

## 납(pb)과 지방수준을 달리한 식이로 사육한 성장기 흰쥐의 체내대사변화

김 정 숙・김 미 경

이화여자대학교 식품영양학과

### Metabolic Changes in Growing Rats Fed Diets with Different Levels of Lead and Lipid

Joung - Sook Kim Mi - Kyung Kim

*Dept. of Food & Nutrition, Ewha Womans Univ., Seoul, Korea*

#### = ABSTRACT =

This study was performed to investigate the effects of lead poisoning and different levels of dietary lipid on lead and lipid metabolism in the rats.

Forty eight male weanling rats of Sprague-Dawley strain weighing  $73.1 \pm 11.1$ g were blocked into 6 groups according to body weight. Dietary lipid were given at the levels of 5, 20 and 40% of total caloric intake and lead were either administered or not.

The results obtained are summerized as follows;

1) Food intake, weight gain, F.E.R., liver and epididymal fat pad weights, weight and length of bone, hematocrit and hemoglobin content in Pb-administered groups were lower than these in Pb-free groups.

2) Plasma lipid and cholesterol levels were tended to be higher in Pb-administered groups than in Pb-free groups, while liver lipid and cholesterol levels were tended to be lower in Pb-administered groups.

3) Fecal dry matter excretion was tended to be higher in Pb-administered groups than in Pb-free groups, and were increased with increasing dietary lipid level. Daily fecal excretions of lipid and cholesterol were higher in high lipid groups than in low lipid groups and these levels were even higher in the animals exposed to Pb than in Pb-free groups.

4) Pb contents in blood, liver, kidney and bone were significantly higher in Pb administered groups than in Pb-free groups. Pb levels of blood, liver and bone did not show any significant difference among groups with different levels of dietary lipid, but Pb concentration in kidney of Pb-administered groups increased with increasing dietary lipid level.

5) Daily urinary and fecal Pb excretions were higher in Pb-administered groups than in Pb-free groups. Among Pb-administered groups, daily urinary Pb excretion was tended to be higher in high lipid groups than in low lipid group and daily fecal Pb excretion was tended to be lower in high lipid group than in low lipid group. Pb absorption ratio was tended to be increased with in creasing dietary lipid level.

Above results suggest that, in exposing to the Pb pollution, low lipid intake must be recommended. High lipid intake seemed to increase lead toxicity by increasing Pb absorption.

## 서 론

오늘날 우리의 환경속에서 중금속 화합물의 피해는 날로 심각한 문제로 대두되고 있다<sup>1,2)</sup>. 환경오염성 중금속 가운데 Pb(납)은 자연계에 널리 존재하고 있으며 인체내에도 미량 존재하는 금속으로, 적은양의 흡수에도 독성을 일으킬 가능성이 큰 원소로서, 주로, 오염된 동식물성 식품과 물의 섭취, 대기중의 Pb를 흡입함으로써, 소화기관과 호흡기관을 통해 인체내에 들어오게 된다<sup>3)</sup>. 대기, 식품, 물중의 Pb함량은 지역에 따라 차이가 있으나<sup>4)</sup>, 성인이 식수, 공기, 음식을 통해 하루에 섭취하는 Pb의 양은 약 0.3~0.6mg이며 체중 1kg 당 0.05mg으로 보고되어 있다<sup>5,6)</sup>.

정상적인 성인 남자의 체내 총 Pb함량은 90~400mg으로, 그중 90%가 골격에 존재하며, 그밖에 간, 신장 등의 조직에 분포되어 있다고 한다<sup>4)</sup>. Pb섭취량이 다소 증가되었을 경우에는 뇨와 변으로의 Pb배설량이 증가되어 조직내 축적량이 증가되지 않으나, 다량의 Pb를 섭취했을 경우에는 흡수와 배설의 불균형으로 인해 체내에 축적현상을 초래한다고 한다<sup>7)</sup>. 식품을 통하여 섭취하는 Pb의 흡수율은 5~10%이며<sup>8)</sup>, 연령이 증가함에 따라 Pb의 흡수율이 감소되며, 어린이의 경우에는 Pb의 흡수율이 높기 때문에 중독될 가능성이 높다고 한다<sup>9)</sup>.

인체에 Pb가 축적되었을 때는 체중감소, 빈혈, 간과 신장등 장기의 생화학적 및 형태학적 변화,

면역능력의 감소, 뇌의 손상과 같은 중독현상을 일으키게 되는데<sup>4)</sup>, 연령, 영양상태 및 식이조성이 Pb의 흡수 및 조직내 축적에 많은 영향을 주며, 성인보다는 어린이가 Pb흡수율이 더 크며<sup>9)</sup>, 영양불량일 경우에 Pb중독의 위험이 커지고<sup>10-12)</sup>, 식이제한시 Pb의 흡수율이 증가된다고 한다<sup>13)</sup>. 그리고 무기질과 비타민, 단백질, 지방 등의 식이인자가 Pb의 체내 대사과정에서 Pb와 상호작용하여 Pb의 중독현상을 증감시킨다는 여러보고들<sup>10),12),14)-25)</sup>이 있으나, 자세한 기전은 아직 확실히 알려지지 않았으며, 특히 열량소가 Pb중독에 미치는 효과에 대한 연구는 별로 보고된 바 없다<sup>19,22-24)</sup>.

