼 단백질이 부족하지는 않았기 때문이라고 생각된다.

Table 6에서 보듯이 대변을 통한 질소 배설량은 섬유질 수준이 높을수록, 또 단백질 수준이 높을수록 증가하였는데 이는 각 식이 인자의 수준이 증가할수록 식이 섭취량이 증가되어 질소 섭취량이 많았기 때문이라고 생각된다. 한편 뇨를 통한 질소 배설량은 단백질 수준에 의한 영향만이 유의적이었을 뿐 섬유질 수준에 따라서는 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

질소 흡수율은 식이 단백질 수준이 증가할수록 높

았으나 식이 섬유질 수준이 높을 경우에는 변을 통한 질소 배설량이 많아 흡수율이 떨어지는 것을 볼 수 있었다. Kelsay<sup>23)</sup>에 의하면 섬유질 첨가가 질소 흡수율 이외에도 에너지, 지방 흡수율에도 영향을 미친다고 한다.

혈액, 간, 신장 및 뼈(대퇴골)의 Pb 함량(Table 7)을 보면 혈중 Pb 함량은 단백질 수준이 증가함에 따라 유의적인 감소를 보였으나 식이 섬유질 수준에 의한 차이는 유의적이지 않았다. 간의 Pb 함량은 단백질 수준과 식이 섬유질 수준에 의해 유의적인 차이를 보이지 못했던 반면 신장의 Pb 함량은 이 두 식이인자에 의하여 모두 유의적인 차이를 보였으며 특히 고단백 식이 섭취군중 4% 섬유질군에서 현저하게 낮았고 저단백 식이군에서는 10% 섬유질군이

Table 5. Hemoglobin content and hematocrit value of experimental rats

Exp. groups	Hemoglobin(g / 100ml)	Hematocrit(%)
LF <sub>0</sub>	13.60±1.21 <sup>bcd<sup>1)</sup> 2)</sup>	38.80±2.03 <sup>a</sup>
LP <sub>4</sub>	12.42±0.32 <sup>abcd</sup>	36.88±1.55 <sup>ab</sup>
LC <sub>4</sub>	11.90±0.51 <sup>abcd</sup>	37.46±0.94 <sup>ab</sup>
LM <sub>4</sub>	10.00±2.47 <sup>a</sup>	36.46±2.27 <sup>a</sup>
LP <sub>10</sub>	12.60±0.53 <sup>abcd</sup>	36.10±1.05 <sup>ab</sup>
LC <sub>10</sub>	12.60±0.97 <sup>abcd</sup>	35.20±1.60 <sup>ab</sup>
LM <sub>10</sub>	11.20±0.90 <sup>ab</sup>	34.66±1.60 <sup>ab</sup>
HF <sub>0</sub>	13.66±0.52 <sup>bcd</sup>	37.10±0.95 <sup>ab</sup>
HP <sub>4</sub>	11.76±0.69 <sup>abc</sup>	35.46±1.84 <sup>ab</sup>
HC <sub>4</sub>	13.70±0.82 <sup>bcd</sup>	37.54±1.32 <sup>ab</sup>
HM <sub>4</sub>	12.60±0.89 <sup>abcd</sup>	37.98±1.84 <sup>ab</sup>
HP <sub>10</sub>	10.90±0.70 <sup>ab</sup>	34.10±0.79 <sup>ab</sup>
HC <sub>10</sub>	15.02±0.13 <sup>d</sup>	37.68±2.69 <sup>ab</sup>
HM <sub>10</sub>	14.56±0.80 <sup>cd</sup>	35.24±1.99 <sup>ab</sup>
Significant-factor <sup>3)</sup>	AC	

1) Mean±S.E

2) values with same alphabet within the column are significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

3) Effect of dietary factors is significant at  $\alpha=0.05$  level by F-test

AC=(protein level)×(fiber source)

