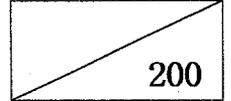


최 종  
보 고 서

664

GA0061-0968



2093d

19904482

# 육류 단백질 및 지방 섭취가 카드뮴 및 납 중독 해독에 미치는 영향에 관한 연구

Effects of animal protein and fat  
on cadmium and lead detoxification

연구기관

한국식품개발연구원

농 립 부

## 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “육류 단백질 및 지방 섭취가 카드뮴 및 납 중독 해독에 미치는  
영향에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 10. 20.

주관연구기관명 : 한국식품개발연구원  
총괄연구책임자 : 이 남 형(책임연구원)  
연 구 원 : 한 찬 규(선임연구원)  
연 구 원 : 노 정 해(연 구 원)  
연 구 원 : 김 영 봉(선임연구원)  
연 구 원 : 성 기 승(선임기술원)  
연 구 원 : 권 회 경(위축연구원)  
연 구 원 : 송 병 재(위축연구원)

위탁연구기관명 : 서울대학교 수의과대학  
위탁연구책임자 : 채 찬 희

**여 백**

# 요 약 문

## I. 제 목

육류 단백질 및 지방 섭취가 카드뮴 및 납 중독 해독에 미치는 영향

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

돼지고기는 예로부터 중금속의 해독과 관련되어 널리 쓰여지고 있으나 이에 대한 과학적인 조사연구가 거의 이루어지지 않았다. 이에 돼지고기 섭취가 과연 중금속에 의한 중독을 완화시킬 수 있는가 그리고 그 기작은 어떠한가를 규명하고자 이 연구를 실시하였다. 현재 우리나라의 축산농가들은 WTO 체제하에서 다소 불안감을 느끼는데, 이 연구 결과를 통하여 소비자들에게 돼지고기와 돼지기름의 우수성을 알리어 돼지고기와 돼지기름의 섭취를 증가시킬 수 있는 계기를 마련하여 양돈업자들에게 희망을 심어주고자 한다. 이 연구의 수행 목적은 육류(돼지고기, 돼지기름)의 섭취가 인체에 유해한 일부 중금속(카드뮴과 납)을 제거하거나 완화시키는 효능을 입증하기 위함이다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구의 효과적인 수행을 위하여, 흰쥐를 이용한 카드뮴과 납의 임상적인 중독현상 유발, 돼지고기 투여에 의한 카드뮴과 납 해독 효과 비교 시험, 돼지기름 투여 시 카드뮴과 납 배설과의 관계조사, 돼지고기와 돼지기름 동시 투여 시 카드뮴과 납 배설과의 관계시험 등을 수행하였다.

#### IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

카드뮴 중독 유발 시험에서는 흰쥐의 성장지연, 카드뮴의 표적 장기인 신장의 무게 증가와 hematocrit 수치 및 hemoglobin 함량의 혈액 지표 감소로 볼 때 흰쥐에서 임상중독을 유발하는 카드뮴 수준은 50 ppm 이상으로 평가됐다. 카드뮴의 해독과 관련하여서 단백질 급원으로 카제인 대신에 돼지고기로 대체했을 때 돼지고기 투여구에서 성장율이 높았고 hematocrit나 hemoglobin 함량이 정상 수준으로 회복됐다. 50 ppm구에서는 간과 신장내 카드뮴 축적량도 돼지고기 대체구가 유의적으로 낮았다. 지방 급원으로서 옥수수기름 대신에 돼지기름으로 대체했을 때 성장율이 정상 수준으로 회복됐고, 신장의 무게와 hematocrit 및 hemoglobin 함량도 정상 수준 범위로 회복됐다. 그러나 간과 신장에 축적된 카드뮴 함량은 지방 급원간에 유의적인 차이가 없었다. 돼지고기와 돼지기름 동시 투여에 의한 해독시험에서는 성장율, 간과 신장의 무게, hematocrit와 hemoglobin 함량에서 대조구와 차이가 없었고, 간과 신장에서 카드뮴 축적량은 돼지고기와 돼지기름 동시 투여구에서 낮은 경향을 보였다.

흰쥐에서 돼지고기 투여에 의한 납 해독 영향 시험 결과를 살펴보면 납 첨가 수준에 따른 성장율에 통계적 차이는 없었으나, 대퇴골에서 납 축적량은 납 첨가 수준에 따라서 증가됐지만, 돼지고기로 대체한 처리구에서는 납 첨가 수준에 관계없이 납 축적량이 유의적으로 낮았다. 돼지기름 투여에 의한 납해독 시험에서는 성장율, hematocrit, hemoglobin, 장기의 무게에서 정상범위내로 회복됐다. 그러나 대퇴골 중의 납함량은 해독 기간중에도 500ppm을 계속 투여한 구나 안한 구나 관계없이 납농도가 대조구에 비해 높은 경향이였다. 체외로 배출된 납함량은 +500ppm, -500ppm구 공히 대조구 보다 돼지기름 투여구가 더 많은 경향을 보였다. 돼지고기와 기름을 동시 투여한 시험에서는 일당중체량, hematocrit, hemoglobin, 간, 신장, 정소의 무게가 정상적인 범위내로 회복됐다. 대퇴골내 납 축적량은 +500 ppm구에서는 대조구보다 낮은 경향을 보였고, 간과 신장내 납함량도 역시 낮았다. 체외로 배출된 납은 처리구 공히 고기와 기름 동시 투여구에서 많은 경향을 보였다.

카드뮴 50 ppm 수준, 납은 500 ppm수준에서 중독시킨 흰쥐를 공시하여서,

카제인이나 옥수수기름 대신에 돼지고기 또는 돼지고기와 돼지기름 동시 투여시 중금속 중독을 완화시키는 효과가 인정됐다. 이 연구 결과를 통하여 소비자들에게 돼지고기와 돼지기름 섭취를 증가시킬수 있는 계기가 되어, 양돈업자들에게 희망을 심어주고 이 연구 결과는 대한 양돈협회에서 대국민 홍보 자료로 적극 활용할 수 있게 되었다. 또한 본시험 결과는 국민건강적 차원에서 도시민만 아니라 산업 현장 근로자들에게도 유익한 자료로 활용할 수 있을 것으로 사려된다.

**여 백**

## S U M M A R Y

Traditionally, pork meat has been recognized as a medicinal food for detoxification of heavy metals. However, there has been no scientific studies to detect its effects. This study was to evaluate the effect of pork on detoxification of heavy metals. Cadmium and lead intoxication was carried, and relieving effect of pork and/or lard on cadmium and lead toxicity was studied. Metabolic turnover of cadmium and lead was also observed.

Based on symptoms of rats exposed by cadmium, such as growth retardation, enlargement of kidney and liver, decrease of hematocrit and hemoglobin, the toxic dose of cadmium to rats was considered as 50 ppm. When casein was replaced by pork as protein source, weight gains in pork-fed groups tended to be higher than those of casein-fed groups and hematocrit and hemoglobin of pork-fed groups were recovered to normal state. Cadmium accumulation of liver and kidney was significantly lower in pork-fed group of 50 ppm cadmium group. When corn oil was replaced by lard as lipid source the growth rate, hematocrit, hemoglobin, and kidney weight were recovered to normality in lard-fed group. However, cadmium accumulation in liver and kidney showed no significant differences between lard and corn oil treatments. Simultaneous treatment of pork and lard on detoxifying stage revealed that cadmium accumulation in liver and kidney showed a tendency to diminish in the pork and lard fed group.

The effects of feeding pork on lead toxicity in rats were also investigated. The lead accumulation in the tibia of pork-fed group was significantly lower than that of the control group. When corn oil was replaced by lard, growth rate, hematocrit and hemoglobin of lard-fed groups were recovered to normal state. Lead excretion of +500 ppm and -500 ppm groups was higher in lard-fed group than corn oil. Simultaneous treatment of pork and

lard on detoxifying stage revealed that weight gain, hematocrit, hemoglobin, and weights of kidney, liver and testis were recovered to normality. Accumulation of lead in tibia, kidney and liver of simultaneous treated group of pork and lard was lower than the control group. Lead excretion was enhanced by pork and lard treatment.

In rats with intoxicated by cadmium 50 ppm or lead 500 ppm, pork and/or lard replacing casein and corn oil showed a relieving effect from toxicity. These results may increase consumption of pork and will contribute toward advertising materials to consumers by hog farmers.

# CONTENTS

Chapter 1. Introduction .....	13
Part 1. Objectives and importance of the study .....	13
Part 2. The scope of the study .....	16
Chapter 2. The effect of pork and lard on cadmium toxicity .....	17
Part 1. Introduction .....	17
1. Cadmium in life .....	18
2. Cadmium metabolism .....	20
3. Cadmium toxicity .....	22
4. Studies on detoxification of cadmium .....	24
Part 2. Materials and Methods .....	26
1. Cadmium toxicity in rats and effect of pork on detoxification .....	26
2. Effects of lard on detoxification of cadmium .....	30
3. Effects of pork and lard on detoxification of cadmium .....	32
Part 3. Results and discussion .....	34
1. Cadmium toxicity in rats and effect of pork on detoxification .....	34
2. Effects of lard on detoxification of cadmium .....	49
3. Effects of pork and lard on detoxification of cadmium .....	57
Chapter 3. The effect of pork and lard on lead toxicity .....	64
Part 1. Introduction .....	64
1. Lead in Foods .....	64
2. Lead metabolism .....	66
3. Lead toxicity .....	68
4. Dietary factors effecting lead detoxification .....	69

Part 2. Materials and Methods .....	75
1. Lead toxicity in rats and effect of pork on detoxification .....	75
2. Effects of lard on detoxification of lead .....	79
3. Effects of pork and lard on detoxification of lead .....	81
Part 3. Results and discussion .....	84
1. Lead toxicity in rats and effect of pork on detoxification .....	84
2. Effects of lard on detoxification of lead .....	101
3. Effects of pork and lard on detoxification of lead .....	109
Chapter 4. Application of the results .....	113
Chapter 5. References .....	116

## 목 차

제 1 장 서 론 .....	13
제 1 절 연구 개발의 목적과 중요성 .....	13
제 2 절 연구내용과 범위 .....	16
제 2 장 돼지고기와 돼지기름이 카드뮴 중독에 미치는 영향 .....	17
제 1 절 서 론 .....	17
1. 현대 사회와 카드뮴 .....	18
2. 카드뮴의 체내 대사 .....	20
3. 카드뮴의 독성 .....	22
4. 카드뮴의 해독에 관한 연구 .....	24
제 2 절 재료 및 방법 .....	26
1. 흰쥐를 이용한 카드뮴 중독 유발과 돼지고기에 의한 해독 효과 .....	26
2. 돼지기름 투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향 .....	30
3. 돼지고기 돼지기름 동시 투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향 .....	32
제 3 절 결과와 고찰 .....	34
1. 흰쥐를 이용한 카드뮴 중독 유발과 돼지고기에 의한 해독 효과 .....	34
2. 돼지기름 투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향 .....	49
3. 카드뮴에 중독된 흰쥐에 돼지고기와 돼지기름 병용급여가 미치는 영향 .....	57
제 3 장 돼지고기와 돼지기름이 납 중독에 미치는 영향 .....	64
제 1 절 서 론 .....	64
1. 식품 속에 함유된 납 .....	64
2. 납의 대사 .....	66
3. 납의 독성 .....	68
4. 납 대사에 영향을 주는 식이 요인 .....	69

제 2 절 재료 및 방법 .....	75
1. 흰쥐를 이용한 납 중독 유발과 돼지고기에 의한 해독 효과 .....	75
2. 돼지기름 투여가 납 해독에 미치는 영향 .....	79
3. 돼지고기 돼지기름 동시 투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향 .....	81
제 3 절 결과 및 고찰 .....	84
1. 흰쥐를 이용한 납 중독 유발과 돼지고기에 의한 해독 효과 .....	84
2. 납 중독 흰쥐에 돼지기름의 해독 효과 시험 .....	101
3. 납 중독 흰쥐에 돼지고기와 돼지기름 동시투여의 해독 효과 시험 .....	109
제 4 장 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의 .....	113
제 5 장 인용문헌 .....	116

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구 개발의 목적과 중요성

이 연구의 수행 목적은 육류(돼지고기, 돼지기름)의 섭취가 인체에 유해한 일부 중금속(카드뮴과 납)을 제거하거나 완화시키는 효능을 입증하기 위함이다.

돼지고기는 예로부터 여러 가지 질병치료를 위한 민간요법으로 다양하게 활용되어 왔다. 특히 폐병이나 기관지 계통의 병 치료를 위해, 수은이나 유황 등에 중독 되었을 때, 길가에서 공해에 의해 기관지 질환을 얻을 수 있는 운전기사나 교통경찰관, 탄광촌의 진폐증 예방에도 돼지고기가 효과가 있다고 알려져 있다. 이렇듯 돼지고기가 민간요법으로는 중금속과 관련되어 널리 쓰여지고 있으나 이에 대한 과학적인 조사연구가 거의 이루어지지 않았다. 이 연구는 돼지고기 섭취가 과연 중금속에 의한 중독을 완화시킬 수 있는가 그리고 그 기작은 어떠한가를 규명하고자 이 연구를 실시하였다.

카드뮴, 납 등 중금속은 인체 내에서의 반감기가 14년 내지 30년이므로 체외 배설이 아주 느린 반면, 중금속 섭취를 줄일 수 있는 생활환경 관련 기술의 개발은 거의 이루어지지 않고 있다. 경제·산업적 측면에서 보면, 자동차 산업, 중화학 공업, 기계 공업 등 고도 산업화 사회에서 부수적으로 발생하는 환경 오염 물질인 카드뮴, 납 등의 중금속도 동반생산이 야기되고 있다. 특히 탄광촌 진폐증 환자나 철공소, 조선소, 자동차업계에 근무하는 근로자들이 중금속에 오염될 확률이 높으며 이로 오는 간접적인 산업 능률 저하로 경제적 피해의 잠재성이 높다. 사회·문화적으로는 공단뿐만 아니라 대도시 주거자들은 매일 분출되는 자동차 매연 등의 공해축적으로 도시 주거환경은 날로 악화되고 있다. 우리가 매일 먹고 마시는 공기, 물, 식품에서 오는 중금속의 체내 축적을 가능한 한 최소화함으로써 건강한 사회적 환경을 조성할 필요성이 있다. 여기에 본 연구의 필요성이 있다.

김정현(1989) 등은 우리 나라에서 대중 음식 중 중금속 함량을 조사 보고했는데, 49개 식당에서 판매되고 있는 11종의 음식(설령탕, 갈비탕, 육개장, 칼국수, 된

장찌개백반, 비빔밥, 비빔냉면, 짜장면, 불고기, 양곱창, 주물럭)을 조사 분석했다(표 3, 4). 표 4에서 보는바와 같이 체중 kg당 섭취량에서 납과 카드뮴이 FAO 최대 일일 허용치 수준에 근접함을 알 수 있다. 즉, 한국 사람이 납과 카드뮴등의 중금속 섭취량이 높다는 것을 의미한다. 이러한 실정에도 불구하고 중금속 중독 시 해독기작에 관한 연구보고는 국내의 경우 초보적 연구수준에 있다. 특히 전래적으로 쓰여 오고 있는 돼지고기나 돼지기름 등 육류섭취시 중금속 해독관련 연구보고는 거의 전무한 상태이다.