본 연구는 열량소중 지방의 식이기준을 달리 하였을때 납중독의 영향이 어떻게 변화되는가를 알아보기 위하여 시도되었다. 이에 흰쥐를 대상으로 납과 지방의 섭취수준을 달리하여 실험을 행한후 납이 성장과 지방대사에 미치는 영향을 먼저 알아보고 이러한 영향이 식이내 지방수준에 따라 차이가 있는지를 밝혀보고자 하였다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험동물의 사육

평균체중이 73.1±11.1g인 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐 48마리를 체중에 따라 난피법에 의해 8마리씩 6군으로 나누어 Table 1과 같은 내용으로 3주간 사육하였다(동물의 사망위험으로 3주이상 사육실험을 지속할 수 없었다).

실험동물은 stainless steel cage에서 한마리씩 분리사육 하였다. Pb공급은 10,000ppm이 되도록 lead

acetate를 탈이온 증류수에 녹여 drinking water로 공급하였고 여기에 lead acetate를 용액으로 유지시키기 위해 5% acetic acid를 1당 3ml씩 넣었으며<sup>25)</sup>, 실험조건을 일치시키기 위해 Pb를 공급하지 않은 군에도 물 1당 5% acetic acid를 3ml씩 넣어 주었다. 물과 식이는 adlibitum feeding 방법으로 공급하였다. 그러나 Pb의 흡수율을 측정하기 위해서 lead acetate 100mg을 0.2ml의 탈이온 증류수에 녹인것을<sup>26)</sup> 실험종료 전 5일간 경구투여하고 이중 마지막 3일간 뇨와 변을 채취하였다.

## 2. 실험동물의 식이

본 실험에서 사용한 식이의 구성성분은 Table 2와 같고, 탄수화물공급원으로는 설탕(제일제당), 단백질공급원으로는 Casein(New Zealand Dairy Board, Wellington, N.Z.), 지방공급원으로는 옥수수유(해표)를 사용하였다. 실험식이의 탄수화물:단

Table 1. Classification of experimental animals

Experimental group*	Dietary lipid level(%)	Pb administration**
LLO	5	-
LLPb	5	+
SLO	20	-
SLPb	20	+
HLO	40	-
HLPb	40	+

\* LLO:Low lipid diet group  
 LLPb:Pb-administered low lipid diet group  
 SLO:Standard lipid diet group  
 SLPb;Pb-administered standard lipid diet group  
 HLO:High lipid diet group  
 HLPb:Pb-administered high lipid group

\*\* - :Pb not administered  
 + :Pb administered

Table 2. Compositions of experimental diets

(per kg diet)

Ingredients	Epx. group	LLO and LLPb	SLO and SLPb	HLO and HLPb
Sucrose (g)		790	703	557
Casein (g)		148	162	185
Corn oil (g)		22	95	218
Lead acetate (g)		-	-	-
Salt Mixture <sup>(1)</sup> (g)		40	40	40
Vitamin A.D. Mixture <sup>(2)</sup> (ml)		1	1	1
Vitamin E.K. Mixture <sup>(3)</sup> (ml)		2	2	2
Water Soluble vitamins <sup>(4)</sup>		*	*	*
Vitamin B <sub>12</sub> <sup>(5)</sup> (ml)		1	1	1

(1) Composition of salt mixture( /kg diet): Calcium Phosphate, dibasic 20g, Sodium Chloride 2.96g, Potassium Citrate Monohydrate 8.8g, Potassium Sulfate 2.08g, Magnesium Oxide 0.96g, Manganous Carbonate 0.14g, Ferric Citrate 6H<sub>2</sub>O 0.24g, Zinc Carbonate 0.064g, Cupric Carbonate 0.012g Potassium Iodate 0.0004g, Sodium Selenite 0.0004g, Chromium Potassium Sulfate 0.0002g, Sucrose to make 40.0g.

(2) Vitamin A.D. mixture( /ml corn oil): Vitamin A 0.1mg, Vitamin D 0.01mg.

(3) Vitamin E.K. mixture:  $\alpha$ -tocopherol acetate 5g, Menadion 200mg, Corn oil 200ml.

(4) Water soluble vitamin mixture( /kg diet): Choline Chloride 2,000mg, Thiamin Hydrochloride 10mg, Riboflavin 20mg, Nicotinic Acid 120mg, Pyridoxine 10mg, Calcium Pantothenate 100mg, Biotin 0.05mg, Folic Acid 4mg, Inositol 500mg, Para-Amino Benzoic Acid 100mg.

(5) Vitamin B<sub>12</sub> solution: Vitamin B<sub>12</sub> 1mg/100ml distilled water.

백질 : 지방의 열량구성비(%)는 저지방(LLO와 LLPb) 식이는 80:15:5, 표준지방(SLO와 SLPb) 식이는 65:15:20, 고지방(HLO와 HLPb) 식이는 45:15:40 이었다.