낮았다. 고단백 식이 섭취시 신장의 납 함량이 감소되는 것은 Quarterman<sup>9)</sup>에 의하면 Pb이 단백질과 복합체를 이루고 그대로 배설됨으로써 납 흡수율이 저하되고 신장의 기능은 원활하게 하여 Pb 축적을 감소시키기 때문이라고 하였다. 한편 저단백 식이시에 10% 섬유질군이 가장 낮은 것은 섬유질의 납 배설 효과가 더 크게 작용한 결과라고 생각된다. 본 실험의 결과도 역시 고단백식이 섭취시 신장내 Pb 축적이 감소되었으며 흡수율도 저하된 것을 볼 수 있었다. 이런 결과는 같은 2가 중금속인 Cd의 경우도 마찬가지여서 고단백 식이 공급시 간과 신장 조직의 Cd 축적이 감소되었다는 보고<sup>24)</sup>가 있으며 Omon<sup>25)</sup>은 흰쥐에게 4% 식이 섬유질과 단백질 및 Ca을 함께 보충시켰을 때 신장내 Cd 축적이 감소되었다고 보고하였다. 또, 5% 섬유질 식이 공급시 간과 신장 조직에 Cd 축적이 감소되었다는 보고<sup>26)</sup>도 있었다.

혈액에 존재하는 Pb는 혈장 단백질인 albumin이나

metallothionein(MT)와 결합하여 존재하나 주로 albumin과 결합한 상태로 운반되어 간에 저장된다. 이때 Pb는 느슨하고 가역적으로 결합하여 간과 다른 장기로 빠른 속도로 운반되므로 혈액으로부터 빨리 사라져 혈중 농도는 낮게 유지된다고 한다. 이렇게 혈액으로부터 운반된 납은 조직내 MT와 결합된 형태로 존재하는데 이 MT는 중금속을 간으로부터 혈액을 경유하여 신장으로 운반하고 사구체에서 여과, proximal tubule에서 재흡수되고, MT가 분해되면서 결합되었던 중금속을 유리시켜 노를 통한 중금속 이온의 배설을 돕는 등 납을 비롯한 중금속 이온들을 운반하는 기능을 한다.<sup>23,27)</sup> 본 실험 결과에서 간과 신장에 축적된 납의 함량을 비교할 때 신장에 축적된 양이 훨씬 많음을 알 수 있다. 이것은 간에서는 MT의 반감기가 73일이고 신장에서는 1240일인 것과 관련된다고 볼 수 있다. 이것으로 보아 신장이 납 축적의 주요 장기임을 알 수 있다.

Table 6. Total protein content in serum and liver, urinary and fecal N excretions, and N absorption ratio of experimental rats.

Exp. groups	Serum(mg / 100 ml serum)	Liver(mg / g dry Liver)	N excretion(mg / day)		N absorption ratio (%)
			Urine	Feces	
LF <sub>0</sub>	5.46 ± 0.38 <sup>N.S.3)</sup>	236.18 ± 14.80 <sup>ab</sup>	91.00 ± 26.35 <sup>ab</sup>	15.38 ± 1.34 <sup>ab</sup>	92.86 ± 0.57 <sup>de</sup>
LP <sub>4</sub>	5.72 ± 0.38	212.70 ± 27.56 <sup>ab</sup>	54.07 ± 17.03 <sup>a</sup>	17.76 ± 3.82 <sup>ab</sup>	90.03 ± 2.20 <sup>bcd</sup>
LC <sub>4</sub>	5.62 ± 0.77	185.30 ± 18.46 <sup>ab</sup>	34.30 ± 6.59 <sup>a</sup>	21.99 ± 3.23 <sup>ab</sup>	87.20 ± 1.59 <sup>abc</sup>
LM <sub>4</sub>	4.86 ± 0.23	159.98 ± 21.28 <sup>a</sup>	53.65 ± 6.64 <sup>a</sup>	10.67 ± 2.26 <sup>a</sup>	92.85 ± 1.78 <sup>de</sup>
LP <sub>10</sub>	4.72 ± 0.10	224.41 ± 30.70 <sup>ab</sup>	63.00 ± 12.64 <sup>a</sup>	31.17 ± 2.66 <sup>b</sup>	86.43 ± 1.20 <sup>ab</sup>
LC <sub>10</sub>	4.88 ± 0.28	235.01 ± 21.67 <sup>ab</sup>	47.25 ± 7.80 <sup>a</sup>	32.81 ± 3.94 <sup>b</sup>	85.38 ± 1.77 <sup>a</sup>
LM <sub>10</sub>	6.08 ± 0.67	185.22 ± 23.49 <sup>ab</sup>	88.02 ± 30.87 <sup>ab</sup>	21.96 ± 3.32 <sup>ab</sup>	90.58 ± 1.34 <sup>cd</sup>
HF <sub>0</sub>	5.52 ± 1.27	234.90 ± 24.04 <sup>ab</sup>	290.85 ± 26.84 <sup>d</sup>	18.20 ± 2.60 <sup>ab</sup>	97.24 ± 0.32 <sup>f</sup>
HP <sub>4</sub>	5.02 ± 0.10	234.13 ± 29.82 <sup>ab</sup>	220.85 ± 34.99 <sup>cd</sup>	26.50 ± 2.95 <sup>ab</sup>	95.48 ± 0.52 <sup>ef</sup>
HC <sub>4</sub>	5.18 ± 0.39	248.29 ± 17.02 <sup>b</sup>	246.45 ± 34.76 <sup>cd</sup>	28.76 ± 4.45 <sup>ab</sup>	95.32 ± 0.73 <sup>ef</sup>
HM <sub>4</sub>	5.14 ± 0.14	193.26 ± 8.20 <sup>ab</sup>	170.28 ± 52.21 <sup>bc</sup>	26.26 ± 4.34 <sup>ab</sup>	95.85 ± 0.76 <sup>ef</sup>
HP <sub>10</sub>	5.62 ± 0.47	204.18 ± 21.77 <sup>ab</sup>	215.58 ± 32.46 <sup>cd</sup>	55.78 ± 9.02 <sup>c</sup>	92.54 ± 1.06 <sup>de</sup>
HC <sub>10</sub>	5.50 ± 0.48	255.46 ± 22.17 <sup>b</sup>	271.08 ± 72.85 <sup>cd</sup>	60.35 ± 12.72 <sup>c</sup>	91.87 ± 1.61 <sup>de</sup>
HM <sub>10</sub>	5.44 ± 0.34	226.27 ± 29.32 <sup>ab</sup>	268.63 ± 16.06 <sup>cd</sup>	57.87 ± 7.36 <sup>c</sup>	92.96 ± 0.90 <sup>de</sup>
Significant-factor <sup>4)</sup>			A	A,B,AB	A,B,C