Table 1. Total amounts of heavy metals in restaurant meals in Seoul Area

Foods	Amount of metal ( unit: $\mu\text{g}/\text{meal}$ )						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Fe	Zn	Mn
Seolong-tang	202	34	139	1,365	4,259	3,678	828
Galbi-tang	97	26	180	581	15,394	4,573	874
Yeukge-jang	253	30	49	693	13,406	3,723	811
Kalguksoo	60	24	192	806	10,054	1,215	234
Doenjanchige	176	17	298	962	6,729	3,368	1,159
Bibim-bab	39	11	117	826	1,992	1,677	672
Bibim-nangmyon	133	17	170	809	6,571	1,124	739
Chazang-myon	241	11	116	899	11,284	1,461	778
Bulgogi	100	12	80	668	3,681	4,330	162
Yangob-chang	66	10	36	655	4,844	1,864	2,462
Zummuluk	80	9	112	586	3,519	3,863	533
Mean	132	18	136	805	7,430	2,807	841

Table 2. Estimation of dietary intake of heavy metals from restaurant meals in Seoul area

Metals	Intake level		FAO/WHO limits	
	$\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$	$\mu\text{g}/\text{kg B.W.}/\text{d}$	$\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$	$\mu\text{g}/\text{kg B.W.}/\text{d}$
Pb	395	6.59	428	7.13
Cd	55	0.92	57.4-71.1	0.96-1.19
Cr	406	6.78	-	-
Cu	2,414	40.25	3,000-30,000	50-500
Fe	22,291	371.5	48,000	800
Zn	8,422	140.4	18,000-60,000	300-1,000
Mn	2,124	35.4	-	-

\* 김정현등 (1989)

이 연구의 수행 결과로써, 돼지고기와 돼지기름 섭취 시 우리 체내에 축적되는 중금속 카드뮴과 납의 중독을 완화시킬 수 있는 기술을 영양학적 접근을 통하여 확립함으로써 생산자인 양돈 농가와 소비자인 전 국민에게 모두 유익한 연구 결과를 도출할 필요성이 제기된다. 즉, 이 연구의 수행으로 돼지고기의 우수성이 입증되면, WTO 체제하에서 축산물 생산자들에게도 희망을 줄 수 있다. 더불어 소비자들에게도 또한 희망을 줄 수 있는 대안 개발이 사회적으로 긴요한 시점에서 돼지고기나 돼지기름 섭취가 인체에 유해한 중금속을 배출한다는 일반 속설을 과학적으로 체계적으로 규명하는 연구가 요구된다.

## 제 2 절 연구내용과 범위

본 연구의 효과적인 수행을 위하여, 1차년도에는 흰쥐를 이용한 카드뮴의 임상적인 중독현상 유발, 돼지고기 투여에 의한 카드뮴 해독 효과 비교 시험, 돼지기름 투여 시 Cd배설과의 관계조사, 돼지고기와 돼지기름 동시 투여 시 Cd배설과의 관계 시험 등을 수행하였다. 2차년도에는 중금속을 납으로 이용하여, 흰쥐를 이용한 납의 임상적인 중독현상 유발시험, 돼지고기 투여에 의한 납 해독 효과 비교시험, 돼지기름 투여 시 납 배설과의 관계조사, 돼지고기와 돼지기름 동시 투여 시 납 배설과의 관계시험 등을 실시하였다.

## 제 2 장 돼지고기와 돼지기름이 카드뮴 중독에 미치는 영향

### 제 1 절 서 론

카드뮴은 오염된 환경으로 인해 식품, 식수, 공기, 흡연 등을 통하여 인체로 들어올 수 있으며, 장기간 노출 시 체내에 축적되어 장애를 유발시킨다. 우리나라에서의 전국적인 카드뮴 식이 섭취량에 대한 정확한 보고가 없으나 음식을 통한 카드뮴 섭취는 1인당 평균 55-84  $\mu\text{g}/\text{day}$ 로 추정되어 카드뮴에 의한 영향을 무시할 수 없는 것으로 보여진다.

카드뮴과 다른 식이 인자들과의 관계는 주로 무기질과의 상관으로 많이 연구되었으며 일부는 섬유질, 비타민 혹은 부추, 양파, 마늘, 차(茶), 알로에, 키토산등의 특정 식품과의 관계를 다루었다. 섬유질의 경우 흡수단계에 작용을 하여 카드뮴 중독을 완화시키는 것으로 일반적으로 여겨졌고, 무기질의 경우 무기질끼리의 경쟁적인 binding 등이 영향을 미치는 것으로 여겨졌다. 일부에서 카드뮴과 단백질과의 상관 관계를 연구하였으나 아직은 미흡한 실정으로 그 기작 등을 황함유아미노산 등과의 연관성으로서 설명하고자 하였다.

돼지고기는 예로부터 여러 가지 질병치료를 위한 민간요법으로 다양하게 활용되어 왔다. 특히 폐병이나 기관지 계통의 병 치료를 위해, 수은이나 유황 등에 중독 되었을 때, 길가에서 공해에 의해 기관지 질환을 얻을 수 있는 운전기사나 교통경찰관, 탄광촌의 진폐증 예방에도 돼지고기가 효과가 있다고 알려져 있다. 이렇듯 돼지고기가 민간요법으로는 중금속과 관련되어 널리 쓰여지고 있으나 이에 대한 과학적인 조사연구가 거의 이루어지지 않았다. 그리하여 돼지고기 섭취가 과연 중금속에 의한 중독을 완화시킬 수 있는가, 그리고 그 기작은 어떠한가를 규명하고자 이 연구를 실시하였다.

본 연구에서는 돼지고기가 카드뮴 대사 중 어느 단계에서 영향을 주는가를

규명하고자 하여 카드뮴을 사료와 함께 배합하여 일단 중독을 유발시킨 후 돼지고기에 의한 해독효과를 카제인과 비교하고자 하였다. 일반적으로 무기질과 섬유질 등은 카드뮴의 흡수를 억제한다고 여겨지고 있으나, 돼지고기 등의 단백질과 카드뮴과의 관계에서는 카드뮴 대사에 어떻게 영향을 미치는가에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

## 1. 현대 사회와 카드뮴

카드뮴은 주기율표에서 48번째 원소로서 원자량은 112.4이며 푸르거나 은백색의 금속으로서 비교적 부드럽고 신장성이 좋으며 단련이 잘 된다. 지각표면에서는 거의 찾아볼 수 없지만 자연계에 널리 분포되어 있어 혈암, 화성암, 석회암, 호수나 바다의 침강물 등에 존재한다. 카드뮴이 산업적으로 이용된 것은 불과 50년 정도에 지나지 않으나 최근 여러 가지 산업분야에서 다양하게 활용이 되고 있는 중요한 중금속이다. 카드뮴은 부식이 되지 않는 특징 때문에 전기제품의 도금에 이용되며 합금, 땀납, 페인트나 플라스틱의 색소 및 니켈, 카드뮴 전지의 제조 등에 이용되고 있다.

카드뮴이 인체에 들어오는 경로는 주로 식품, 식수, 오염된 공기, 흡연 등이다. 탄광촌에서 먼지나 연기, 금속을 제련할 때와 잡다한 산업물(비료, 석유, 기름, 유기폐기물 등의 불순물) 혹은 카드뮴을 함유한 플라스틱의 색소 등으로부터 유래될 수 있어 카드뮴과 관련된 산업에 종사하는 사람들은 장기간의 카드뮴 흡입으로 중독이 일어날 수 있다. 카드뮴을 함유하는 5가지의 색소를 입힌 플라스틱으로부터 카드뮴과 접촉한 식품을 쥐에게 실험한 결과 급성 중독증이 보고되어 있다(Preda et al., 1978). 또한 하천수에 폐수와 함께 침투하여 하류 일대 농경지의 농작물 등에 이행되기도 하며 토양을 오염시켜 오염된 농작물이 생산되기도 한다. 이란의 도시 중 과거에 waste water treatment를 실시한 적이 있던 3개 도시를 대상으로 재배된 채소의 중금속 함량을 분석하여 waste water treatment를 한 적이 없는 대조구 도시와 비교한 결과 대조구에 비해 카드뮴, 납, 수은등의 중금속 함량이 훨씬 많았던 것으로 나타났다. 양과 0.3, 박하 0.7  $\mu\text{g/g}$  의 카드뮴 농도를 보인데 반해 대조구는 0.10-0.18  $\mu\text{g/g}$ 의 농도를 보였다(Shariatpanahi and Anderson, 1986).

대기 중에도 카드뮴이 존재하나 그 양은 산업체가 많은 대도시나 농촌이나 여부에 따라 지역별로 편차가 있다. 밀집한 대도시 경우  $10\text{--}50\text{ ng/m}^3$  정도인데 반해 농촌은  $1\text{ ng/m}^3$  수준으로 존재한다. 대기 중 카드뮴은 산화물, 염화물, 황화물의 상태이거나 여러 가지 화합물 상태로 존재한다. 그러나 카드뮴 농도는 도시의 규모와 명확한 상관관계를 갖는 대기보다는 산업화된 정도에 크게 영향을 받는다. 일반적으로 식수중의 카드뮴 농도는 매우 낮아서 오염이 안된 상태의 식수에서는  $1\text{ }\mu\text{g/l}$  이하의 농도로 함유되어 있으나 오염이 되는 경우에 카드뮴 농도는 상승하게 된다. 한편 토양 중의 카드뮴 유입은 인산형 비료, 하수구 찌꺼기, 대기 중 오염 침착물 등에 의한다. 이 중 하수구 찌꺼기에 의한 오염이 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 토양 중 일반 카드뮴 수준이  $0.06\text{ mg/kg}$ 으로부터 몇 백 배까지 카드뮴 수준이 올라갈 수 있다. 또한 이러한 토양에서 자라나는 농작물은 뿌리로부터 카드뮴을 흡수하여 농축시킴으로서 고농도의 카드뮴 함유 농산물이 생산될 수도 있다.

한편 일반 식품중의 카드뮴 농도는 매우 낮은 편으로 오스트리아에서 이루어진 식품 중의 카드뮴 농도 분석 결과에 의하면 동물성 식품과 곡물에서 카드뮴 함량이 높았으며( $0.02\text{--}0.07\text{ }\mu\text{g/g}$ ) 우유나 유제품의 카드뮴 함량은 매우 낮았다( $0.002\text{ }\mu\text{g/g}$ )(Spickett, 1979). 특별히 생선이나 패류 등은 protein inducer를 함유하여 수중 환경에서의 100배 이상이나 카드뮴을 농축시킬 수 있다.

타 환경유해성 중금속과 마찬가지로 카드뮴도 인체에 매우 유해하여 지난 50여년간 이를 인체로부터 제거하려는 노력이 있어왔다. 그러나 카드뮴은 생체내에서의 반감기가 매우 길어서 인체 내에 계속적으로 축적이 되며 쉽게 배설이 되지 않는다. 즉 사람은 출생 시에 인체 내에 카드뮴이 존재하지 않지만 연령이 증가함에 따라 점차로 체내에 축적되어 60년 정도를 사는 동안에  $20\text{--}30\text{ mg}$ 의 카드뮴이 인체에 축적되고 이 중  $50\text{--}80\%$ 가 간장과 신장에 존재하게 된다(Kostial, 1986). 전술한 바와 같이 일반적인 식품이나 식수에는 카드뮴이 아주 낮은 농도로만 존재한다. 다만 이들 식품이 폐수나 오염된 공기 등에 의해 영향을 받았을 때에 그 농도가 증가하게 된다. 다음 표 3에서는 캐나다 식품 속에 함유된 카드뮴함량을 분석한 자료이다.

Table 3. Cadmium levels in food categoris

Categoris	Description	n	Mean ng/g	Median ng/g	Range ng/g
I	Milk and dairy	12	0.59	0.40	0.14-2.0
II	Meat and poultry	18	3.96	1.93	0.36-44.3
III	Fish	6	31.94	4.46	1.24-166
IV	Soups	4	5.74	1.94	1.93-11.1
V	Bakery goods, cereals	29	16.59	12.76	3.7 - 99
VI	Vegetables	37	19.27	13.12	0.8-123
VII	Fruits, fruit juices	24	2.53	0.82	0.07-17.1
VIII	Fats, oils	3	16.65	0.66	0.65-48.6
IX	Sugar, candies	8	4.45	1.48	0.61-16.8
X	Beverages	5	0.40	0.45	0.1-0.64
All composites		146	11.20	3.67	0.07-166

\* Dabeka & McKenzie (1992)

## 2. 카드뮴의 체내 대사

일반적으로 위장에서의 카드뮴 흡수율은 2-8% 정도로서 체내 항상성 기전에 의해서 균형이 유지되지 않는다. 오히려 식이 중의 Zn, Ca, P 또는 Se 등이 흡수에 더 심각한 영향을 주는 것으로 알려져 있으며 위장에 의한 흡수보다 호흡기를 통한 흡수율이 훨씬 더 크다. 즉, 흡입된 공기 중 약 20-30%의 카드뮴이 폐에 축적된다. Groten et al.(1991)에 의한 연구에서는 카드뮴의 축적과 독성에 대한 식이 중의 여러 가지 무기질(Ca, P, Mg, Mn, Cu, Fe, Zn, Se)의 영향을 살펴보는 실험을 실시하였다. 8주간 쥐들에게 30 mg Cd/kg의 CdCl<sub>2</sub>를 함유하는 식이를 주어 카드뮴의 독성을 실험한 결과 30 mg Cd/kg 농도는 카드뮴의 잘 알려진 독성효과를 보여 성장지연, 경미한 빈혈, 혈장 transaminase 활성의 증가, 철분 축적 형태의 변화 등

의 양상이 관찰되었으며 과량의 철분을 급여 받은 군에서 카드뮴에 의한 독성과 축적이 적었으며 아연이나 칼슘/인의 혼합형 식이에서도 간과 신장에서의 카드뮴 축적이 70-80%정도 감소하였다. 또한 일일 평균 50  $\mu\text{g}$  이상의 Cd을 섭취하는 미국 남자에서 철, 칼슘, 아연, 망간, 구리 등의 필수 무기질의 대사가 카드뮴에 의해 방해되었음을 보고하고 있다. 처음 두개 원소와 카드뮴의 길항성은 사람에게서 관찰되었으며 나머지 세가지 원소의 길항성은 동물에서만 관찰되었다. 즉 고수준의 카드뮴 섭취는 이들 필수 무기질 대사에 주로 작용함을 알 수 있으며(Fox, 1974) 따라서 식이 중 무기질 함량이 카드뮴의 독성과 축적에 상당한 영향을 줄 수 있음을 시사하고 있다.

혈액 중 카드뮴의 약 90%가 적혈구에 위치하고 있으며 나머지 카드뮴은 조직으로 운반되어 대부분의 metallothionein 합성을 유도하게 된다. 혈중 카드뮴의 농도는 10  $\mu\text{g}/\text{l}$  이하이며 보통 비흡연자보다 흡연자에서 농도가 더 높은 경향을 보인다. 조직 중 카드뮴 농도가 높은 부위는 간과 신장, 뼈 등으로서 만성적으로 카드뮴에 노출이 되게 되면 점진적으로 카드뮴이 이들 조직에 축적된다. 대동물의 경우도 예외는 아니어서 카드뮴이 간과 신장에 가장 높은 수준으로 축적되며 남은 대부분이 뼈에 축적된다(Neathery and Miller, 1975). 정상인의 간장 카드뮴 농도는 0.5-5  $\mu\text{g}/\text{g}$ 정도이며 타 기관은 약 0.4  $\mu\text{g}/\text{g}$ 정도 보유한다.