### 3. 실험방법

#### 1) 식이섭취량과 체중의 측정

식이섭취량은 실험기간동안 매일 일정한 시간에 측정하였고, 체중은 매주 한번씩 일정한 시간에 측정하였으며, 사료효율 (Feed Efficiency Ratio: FER)을 산출하였다.

#### 2) 혈액 채취 및 각종성분분석

##### (1) 채혈방법

혈액은 실험기간 종료시 12시간 굶긴 쥐들을 ethyl ether로 마취시킨후 heart puncture 법으로 채취하여 채혈직후 hematocrit, hemoglobin을 측정하고 나머지 혈액은 heparin 처리가 된 2개의 다른 시험관에 받아, 하나는 Pb 함량분석을 위하여 냉동보관 하였고, 또 다른 하나는 2,500r.p.m에서 20분간 원심분리하여 혈장을 얻었다.

##### (2) Hematocrit 치와 Hemoglobin 의 측정

Hematocrit은 채혈직후 heparin 이 처리된 모세관에 빨아들여 hematocrit centrifuge에서 원심분리시킨후 packed red cell volume의 백분율을 측정하였다.

Hemoglobin은 Sahli씨 혈액소계를 사용하여 측정하였다.

##### (3) 혈장의 총지방 및 총콜레스테롤함량측정

총지방함량은 Frings 법<sup>27)</sup>에 의하여, 총콜레스테롤함량은 Zak 법<sup>28)</sup>에 의하여 측정하였고 분광광도계로 540nm, 560nm에서 각각 흡광도를 측정하여 비색정량하였다.

##### (4) 혈액중 Pb 함량분석

혈액중 Pb 함량은 Zinterhofer<sup>29)</sup>법을 이용하여 수포화MIBK(Methyl-Isobutyl-Ketone)로 Pb를 추출하여 원자흡광계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin-Elmer Co, Model2380) 283.3nm에서

측정하였다.

#### 3) 각종장기와 뇨, 변의 채취 및 각종성분분석

##### (1) 각종장기의 채취

채혈직후 실험동물들을 해부하여 간, 신장, 정소상체지방조직(epididymal fat pad)의 무게와 대퇴골(Femur) 및 경골(tibia)의 무게와 길이를 측정하였다.

##### (2) 뇨, 변의 채취

실험종료전 3일간 stainless steel metabolic cage에서 뇨와 변을 채취하였다.

##### (3) 간, 변의 총지방, 총콜레스테롤함량측정

총지방함량은 Folch 법<sup>30)</sup>에 의하여 정량하였으며, 총콜레스테롤함량은 Folch 법에 의하여 추출한 총지방을 chloroform으로 녹인후 Zak법<sup>28)</sup>에 의하여 측정하였다.

(4) 간, 신장, 뼈(tibia), 변 및 뇨중 Pb함량측정 간, 신장, 뼈(tibia), 변은 110°C의 oven에서 함량이 되도록 건조한후 500°C의 muffle furnace에서 회화시켜 Yeager법<sup>31)</sup>을 이용하여 원자흡광계 283.3nm에서 Pb함량을 측정하였다.

뇨중의 Pb함량은 Zinterhofer법<sup>29)</sup>에 의하여 원자흡광계 283.3nm에서 측정하였다.

### 4. 통계 처리

본 연구의 모든 실험결과는 각 실험군당 평균치와 표준오차를 계산하였고  $\alpha=0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test에 의하여 각 실험군의 평균치간의 유의성을 검정하였으며, 각 실험인자(A: Pb 공급유무에 의한 영향, B: 식이지방수준에 의한 영향, AB: Pb 공급과 식이지방수준의 상호작용에 의한 영향)들의 영향은  $\alpha=0.05$ 수준으로 F-test에 의하여 유의성을 검정하였다.

### 결과 및 고찰

이상과 같이 행한 실험의 결과를 Pb의 공급유무와 식이지방수준에 따라 살펴 보겠다.

1) Pb 공급유무에 따른 영향

Table 3에서 보는바와 같이 식이섭취량, 체중 증가량, 식이효율은 Pb 공급에 의해 강조됨을 볼 수 있었다. 이는 Pb 투여가 식이섭취량을 감소시키며<sup>32)</sup> 체중감소와 식이효율의 감소를 가져온다는 여러보고<sup>12)13)19)33)</sup>와 일치하였다. 그러므로 Pb공급으로 인한 체중감소의 원인은 식이섭취량의 저하와 영양소의 흡수 및 대사상의 장애와 관련이 있을 것으로 생각되며, 이로 인하여 Pb 공급군들의

식이효율이 낮았던 것으로 보인다.