1) Mean ± S.E

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.3) N.S. : not significant at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.4) Effect of dietary factors is significant at  $\alpha=0.05$  level by F-test

A : protein level

B : fiber level

C : fiber source

AB : (protein level) × (fiber level)

Femur에 포함된 납의 함량은 단백질 수준이 높은 군에서, 또 10% 섬유질군에서 낮은 경향을 보임으로써 납 흡수율 및 보유율의 경향과 같은 것을 알 수 있다.

Table 8에서 보듯이 뇨로 배설되는 납의 양은 단백질 수준이나 섬유질 종류 또는 섬유질 수준에 의한 차이를 나타내지 않았으나 김<sup>39)</sup>에 의하면 식이 단백질 수준이 높을수록 뇨로 배설되는 납의 양이 증가한다고 했으며 또한 뇨를 통한 중금속의 배설은 신장내 중금속 함량과 밀접한 관계가 있어 중금속에 노출될 경우 신장으로의 중금속 이동이 증가되어 뇨로의 배설이 증가된다고 하였다. 본 실험에서는 신

장내 납 함량이 혈액이나 간 조직보다 높았고 식이 단백질 수준과 식이 섬유질 수준에 따른 차이를 보였으므로 뇨로 배설되는 납도 차이가 있을 것으로 예상되었으나 각 식이인자에 의한 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

대변을 통한 납 배설량은 뇨로 배설되는 양보다 훨씬 많았고 식이 단백질 수준을 증가시킬 때 뇨와 변동 체외로의 납 배설이 유의적으로 증가한 것으로 보아 식이 단백질이 납 흡수에 대해 억제 효과가 있다고 할 수 있다. 단백질에 의한 납 흡수 억제 효과의 기전에 대해 Quaterman<sup>40)</sup>은 단백질이 납과 복합체를 이루어 대변을 통해 배설됨으로써 결과적으로