카드뮴은 주로 변으로 배설되며 그 이유는 카드뮴의 생체 이용율이 매우 낮기 때문이다. 뇨에 의해 배설되는 카드뮴량은 0.005-0.01%(<2  $\mu\text{g}/\text{일}$ )정도이며 생물학적 반감기는 10-15년 정도이다.

흡수된 카드뮴은 systemic blood circulation을 통하여 간으로 운반된 후 소량씩 지속적으로 신장에 운반된다. 따라서 신장의 proximal tubular cell의 카드뮴 농도는 매우 높다. 카드뮴의 해독작용을 하는 것으로 알려져 있는 metallothionein (MT)은 뇨에서 여과된 후 proximal tubular cell에서 재흡수되며 그곳에서 peptides와 amino acid로 분해된다. 일단 분해된 metallothionein 단백질과 amino acid는 또 다른 metallothionein의 합성을 유도하게 되며 이로 인하여 이온형의 카드뮴은 metallothionein과 결합된 상태로 체내에 존재하게 된다. 따라서 metallothionein은 인체에 유해한 카드뮴과 같은 중금속의 일시적 저장창고로서의 역할을 담당하게 되

며 체내에서 참아낼 수 있는 수준이상의 유해한 중금속이 체내에 들어올 경우 유해한 독성 반응을 방지해 주게 된다. Metallothionein은 cystein이 매우 풍부한 분자량 6,000-10,000 정도의 단백질로서 구리, 아연, 납 등의 여러 가지 금속이온과 결합하는 능력이 있다.

Metallothionein 이외에 중금속에 따른 중독현상의 완화 및 해독기구로는 중금속에 의해 발생하는 과산화적 손상을 방지함으로써 이루어질 수 있음이 밝혀졌다. 흰쥐에 카드뮴을 투여했을 때 간조직에 과산화적 손상이 나타남이 관찰되었는데 이는 카드뮴 투여로 인해 생체내에서의 oxygen free radical의 생성에 기인된 것으로 보고되었다. 이러한 과산화적 손상으로부터 생체를 보호하는 항산화적 해독기구인 superoxide dismutase(SOD), glutathione peroxidase(GPX), glutathione S-transferase 등을 들 수 있다. Superoxide dismutase는 superoxide를 hydrogen peroxide와 분자산소로 dismutation을 담당한다. Superoxide 이온과 같은 free radicals은 생체내에서 과산화적 손상을 가져오는 물질로서 이와 같은 효소는 이를 방지하는데 중요한 역할을 한다. Glutathione peroxidase는 selenoenzyme으로서 Se, Mn, Cu, Zn 등의 무기이온이 부족할 경우 이 효소의 활성은 크게 영향을 받게 된다.

### 3. 카드뮴의 독성

카드뮴은 1817년 Strohmeyer에 의해 처음으로 분리되었으며 인체에 미치는 영향은 1932년 Prodan이 처음으로 기술하였다. 카드뮴 독성에 대한 관심은 1960년대 일본에서 이타이 이타이병(Itai-Itai Disease)이 유행하여 크게 대두되었으며 (Friberg and Piscater, 1974) 이타이 이타이병은 카드뮴 만성 중독으로 40세 이상의 농촌여성으로 특히 다산부에 많이 나타나는 질환으로 골격의 무기질 감소와 신장의 기능 장애였다. 이타이 이타이병의 대표적 무기질 감소 현상은 카드뮴의 섭취가 비타민 D 대사에 심각한 영향을 줌으로써 발생하는 것으로 쥐를 이용한 이타이 이타이병에 관한 일본의 한 연구(Adachi 등, 1994) 비타민 D를 뺀 식이를 6주간, 칼슘을 뺀 식이 1주일 후에 4주 동안 구강으로 비타민 D(10 IU/일/쥐)를 급여하면서 카드

음을 0, 5, 20, 50 ppm 농도로 섭취시킨 결과 카드뮴 농도가 50 ppm일 때 뼈 무기질 밀도와 강도가 대조구에 비해 유의하게 낮았으며 이러한 뼈의 이상은 비타민 D의 대사 이상에 의한 것으로 특별히 신장에서 활성형의 비타민 D<sub>3</sub>( $\alpha$ , 25-dihydroxy-vitamin D<sub>3</sub>)의 생성이 저해되는 것으로 추측된다. 일반적인 카드뮴에 의한 영향으로는 성장지연, 빈혈, 특정효소의 활성 저하 등을 들 수 있으며 대표적인 손상은 신장, 간 및 골격조직에서 일어난다.

카드뮴에 만성 중독이 일어나면 신장이 가장 큰 손상을 받게 된다. 즉,  $\beta_2$  - microglobulinuria, proteinuria, glucosuria, aminoaciduria 등의 증상이 발생하게 된다. 카드뮴에 장기간 노출된 근로자의 경우 저분자량 단백질의 뇨 중 배설이 현저하게 증가하게 되며 이때 저분자량 단백질은 분자량 40,000 이하의 것을 말한다. 또한 고분자량 단백질의 배설(albumin, transferrin, immunoglobulin G)도 증가하며 아미노산, 당, 무기질(Ca, P, enzymes) 등도 어느 정도 배설된다. 호흡기계에도 영향을 받아 기관지염(bronchitis), 기능적 손상을 동반하는 폐질환 등이 발생된다(Kostriak, 1986). 신장의 이상으로 인해 무기질 대사에 불균형을 초래하며 중국에는 신장결석, 골연화증(osteomalacia), 골다공증(osteoporosis)등을 야기하게 된다. 이러한 결과의 원인은 신장피질에서 비타민 D의 활성형인 1,25-dihydroxycholecalciferol의 합성이 저해되기 때문이며 이로 인해 칼슘의 흡수가 저해되게 된다. 또한 장 점막에서 Ca-binding protein의 농도도 감소하게 되어 칼슘 대사에 치명적 영향을 주게 된다(Lorentzon, 1977).

카드뮴의 발암성(Carcinogenicity)과 기형성(Teratogenicity) 발현에 관한 연구들도 수행되어 왔다. 쥐에서 카드뮴이 국부 종양을 발생시킨다는 사실이 보고되었으며 Cadmium Oxide를 흡입하는 노동자들에게서 전립선암(Prostatic Cancer) 위험도가 상승하였다. 또한 실험동물에서 기형이 발생하였으며 영아에서는 기형아에 대한 보고는 없었으나 출생시 체중이 감소되었다(Kostriak, 1986).

#### 4. 카드뮴의 해독에 관한 연구

한국식품개발연구원에서는 1995년도 1년간에 걸쳐서 돼지고기 섭취와 카드뮴 대사에 관한 연구를 수행한 바 있다(한국식품개발연구원 보고서 E-1325-0667. 이남형, 한찬규, 노정해, 김영봉, 이복희). S.D 계통의 쥐를 공시하여 7주간 사육시험을 수행하였으며, 카드뮴은  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 를 식수에 타서 0, 25, 50 ppm 수준으로 급여하였고, 돼지고기는 삶은 돼지고기를 단백질 기준으로 표준사료의 카제인 단백질과 50%, 100% 수준에서 대치시켜서 iso-calorie, iso-protein 기준으로 배합표를 작성했다. Cd 처리수준을 높임에 따라서 흰쥐의 성장이 둔화됐고, 혈액 내 hemoglobin 함량과 hematocrit치는 감소됐으며, 신장조직에 대한 병리조직학적 검사 결과 초자질소적, 단백질원주, 출혈정도가 Cd처리구에서 높게 관찰되어서 만성 중독현상으로 판단됐다. 돼지고기 100% 대치구에서 혈액성상은 양호한 편이었으며, 조직에 대한 병리조직학적 검사 결과도 병변이 거의 없는 것으로 관찰됐다. 또한 셀레늄(Se) 및 돼지고기 급여 시 해독기작에 대한 영향을 조사하였다. S.D 계통의 쥐를 공시하여 7주간 사육시험을 수행했으며 Cd은 0, 25, 50 ppm 수준, Se은 0, 10 ppm 수준에서 급여했으며 기타 실험설계나 방법은 1차 시험과 같이 했다. 종합적인 조직 부검소견으로, 돼지고기와 Se을 첨가하지 않은 25 ppm과 50 ppm 카드뮴 처리구에서는 근위곡세뇨관에서 심한병변이 관찰됐으나 돼지고기와 셀레늄을 투여한 25 ppm과 50 ppm 카드뮴 처리구에서는 심한 병변이 관찰되지 않았다. Cd 수준 증가에 따라 혈액 내 hemoglobin 함량과 hematocrit치는 저하 경향이었으나 돼지고기 100% 대치구에서는 대조구와 유의차가 없었다. 신장조직중 metallothionein 함량은 Cd수준이 높을수록 증가 경향이었으며, 돼지고기 투여구도 대조구 보다는 metallothionein 생성이 높은 경향을 보였다. Se은 metallothionein 생성에 영향이 없었다. Cd 체내 축적율은 Cd이 높은 처리구로서, 돼지고기 첨가구와 Se 첨가구에서 유의적으로 낮은 경향을 보였고, 오줌과 분으로 배설되는 Cd량은 이들 처리구에서 유의적으로 높았다. 신장조직의 전자현미경 관찰결과는 돼지고기 급여구가 비급여구보다 양호한 성적이었다. 이상의 시험 결과 몇 가지 보완해야 될 사항으로는 시험기간이 최소 8주 이상 관찰이 필요하고, Cd 투여도 음수보다는 식이 형태로,  $\text{CdSO}_4$ 와  $\text{CdCl}_2$  비교, 문헌에 의한

Cd 중독수준을 적용했지만 해독기작 시험전에 장기간에 걸친 Cd 중독 유발과 관련된 toxic dose의 결정시험이 선행되어야 하고, 돼지고기 단백질만 아니라 돼지기름 영향도 고려되어야 될 사항으로 지적됐다. 카드뮴과 다른 식이 인자들과의 관계는 주로 무기질과의 상관으로 많이 연구되어 왔다. 648일령의 육계에게 6주간중 3주 동안 1) Cd 비첨가 혹은 Se 첨가, 2) 10 ppm Se, 3) 20 ppm Se, 4) 30 ppm Cd, no Se, 5) 30 ppm Cd, 10 ppm Se, 6) 30 ppm Cd, 20 ppm Se를 급여한 결과 식이 중의 카드뮴은 조직의 카드뮴 함량을 증가시켰으며 신장조직에 가장 많은 카드뮴(21 ppm)이 축적되었다. 그러나 Se 첨가식이를 급여한 경우 조직 중의 카드뮴 농도가 유의하게 감소하였다(6.2 ppm 까지 저하)(Ueberschaer 등, 1982).

## 제 2 절 재료 및 방법

### 1. 흰쥐를 이용한 카드뮴 중독 유발과 돼지고기에 의한 해독 효과

#### 가. 실험 배치

본 시험은 돼지고기가 카드뮴에 중독 된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 행해졌다. 그리하여 처음 8주 동안은 일반 식이에 카드뮴을 첨가하여 중독을 유발시켰고, 이중 일부 쥐를 희생시켜 중독을 확인하였고 계속하여 7주 동안은 카드뮴 섭취를 중단시켜, 해독이 저절로 이루어지도록 하였다. 이 해독과정 동안 대조식이의 단백질 급원인 카제인을 돼지고기로 완전대치시켜 돼지고기가 해독에 미치는 영향을 보고자 하였다. 실험배치는 다음과 표 4와 같다.

Table 4. Experimental design for the effect of pork feeding on the intoxication and detoxification of cadmium

Treatment	Intoxication (8 weeks)		Detoxification (7 weeks)		
	Cadmium	# of rats	Treatment	Protein source	
A	0 ppm	18	6	sacrificed	
			6	AC	casein diet
			6	AP	pork diet
B	25 ppm	18	6	sacrificed	
			6	BC	casein diet
			6	BP	pork diet
C	50 ppm	18	6	sacrificed	
			6	CC	casein diet
			6	CP	pork diet
D	100 ppm	18	6	sacrificed	
			6	DC	casein diet
			6	DP	pork diet
E	250 ppm	18	6	sacrificed	
			6	EC	casein diet
			6	EP	pork diet

평균체중이  $125.7 \pm 1.6g$  내의 인 male Spraque-Dawley rats를 90수 공시하였다. 실험 동물은 완전임의배치법에 의해 처리구 별로 체중이 균일하게 처리구당 18수씩 배치하여 2수씩 stainless steel 사육 cage에 넣고 1주간 주위 환경에 적응시킨 후 본 실험을 실시하였다. 처음 8주간은 카드뮴에 의한 중독을 유발시키고자 하여 CdCl<sub>2</sub>를 카드뮴 기준으로 0, 25, 50, 100, 250 ppm을 각각 첨가하여 사료를 제조하였다. 실험식은 AIN-76 Purified diet 배합표를 기준으로 하되 흰쥐 식이 중의 sucrose양을 10%로 줄이고 옥수수 전분으로 대체하였다(표 5). 식이와 증류수는 제한 없이 먹게 하였다.

Table 5. Composition of experimental diets(%)

Ingredient	Treatment				
	A	B	C	D	E
Sucrose	10.0				
Corn starch	55.0				
Casein	20.0				
Cellulose	5.0				
Corn oil	5.0	"	"	"	"
DL. methionine	0.3				
Choline bitartrate	0.2				
Vitamin mixture <sup>1)</sup>	1.0				
Mineral mixture <sup>2)</sup>	3.5				
Cd	0	0.0025	0.005	0.01	0.025

1) Contained per kg mixture ; Thiamin·HCl 600mg, Riboflavin 600mg, Pyridoxine·HCl 700mg, Nicotinic acid 3g, Vit. A 400,000 IU(RetinyI acetate), Vit. E(dL- $\alpha$ -Tocopyryl acetate) 5,000 IU, Vit. D<sub>3</sub> 2.5mg, Vit. K 5.0mg, and sucrose.

2) Contained per kg mixture ; CaHPO<sub>4</sub> 500g, NaCl 74g, K<sub>3</sub>C<sub>6</sub>O<sub>7</sub> · H<sub>2</sub>O 220g, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 52g, MgO 24g, 48% Mn 3.5g, 17% Fe 6.0g, 70% Zn 1.6g, 53% Cu 0.3g, KIO<sub>3</sub> 0.01g, CrK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O 0.55g, and sucrose.

8주 후 카드뮴 중독 효과를 확인하기 위하여 각 처리구에서 임의로 6수씩을 희생시킨 후 생화학적 측정을 실시하였다. 나머지 12수를 임의로 두 처리구씩으로 나누어 모두 10처리구로서 해독 시험을 7주간 행하였다. 해독 시험 동안에는 Cd은 더 이상 첨가하지 않았으며 실험식이의 단백질 급원은 카제인을 이용하거나 (AC, BC, CC, DC, EC) 돼지고기로 완전히 대체되었다. (AP, BP, CP, DP, EP) 돼지고기는 카제인을 대체하기 위해 삶은 뒷다리 부위를 하루 저녁 실온에서 방치한 후 이용하였는데 그 첨가량은 casein을 사용하였을 때와 동일한 단백질 함량이 나오도록 고려하였다. 즉 삶은 돼지고기의 수분(55.9%) 및 단백질 함량(35.9%)을 고려하여 단백질 급원으로서의 카제인 20%를 모두 돼지고기로 대체한 사료에서는 삶은 돼지고기 55.7g 을 첨가하였다.