Table 4에서 보는 바와 같이 간과 정소상체지방조직의 무게는 Pb 공급시 감소됨을 보였으나, 전체 체중에서 이들 조직이 차지하는 비율은 오히려 Pb 공급에 의해서 다소 증가되어, 간에서는 저지방군(4.2%에서 4.6%로), 표준지방군(4.0%에서 5.4%로), 고지방군(4.0%에서 5.4%로)에서 모두 증가되었고, 정소상체지방조직도 저지방군(0.4%에서 0.6%로), 표준지방군(0.6%에서 0.7%로),

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

Exp. group	Food intake (g/day)		Weight gain (g/3 weeks)		FER	
LLO	122±0.3*	a**	18.9±0.9	b	1.55±0.08	b
LLPb	8.4±0.5	b	6.0±1.4	c	0.70±0.12	c
SLO	124±0.7	a	23.5±2.6	ab	1.84±0.14	b
SLPb	8.8±0.5	b	2.7±0.8	c	0.31±0.09	d
HLO	121±0.9	a	28.1±3.2	a	2.29±0.11	a
HLPb	7.5±0.4	b	0.3±1.4	c	0.08±0.20	d
Significant factor***	A		A, AB		A, AB	

\* Mean ± S.E.

\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at α=0.05 level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at α=0.05 level by F test.

AB: The effect of Pb administration and dietary lipid level interaction is significant at α=0.05 level by F test.

Table 4. Liver, Kidney and Epididymal Fat Pad Weights of experimental rats

Exp. group	Liver (g)		Kidney (g)		Epididymal Fat Pad (g)	
LLO	5.31±0.32*	ab***	1.30±0.07	N.S.**	0.74±0.12	bc
LLPb	3.99±0.24	c	1.24±0.10		0.37±0.14	c
SLO	5.44±0.39	ab	1.27±0.10		1.00±0.14	ab
SLPb	4.46±0.41	bc	1.28±0.07		0.48±0.13	c
HLO	6.10±0.39	a	1.42±0.09		1.28±0.20	a
HLPb	4.10±0.33	c	1.50±0.09		0.29±0.24	c
Significant factor****	A				A	

\* Mean ± S.E.

\*\* N.S.: Not significant at α=0.05 level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at α=0.05 level by Duncan's multiple range test.

\*\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at α=0.05 level by F test.

Table 5. Weights and lengths of femur and tibia of experimental rats

Exp. group	Length (cm)				Weight (g)			
	Tibia		Femur		Tibia		Femur	
LLO	27±0.1*	b**	33±0.1	ab	0.58±0.02	a	0.53±0.05	a
LLPb	24±0.0	c	30±0.0	c	0.44±0.02	b	0.40±0.03	bc
SLO	27±0.1	b	33±0.1	ab	0.54±0.03	a	0.49±0.02	ab
SLPb	24±0.0	c	29±0.0	c	0.43±0.00	b	0.38±0.01	c
HLO	29±0.1	a	34±0.0	a	0.56±0.03	a	0.48±0.03	ab
HLPb	24±0.0	c	31±0.1	bc	0.43±0.02	b	0.40±0.03	bc
Significant factor***	A		A		A		A	

\* Mean ± S.E.

\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

Table 6. Hemoglobin Content and Hematocrit value of experimental rats

Exp. group	Hemoglobin(g/100ml)	Hematocrit(%)
LLO	13.6±1.0* a**	44.9±2.8 a
LLPb	10.5±1.0 b	39.4±3.1 b
SLO	14.5±0.9 a	51.1±3.6 a
SLPb	11.0±0.7 b	40.9±2.8 b
HLO	14.3±1.2 a	47.5±3.1 a
HLPb	11.5±0.7 b	39.9±4.9 b
Significant factor***	A	A

\* Mean ± S.E.

\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

고지방군(0.4%에서 0.8%로)에서 모두 증가됨을 보여, Pb를 공급한 경우 간과 체중에 대한 비율로 환산하면 비대해짐을 볼 수 있었으나, 신장의 무게는 Pb공급에 의해 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과를 Pb투여로 인해 간, 신장등의 조직이 큰 영향을 받는다는 여러보고<sup>10)12)</sup>와 비교해 볼

때, 간과 지방조직에서는 일치하였으나, 신장에서는 일치하지 않았다.

뒷다리 뼈의 무게와 길이는 Table 5에서와 같이 Pb를 공급한 경우에 감소되는것을 볼 수 있었는데, 이것은 Pb와 Ca가 흡수와 배설, 조직(뼈)으로의 축적과정에서 서로 경쟁함에 의해 조직(뼈)의 Pb와 Ca함량은 역의 관계가 있다는 여러 보고들로<sup>15)16)22)</sup> 미루어 볼 때, Pb투여로 인하여 뼈의 성장이 방해받았기 때문이 아닌가 생각 된다.

Hemoglobin과 Hematocrit치는 Table 6에서와 같이 Pb공급시 세식이지방수준에서 모두 유의적으로 감소되어 흰쥐의 정상범위인 13.4~15.8g/100ml와 44.4~50.4%<sup>34)</sup>에 각각 미달되었다. Pb는 적혈구의 용혈을 증가시키고, heme합성과정중의 여러단계에서 효소작용을 저해하기 때문에 hemoglobin 및 적혈구 생성이 감소되어 빈혈을 야기한다고 하며<sup>4)</sup>, Klauder와 Petering<sup>14)</sup>은 Pb투여로 인한 빈혈은 Fe결핍성 빈혈과는 달리 Pb에 의해 Cu결핍현상이 일어나 Fe의 이용과 동원(mobilization)에 장애를 가져오므로써 일어난다고 보고했으나 Pb중독으로 인해 야기되는 빈혈의 원인에 대해서는 아직 정확히 규명되지 않았다<sup>12)15)</sup>.