단백질이 납 흡수율을 감소시킨다고 하였다. 한편, 장세포에서 생성되는 metallothionein과 납이 결합되어 장세포 교체시 함께 배설되어 결국 납흡수를 억제시킨다는 보고도<sup>28)</sup> 있다. 즉 이것은 단백질의 섭취가 부족할 때에는 MT합성에 지장을 초래하여 단백질과 관련된 납 배설에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 변을 통한 납 배설량은 식이 섬유질 수준의 증가에 의해서도 현저히 증가하였는데 이에 대한 가능한 기전<sup>29)</sup>은 식이 섬유질의 ligand가 납과 결합하여 납이 free 상태로 장세포 내로 흡수되는 것을 방해하며 식이 섬유질 용액의 viscosity에 의해 납의 diffusion rate가 감소됨으로써 장내 점막 표면의 납 농도를 낮추어 결과적으로 납의 장내 흡수를 감소시킨다. 또

한 식이 섬유질은 소장에서의 gastrointestinal mobility를 변화시켜 transit time을 감소시킴으로서 장내 점막 표면과 접촉할 수 있는 시간을 짧게 하여 흡수를 감소시킨다. 또한 식이 섬유질은 non-specific bulking effect가 있어 변무게를 증가시킴으로써 납 배설을 양적으로 증가시킨다고 할 수 있다. 최근에는 섬유질이 장벽의 unstirred water layer barrier의 두께를 증가시킴으로써 영양소 및 중금속의 흡수를 방해한다는 설도<sup>4)</sup> 대두되고 있다.

본 실험에서는 변무게(Table 8)를 측정함으로써 식이 섬유질의 bulking effect에 의한 납 배설 효과를 살펴 보았는데 식이 섬유질 수준의 증가에 따라 변무게가 유의적으로 증가하였고 변을 통한 납 배설이

Table 7. Pb contents in blood, liver, kidney and bone of experimental rats

Exp. groups	Blood(g / 100ml)	Liver(g / g dry liver)	Kidney(g/g dry kidney)	Femur(g / g dry femur)
LF <sub>0</sub>	8.96±2.24 <sup>abcd</sup>	46.54±7.01 <sup>ab</sup>	534.76±40.36 <sup>e</sup>	709.28±76.04 <sup>cde</sup>
LP <sub>4</sub>	10.10±1.04 <sup>bcd</sup>	50.44±2.61 <sup>ab</sup>	451.73±35.07 <sup>cde</sup>	939.90±134.14 <sup>e</sup>
LC <sub>4</sub>	8.93±1.02 <sup>abcd</sup>	47.92±8.08 <sup>ab</sup>	510.58±49.56 <sup>de</sup>	480.67±76.22 <sup>ac</sup>
LM <sub>4</sub>	12.83±2.64 <sup>d</sup>	52.98±10.41 <sup>ab</sup>	535.17±30.97 <sup>e</sup>	916.98±106.23 <sup>e</sup>
LP <sub>10</sub>	9.43±1.29 <sup>abcd</sup>	53.60±4.39 <sup>ab</sup>	385.97±72.71 <sup>c</sup>	731.13±66.38 <sup>de</sup>
LC <sub>10</sub>	8.63±1.69 <sup>abcd</sup>	35.60±3.81 <sup>a</sup>	386.13±21.72 <sup>c</sup>	368.64±55.62 <sup>a</sup>
LM <sub>10</sub>	12.33±2.22 <sup>d</sup>	66.88±8.71 <sup>b</sup>	384.99±24.57 <sup>c</sup>	641.11±96.49 <sup>bcd</sup>
HF <sub>0</sub>	5.30±0.70 <sup>a</sup>	50.07±6.10 <sup>ab</sup>	427.38±42.04 <sup>cd</sup>	364.22±84.42 <sup>a</sup>
HP <sub>4</sub>	6.33±0.76 <sup>abc</sup>	55.20±9.79 <sup>ab</sup>	89.01±19.32 <sup>a</sup>	409.57±17.48 <sup>ab</sup>
HC <sub>4</sub>	6.00±0.32 <sup>ab</sup>	67.50±8.25 <sup>b</sup>	89.71±10.91 <sup>a</sup>	523.91±95.12 <sup>abcd</sup>
HM <sub>4</sub>	7.08±0.48 <sup>abc</sup>	45.84±3.47 <sup>ab</sup>	96.63±12.27 <sup>a</sup>	427.71±56.20 <sup>abc</sup>
HP <sub>10</sub>	8.23±0.80 <sup>abcd</sup>	54.80±13.78 <sup>ab</sup>	210.19±17.57 <sup>b</sup>	361.23±30.51 <sup>a</sup>
HC <sub>10</sub>	5.87±0.98 <sup>ab</sup>	41.80±9.32 <sup>ab</sup>	190.38±8.64 <sup>ab</sup>	382.90±44.01 <sup>a</sup>
HM <sub>10</sub>	10.98±1.56 <sup>cd</sup>	54.66±4.85 <sup>ab</sup>	180.39±11.39 <sup>ab</sup>	436.94±33.20 <sup>ab</sup>
Significant-factor <sup>3)</sup>	A,C	BC	A,B,AB	A,B,C,AC

1) Mean±S.E

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at α=0.05 level by Duncan's multiple range test.