#### 나. 시료 채취

혈액의 채취는 시험 종료일에 쥐를 12시간 절식시킨 후 ethyl ether로 실험 동물을 마취시켜 복부 대동맥으로부터 헤파린이 처리된 주사기로 채혈한 다음 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 측정에 사용하였다. 장기의 채취는 간장과 신장을 적출하여 0.9% 생리 식염수로 혈액을 씻어내고 장기의 무게를 측정후 냉동 보관하였다. 카드뮴 대사 실험을 위한 뇨와 변의 채취는 실험 종료 전 3일간 stainless steel metabolic cage에서 실시하였다.

#### 다. 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 측정

헤모글로빈 측정은 Cyanmethemoglobin법으로 측정하였다. 즉 cyanide solution 5ml에 0.02ml의 혈액을 가하고 잘 혼합한 다음 spectrophotometer(JASCO, Uvidec-610)를 사용하여 540 nm에서 비색 정량하였으며, 헤마토크릿치는 혈액을 채취한 후 헤파린으로 처리된 모세관에서 모세관의 원리를 이용하여 2/3정도 채운 다음 원심 분리시킨 후 packed red cell volume의 백분율을 측정하였다.

#### 라. 장기 및 배설물의 카드뮴 함량 측정

사료, 간장, 신장, 변 중의 카드뮴 함량은 시료를 회화시킨 후 50% HCl 10

ml를 가하여 hot plate에서 거의 마를 때까지 증발건조 시킨다. 이 과정을 반복한 후 냉각시킨다. 0.1N HCl로 적당 부피까지 희석하여준다. 희석된 시료는 여과지를 이용하여 여과하고 원자흡광계(Atomic Absorption Spectrometer, Perkin-Elmen Co.)를 이용하여 228.8 nm에서 측정하였다.

마. 간의 metallothionein 함량 측정

조직중의 metallothionein(MT) 측정은 Eaton과 Toal(1982)의 방법을 이용하였다. 간 조직 일정량을 취해 4배(v/w)의 10 mM Tris-HCl로 homogenize한다. 10,000×g에서 10분간 원심분리 한 후 상층액을 취하여 끓는 수조에서 2분간 가열한다. 10,000×g에서 2분간 원심분리 한 후 상층액을 얻어낸다. 상층액을 적당 비율(10배-50배)로 희석하여 이 중 400μl를 1.5ml microcentrifuge tube에 취한다. CdCl<sub>2</sub>-Tris buffer용액 400 μl를 섞어 이때의 Cd농도가 2.0 μg/ml가 되게 한 다음 10분간 방치하여 MT가 Cd에 saturate되도록 한다. MT와 결합하지 않은 Cd을 제거하기 위해 Onosaka의 Cd/Hb affinity assay 방법을 따랐다. 2% hemoglobin용액 200μl를 넣고 끓는 수조에서 2분간 가열한 후 냉각시키고 원심분리하여 침전물을 제거한다. 이 과정을 2번쯤 더 반복한 후 상층액에서의 Cd양을 AAS로 측정한다. 1 mole의 MT(MW 6050으로 가정)에 7 mole의 Cd가 붙는다는 가정 하에서 MT의 양을 산출하였다.

바. 대사 시험

실험 종료 전 실험동물을 stainless steel로 된 metabolic cage로 옮겨 72 시간 동안 뇨와 변을 채취한다. 채취한 뇨와 변은 젖은 상태로 냉동보관하고 Yeager법(Yeager 등, 1971)을 이용하여 atomic absorption spectrophotometer (Perkin-Elmer Co, Model 2380)로 222.8 nm에서 측정한다.

\* 카드뮴의 축적량(μg) = Cd 섭취량(μg) - 뇨와 변으로 배설된 Cd량(μg)

$$* \text{카드뮴의 축적율(\%)} = \frac{\text{Cd 축적량 (\mu g)}}{\text{Cd 섭취량 (\mu g)}} \times 100$$

\* 카드뮴의 일반흡수율(%)

$$= 100 \times \frac{\text{Cd 섭취량}(\mu\text{g}) - \text{변으로 배설된 Cd량}(\mu\text{g})}{\text{Cd 섭취량}(\mu\text{g})}$$

사. 통계처리

측정된 자료는 SAS 통계 package program을 이용하여 분석하였다. 실험 식이의 처리에 의한 실험 결과는 각 군의 평균과 표준오차를 계산하였고, 각 군의 평균치의 비교는 분산 분석을 한 후 처리구 간의 유의성을 Duncan's multiple range test로 검정하였다. 또한 실험인자(Cd:중독 시의 Cd 수준, Pork:해독 시의 단백질 급원)의 영향과 이들의 상호작용(Cd\*Pork)에 의한 영향은  $\alpha=0.05$ 수준에서 이원배치 분산분석(two-way analysis of variance)으로 유의성을 검정하였다.

## 2. 돼지기름 투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향

가. 실험 배치

본 시험은 돼지기름이 카드뮴에 중독 된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 행해졌다. 그리하여 처음 6주 동안은 일반 식이에 카드뮴을 첨가하여 중독을 유발시켰고, 이 중 일부 대사 시험을 실시하였으며 이 쥐를 희생시켜 중독을 확인하였고 계속하여 6주 동안은 카드뮴 섭취를 중단시켜, 해독이 저절로 이루어지도록 하였다. 이 해독과정 동안 대조 식이의 지방 급원인 옥수수기름을 돼지기름으로 완전대치시켜 돼지기름이 카드뮴 해독에 미치는 영향을 보고자 하였다. 실험배치는 다음 표 6과 같다.

Table 6. Experimental design for the effect of lard feeding on the intoxication and detoxification of cadmium

Treatment	Intoxication (6 weeks)			Detoxification (6 weeks)	
	Cadmium	# of rats		Treatment	Fat source
A	0 ppm	18	6 sacrificed		
			6	AC	corn oil
			6	AL	lard
B	50 ppm	18	6 sacrificed		
			6	BC	corn oil
			6	BL	lard
C	50 ppm	18	6 sacrificed		
			6	CC	Cd 50 ppm + corn oil
			6	CL	Cd 50 ppm + lard

평균체중이  $96.4 \pm 5.49$ 인 male Spraque-Dawley rats를 54수 공시하였다. 실험 동물은 완전임의배치법에 의해 처리구 별로 체중이 균일하게 처리구 당 12수씩 배치하여 2수씩 stainless steel 사육 cage에 넣고 1주간 주위 환경에 적응시킨 후 본 실험을 실시하였다. 처음 6주간은 카드뮴에 의한 중독을 유발시키고자 하여  $CdCl_2$ 를 카드뮴 기준으로 0, 50 ppm을 각각 첨가하여 사료를 제조하였다. 실험 식이는 AIN-76 Purified diet 배합표를 기준으로 하되 흰쥐 식이 중의 sucrose양을 10%로 줄이고 옥수수 전분으로 대체하였다(표 5 참조). 식이와 증류수는 제한 없이 먹게 하였다.

6주 후 카드뮴 중독 효과를 확인하기 위하여 각 처리구에서 임의로 6수씩을 희생시켜 중독을 확인하였다. 나머지 6수씩을 임의로 두 처리구씩으로 나누어 모두 4처리구로서 해독 시험을 6주간 행하였다. 해독 시험 동안에는 Cd은 더 이상 첨가하지 않았으며 실험식이의 지방 급원은 옥수수기름을 이용하거나 돼지기름으로 완전히 대체되었다. 다른 분석항목은 앞에서 언급한 바와 동일하다.

### 3. 돼지고기 돼지기름 동시 투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향

#### 가. 실험 배치

본 시험은 돼지고기와 돼지기름의 동시 투여가 카드뮴에 중독된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 행해졌다. 그리하여 처음 6주 동안은 일반 식이에 카드뮴을 첨가하여 중독을 유발시켰고, 이 중 일부 쥐를 대사시험에 사용하였다. 대사 시험 후 이 쥐들을 희생시켜 중독을 확인하였고 나머지 쥐들은 계속하여 6주 동안 카드뮴 섭취를 중단시켜, 해독이 저절로 이루어지도록 하였다. 이 해독과정 동안 대조 식이의 단백질 급원인 카제인을 돼지고기로 완전 대체시켰으며, 지방 급원인 옥수수기름을 돼지기름으로 완전대체시켜 돼지고기와 돼지기름의 동시투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향을 보고자 하였다. 실험배치는 다음 표 7과 같다.

Table 7. Experimental design for the effect of pork and lard feeding on the intoxication and detoxification of cadmium

Treatment	Intoxication (6 weeks)		Detoxification (6 weeks)	
	Cadmium	# of rats	Treatment	Fat source/ Prtoein source
A	0 ppm	18	6 sacrificed	
			6	AC corn oil / casein
			6	AL lard / pork
B	50 ppm	18	6 sacrificed	
			6	BC corn oil / casein
			6	BL lard / pork
C	50 ppm	18	6 sacrificed	
			6	CC Cd 50 ppm + corn oil / casein
			6	CL Cd 50 ppm + lard / pork

평균체중이  $72.3 \pm 4.3$ 인 male Spraque-Dawley rats를 54수 공시하였다. 실

험 동물은 완전임의배치법에 의해 처리구 별로 체중이 균일하게 처리구 당 12수씩 배치하여 2수씩 stainless steel 사육 cage에 넣고 1주간 주위 환경에 적응시킨 후 본 실험을 실시하였다. 처음 6주간은 카드뮴에 의한 중독을 유발시키고자 하여 CdCl<sub>2</sub>를 카드뮴 기준으로 0, 50 ppm을 각각 첨가하여 사료를 제조하였다. 실험식은 A1N-76 Purified diet 배합표를 기준으로 하되 흰쥐 식이 중의 sucrose양을 10%로 줄이고 옥수수 전분으로 대체하였다(표 5 참조). 식이와 증류수는 제한 없이 먹게 하였다.

6주 후 카드뮴 중독 효과를 확인하기 위하여 각 처리구에서 임의로 6수씩을 희생시켜 중독을 확인하였다. 나머지 6수씩을 임의로 두 처리구씩으로 나누어 모두 4처리구로서 해독 시험을 7주간 행하였다. 해독 시험 동안에는 Cd은 더 이상 첨가하지 않았으며 실험식의 단백질 급원은 카제인을 이용하거나 돼지고기로 완전히 대체되었다. 또한, 실험식의 지방 급원은 옥수수기름을 이용하거나 돼지기름으로 완전히 대체되었다. 돼지고기는 카제인을 대체하기 위해 삶은 뒷다리 부위를 하루 저녁 실온에서 방치한 후 이용하였는데 그 첨가량은 casein을 사용하였을 때와 동일한 단백질 함량이 나오도록 고려하였다. 즉 삶은 돼지고기의 수분(55.9%) 및 단백질 함량(35.9%)을 고려하여 단백질 급원으로서의 카제인 20%를 모두 돼지고기로 대체한 사료에서는 삶은 돼지고기 55.7g 을 첨가하였다. 다른 분석항목은 앞에서 언급한 바와 동일하다.

### 제 3 절 결과와 고찰

#### 1. 흰쥐를 이용한 카드뮴 중독 유발과 돼지고기에 의한 해독 효과

##### 가. 사료, 체중, 사료효율

중독용 사료의 화학적 조성은 표 8와 같다. 사료조성은 카드뮴 함량을 제외하고는 처리구간에 차이가 없었다.

Table 8. Chemical composition of intoxicating diets

Treatment	Moisture (%)	Ash (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Fiber (%)	Calorie	Cd
A	4.4±0.1	2.5±0.1	19.2±0.5	2.6±0.4	3.8±0.1	3684±95	0ppm
B	4.6±0.1	2.5±0.1	18.8±0.1	2.2±0.3	3.5±0.1	3795±31	23.8ppm
C	4.6±0.0	2.6±0.0	18.7±0.1	2.3±0.2	3.6±0.2	3957±134	46.4ppm
D	4.6±0.1	2.7±0.0	18.3±0.4	2.1±0.2	3.4±0.1	3928±91	94.5ppm
E	4.6±0.0	2.7±0.0	18.8±0.4	1.7±0.2	3.3±0.4	3961±102	241.0ppm

해독용 사료의 화학적 조성은 다음과 같다. 돼지고기 첨가량은 카제인을 사용하였을 때와 동일한 단백질 함량이 나오도록 고려하여 삶은 돼지고기 55.7g 을 첨가하였고 이를 건물 기준(DM basis)으로 환산하면 사료B의 삶은 돼지고기 중량은 24.5g이 된다. 이와 같은 산출로 조성된 사료는 조단백이 각각 18% 내외로 차이가 없었으며 열량도 3900 cal 내외로 차이가 없었다. 카제인 사료와 돼지고기의 두 사료간에 회분, 지방, 수분 등에서 유의적인 차이는 없었다.

Table 9. Chemical composition of detoxifying diets

Diets	Moisture(%)	Ash(%)	Protein(%)	Lipid(%)	Calorie
Casein diet (AC, BC, CC, DC, EC)	8.86±0.02	2.52±0.06	17.96±0.13	4.49±0.07	3891±150
Pork diet (AP, BP, CP, DP, EP)	8.61±0.00	2.71±0.09	18.96±0.05	5.47±0.15	3910±190

실험 동물의 체중 증가와 식이 효율은 표 10와 같다. 처음에 실험 식이를 급여하기 전에는 각 처리구 간에 체중 차이가 없었음을 분산분석을 통하여 확인하였다. 8주 동안 카드뮴중독용 실험 식이를 급여한 결과, 최종 체중은 각 처리구 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 카드뮴중독에 의한 체중 감소는 다른 연구 보고와 유사한 경향이였다.

식이 효율 (Feed Efficiency Ratio=weight gain/feed)도 각 군마다 유의적인 차이를 보였다. 즉, 카드뮴의 투여가 높을수록 식이 효율은 유의적으로 낮아져, 카드뮴 25 ppm 첨가구의 경우는 대조구와 유의적인 차이가 없었으나 카드뮴 50 ppm 이상부터는 식이 효율이 급격히 저하되어 250 ppm의 경우에는 식이 효율이 0.06으로 나와 대조구의 0.25에 비해 4배 이상 낮은 것으로 나타났다. 또한 카드뮴 250 ppm의 경우에는 8주 동안 쥐의 체중변화가 거의 없었고 5수가 중독 기간 8주가 만료되기 전에 사망하였다. 카드뮴 투여에 의하여 성장이 둔화되는 경향을 보인 실험 결과는 다른 여러 연구에서 보여진다. 권과 김(1992)은 식이 섭취량, 체중 증가량, 식이 효율이 모두 카드뮴 공급군에서 모두 유의적으로 낮게 나온 것을 보였다. 이와 김(1988)도 카드뮴 공급에 의해 섭취량, 체중 증가량, 식이 효율이 모두 유의적으로 감소되었음을 보였다. 김(1996) 등도 카드뮴 첨가군에 비해 체중 증가량과 식이 효율은 대조구에서 가장 높았다고 하였다. 우리의 실험 결과를 포함, 이러한 결과들은 모두 카드뮴 공급이 직접적으로 식이 섭취량 감소에 영향을 미치거나, 카드뮴의 공급으로 체내 영양소의 흡수 및 대사에 변화가 생겨 식이 효율이 감소됨으로써 체중 증가 속도의 감소 현상이 보여지는 것으로 여겨진다.