혈청의 총지방과 총콜레스테롤 함량은 Table 7에서와 같이 Pb 공급에 의해 다소 높아지는 경향을 볼 수 있었으며 특히 HLPb군의 cholesterol수준은 현저하게 높았다. Pb 섭취시 혈장내 총지방과 총콜레스테롤 함량이 증가되는 이유는 아직

잘 알려지지 않았으나, Pb 증독으로 인한 stress의 영향을 완전히 배제할 수는 없다고 생각되며, Friedman<sup>35)</sup> 등은 stress를 받을 경우에 stress 홀몬인 catecholamine이 지방조직내의 지방분해를 촉진하여 혈장내 콜레스테롤과 중성지방의 농도를 증가시킨다고 보고하였다.

간의 총지방과 총콜레스테롤함량은 Table 8에서와 같이 Pb 공급에 의해 감소되는 경향을 볼 수 있었는데, 특히 총콜레스테롤함량의 경우 더욱 뚜렷하였다. Pb 공급에 의해 간의 지방과 콜레스테롤함량이 감소되는 원인은 확실히 알 수 없으나 총콜레스테롤의 경우 Pb 공급시 혈청과 변의 총콜레스테롤함량의 증가와 관계가 있을 것으로 생각된다.

Table 9에서와 같이, 하루 변배설량은 Pb공급에 의해 다소 높아짐을 보여, Pb공급에 의해 영양소의 흡수가 감소될 가능성이 있을 것으로 생각된다. 하루 변중의 총지방과 총콜레스테롤 배설량은 특히 총콜레스테롤배설량이 Pb공급시 다소 증가되는 경향을 보였는데, 이것은 Pb공급시 변의 단위무게당함량은 차이가 없으므로, 하루 변배설량의 증가에 따른 결과로 보인다.

Table 7. Plasma Lipid and Cholesterol contents of experimental rats (mg/100ml serum)

Exp. group	Total Lipid	Total Cholesterol
LLO	449±42* N.S <sup>***</sup>	76±10 b <sup>***</sup>
LLPb	494±70	86±10 ab
SLO	311±30	63±5 b
SLPb	418±42	80±9 ab
HLO	313±25	65±12 b
HLPb	460±106	105±23 a
Significant factor <sup>***</sup>	A	

\* Mean±S.E.

\*\* N.S.: Not significant at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

Table 8. Liver Lipid and Cholesterol contents of experimental rats

Exp. group	Total Lipid				Total Cholesterol			
	mg/g wet liver		mg/total liver		mg/g wet liver		mg/total liver	
LLO	42±1*	ab <sup>**</sup>	225±13	ab	45±4	bc	240±23	b
LLPb	39±1	b	156±11	b	36±3	c	131±13	bc
SLO	43±2	ab	218±41	ab	51±4	b	279±34	b
SLPb	41±5	ab	182±22	ab	23±9	c	100±37	c
HLO	50±4	a	311±37	a	82±11	a	514±81	a
HLPb	44±4	ab	178±15	ab	30±12	c	118±67	c
Significant factor <sup>***</sup>					A, B, AB		A, B, AB	

\* Mean ± S.E.

\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

B: The effect of dietary lipid level is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

AB: The effect of Pb administration and dietary lipid level interaction is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

Table 9. Fecal lipid and cholesterol contents and feces weight of experimental rats

Exp. group	Total Lipid		Total Cholesterol		Dry Feces (g/day)
	mg/g dry feces	mg/day	mg/g dry feces	mg/day	
LLO	141±10 * bc***	36± 5 b	48± 3 b	12± 1 c	0.23±0.04 N.S.**
LLPb	147±26 bc	50± 7 ab	65±10 b	25± 5 bc	0.34±0.06
SLO	182±11 b	47± 4 ab	49± 6 b	12± 1 c	0.27±0.02
SLPb	112± 9 c	49±12 ab	67±16 b	25± 5 bc	0.39±0.07
HLO	240±10 a	87±22 a	98± 8 a	33± 5 ab	0.37±0.09
HLPb	182±10 b	88±27 a	99± 9 a	45±10 a	0.46±0.11
Significant factor****	A, B, AB	B	B	A, B	

\* Mean ± S.E.