3) Effect of dietary factors is significant at α=0.05 level by F-test

A : protein level

B : fiber level

C : fiber source

AB : (protein level)×(fiber level)

AC : (protein level)×(fiber source)

BC : (fiber level)×(fiber source)

Table 8. Feces weight, urinary and fecal Pb excretions, Pb absorption ratio, and Pb retention ratio.

Exp. groups	Feces(g / day) weight	Pb excretion (mg / day)		Pb absorption ratio (%)	Pb retention ratio (%)
		Urine	Feces		
LF <sub>0</sub>	1.77±0.42 <sup>ab</sup>	0.034±0.012 <sup>N.S.3)</sup>	1.14±0.25 <sup>a</sup>	98.86±0.25 <sup>e</sup>	98.82±0.25 <sup>e</sup>
LP <sub>4</sub>	1.21±0.22 <sup>a</sup>	0.030±0.008	1.53±0.22 <sup>a</sup>	98.47±0.22 <sup>e</sup>	98.44±0.22 <sup>e</sup>
LC <sub>4</sub>	3.04±0.22 <sup>c</sup>	0.028±0.007	3.29±0.20 <sup>ab</sup>	96.71±0.20 <sup>de</sup>	96.69±0.21 <sup>de</sup>
LM <sub>4</sub>	1.12±0.15 <sup>a</sup>	0.011±0.005	1.95±0.31 <sup>a</sup>	98.96±0.31 <sup>de</sup>	98.04±0.31 <sup>e</sup>
LP <sub>10</sub>	2.12±0.23 <sup>abc</sup>	0.026±0.007	3.50±0.32 <sup>ab</sup>	96.49±0.31 <sup>de</sup>	96.46±0.31 <sup>de</sup>
LC <sub>10</sub>	6.49±0.64 <sup>e</sup>	0.017±0.003	8.88±1.06 <sup>de</sup>	91.13±1.06 <sup>ab</sup>	91.11±1.07 <sup>ab</sup>
LM <sub>10</sub>	3.30±0.40 <sup>c</sup>	0.022±0.007	6.80±1.13 <sup>cd</sup>	93.19±1.13 <sup>bc</sup>	93.17±1.13 <sup>bc</sup>
HF <sub>0</sub>	1.65±0.38 <sup>ab</sup>	0.033±0.023	1.30±0.30 <sup>a</sup>	98.70±0.30 <sup>e</sup>	98.64±0.30 <sup>e</sup>
HP <sub>4</sub>	1.59±0.24 <sup>ab</sup>	0.045±0.010	2.32±0.40 <sup>ab</sup>	97.69±0.40 <sup>de</sup>	97.64±0.39 <sup>de</sup>
HC <sub>4</sub>	2.76±0.23 <sup>bc</sup>	0.041±0.013	3.29±0.35 <sup>ab</sup>	96.71±0.35 <sup>de</sup>	96.67±0.34 <sup>de</sup>
HM <sub>4</sub>	2.35±0.24 <sup>abc</sup>	0.026±0.007	4.67±0.51 <sup>bc</sup>	95.33±0.51 <sup>cd</sup>	95.30±0.51 <sup>cd</sup>
HP <sub>10</sub>	4.79±0.49 <sup>d</sup>	0.037±0.011	9.29±1.26 <sup>de</sup>	90.71±1.25 <sup>ab</sup>	90.68±1.26 <sup>ab</sup>
HC <sub>10</sub>	6.86±0.29 <sup>e</sup>	0.027±0.007	10.98±1.20 <sup>e</sup>	91.52±1.49 <sup>ab</sup>	87.00±1.20 <sup>a</sup>
HM <sub>10</sub>	4.74±0.77 <sup>d</sup>	0.026±0.009	11.04±1.26 <sup>e</sup>	88.96±1.26 <sup>a</sup>	88.94±1.87 <sup>a</sup>
Significant-factor <sup>4)</sup>	A,B,C,AC,BC		A,B,C,AB	A,B,C,AC	A,B,C,AB