Table 10. Body weight, and feed efficiency ratio of cadmium-exposed rats

Treatment	Cd (ppm)	Initial weight	Final weight	FER gain/feed
A	0	126.5±12.6 <sup>ns</sup>	384.8±44.1 <sup>a</sup>	0.254±0.043 <sup>a</sup>
B	25	124.6±17.2	340.4±50.2 <sup>b</sup>	0.242±0.054 <sup>a</sup>
C	50	125.4±16.1	299.8±32.7 <sup>c</sup>	0.216±0.031 <sup>ab</sup>
D	100	126.8±18.8	243.6±54.0 <sup>d</sup>	0.173±0.069 <sup>b</sup>
E	250	123.5±11.2	155.3±41.6 <sup>e</sup>	0.064±0.113 <sup>c</sup>

\*  $\alpha = 0.05$

본 실험에서도 카드뮴에 의해 체중 증가가 느려지는 경향이었으며 식이 효율은 유의적으로 낮아짐을 볼 수 있었다. 또한 돼지고기 급여에 따라 성장이 빨라지는 경향이 보여지고 식이 효율은 유의적으로 높아졌다. 이는 아마도 돼지고기가 카드뮴에 의해 발생하는 대사, 성장 장애를 조금이나마 늦추기 때문이 아닐까 여겨진다. 그러나 이 연구에서는 카드뮴에 의한 성장 둔화가 다른 연구에 비해 미미한 것으로 보여졌다. 카드뮴 25 ppm 공급군에서 돼지고기가 단백질 급원이 된 경우 체중 증가량이 높아지는 경향을 보였는데(카제인 급여 3.29g, 돼지고기급여 3.78g), 이것은 카드뮴 공급으로 인한 대사 이상이 돼지고기에 의해 약간 완화된 것이 아닐까 보여진다. 이러한 경향은 카드뮴 50 ppm에서도 마찬가지로 보여졌다.

해독에 의한 체중변화는 다음 표 11에서 제시된 바와 같다. 카드뮴 급여를 중단하고 난 후 체중회복이 급격히 이루어졌다. 돼지고기를 급여한 쥐의 경우(AP, BP, CP, EP) DP를 제외하고 카제인을 급여한 쥐에 비해 평균체중이 약간 높은 수치를 나타내었으나 유의적인 차이는 어디서도 나타나지 않았다. 이전 8주 동안 25 ppm 카드뮴으로 중독 되었던 B처리구 중 돼지고기의 경우(BP-525.8g)에는 해독과정에서의 체중이 카드뮴에 노출되지 않았던 A처리구(AP-517.4g, AC-520.0g)보다 높아졌다. 카드뮴 급여를 중단하고 난 후 카드뮴에 의한 중독이 심각했던 D처리구와 E처리구에 있어서는 식이 효율이 매우 높았다. 식이 효율의 경우에서도 돼지고기를 급여한 쥐의 경우 DP를 제외하고 카제인을 급여한 쥐에 비해 약간 높은 수치를 나타

내었으나 다른 처리구에서는 유의적인 차이를 보이지 않았고, BP와 BC에서만 *t*-test 결과에서 유의적인 차이를 보였다.

전반적인 경향을 종합하여 보면 일단 카드뮴에 의해 중독 된 쥐는 카드뮴을 더 이상 섭취하지 않으면 일단 체중회복을 하려 한다. 즉 25 ppm 카드뮴에 의해 8주간 중독 되었던 쥐는 카드뮴 섭취를 중단하면 8주 후에 정상체중을 회복하나 그 이상의 높은 농도로 중독 되었던 쥐는 카드뮴 섭취를 중단하면 정상체중을 회복하기 위해 식이 효율은 매우 높으나 정상상태만큼의 체중으로는 회복되기 힘들었다. 또한 회복기간 동안 돼지고기를 단백질 급원으로 한 쥐는 카제인 급원의 쥐보다 체중증가가 더 높은 경향을 보였다. 김과 서(1996)의 연구에서는 식이 내 단백질 수준 증가에 의해 카드뮴에 의한 성장저하가 완화된 것을 보였으나 단백질 종류에 따라서는 체중증가와 식이 효율의 차이를 볼 수 없다고 하였다. Fox 등(1980)도 casein-gelatin 식이를 먹인 군과 I.S.P.를 먹인 군간에 체중증가의 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 김과 박(1996)의 연구에서는 Cys를 첨가한 군의 체중증가량이 높아 식이 효율이 높은 것으로 나타났다.

Table 11. Body weight, and feed efficiency ratio of detoxifying rats

Treatment	Initial weight	t test	Final weight	t test	FER gain/feed	t test
AC	405.7±49.9 <sup>a</sup>		517.4±61.2 <sup>ab</sup>		0.09±0.02 <sup>d</sup>	
AP	403.4±18.3 <sup>a</sup>		520.0±45.3 <sup>a</sup>		0.09±0.02 <sup>d</sup>	
BC	368.3±36.0 <sup>a</sup>		501.3±45.3 <sup>ab</sup>		0.11±0.02 <sup>d</sup>	
BP	354.7±42.6 <sup>ab</sup>		525.8±54.7 <sup>a</sup>		0.14±0.07 <sup>cd</sup>	*
CC	312.5±40.5 <sup>b</sup>		477.2±96.4 <sup>abc</sup>		0.13±0.06 <sup>cd</sup>	
CP	306.8±20.3 <sup>b</sup>		483.4±53.2 <sup>abc</sup>		0.14±0.03 <sup>cd</sup>	
DC	249.0±76.3 <sup>c</sup>		469.1±56.6 <sup>abc</sup>		0.18±0.03 <sup>abc</sup>	
DP	246.6±35.5 <sup>c</sup>		442.4±39.3 <sup>bc</sup>		0.16±0.04 <sup>bc</sup>	
EC	172.0±54.6 <sup>d</sup>		363.5±39.7 <sup>d</sup>		0.19±0.04 <sup>ab</sup>	
EP	154.2±17.3 <sup>d</sup>		415.5±46.8 <sup>cd</sup>		0.23±0.04 <sup>a</sup>	
Significant factors	Cd <sup>***</sup>		Cd <sup>***</sup>		Cd <sup>***</sup>	

\*  $\alpha = 0.05$

#### 나. 헤모글로빈과 헤마토크릿

카드뮴 중독에 의해 헤모글로빈과 헤마토크릿 모두는 카드뮴 농도에 비례하는 변화를 보여주었다(표 12). 카드뮴 투여로 인한 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 감소는 이와 김(1988), 과 전과 이(1993)의 연구에서도 보여지는데, 이는 장기 내에서 철분의 흡수가 카드뮴에 의해 저해를 받은 것으로 해석되었다. 카드뮴 공급 시 Fe가 장내 흡수단계에서 서로 경쟁적으로 작용하여 장에서의 Fe 흡수를 낮추며 혈장의 transferrin 수준과 TIBC(total iron binding capacity)가 감소되고 체내 Fe 보유량도 감소되었다는 보고와 연관지어 생각해볼 수 있다. 또한 카드뮴 중독으로 인한 전반적인 영양불량상태가 간접적인 Fe 결핍을 유발할 수 있다.

이러한 증상들이 카드뮴 해독 작용에 이르러서는 완전히 다른 현상을 보여주었다. 카드뮴이 더 이상 사료에 첨가되지 않으면서 카드뮴의 중독정도와 상관없이 모든 처리구에서 헤모그로빈은 완전히 정상치와 같은 수준으로 올라가 처리구간에

아무런 차이를 보이지 않았다. 이는 장기 내에서 철분과 카드뮴이 장내 흡수단계에서 서로 경쟁적으로 작용하여 체내 Fe보유량이 감소된다는 설명과 일치하는 것으로 더 이상 카드뮴에 의한 철분 흡수 저해 효과가 없어지면서 헤모글로빈이 정상수치를 회복한 것으로 볼 수 있다.

헤마토크릿도 마찬가지로 카드뮴 중독 시에는 36.6~13.0에 이르는 넓은 범위를 이루었으나 해독 시에는 39.2~33.2까지 모든 처리구에서 양호하게 나타났다. 헤마토크릿은 다른 실험 항목들과는 달리 해독 후에 중독에 의한 영향이 전혀 나타나지 않았다. 즉, 해독 시험 후에도 다른 시험 항목들에서는 결과에 영향을 준 인자(significant factor)를 카드뮴이라고 지적하였지만 헤마토크릿에서는 아무리 심한 중독이 과거에 있었다 하더라도 일단 중독이 계속되지 않으면 헤마토크릿에는 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 카제인 처리구에서 보다 돼지고기에 의해(AP, BP, CP, DP, EP) 헤마토크릿이 유의적으로 높아진 것으로 나타났다.

Table 12. Hemoglobin content and hematocrit value of cadmium-exposed rats

Intoxication				Detoxification				
Treatment	Cd (ppm)	Hb	Hct	Treatment	Hb	t test	Hct	t test
A	0	23.2±	36.6±	AC	15.6±4.97 <sup>ns</sup>		34.8±4.91 <sup>abc</sup>	
		4.23 <sup>a</sup>	5.17 <sup>a</sup>	AP	15.2±7.15		39.2±3.42 <sup>a</sup>	
B	25	15.3±	27.1±	BC	16.8±5.16		33.2±4.01 <sup>c</sup>	
		3.20 <sup>b</sup>	3.80 <sup>b</sup>	BP	17.4±2.89		38.2±2.18 <sup>ab</sup>	
C	50	12.3±	20.7±	CC	15.4±4.29		34.4±3.65 <sup>ab</sup>	
		3.96 <sup>bc</sup>	2.34 <sup>c</sup>	CP	14.8±3.77		37.0±3.52 <sup>abc</sup>	
D	100	9.17±	11.9±	DC	17.1±3.45		34.8±4.27 <sup>abc</sup>	
		3.28 <sup>cd</sup>	4.20 <sup>d</sup>	DP	13.8±2.68		34.1±2.01 <sup>bc</sup>	
E	250	7.26±	13.0±	EC	13.8±2.96		33.7±1.55 <sup>bc</sup>	
		2.18 <sup>d</sup>	4.27 <sup>d</sup>	EP	16.2±2.99		36.3±1.92 <sup>abc</sup>	
				Significant factors		Pork*		

\*  $\alpha = 0.05$

다. 조직의 무게

간의 무게는 카드뮴 투여에 따라 점차로 낮아졌지만 체중에 따른 간의 비율, 즉 쥐의 체중 100g으로 나눈 값은 카드뮴 투여에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 즉, 카드뮴은 전반적인 성장을 둔화시켰지만 간장에 특별한 영향을 끼치지 않는 것으로 보여졌다. 신장의 경우 카드뮴 투여에 따른 신장 무게의 차이가 처리구별로 현격하게 나타났다. 그러나, 체중 100g에 따른 신장 무게는 E처리구를 제외하고는 처리구간에 차이가 나타나지 않았다. 즉, 카드뮴 투여에 의해 신장의 무게는 줄어들었으나 체중 100g 당 신장 무게는 E처리구의 경우 카드뮴에 의해 증대되었

다. Mahaffey(1974)도 이번 실험의 결과와 동일한 양상을 얻었는데 그에 따르면 동물 체내에 축적된 카드뮴은 50~80%가 간과 신장조직에 분포되어 있으며, 카드뮴 중독에 가장 큰 영향을 받는 장기인 간과 신장의 무게는 카드뮴 공급 후 감소되지만 신장의 무게를 체중으로 나눈 수치는 카드뮴중독에 의한 장기조직의 피사로 인해 비대에 진다고 보고하였다. 정소의 무게는 카드뮴 투여에 의해 점점 작아져서, 카드뮴을 250 ppm 투여한 E처리에서는 다른 처리구에 비해 유의적인 차이를 보여주었다. 그러나 체중 100g당 정소의 무게는 100 ppm 중독구(D)에서 가장 높게 나타났다.

Table 13. Organ weight of intoxicated rats

Treat- ment	Cd (ppm)	Liver (g/100g bw)	Liver (g)	Kidney (g/100g bw)	Kidney (g)	Testis (g/100g bw)	Testis (g)
A	0	3.55±0.21 <sup>ns</sup>	11.98±0.55 <sup>a</sup>	0.67±0.02 <sup>a</sup>	2.26±0.04 <sup>a</sup>	0.84±0.27 <sup>a</sup>	3.17±0.23 <sup>a</sup>
B	25	3.83±0.13	11.40±1.76 <sup>a</sup>	0.68±0.06 <sup>a</sup>	2.01±0.25 <sup>ab</sup>	0.82±0.23 <sup>a</sup>	2.91±0.25 <sup>a</sup>
C	50	3.61±0.29	10.13±1.51 <sup>ab</sup>	0.66±0.05 <sup>a</sup>	1.86±0.24 <sup>b</sup>	0.85±0.41 <sup>a</sup>	3.07±0.29 <sup>a</sup>
D	100	3.70±0.22	8.79±2.32 <sup>b</sup>	0.76±0.07 <sup>a</sup>	1.76±0.29 <sup>b</sup>	1.46±0.34 <sup>b</sup>	3.30±0.14 <sup>a</sup>
E	250	3.90±0.48	4.09±1.43 <sup>c</sup>	1.12±0.16 <sup>b</sup>	1.14±0.25 <sup>c</sup>	1.01±0.48 <sup>a</sup>	1.17±0.84 <sup>b</sup>

\*  $\alpha = 0.05$

해독 시험 후 장기무게 변화를 보면 간, 신장, 정소 장기 무게는 그 무게에 영향을 주는 인자가 카드뮴이었으나 장기 무게를 체중으로 나눈 수치는 카드뮴에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 간의 경우 체중 100g당간의 무게는 E처리구(EP, EC)에서 높게 나왔으며 특히 250 ppm 카드뮴 중독 후 해독 시 돼지고기를 섭취한 EP 처리구에서 가장 높게 나왔다. 신장의 경우도 마찬가지로 체중 100g당 신장의 무게는 E처리구(EP, EC)에서 다른 처리구에 비해 높게 나왔다.