\*\* N. S. : Not significant at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

B: The effect of dietary lipid level is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

AB: The effect of Pb administration and dietary lipid level interaction is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

혈액, 간, 신장, 뼈의 Pb 함량은 Table 10에서 보는바와 같이 Pb 공급군들에서 모두 유의적으로 높게 나타나, Pb 공급시 혈액 및 여러조직에 Pb 함량이 증가된다는 여러보고<sup>10)12)16)18)33)</sup>와 일치하였다. Moore와 Goyer<sup>18)</sup>는 간, 신장과 같은 조직의 세포내 Pb는 대부분 봉입체(inclusion body)를 형성해서 Pb를 불용성으로 만들어 Pb 배설을 막는다고 했다. 즉 Pb를 함유하고 있는 봉입체는 생리적 식염수에 불용성이며, 40~50 µg/mg 단백질의 농도로 존재하고, Ca, Fe, Zn, Cu, Cd 등을 함유하고 있으며, Pb를 세포내에 축적시킨다고 하였으나, 조직내 Pb 함량이 증가되는 기전은 아직 자세히 밝혀지지 않는다.

뇨와 변으로의 Pb 배설량은 Table 11에서 보듯이 Pb 섭취시 증가되었는데, 이것은 Pb 섭취량이 증가함에 따라 뇨와 변으로 Pb 배설이 증가한다는 보고<sup>30)</sup>와 일치하였다.

2) 식이지방수준 및 납과 지방의 상호작용에 따른 영향

Table 3에서 보듯이 식이섭취량은 식이지방수

준에 따른 차이가 없었으나 식이효율과 체중증가는 Pb 비공급군들에서는 지방수준이 증가함에 의해 증가되었으나, Pb 공급군들에서는 지방수준 증가에 따라 감소되는 경향을 보여 주었는데, 이는 고지방식을 공급할 경우, Pb 흡수가 증가한다는 Bartrop<sup>22)</sup>의 보고와 Table 11의 본 논문결과와 관련지어 볼때, 증가된 식이지방에 의해 Pb 흡수가 증가되어 Pb의 독성영향이 커졌기 때문이 아닌가 생각된다.

간, 신장, 정소상체지방조직의 무게, 뒷다리 뼈의 무게 및 길이, Hemoglobin과 Hematocrit치, 혈장내 총지방과 총콜레스테롤함량은 Table 4~7에서 보듯이 식이지방수준에 따른 차이가 없었으나, Table 8에서와 같이 간의 총지방함량은 고지방군들이 저지방군들보다 다소 높은 경향을 보였으며, 간의 총콜레스테롤함량은 Pb 비공급군들에서는 지방수준이 높을수록 높았으며 Pb 공급군들에서는 유의적은 아니나 고지방군이 저지방군보다 낮은 경향을 보였다. Pb 비공급군들에서 식이지방수준의 증가에 따른 간의 콜레스테롤함량의 증가로 미루어, 지방섭취량이 증가되면 간에

Table 10. Pb contents in blood, kidney, liver and bone of experimental rats

Exp. group	Blood ( $\mu\text{g}/100\text{ml}$ )	Kidney ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	Liver ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	Bone ( $\mu\text{g}/\text{g}$ Tibia)
LLO	4 $\pm$ 0* b**	32 $\pm$ 15 c	10 $\pm$ 3 b	34 $\pm$ 1 b
LLPb	44 $\pm$ 4 a	7,988 $\pm$ 1,700 b	580 $\pm$ 219 a	1,880 $\pm$ 283 a
SLO	5 $\pm$ 1 b	29 $\pm$ 9 c	11 $\pm$ 1 b	29 $\pm$ 6 b
SLPb	35 $\pm$ 1 a	5,967 $\pm$ 1,493 b	816 $\pm$ 218 a	1,419 $\pm$ 202 a
HLO	4 $\pm$ 1 b	27 $\pm$ 7 c	20 $\pm$ 6 b	37 $\pm$ 3 b
HLPb	45 $\pm$ 4 a	19,306 $\pm$ 3,050 a	877 $\pm$ 225 a	1,909 $\pm$ 232 a
Significant factor****	A	A, B, AB	A	A

\* Mean  $\pm$  S. E.

\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

B: The effect of dietary lipid level is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

AB: The effect of Pb administration and dietary lipid level interaction is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

Table 11. Urinary and fecal Pb excretions and Pb absorption ratio of experimental rats

Exp. group	Urinary Pb (mg/day)	Fecal Pb (mg/day)	Pb Absorption Ratio (%)
LLO	0.08 $\pm$ 0.01* c***	0.20 $\pm$ 0.09 b	-
LLPb	4.42 $\pm$ 0.49 b	80.38 $\pm$ 23.16 a	15.2 $\pm$ 1.3 N.S.**
SLO	0.12 $\pm$ 0.01 c	0.54 $\pm$ 0.10 b	-
SLPb	6.12 $\pm$ 1.11 a	73.98 $\pm$ 20.91 a	19.9 $\pm$ 4.9
HLO	0.14 $\pm$ 0.01 c	0.47 $\pm$ 0.15 b	-
HLPb	6.04 $\pm$ 0.64 a	70.26 $\pm$ 11.90 a	23.7 $\pm$ 9.4
Significant factor****	A, B	A	

\* Mean  $\pm$  S. E.

\*\* N.S.: Not significant at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\* Values within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha=0.05$  level by Duncan's multiple range test.