1) Mean±S.E

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.3) N.S. : not significant at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.4) Effect of dietary factors is significant at  $\alpha=0.05$  level by F-test

A : protein level

B : fiber level

C : fiber source

AB : (protein level)×(fiber level)

AC : (protein level)×(fiber source)

BC : (fiber level)×(fiber source)

증가할 뿐 아니라 단백질 수준이 높은 군에서도 증가하였는데 본 실험에서 두 인자의 상승 효과를 볼 수 있었다. 즉 (그림 1)에서 보면 변을 통한 납 배설량이 섬유질 수준이 증가할수록 저단백 섭취군에 비해 고단백 식이 섭취군에서 그 증가폭이 더 큰 것을 알 수 있다. 즉 단백질 수준과 식이 섬유질 수준의 두요인의 상승효과를 볼 수 있었다. 따라서 단백질 수준을 높이는 동시에 식이 섬유질의 수준을 높인다면 대변으로 배설되는 납의 양은 더욱 크게 증가한다고 할 수 있겠다. 이것은 (그림 2)에 나타난 납 보유율로 그 사실이 확인된다. 즉 섬유소 수준이

증가할수록 저단백 식이군에 비해 고단백 식이군에서 보유율의 감소폭이 크다. 이것도 역시 단백질과 섬유질, 두 요인의 상승작용이라고 할 수 있다.

한편 식이 섬유질은 종류에 따라 구조적 물리적 성격이 다르므로 체내에서의 영향이 다르다고 한다. 즉 cellulose는 linear polysaccharide 형태이고 pectin은 분자내 side chain으로 carbonyl group과 carboxyl group을 다량 함유하여 이 부분이 esterity되면 gelling effect가 증진된다고 한다. 또 CMC는 cellulose의 -OH group을 sodium carboxymethyl group으로 치환시켜 생성된 것으로 대체된 정도에 따라 물리적 성상에

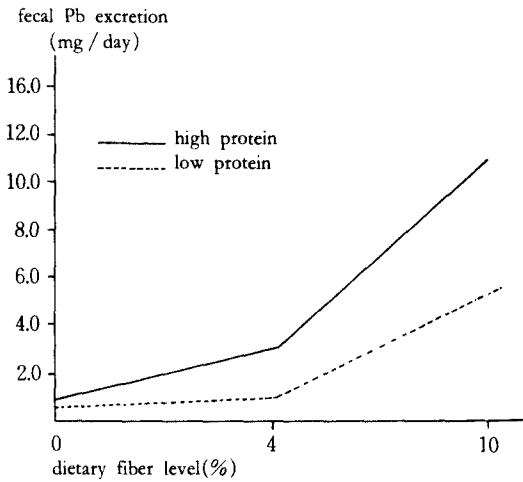


Figure 1. Fecal Pb excretion.

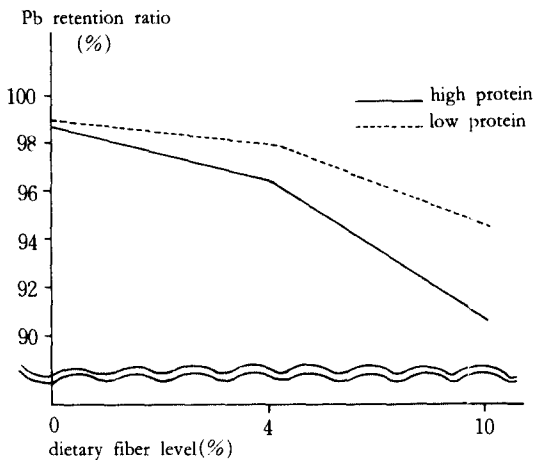


Figure 2. Pb retention ratio.

차이가 있다.<sup>30)</sup> 식이 섬유질의 물리적 성상중 CEC (Cation Exchange Capacity)를 보면 cation인 Cd과 결합하는 정도를 측정 한 결과 lignin>CMC>alginate>cellulose로 나타난다고 하며 섬유질 용액의 viscosity는 alginate>CMC>pectin>lignin의 순서인 것으로 보고<sup>29)</sup>되고 있다.