Table 14. Organ weight of detoxified rats

Treatment	Liver (g/100g bw)	<i>t</i> test	Liver (g)	<i>t</i> test	Kidney (g/100g bw)	<i>t</i> test	Kidney (g)	<i>t</i> test
AC	3.30±0.20 <sup>bc</sup>		17.06±2.02 <sup>a</sup>		0.59±0.05 <sup>bc</sup>		3.01±0.23 <sup>ns</sup>	
AP	3.15±0.15 <sup>bc</sup>		16.43±2.17 <sup>ab</sup>		0.55±0.10 <sup>c</sup>		2.87±0.50	
BC	3.08±0.26 <sup>c</sup>		15.45±2.02 <sup>abc</sup>		0.57±0.03 <sup>c</sup>		2.84±0.30	
BP	3.17±0.21 <sup>bc</sup>		16.74±2.66 <sup>ab</sup>		0.56±0.02 <sup>c</sup>		2.91±0.34	
CC	3.30±0.25 <sup>bc</sup>		15.77±3.55 <sup>ab</sup>		0.61±0.05 <sup>bc</sup>		2.87±0.42	
CP	3.15±0.15 <sup>bc</sup>		15.27±2.01 <sup>abc</sup>		0.60±0.03 <sup>bc</sup>		2.88±0.28	
DC	3.32±0.25 <sup>bc</sup>		15.46±1.15 <sup>abc</sup>		0.63±0.07 <sup>bc</sup>		2.90±0.22	
DP	3.30±0.39 <sup>bc</sup>		13.86±2.07 <sup>bc</sup>		0.66±0.04 <sup>ab</sup>		2.90±0.22	
EC	3.46±0.23 <sup>b</sup>		12.58±1.48 <sup>c</sup>		0.71±0.05 <sup>a</sup>		2.57±0.12	
EP	3.80±0.33 <sup>a</sup>		15.75±2.28 <sup>ab</sup>		0.72±0.07 <sup>a</sup>		2.97±0.24	
Significant factors	Cd*				Cd*			

\*  $\alpha = 0.05$

Table 15. Organ weight of detoxified rats(continued)

Treatment	Testis (g/100g bw)	t test	Testis	t test
AC	0.34±0.03 <sup>bc</sup>		1.75±0.16 <sup>ns</sup>	
AP	0.37±0.10 <sup>bc</sup>	*	1.91±0.49	*
BC	0.35±0.01 <sup>bc</sup>		1.78±0.19	
BP	0.33±0.04 <sup>c</sup>	*	1.70±0.13	
CC	0.37±0.06 <sup>bc</sup>		1.69±0.12	
CP	0.35±0.05 <sup>bc</sup>		1.67±0.24	
DC	0.36±0.04 <sup>bc</sup>		1.68±0.22	
DP	0.41±0.04 <sup>ab</sup>		1.82±0.16	
EC	0.46±0.08 <sup>a</sup>		1.65±0.22	
EP	0.42±0.05 <sup>ab</sup>		1.72±0.81	
Significant factors	Cd**			

\*  $\alpha = 0.05$

#### 라. 조직 내 카드뮴 축적 농도

간과 신장 조직 중의 카드뮴 함량은 표 16과 같다. 카드뮴 섭취량이 높을수록 신장에서의 축적량은 통계적으로 유의하게 차이가 있었다. 그러나 간의 경우 25ppm이나 50ppm을 8주 동안 먹인 처리구까지는 대조구에 비해 높은 카드뮴 함량을 보였지만 대조구와 통계적인 유의차는 없었다. 각 조직에서의 축적 농도를 보면 신장에서의 축적 농도가 간에서의 축적 농도의 약 2배 가량이 되는 것으로 보여졌다. 그러나 E처리구의 경우 신장과 간에서의 축적 농도가 비슷한 수준으로 나타났다.

해독시의 간과 신장 중의 카드뮴 함량은 증독에 비해서는 수치가 많이 낮아짐을 보였다. 특히 간에서의 축적 농도가 신장에서의 축적 농도보다 절반에 훨씬 못 미치는 것으로 간에서의 중금속 제거 속도가 신장에서의 제거 속도보다 빠른 것으로 보여졌다. 김과 서(1996)는 단백질 섭취가 부족하지 않은 상태에서는 식이 단백질

수준이나 종류에 따른 영향이 나타나지 않는 것으로 보인다고 하였으나 이번 시험의 결과는 약간 다르게 나왔다. 즉, 카제인을 섭취한 처리군보다 돼지고기를 섭취한 처리군에서 카드뮴의 축적이 더 낮게 나타났으며 특히 신장에서의 카드뮴 축적 농도에 영향을 미치는 인자로서 카드뮴뿐만 아니라 카드뮴과 돼지고기 섭취여부의 교호작용(Cd\*\*\*, Cd\*Pork\*\*) 등이 나타났다. 즉, 해독 시에 신장에서의 해독은 돼지고기 섭취 처리군에서 더 효과적으로 이루어짐을 알 수 있었다. 혈액으로 흡수된 카드뮴은 일단 간으로 운반되어 축적되고 시간이 지남에 따라 신장으로 운반되어 축적된다. 따라서 중독초기에는 “간 중 카드뮴 농도 : 신장 중 카드뮴 농도”의 비율이 높다가 점점 감소하게 된다. 본 연구에서는 카드뮴 중독 후 8주를 경과하여 해독과정을 거쳐 신장에서의 카드뮴 농도가 더 높을 것을 관찰할 수 있었다. 김과 박(1996)은 간에서의 카드뮴 농도가 단백질 수준에 의한 차이를 보이지 않았고 신장 중의 카드뮴은 식이 단백질 수준이 낮은 군에서 높게 나타났다. 또한 Cys을 공급한 군에서는 간과 신장에서의 카드뮴 농도가 모두 높은 것으로 보고하였다. 이와 김(1998)도 식이 단백질 수준이 높을수록 카드뮴의 신장 내 축적량이 낮은 것으로 보고하였다. 이와 김(1998)은 카드뮴 공급 시 체내 질소흡수율과 단백질효율의 저하, 혈청 및 간 내 단백질 함량의 감소 등 체내 단백질 대사에 영향을 주었다고 하였으며 또한 단백질 수준이 높은 경우 단백질에 의한 카드뮴 흡수 억제 및 뇨를 통한 카드뮴 배설이 늘었다고 보고하였다. 이렇듯 단백질 수준이 카드뮴 해독에 영향을 미치는 것에 대한 보고는 있으나 본 연구는 단백질 종류에 따른 장기 내 카드뮴 농도차이를 보여주었다.

Table 16. Cadmium accumulation in liver and kidney

Intoxication				Detoxification				
Treatment	Cd (ppm)	Liver	Kidney	Treatment	Liver	t test	Kidney	t test
A	0	0.11±0.06 <sup>a</sup>	0.22±0.15 <sup>a</sup>	AC	0.04±0.04 <sup>t</sup>		0.14±0.09 <sup>g</sup>	
				AP	0.05±0.06 <sup>t</sup>		0.32±0.55 <sup>g</sup>	**
B	25	10.1±2.37 <sup>a</sup>	18.2±4.45 <sup>b</sup>	BC	6.64±1.27 <sup>de</sup>		14.41±1.66 <sup>ef</sup>	
				BP	4.83±1.01 <sup>e</sup>		10.60±1.83 <sup>t</sup>	
C	50	15.5±5.30 <sup>a</sup>	31.1±11.2 <sup>c</sup>	CC	9.39±2.48 <sup>d</sup>		21.32±7.37 <sup>cd</sup>	
				CP	7.75±2.21 <sup>de</sup>		16.37±2.33 <sup>de</sup>	*
D	100	37.5±9.81 <sup>b</sup>	52.1±9.17 <sup>d</sup>	DC	13.00±2.22 <sup>c</sup>		30.40±6.51 <sup>b</sup>	
				DP	16.14±3.10 <sup>b</sup>		25.04±1.99 <sup>c</sup>	*
E	250	91.3±31.8 <sup>c</sup>	95.6±19.1 <sup>e</sup>	EC	19.51±5.07 <sup>a</sup>		40.36±6.64 <sup>a</sup>	
				EP	20.89±4.24 <sup>a</sup>		30.88±5.33 <sup>b</sup>	
				Significant factors	Cd <sup>***</sup>		Cd <sup>***</sup> , Cd*Pork <sup>**</sup>	

\*  $\alpha = 0.05$

마. 간내 metallothionein 함량

중금속에 대한 metallothionein(MT)의 기작은 동물실험 결과 체내로 중금속이 흡수되면 주로 간장과 신장에서 MT합성이 크게 증가되고 이 MT가 조직 내에서 독성이 강한 유리중금속과 결합하여 무독화 상태로 전환시킬 뿐 아니라 간장조직에서 신장조직으로 운반 및 뇨를 통한 배설을 돕는 등으로 유독성 중금속 이온의 체내 대사에 관여하는 것으로 알려져 있다. 그러나 카드뮴에 장기간 노출되거나 높은 농도로 노출될 경우 간 및 신장 조직에서 Cd·MT 농도가 증가되고 Cd·MT 양이 너무 증가하게 되면 다시 독성이 강한 유리 카드뮴이 방출되어 세포내의 여러 효소의 작용을 방해하고 증가된 Cd·MT 자체가 다른 단백질과 결합하여 세포막을 손상시키는 등의 카드뮴 중독현상을 유발시키는 것으로 밝혀졌다.

실험결과를 보면 중독 시에 MT는 카드뮴의 섭취량이 늘어남에 따라 증가하였다. 이는 MT가 카드뮴에 의한 중독을 완화시키기 위한 길항작용으로 나타난 것이다. 해독시의 결과를 보면, 카드뮴 25와 50 ppm으로 중독 되었던 쥐의 경우 각각의 t-test 결과에서 카제인과 돼지고기에 의한 차이가 있는 것으로 나타났으나 일관성이 없는 결과였다. 그리하여 전체적으로 보면 돼지고기는 MT합성에 영향을 주는 것으로 보기는 어려웠다.

Table 17. Metallothionein contents in liver of experimental rats

Intoxication			Detoxification			
Treatment	Cd(ppm)	Metallothionein	Treatment	Metallothionein	t test	
A	0	23.3±14.1 <sup>a</sup>	AC	25.04±10.59 <sup>f</sup>	*	
			AP	21.27±8.66 <sup>f</sup>		
B	25	51.6±40.0 <sup>a</sup>	BC	64.73±17.51 <sup>de</sup>		
			BP	60.68±6.12 <sup>e</sup>		
C	50	57.3±45.9 <sup>a</sup>	CC	85.57±31.71 <sup>cde</sup>		**
			CP	87.84±6.24 <sup>cd</sup>		
D	100	88.52±39.5 <sup>a</sup>	DC	90.58±41.52 <sup>bcd</sup>		
			DP	106.76±15.83 <sup>bc</sup>		
E	250	182±131.9 <sup>b</sup>	EC	150.82±6.33 <sup>a</sup>		
			EP	115.38±18.55 <sup>b</sup>		
Significant factors				Cd <sup>***</sup>		

\*  $\alpha = 0.05$

#### 바. 카드뮴 대사

카드뮴 중독 시험이 종료되기 전에 대사 시험을 실시하여 다음 표 18과 같은 결과를 얻었다. 사료 섭취를 통한 총 Cd 섭취량은 각각 0, 2.3mg, 3.1mg, 8.1mg 등이었다. 이들 Cd 배설의 대부분은 분을 통하여 이루어졌다. Cd 섭취량이 많을수

록 분을 통한 Cd 배설량도 증가함을 볼 수 있다. 그러나 Cd retention ratio는 Cd 섭취량이 늘어갈수록 점점 더 증대됨을 볼 수 있다.

즉 생체에서 자기방어에 의해 Cd 섭취량이 증가될수록 Cd 배설량이 높아지지 만 증가 속도가 못 미치기 때문이다. 뇨로의 Cd 배설은 Cd 섭취량에 대해 그다지 민감하지 않은 것으로 나타났다. 물론 다소나마 증가되기는 하였다. 즉 Cd 이 섭취되는 경우 대부분의 배설이 변에 의존됨을 알 수 있다.

Table 18. Metabolic trial of cadmium-exposed rats

측정항목	Cd 처리 수준 (ppm)			
	A (0)	B(25)	C(50)	D(100)
No. rat	3	3	3	3
개시시체중 (g)	282.5±83.4	274.5±47.9	286.95±15.0	182.6±45.6
종료시체중 (g)	299.3±84.4	290.4±48.9	308.6±12.5	188.4±51.4
일당증체량 (g)	2.81±0.95	2.64±0.89	3.88±0.59	0.97±0.97
음수량 (ml/head/day)	28.7±17.2	24.3±6.5	23.2±5.9	22.0±4.2
총사료급여량 (g)	97.2±18.3	95.4±10.1	66.0±0.15	85.6±42.3
사료 중 Cd 함량 (ppm)	0.06	23.83	46.38	94.47
총 Cd 섭취량 (μg)	5.8	2,273	3,061	8,087
총분량 (g)	9.70±3.42	9.84±1.47	6.56±1.31	6.91±1.84
분 중 Cd 함량 (ppm)	21.37	137.4	216.4	379.9
분을 통한 배설량 (μg)	207	1,352	1,420	2,625
총뇨량 (g)	62.3±51.5	61.3±32.7	35.5±17.9	50.4±33.1
뇨 중 Cd함량 (ppm)	0.39±0.11	0.29±0.16	0.44±0.06	2.01±33.1
뇨를 통한 배설량 (μg)	24.3	17.8	15.62	101.3
총 배설율 (%)	0	60.3	46.9	33.7
Cd retention ratio	0	39.7	53.1	66.3

\* 6일간 측정치 (6/10-6/16)

일단 카드뮴에 노출되었던 동물은 카드뮴 급여를 중단하고 8주가 지난 후에도 분을 통해서 꾸준히 Cd이 배설되고 있음을 볼 수 있다. 흥미로운 사실은 돼지고기 투여구에서 분을 통한 Cd 배설이 현저히 적다는 사실이다. 그러나 앞에서의 장조직내의 축적에서는 오히려 돼지고기 투여구에서 Cd 축적량이 적으므로 이를 통하여 본다면 돼지고기 투여시 Cd 배설이 더 빠른 속도로 이루어지는 것으로 사료된다. 뇨를 통한 Cd 배설은 Cd양이 실험오차 수준을 겨우 벗어나므로 결론 짓기가 곤란했다. 그러나 특이한 것은 돼지고기가 투여된 처리구에 있어서 총 뇨량이 현저히 증가되었다. 신장에서 Cd 축적이 돼지고기 투여구에서 적었던 이유가 아마 여기에서 비롯되지 않았나 사료된다. 즉 뇨로의 Cd 배설농도가 일정하더라도 뇨 배설량 자체가 많아져서 신장에서의 축적이 낮아진 것으로 생각된다(표 19).

Table 19. Metabolic trial of cadmium-detoxified rats

측정항목	Treatment (돼지고기 첨가수준, %)							
	A(0 ppm)		B(25 ppm)		C(50 ppm)		D(100 ppm)	
	0	100	0	100	0	100	0	100
일당증체량 (g/day)	1.74	4.06	1.20	5.40	2.00	2.82	2.74	2.14
음수량 (ml/day)	25	39	28	52	29	42	34	35
사료섭취량 (g)	86.3	96.4	66.6	99.9	81.4	106.3	91.2	96.0
사료 Cd 함량 (ppm)	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07
Cd 섭취량 ( $\mu\text{g}$ )	5.2	6.7	4.0	7.0	4.9	7.4	5.4	6.7
총 분량 (g)	10.76	9.82	7.98	7.57	11.43	13.39	10.53	8.78
분 Cd 함량 (ppm)	1.32	0.68	6.43	4.31	7.85	1.55	4.74	1.33
분을 통한 배설량 ( $\mu\text{g}$ )	14.20	6.67	51.31	32.62	89.72	20.75	49.91	11.67
총 뇨량 (g)	45.8	137.5	71.1	149.7	69.7	119.8	88.5	109.0
뇨 Cd 함량 (ppm)	0.06	0.01	0.08	0.01	0.31	0.02	0.10	0.21
뇨를 통한 배설량 ( $\mu\text{g}$ )	2.7	1.4	5.7	1.5	21.6	2.4	8.9	22.9
Cd retention ( $\mu\text{g}$ )	-11.7	-1.37	-53.0	-27.1	-106	-15.8	-53.4	-27.8

## 2. 돼지기름 투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향

### 가. 카드뮴 중독 시험

돼지기름이 카드뮴에 중독된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 처음 6주 동안은 일반식이에 카드뮴을 첨가하여 중독을 유발시켰다. 종료 시 체중과 식이효율은 카드뮴이 중독된 처리구에서 다소간 낮게 나왔으나 카드뮴의 중독 정도가 약하여 현저한 차이를 보이지는 않았다(표 20).