\*\*\*\* A: The effect of Pb administration is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

B: The effect of dietary lipid level is significant at  $\alpha=0.05$  level by F test.

축적되는 콜레스테롤량이 증가되는 것으로 보인다. O'Brien<sup>37)</sup> 등도 식이지방수준이 증가되었을 때 간이나 정소상체지방조직 등의 체조직내 콜레스테롤 축적이 증가되었다고 하였다.

Table 9에서 보듯이 1일 변배설량은 지방수준 증가에 따라 다소 높아지는 경향을 볼 수 있었으며, 변으로 배설되는 총지방과 총콜레스테롤양은 고지방군들에서 유의적으로 높게 나타나, 지방섭

취량이 많으면 변으로의 총지방과 총콜레스테롤의 배설이 증가하는 것으로 보인다. 이는 Ziegler<sup>38)</sup> 등의 보고와 일치하였다.

Table 10에서 보듯이 혈액, 간, 뼈의 Pb함량은 지방수준에 따른 차이를 볼 수 없었으나, 신장에서는 Pb 공급시 고지방군의 Pb함량이 저지방군과 표준지방군에 비해 유의적으로 높게 나타나, Pb 공급시 고지방식이를 섭취하면 다른조

직보다 신장에 Pb의 축적이 더욱 용이한 것으로 보인다. 그러나 Barltrop<sup>22)</sup>, Quarterman<sup>23)</sup>, Cikrt<sup>24)</sup> 등의 보고에서는 고지방식이를 공급한 경우 Pb 흡수가 증가되어 혈액, 간, 신장, 뼈의 Pb 축적이 모두 증가되었다고 하였다. Barltrop<sup>22)</sup>은 고지방공급시 Pb 흡수가 증가되는 이유로서, Pb, fattyacid, bilesalt가 소장내에서 용해성복합체(soluble diffusible complex)를 형성하여 Pb의 흡수를 쉽게 만들어 주거나, 식이내의 증가된 지방산의 농도가 조직의 대사상태를 Pb 흡수가 잘 되도록 바꾸어 주기때문이라고 보고하였으나, 자세한 기전은 알 수 없다.

Table 11에서와 같이 뇨로 배설되는 Pb량은, Pb공급시 고지방군이 저지방군보다 높았으며, 변의 Pb배설량은 Pb공급시 유의적은 아니나 고지방군이 낮은 영향을 보였다. 이것은 증가된 식이 지방에 의해 Pb 흡수가 증가하여 체내로 다량 들어간 Pb가 소변을 통하여 배설되기 때문으로 보인다. 실제로 Table 11에서 Pb의 흡수율은 지방수준의 증가에 따라 높아지는 경향을 보여주어, Pb를 공급한 경우에 고지방식이에 의해 Pb의 흡수율이 증가되어 변을 통한 Pb 배설량이 감소된다는 Barltrop<sup>22)-24)</sup> 등의 보고와 일치함을 볼 수 있었다.

### 요약 및 결론

본 실험에서는 Pb중독이 성장기 흰쥐의 성장과 체내지방대사에 미치는 영향을 알아보고, 이러한 영향이 식이내 지방수준에 따라 차이가 있는지를 알아보았다.

그 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) 식이섭취량, 체중증가량, 식이효율, 간과 정소상체지방조직의 무게, 뒷다리뼈의 무게 및 길이, Hemoglobin과 Hematocrit치는 Pb비공급군들에 비하여 낮았으며, 그중, 체중증가량과 식이효율은 Pb공급시 식이지방수준이 높을수록 더 낮아지는 영향을 보였다.

2) 혈장의 총지방과 총콜레스테롤함량은 Pb공급군들이 Pb비공급군들에 비하여 높은 경향을 보였으며, 간의 총지방과 총콜레스테롤함량은 Pb공급군들이 Pb비공급군들에 비하여 낮았다.

3) 하루 변배설량과, 변으로 배설되는 총지방과 총콜레스테롤량은 식이지방수준이 높을수록 높았으며 Pb공급시 더욱 증가하였다.

4) 혈액, 간, 신장, 뼈의 Pb함량은 Pb공급시 증가되었으며, 특히 신장에서는 Pb공급시 고지방군에서 더욱 높았다.

5) Pb섭취군에서, 하루 뇨로 배설되는 Pb량은 고지방군이 저지방군보다 높은 경향을 보였으며, 변으로 배설되는 Pb량은 고지방군이 저지방군보다 낮은 경향을 보였고, Pb흡수율은 식이지방수준이 높을수록 높은 경향을 보였다.

이상의 결과로 미루어 보아 Pb의 오염위험이 있는 경우에, Pb중독영향을 완화시키기 위해서는 지방섭취를 감소시켜야 하겠으며, 지방의 이러한 효과는, 지방섭취량이 높으면 Pb의 흡수가 증가되기 때문인 것으로 생각된다.