본 실험의 결과 혈액의 납 함량은 CMC>pectin>cellulose 순서였으며 간의 단위 g당 납 함량은 섬유질 수준이 증가할 때 종류에 의한 영향이 각각 달랐다(table 7). 즉 cellulose 군은 저섬유질 군에 비해 고

섬유질군에서 감소하는 경향을 보인 반면 pectin과 CMC는 반대로 저섬유질 군에 비해 고섬유질군에서 증가하는 경향을 보였다.

한편 femur의 납 함량은 단백질 수준에 따라 종류에 의한 영향이 달라졌는데 즉, cellulose군들은 고단백 식이군에서 감소하는 경향이었으나 pectin과 CMC는 반대 경향을 보였다. 이렇게 장기 및 femur의 납 함량에서 보이는 차이는 cellulose군의 납 보유율이 가장 낮은 것과 관련될 것이라고 본다. 변 무게는 bulking effect가 가장 큰 cellulose군이 유의적으로 많았으나 단백질 수준에 의해 영향 받지는 않았다(table 8).

대변을 통해 배설되는 납의 양도 변의 양과 비슷한 경향으로 cellulose>CMC>pectin의 순서였다(table 8). 이러한 결과는 앞에서 언급했던 CMC나 섬유소의 viscosity에 의한 흡수 방해 효과보다는 bulking effect에 의한 변양의 증가가 납 흡수 방해 효과면에서 더 낫다고 볼 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구의 결과를 종합해 보면 납 공급시 단백질과 식이 섬유질은 식이 섭취량의 증가등을 가져와 납 중독으로 인한 성장 부진을 완화시켰으며, 단백질 효율의 저하, 체내 질소 흡수율의 증가 등 체내 단백질 대사에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

또 납 중독에 대한 단백질 및 섬유질 두 식이 인자의 영향을 본 결과 식이 단백질은 그 수준이 높을수록 납중독이 완화되었는데 이는 단백질에 의해 납 흡수가 억제되고 변을 통한 배설이 증가됨에 따라 조직내 납 함량 및 체내 납 보유량이 감소되었기 때문이라고 생각한다. 또한 식이 섬유질의 영향을 보면 식이 섬유질의 종류에 따라 식이섬유질 또는 그 수준에 의한 영향이 달랐으나 대체적으로 식이 섬유질을 포함한 군들이 포함하지 않은 군에 비해 bulking effect가 커서 변양을 증가시키고 이에 따라 변으로 배설되는 납이 증가되어 납중독을 완화시킨다고 생각된다. 한편 변으로 배설되는 납은 단백질 수준이 높고 식이 섬유질 수준이 각각 높을 경우 그 영향은 상호 작용으로 훨씬 커서 이 두 식이 인자를 모두

증가시킬 경우 납 흡수 억제 면에 있어서 더 효율적으로 될 것으로 생각된다.