Table 20. Growing performance of cadmium-exposed rats

측 정 항 목	Cd 처리수준(ppm)	
	A(0)	B(50)
No. rat	18	36
개시시체중 (g)	96.6±5.88	96.19±5.06
종료시체중 (g)	325.3±34.3	305.11±28.52
일당증체량 (g/day)	5.53±1.22	5.08±1.05
사료섭취량 (g/day)	15.91±3.16	14.84±2.92
FER (gain/feed)	0.37±0.14	0.36±0.11
음수량 (ml/day)	25.68±6.43	23.83±4.80

카드뮴에 중독된 쥐의 일부(6수씩)를 희생하여 장기 무게와 카드뮴 축적, 효소활성 등을 관찰하였(표 21). 헤모글로빈과 헤마토크릿은 카드뮴 처리구에서 현저하게 낮게 나타났다. 이는 위에서도 언급되었던 것과 같이 카드뮴이 철분의 대사에 영향을 주기 때문이다. 간과 정소의 무게는 카드뮴이 투여되었던 처리구에서 높게 나타났으며 체중 100g 당 간과 정소의 무게도 다소간 높은 것으로 나타났다. 이는 오히려 일반적인 카드뮴 중독 후의 현상과는 상반되는 것으로서 카드뮴의 투여가 약하고 기간이 짧은 등에 의해 카드뮴 중독이 미약하였던 것이 아닐까 사료되었다. 카드뮴의 투여에 따라 조직에서의 카드뮴 축적 현상을 볼 수 있었다. 특히 신장에서는 간에서의 카드뮴 농도에 2배가 넘는 양이 축적되어 있음을 보였다. 간에서의 Cd 축적량은 1차 실험의 50 ppm 처리구에서 보다 현저하게 낮은 6.72 ppm 이었다. 1차 실험의 경우 50 ppm 투여구 (C) 에서 15.54 ppm 이 측정되었다. 신장에서의 축적량도 마찬가지로 매우 낮았다(14.02 ppm : 2차, 31.13 ppm : 1차). 카드뮴의 운반체이자 보호체인 metallothionein은 카드뮴 투여에 의해 현저히 증가함을 보였고 이는 1차 실험과 유사한 결과였다.

Table 21. Hemoglobin contentm, hematocrit value, metallothioneinm, and organ weight of cadmium-exposed rats

측 정 항 목		Cd 처리수준(ppm)	
		A(0)	B(50)
No. rat		6	6
Hematocrit (%)		38.6±4.43	20.67±3.50
Hemoglobin (g/dl)		12.72±4.20	5.39±1.57
장기무게 (g/100g Body wt.)	간	4.18±0.26	4.37±0.26
	신장	0.69±0.04	0.68±0.05
	정소	0.96±0.11	1.04±0.13
장기무게 (g)	간	12.99±3.26	13.21±1.94
	신장	2.14±0.53	2.07±0.32
	정소	2.92±0.41	3.13±0.32
Cd함량 (ppm)	간	0.44±0.20	6.72±1.30
	신장	1.11±0.84	14.02±1.06
MT 함량 (µg/g liver)		2.95±0.48	56.12±10.00
GPX (mM NADPH/min/g liver)		0.015±0.014	0.017±0.002
SOD (Unit/g liver)		10.00±5.00	75.2±3.5

\* 시험기간 : 97. 5. 6 ~ 6. 16 (6주간)

대사 시험을 실시한 결과는 다음 표 22와 같다. 일당 증체량은 카드뮴 처리구의 경우 유의적으로 낮게 나왔다. 카드뮴 50 ppm 처리구의 경우 1.1mg을 섭취하였으며 뇨를 통한 배설은 무시할 만큼 적었으며 분을 총해서 2.6mg 정도가 배설되었다.

Table 22. Metabolic trial of cadmium-exposed rats

측정항목	Cd처리수준(ppm)	
	A(0)	B(50)
No. rat	3	6
개시시체중 (g)	273.3±58.7	291.80±31.71
종료시체중 (g)	290.2±61.6	304.17±32.25
일당증체량 (g)	2.82±0.49	2.06±0.78
음수량 (ml/head/day)	26.7±5.7	22.65±4.40
총사료급여량 (g)	98.8±11.3	99.72±11.45
사료 중 Cd 함량 (ppm)	0.02	46.38
총 Cd 섭취량 (μg)	1.9	1141.79
총분량 (g)	8.31±1.01	9.27±1.25
분 중 Cd 함량 (ppm)	28.4±37.8	281.37±44.50
분을 통한 배설량 (μg)	236.0	2608.3
총뇨량 (g)	60.58±24.7	49.63±14.67
뇨 중 Cd함량 (ppm)	0.10±0.06	0.92±1.46
뇨를 통한 배설량 (μg)	6.06	42.90
Cd retention (μg)	-240.2	-1509.4

\* 시험기간 : 97. 6. 10 ~ 6. 16 (6일간 분채취)

#### 나. 돼지기름에 의한 카드뮴 해독 시험

돼지기름이 카드뮴에 중독된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 카드뮴에 중독된 쥐에게 돼지기름을 옥수수 기름 대신 첨가하여 6주간 사육하였다. A군과 B군은 카드뮴을 더 이상 투여하지 않았으며, C군은 카드뮴 50 ppm을 계속적으로 투여하였다. CL군(카드뮴 50 ppm 계속 투여와 lard 투여군)은 CC군(카드뮴 50 ppm 계속 투여와 옥수수기름 투여군)에 비교하였을 때 식이 효

율이 높은 것으로 나타났다.

Table 23. Growing performance of cadmium detoxified rats by lard feeding

측정항목	Cd 처리수준(ppm)					
	A(0)		B(50)		C(⊕50)	
	Corn	Lard	Corn	Lard	Corn	Lard
No. rat	6	6	6	6	6	6
개시시체중 (g)	316.9 <sup>ab</sup> ±49.4	348.8 <sup>a</sup> ±36.9	315.9 <sup>ab</sup> ±31.3	305.5 <sup>ab</sup> ±10.2	269.4 <sup>b</sup> ±66.5	334.4 <sup>a</sup> ±26.5
종료시체중 (g)	407.4 <sup>a</sup> ±79.1	453.1 <sup>a</sup> ±61.5	468.9 <sup>a</sup> ±52.4	452.9 <sup>a</sup> ±36.5	308.8 <sup>b</sup> ±101.1	393.2 <sup>a</sup> ±34.3
일당증체량(g/day)	2.16 <sup>ab</sup> ±1.28	2.48 <sup>ab</sup> ±2.15	3.64 <sup>a</sup> ±1.61	3.47 <sup>a</sup> ±1.52	0.90 <sup>b</sup> ±1.14	1.14 <sup>b</sup> ±0.94
사료섭취량(g/day)	17.56 <sup>bc</sup> ±0.55	20.21 <sup>ab</sup> ±2.74	21.33 <sup>a</sup> ±1.64	19.38 <sup>abc</sup> ±1.98	12.83 <sup>d</sup> ±2.13	17.09 <sup>c</sup> ±3.83
FER (gain/feed)	0.12 <sup>ab</sup> ±0.07	0.12 <sup>ab</sup> ±0.11	0.17 <sup>a</sup> ±0.07	0.18 <sup>a</sup> ±0.08	0.06 <sup>b</sup> ±0.09	0.08 <sup>ab</sup> ±0.06
음수량 (ml/day)	33.8±2.6 <sup>b</sup>	41.8±7.0 <sup>a</sup>	33.3±3.9 <sup>b</sup>	34.2±3.0 <sup>b</sup>	22.5±7.3 <sup>c</sup>	26.2±2.6 <sup>c</sup>

\*  $\alpha = 0.05$

사육이 종료된 후 쥐를 희생하여 장기 무게와 카드뮴 축적, 효소활성 등을 관찰하였다. 돼지기름 투여는 카드뮴을 투여한 C군에서 체중증가에 많은 효과를 주는 것으로 나타났다. 헤모글로빈과 헤마트크릿은 카드뮴 계속처리구(C)에서 현저하게 낮게 나타났다. 이는 위에서도 언급되었던 것과 같이 카드뮴이 철분의 대사에 영향을 주기 때문이다. 카드뮴의 공급이 중단된 A와 B군에서는 헤모글로빈과 헤마트크릿이 모두 정상치로 회복이 되었으며 돼지기름에 의한 효과는 나타나지 않았다. 간의 무게는 카드뮴이 계속 투여되는 처리구에서 높게 나타났다. 신장의 무게는 처리구에 따른 차이를 보이지만 일정한 경향이 없어서 해석하기 곤란하였으나, 돼지기름 투여에 의해 신장의 무게가 정상인 쥐와 거의 유사한 것을 볼 수 있었다. 체중

100g 당 장기무게를 살펴보면 간과 정소의 경우에 카드뮴 계속 투여구에서 돼지기름을 투여하여 주는 경우(CL) 장기무게비가 정상 쥐(AC)와 거의 흡사하게 나타났다.

Table 24. Hemoglobin content, hematocrit value, and organ weight of cadmium-detoxified rats by lard feeding

측정항목		Cd 처리수준(ppm)					
		A(0)		B(50)		C(⊕50)	
		Corn	Lard	Corn	Lard	Corn	Lard
Hematocrit (%)		41.0 ±1.4 <sup>a</sup>	38.1 ±4.1 <sup>a</sup>	39.1 ±1.4 <sup>a</sup>	39.8 ±4.7 <sup>a</sup>	23.8 ±3.6 <sup>b</sup>	25.8 ±4.1 <sup>b</sup>
Hemoglobin (g/dl)		18.79 <sup>a</sup> ±2.10	19.03 <sup>a</sup> ±3.64	18.61 <sup>a</sup> ±2.16	17.04 <sup>a</sup> ±2.86	9.98 <sup>b</sup> ±2.46	11.71 <sup>b</sup> ±1.35
장기무게 (g)	간	12.35 <sup>abc</sup> ±3.23	14.34 <sup>ab</sup> 2.58±	15.23 <sup>a</sup> ±1.70	4.13 <sup>d</sup> ±3.90	8.80 <sup>c</sup> ±3.11	10.72 <sup>bc</sup> ±3.13
	신장	2.12 <sup>bc</sup> ±0.51	2.66 <sup>a</sup> ±0.22	2.68 <sup>a</sup> ±0.45	2.52 <sup>ab</sup> ±0.18	1.95 <sup>c</sup> ±0.40	2.50 <sup>ab</sup> ±0.24
	정소	2.86 ±0.48	3.05 ±0.79	3.26 ±0.15	3.30 ±0.12	2.98 ±0.64	3.40 ±0.27
장기무게 (g/ 100g Body wt.)	간	3.00 <sup>ab</sup> ±0.40	3.08 <sup>ab</sup> ±0.28	3.26 <sup>a</sup> ±0.30	2.95 <sup>ab</sup> ±0.20	2.83 <sup>b</sup> ±0.14	3.02 <sup>ab</sup> ±0.15
	신장	0.54 ±0.16	0.60 ±0.06	0.57 ±0.05	0.56 ±0.04	0.65 ±0.12	0.64 ±0.07
	정소	0.72 <sup>b</sup> ±0.12	0.69 <sup>b</sup> ±0.22	0.70 <sup>b</sup> ±0.09	0.74 <sup>b</sup> ±0.07	1.00 <sup>a</sup> ±0.15	0.87 <sup>ab</sup> ±0.11

\*  $\alpha = 0.05$

카드뮴의 투여에 따라 조직에서의 카드뮴 축적 현상을 볼 수 있었다. 특히 신장에서는 간에서의 카드뮴 농도에 2배가 넘는 양이 축적되어 있음을 보였다. 간에서의 Cd 축적량은 카드뮴 계속 투여구의 경우 10 ppm 정도까지 상승되었다. 해독 처리된 A와 B처리구에서 돼지기름을 투여한 군은 간에서의 카드뮴 함량이 낮았으나

카드뮴을 계속 투여한 군에서는 오히려 카드뮴 함량이 늘어났다. 돼지기름은 MT생성에 영향을 미치지 않는 것으로 보여졌다.

Table 25. Cadmium content, metallothionein, GPX, and SOD in the organ of cadmium-detoxified rats

측정항목		Cd 처리수준(ppm)					
		A(0)		B(50)		C(⊕50)	
		Corn	Lard	Corn	Lard	Corn	Lard
Cd 함량 (ppm)	간	1.01 <sup>c</sup> ±0.93	0.87 <sup>c</sup> ±0.58	6.94 <sup>b</sup> ±1.21	5.77 <sup>b</sup> ±3.15	8.80 <sup>a</sup> ±3.11	10.72 <sup>a</sup> ±3.13
	신장	2.04 <sup>b</sup> ±1.08	2.35 <sup>b</sup> ±0.83	22.83 <sup>a</sup> ±19.83	23.84 <sup>a</sup> ±21.98	1.95 <sup>a</sup> ±0.40	2.49 <sup>a</sup> ±0.24
MT 함량 (μg/g liver)		12.57 <sup>c</sup> ±7.83	12.79 <sup>c</sup> ±6.30	25.74 <sup>bc</sup> ±2.96	23.15 <sup>bc</sup> ±9.01	2.98 <sup>a</sup> ±0.64	3.40 <sup>b</sup> ±0.27
GPX (mM NADPH/min/g liver)		0.008 ±0.004	0.011 ±0.005	0.055 ±0.087	0.125 ±0.008	0.277 ±0.103	0.177 ±0.010
SOD (Unit/g liver)		62.37 ±14.66	75.78 ±13.56	72.40 ±5.42	70.15 ±1.60	97.53 ±13.64	77.54 ±31.86

\* 시험기간 : 97. 6. 17 ~ 7. 28. (6 주간)

\* α = 0.05

대사시험에서 특기할 만한 점은 카드뮴 계속 투여구의 경우에 돼지기름에 의해 분을 통한 배설량이 매우 높아진다는 결과(표 26)이다. 물론 뇨를 통한 배설도 더 높으나 전체적으로 보았을 때 뇨를 통한 남의 배설보다는 분을 통한 남의 배설이 더 높다. 즉, 돼지기름은 남이 소화되는 것을 방해하여 카드뮴 계속 투여구에서는 효과적이나 일단 축적된 카드뮴의 해독 작용에는 관여하지 않는 것으로 여겨졌다.