### REFERENCES

- 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 & effects of environmental lead. In: Trace Elements in Health. Butter worths London* 83-131, 1983
- 5) 김기남 외. *비타민·광물질 영양학*. 향문사, 506, 1985
- 6) Monier-Williams GW. *Trace Elements in Food, Champman & Hall London* 1949

- 7) Hsu FF, Krook L, Pond WG, Jr Duncan. *Interactions of dietary Cadmium with toxic levels of lead and Zinc in pigs, J Nutr* 105: 112, 1975
- 8) NRC. *Nutrition requirement of domestic animals, National Academic of Sciences, Washington DC, 1980*
- 9) Williams H, Kaplan E, Couchman CE, Sayers RR. *Lead poisoning in young children. Pub. Health. Reports, 67:230-235, 1952*
- 10) Mahaffey KR. *Nutritional factors in Lead poisoning. Nutritional Reviews. 39 (10): 353-362, 1981*
- 11) Guinee VF. *Lead poisoning. Am J Med* 52:283-288, 1972
- 12) Mahaffey KR, Goyer RA. *Experimental enhancement of lead toxicity by low dietary calcium. J Lab Clin Med* 72:933-942, 1970
- 13) 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
- 14) Klauder DS, Petering HG. *Anemia of lead intoxication: a role for copper. J Nutr* 107:1779-1785, 1977
- 15) Goyer RA. *Calcium on lead interaction: Some new insights. J Lab Clin Med* 91: 363-365, 1978
- 16) Lederer LG, Bing FC. *Effect of calcium and phosphorous on the retention of lead by growing organism. J Am Med Assoc* 114: 2457-2461, 1940
- 17) Chisolm JR. *Aminoaciduria as a manifestation of renal tubular injury in lead intoxication and a comparison with patterns of aminoaciduria seen in other diseases. J Pediatr* 60:1, 1962
- 18) Moore JF, Goyer RA, Wilson M. *Lead-induced inclusion bodies. Lab Invest* 29: 488, 1973
- 19) 김양선, 유정렬. 유년기 백서의 단백질 부족이 성장후 납중독에 미치는 영향. 한국영양학회지 18(4):318-327, 1985
- 20) Levander OA, Morris VC, Higgs KJ, Ferrett RJ. *Lead poisoning in vitamin E-deficient rat. J Nutr* 105:1481-1485, 1975
- 21) Watson RJ, Decker E, Lichtman HC. *Hematologic studies of children with lead poisoning. Pediatrics* 21:40-46, 1958
- 22) Barltrop D, Khoo HE. *The influence of dietary minerals and fat on the absorption of lead. The Science of the Total Environment* 6:265-273, 1976
- 23) Quarterman J, Morrison JN, Humphries WR. *The effects of phospholipids and bile in lead absorption. Proc Nutr Soc* 103 A, 1977
- 24) Cikrt M, Tichy M. *Role of bile in intestinal absorption of 203 Pb in rats. Experientia* 31:1320, 1975
- 25) Levander OA, Fisher M, Morris VC, Ferretti RT. *Morphology of erythrocytes from vitamin E-deficient lead-poisoned rats. J Nutr* 107:1828-1836, 1977
- 26) Dodds WJ, Wilkins RT. *Animal Mode of Human Disease lead encephalopathy in children Am J Pathol* 86:485-488, 1977
- 27) Frings CS, Dunn RT. *A colorimetric method for determination of total serum lipid based on the sulfo-phosphovanillin reaction. Am J Clin Path* 53:89-91, 1970
- 28) Seligson B. *Standard Method of Clinical Chemistry, Academic Press Inc, New York 1958*
- 29) Zinterhoff LJM, Jatlow PI, Fappiano A. *Atomic absorption determination of lead in blood and urine in the presence of EDTA. J Lab Clin Med* 78:664, 1971
- 30) Folch Jordi, Less M, Sloane Stanley GH. *A simple method for the isolation & purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem* 226:497-509, 1957
- 31) Yeager DW, Cholak J, Henderson FW. *Determination of lead in biological & related material by atomic absorption spectrophotometry. Environ Sci Technol* 5:1020, 1971
- 32) Baernstein HD, Grand JA. *The relation of*

- protein intake to lead poisoning in rats. J Pharmacol Exptal Therap 74:18-24, 1942*
- 33) Singh NP, Thind JS, Vitale LF, Pawlow M. *Intake of magnesium and toxicity of lead: an experimental model. Arch Environ Hlth 168, 1979*
- 34) Mitruka BM, Rawnsley HM. *Clinical Biochemical & Hematological Reference Values in Normal Experimental Animals & Normal Humans. 2nd ed Masson, New York 63 1981*
- 35) Friedman M, Stanford OB. *Effects of epinephrine and norepinephrine on lipid metabolism of the rats. Am J Physiol 199:995-999, 1950*
- 36) Bieberdorf FA, Wilson JD. *J Clin Invest 44: 1834*
- 37) O'Brien BC, Skutches CL, Henderson GR, Reiser R. *J Nutr 107:1340, 1977*
- 38) Ziegler EE, Edwards BB, Jensen RL, Filer LT, Fomon ST. *in Rirchgessner M ed Proceeding of the 3rd International Symposium of Trace Element Metabolism in Man and Animals, Munich, 292, 1978*
-