### 〈Reference〉

- 1) Settle DM, Patterson CC. Lead in albacore: Guide to lead pollution in Americans. *Science* 207:1167-1176, 1980.
- 2) Clausen J, Rastogi SC. Heavy metal pollution among auto worker. I Lead Bri *J Ind Med* 34: 208-215, 1977.
- 3) Rabinowitz MD, Wetherill GW. Lead metabolism in the normal human: Stable isotope studies. *Science* 182:725-727, 1973.
- 4) Bryce-Smith D, Stephens R. Sources & effect of environmental lead. In: Trace Elements in Health, Butter worths London 83-131, 1983.
- 5) Williams H, Kaplan E, Couchman CE, Sayers RR. Lead poisoning in young children. *Pub Health Reports* 67:230-235.
- 6) Mahaffey KR. Nutritional factors in lead poisoning. *Nutritional Review* 39(10) 353-362, 1981.
- 7) Guinee VF. Lead poisoning. *Am J Med* 52:283-288, 1972.
- 8) Mahaffey KR, Goyer RA. Experimental enhancement of lead toxicity by low dietary calcium. *J Lab Clin Med* 72:933-942, 1970.
- 9) Quarterman J, Morrison JN, Humphries WR. The effects of dietary lead content and food restriction on lead retention in rats. *Environ Res* 12: 180-187, 1976.
- 10) Bushnell PJ, Deluca HF. Lactose facilitates the intestinal absorption of lead in weaning rats. *Science* 211:61-63, 1981.
- 11) Foulkes LC. 'Biological roles of metallothionein' Elsevier North-Holland, 1981.
- 12) Trowell H, Southgate DAT. Dietary fiber redefined(letter) *Lancet* 1:967-970, 1976.
- 13) Southgate DAT. 'Dietary fiber-basic and clinical aspects' Plenum N. Y. p. 35-48, 1986.
- 14) Omioi M, Muto Y. Effects of dietary protein, Ca, P, fiber on renal accumulation of exogenous Cd in young rats. *J Nutri Sci Vitaminol* 23:361-365, 1978.
- 15) Morio Kiyozumi, Motohiro Mishima, Sumiko Noda. Studies on poisonous metals. ix. Effects of dietary fibers on absorption of Cd in rats. *Chem Pharm Bull* 30(12) 4494, 1982.
- 16) Cooper TG. The tools of biochemistry. John Wiley & Sons, 1977.
- 17) Hawk PB, Osler BL, Summerson WH. Practical Physiological Chemistry. Mc Grow-Hill, New York: p. 1219-1220, 1965.
- 18) Zinterhofer LJM, Jatlow I, Fappiano A. Atomic absorption determination of lead in blood and urine in the presence of EDTA. *J Lab Clin Med* 78:664-670, 1971.
- 19) Yeager DW, Cholak J, Henderson EW. Determination of lead in biological and related material by atomic absorption spectrophotometry. *Environ Sci Technol* 5: 1020-1030, 1971.
- 20) Kotsonis FN, Klaassen CD. The relationship of metallothionein to the toxicity of cadmium after prolonged oral administration to rats. *Toxicol Appl Pharmacol* 46:39-54, 1978.
- 21) Mitruka BM, Rawnsley HM. Clinical biochemical & hematological reference values in normal experimental animals & normal humans. 2nd ed Masson New York 63, 1981.
- 22) Sheeham PM, Clevidence BA, Reynolds I.K. Carcass nitrogen as a predictor of protein requirement for mature female rats. *J Nutr* 111:1224-1230, 1981.
- 23) Kelsay JL, Behall KM. Effect of fiber from fruits and vegetables on matabolic responses of human subjects. I, Bowel transit time, number of defecations, fecal weight, urinary excretions of energy and nitrogen and apparent digestibilities of energy, nitrogen and fat. *Am J Clin Nutr* 31:1149-1153, 1978.

- 24) Kojima S, Effect of three proteins on absorption of Cd in rats. *Toxicology* 34:161-165, 1985.
- 25) Omori M, Muto Y. Nutritional influence on the onset of renal damage due to long term administration of Cd in young and adult rats. *N. Nutr Sci Vitaminol* 23:349-354, 1977.
- 26) Nordberg GF, Piscator M. Influence of long term Cd exposure on urinary excretion of protein and Cd in mice. *Environ Physiol Biochem* 2:37-41, 1972.
- 27) Cherian MG, Nordberg M. Cellular adaptation in metal toxicology and metallothionein. *Toxicology* 28:1-6, 1983.
- 28) George V. Dietary fibers and absorption of nutrients. *Proc Soc Exp Biol Med* 180:432, 1985.
- 29) Vahouny GV. 'Dietary Fiber' Pleum NY, 1980.
- 30) Thompson J, Jone DD. The effect of metal ions on the activity of delta-aminolevulinic acid dehydratase. *Br J Ind Med* 34:32-36, 1977.
- 31) 김미경, 정해량. 식이내 단백질과 철분수준이 흰쥐의 Fe, Cu 및 Zn 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 15:258-267, 1982.
- 32) Bryce SD, Stephens R. Sources and effects of environmental lead. In: Trace elements in health, ed. Rese, J pp. 81-131, Butterworths, London, 1983.
- 33) 김미경, 조경희. 납(Pb)과 단백질 수준을 달리 한 식이로 사육한 성장기 흰쥐의 체내 대사 변화. *한국영양학회지* 19:5- , 1986.
- 34) 김미경, 이해영. 납중독된 흰쥐에서 식이 단백질 수준 및 제독기간에 따른 제독효과 비교연구. *한국영양학회지* 22:185-193, 1989.
- 35) 김미경, 김정숙. 식이내 납과 지방수준이 흰쥐의 체내 지방대사에 미치는 영향. *이화여자대학교 석사학위 청구논문* 1987.