Table 26. Metabolic trial of cadmium-detoxified rats by lard feeding

측정항목	A (0 ppm)		B (50)		C (⊕50)	
	Corn oil	Lard	Corn oil	Lard	Corn oil	Lard
Rat No.	3	3	3	3	3	3
개시시체중 (g)	382.3 <sup>ns</sup> ±100.3	466.6 ±48.1	460.7 ±58.5	414.2 ±7.6	357.2 ±51.4	366.9 ±23.4
종료시체중 (g)	377.7 <sup>ab</sup> ±88.1	459.1 <sup>ab</sup> ±43.2	467.1 <sup>a</sup> ±50.5	419.9 <sup>ab</sup> ±11.3	364.8 <sup>b</sup> ±48.8	368.2 <sup>b</sup> ±21.0
일당증체량 (g)	-0.93 <sup>ns</sup> ±2.64	-1.51 ±4.87	1.29 ±1.95	1.13 ±3.05	1.51 ±1.57	0.25 ±0.86
음수량 (ml/day)	27.7 <sup>b</sup> ±3.5	46.0 <sup>ab</sup> ±4.4	28.0 <sup>b</sup> ±5.6	37.3 <sup>ab</sup> ±10.8	26.5 <sup>b</sup> ±7.4	71.3 <sup>a</sup> ±43.1
사료섭취량 (g)	60.20 <sup>ns</sup> ±1.64	60.35 ±7.17	82.05 ±0.55	79.40 ±5.84	73.55 ±0.76	82.00 ±1.31
사료 Cd 함량 (ppm)	0.064	0.04	0.064	0.04	47.08	41.40
Cd 섭취량 (μg)	3.9	2.4	5.3	3.2	3463	3395
총분량 (g)	5.66 <sup>b</sup> ±1.74	8.47 <sup>b</sup> ±2.31	8.26 <sup>b</sup> ±0.94	7.82 <sup>b</sup> ±3.81	8.96 <sup>b</sup> ±1.41	13.52 <sup>a</sup> ±1.01
분 Cd 함량 (ppm)	15.93 <sup>b</sup> ±17.49	13.17 <sup>b</sup> ±11.68	13.10 <sup>b</sup> ±5.02	3.03 <sup>b</sup> ±2.53	397.70 <sup>a</sup> ±291.53	350.83 <sup>a</sup> ±39.94
분을 통한 배설량(μg)	90.16	111.55	108.21	23.69	3563.40	4743.22
총뇨량 (g)	58.4 <sup>b</sup> ±15.4	139.9 <sup>ab</sup> ±7.6	59.6 <sup>b</sup> ±25.6	95.4 <sup>ab</sup> ±47.3	66.6 <sup>b</sup> ±32.9	188.0 <sup>a</sup> ±105.7
뇨 Cd함량 (ppm)	0.10 <sup>ns</sup> ±0.06	0.10 ±0.10	1.28 ±1.94	0.10 ±0.08	0.38 ±0.22	0.34 ±0.30
뇨를 통한 배설량(μg)	5.84	13.99	76.29	9.54	25.31	63.92
Cd retention (μg)	-92.1	-123.1	-179.2	-30.03	125.7	-1412.1

\* 시험기간 : 97. 7. 21 ~ 7. 25 (5일간 분채취)

\* α = 0.05

### 3. 카드뮴에 중독된 흰쥐에 돼지고기와 돼지기름 병용급여가 미치는 영향

#### 가 카드뮴 중독 시험

평균체중이 72.3g인 S.D. rat을 54수 사양하였다. 돼지기름에 의한 효과 분석 시험때와 마찬가지로 카드뮴은 0 ppm과 50 ppm 두 처리군으로 나누었다. 카드뮴에 의해서 종료시의 체중이 현격히 줄어들었음을 볼 수 있었으나 식이효율은 차이가 없었다(표 27).

Table 27. Growing performance of cadmium-exposed rats

측 정 항 목	Cd 처리수준(ppm)	
	A(0)	B(50)
No. rat	18	36
개시시체중 (g)	72.5±4.8	72.14±4.03
종료시체중 (g)	308.8±33.4	259.32±21.22
일당증체량 (g/day)	5.62±0.73	4.46±0.55
사료섭취량 (g/day)	15.44±1.89	12.52±2.71
FER (gain/feed)	0.37±0.09	0.38±0.11
음수량 (ml/day)	20.2±5.5	17.04±3.51

\* 시험기간 : 97. 7. 1 ~ 8. 11 (6 주간)

사양시험이 종료된 후 일부 쥐(6수씩)를 희생하여 장기 무게와 카드뮴 축적, 효소활성 등을 관찰하였다(표 28). 헤모글로빈과 헤마트크릿은 카드뮴 처리구에서 현저하게 낮게 나타났다. 이는 위에서도 언급되었던 것과 같이 카드뮴이 철분의 대사에 영향을 주기 때문이다. 간과 신장, 정소의 무게는 카드뮴이 투여되었던 처리구에서 모두 낮게 나타나 카드뮴이 장기 성장에 영향을 주었음을 보였다. 그러나, 체중 100g 당 간 무게는 카드뮴 투여구에서 다소간 낮은 것으로 나타났으나 신장과 정소의 경우 카드뮴 투여구에서 다소 높게 나타났다. 카드뮴의 투여에 따라 조직에서

의 카드뮴 축적 현상을 볼 수 있었다. 특히 신장에서는 간에서의 카드뮴 농도에 2배가 넘는 양이 축적되어 있음을 보였다. 간에서의 Cd 축적량은 1차 실험의 50 ppm 처리구(15.54 ppm)에서 보다 낮은 8.56 ppm 이었으며 이는 2차 실험의 수준과 유사하였다. 신장에서의 축적량도 2차 실험 때와 유사하게 나왔다. (14.02 ppm : 2차). 카드뮴의 운반체이자 보호체인 metallothionein은 카드뮴 투여에 의해 현저히 증가함을 보였다. GPX와 SOD의 활성도 카드뮴투여에 의해 높아짐을 보였다.

Table 28. Hemoglobin content, hematocrit value, metallothionein, and organ weight of cadmium-exposed rats

측 정 항 목		Cd 처리수준(ppm)	
		A(0)	B(50)
No. rat		6	6
Hematocrit (%)		35.83±1.29	19.83±2.76
Hemoglobin (g/dl)		15.57±0.84	8.83±0.82
장기무게 (g)	간	13.75±2.02	10.29±1.86
	신장	2.19±0.33	1.76±0.24
	정소	3.27±0.31	2.91±0.72
장기무게 (g/100g Body wt.)	간	4.21±0.41	3.98±0.27
	신장	0.67±0.05	0.69±0.05
	정소	1.02±0.18	1.12±0.27
Cd함량 (ppm)	간	0.65±0.71	8.56±7.08
	신장	1.32±2.13	14.39±3.03
MT 함량 (µg/g liver)		8.57±3.82	37.39±10.69
GPX(mM NADPH/min/g liver)		0.124±0.053	0.193±0.024
SOD (Unit/g liver)		51.51±5.88	84.45±12.16

대사 시험을 실시한 결과는 다음 표 29와 같다. 카드뮴 50 ppm 처리구의 경우 0.7mg을 섭취하였으며 뇨를 통한 배설은 무시할 만큼 적었으며 분을 통해서 섭취량의 2배 가량인 1.9mg 정도가 배설되었다. 이러한 현상은 2차 중독 시험에서도 나타났었다.

Table 29. Metabolic trial of cadmium-exposed rats

측정항목	Cd처리수준(ppm)	
	A(0)	B(50)
No. rat	3	6
개시시체중 (g)	283.5±50.1	250.6±39.6
종료시체중 (g)	296.0±67.9	268.7±41.7
일당증체량 (g)	2.51±4.17	3.03±0.95
음수량 (ml/head/day)	34.8±3.0	26.7±2.3
총사료급여량 (g)	17.61±5.67	15.03±1.97
사료 중 Cd 함량 (ppm)	0.02	47.08
총 Cd 섭취량 (μg/head)	0.35	707.61
총분량 (g)	10.35±2.66	8.92±2.51
분 중 Cd 함량 (ppm)	5.62±7.17	217.58±87.90
분을 통한 배설량 (μg)	58.17	1940.81
총뇨량 (g/head)	88.4±54.1	49.07±45.75
뇨 중 Cd 함량 (ppm)	0.11±0.16	0.19±0.07
뇨를 통한 배설량 (μg)	9.72	9.32
Cd retention (μg)	-67.54	-1242.5

\* 시험기간 : 97. 8. 4 ~ 97. 8. 9 (5일간 분채취)

나. 돼지고기와 돼지기름 병용급여가 카드뮴의 해독에 미치는 영향

사료를 iso-calorie로 제조하였음에도 불구하고 돼지기름과 돼지고기가 동시에 투여된 처리구에서의 사료 섭취량이 높고 종료 시 체중이 높게 나타났다. 식이효율도 돼지고기와 돼지기름의 동시 투여구에서 더욱 높게 나타났다.

Table 30. Growing performance of cadmium-detoxified rats by pork and lard feeding

측정항목	Cd 처리수준(ppm)					
	A(0)		B(50)		C(⊕50)	
	Corn	Lard	Corn	Lard	Corn	Lard
	casein	pork	casein	pork	casein	pork
No. rat	6	6	6	6	6	6
개시시체중 (g)	277.8 ±38.8	319.2 ±15.9	270.4 ±41.5	246.5 ±46.2	275.3 ±33.0	264.5 ±32.2
종료시체중 (g)	377.5 ±45.9	453.5 ±50.4	417.7 ±57.8	410.1 ±61.6	357.8 ±66.8	399.5 ±47.6
일당증체량 (g/day)	2.72 ±0.95	3.86 ±1.53	4.02 ±1.07	4.54 ±0.82	2.74 ±1.17	3.71 ±0.98
사료섭취량 (g/day)	16.28 ±2.03	20.06 ±1.34	18.89 ±0.62	19.74 ±1.24	17.39 ±0.65	20.00 ±0.26
FER (gain/feed)	0.17 ±0.47	0.19 ±1.14	0.21 ±1.94	0.23 ±0.66	0.16 ±1.81	0.19 ±3.71
음수량 (ml/day)	21.73 ±2.78	32.18 ±4.00	28.50 ±3.53	24.38 ±2.48	23.85 ±4.53	21.60 ±3.25

카드뮴 섭취를 중단한 A와 B처리구의 경우 헤모글로빈과 헤마토크릿의 수치가 정상적으로 회복되었다(표 31). 카드뮴 계속 투여구의 경우 정상치보다 낮게 나왔으나 돼지기름과 돼지고기가 동시에 투여된 경우 헤모글로빈과 헤마토크릿 수치가 일반 식이보다 높게 나와 비교적 카드뮴에 의한 철분 대사 장애가 적은 것으로

사료되었다. 장기의 무게를 보면 카드뮴 계속 투여구의 체중 100g 당 정소 무게가 현저하게 낮았으나 돼지고기와 돼지기름의 동시투여로 인하여 정상 수치를 보여 주었다. 돼지기름과 돼지고기를 동시에 투여한 경우 간과 신장에서 카드뮴의 축적량이 현저히 낮음을 보여주었다. 즉 돼지기름과 돼지고기를 동시 먹는 경우 카드뮴 해독에 좋은 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

Table 31. Hemoglobin content, hematocrit value, metallothionein, enzymes, and organ weight of cadmium-detoxified rats by pork and lard feeding

측정 항목	Cd 처리수준(ppm)						
	A(0)		B(50)		C(150)		
	Corn	Lard	Corn	Lard	Corn	Lard	
	casein	pork	casein	pork	casein	pork	
No. rat	6	6	6	6	6	6	
Hematocrit(%)	37.0±1.92	37.3±1.94	36.7±1.44	35.8±1.25	19.3±4.15	23.6±3.60	
Hemoglobin (g/dl)	18.28±1.68	18.89±1.55	18.17±0.58	18.69±1.49	10.94±2.85	12.20±2.82	
장기무게 (g/100g Body wt)	간	2.97±0.24	2.84±0.08	2.94±0.21	3.12±0.13	3.03±0.30	2.74±0.13
	신장	0.59±0.02	0.56±0.05	0.57±0.04	0.57±0.05	0.61±0.06	0.91±0.10
	정소	0.81±0.12	0.72±0.09	0.81±0.12	0.76±0.12	0.57±0.04	0.83±0.05
Cd 함량 (ppm)	간	0.05±0.05	0.01±0.01	6.88±1.12	5.69±1.17	16.37±3.47	15.53±3.50
	신장	0.06±0.04	0.02±0.02	16.89±2.48	11.73±1.11	30.49±3.08	28.44±3.04
MT 함량 (µg/g liver)	12.57 <sup>c</sup> ±7.83	12.79 <sup>c</sup> ±6.30	25.74 <sup>bc</sup> ±2.96	23.15 <sup>bc</sup> ±9.01	2.98 <sup>a</sup> ±0.64	3.40 <sup>b</sup> ±0.27	
GPX (mM NADPH/min/g liver)	0.008 ±0.004	0.011 ±0.005	0.055 ±0.087	0.125 ±0.008	0.277 ±0.103	0.177 ±0.010	
SOD (Unit/g liver)	62.37 ±14.66	75.78 ±13.56	72.40 ±5.42	70.15 ±1.60	97.53 ±13.64	77.54 ±31.86	

\*  $\alpha = 0.05$

대사시험 결과를 보면 카드뮴 계속 투여구의 경우 돼지고기와 돼지기름의 동시 투여에 의해 더 많은 양의 카드뮴이 분으로 배설되는 것을 볼 수 있다(표 32).

Table 32. Metabolic trial of cadmium-detoxified rats by pork and lard feeding

측정항목	A (0 ppm)		B (50)		C (⊕50)	
	Casein Corn oil	Pork Lard	Casein Corn oil	Pork Lard	Casein Corn oil	Pork Lard
Rat No.	3	3	3	3	3	3
개시시체중 (g)	382.3 <sup>ns</sup> ±100.3	466.6 ±48.1	460.7 ±58.5	414.2 ±7.6	357.2 ±51.4	366.9 ±23.4
종료시체중 (g)	377.7 <sup>ab</sup> ±88.1	459.1 <sup>ab</sup> ±43.2	467.1 <sup>a</sup> ±50.5	419.9 <sup>ab</sup> ±11.3	364.8 <sup>b</sup> ±48.8	368.2 <sup>b</sup> ±21.0
일당증체량 (g)	-0.93 <sup>ns</sup> ±2.64	-1.51 ±4.87	1.29 ±1.95	1.13 ±3.05	1.51 ±1.57	0.25 ±0.86
음수량 (ml/day)	27.7 <sup>b</sup> ±3.5	46.0 <sup>ab</sup> ±4.4	28.0 <sup>b</sup> ±5.6	37.3 <sup>ab</sup> ±10.8	26.5 <sup>b</sup> ±7.4	71.3 <sup>a</sup> ±43.1
사료섭취량 (g/day)	60.20 <sup>ns</sup> ±1.6	60.35 ±7.2	82.05 ±0.6	79.40 ±5.8	73.55 ±0.8	82.00 ±1.3
사료 Cd 함량 (ppm)	0.064	0.04	0.064	0.04	47.08	41.40
Cd 섭취량 (μg)	3.9	2.4	5.3	3.2	3463	3395
총분량 (g)	5.66 <sup>b</sup> ±1.74	8.47 <sup>b</sup> ±2.31	8.26 <sup>b</sup> ±0.94	7.82 <sup>b</sup> ±3.81	8.96 <sup>b</sup> ±1.41	13.52 <sup>a</sup> ±1.01
분 Cd 함량 (ppm)	15.93 <sup>b</sup> ±17.5	13.17 <sup>b</sup> ±11.7	13.10 <sup>b</sup> ±5.0	3.03 <sup>b</sup> ±2.5	397.70 <sup>a</sup> ±291.5	350.83 <sup>a</sup> ±39.9
분을통한배설량 (μg)	90.16	111.55	108.21	23.69	3563.40	4743.22
총뇨량 (g/head)	58.4 <sup>b</sup> ±15.4	139.9 <sup>ab</sup> ±7.6	59.6 <sup>b</sup> ±25.6	95.4 <sup>ab</sup> ±47.3	66.6 <sup>b</sup> ±32.9	188.0 <sup>a</sup> ±105.7
뇨 Cd 함량 (ppm)	0.10 <sup>ns</sup> ±0.06	0.10 ±0.10	1.28 ±1.94	0.10 ±0.08	0.38 ±0.22	0.34 ±0.30
뇨를통한배설량 (μg)	5.84	13.99	76.29	9.54	25.31	63.92
Cd retention (μg)	-92.1	-123.1	-179.2	-30.03	125.7	-1412.1

\*  $\alpha = 0.05$

# 제 3 장 돼지고기와 돼지기름이 납 중독에 미치는 영향

## 제 1 절 서 론

### 1. 식품 속에 함유된 납

미국에서는 1970년대 초에 이미 가솔린이나 페인트에 납 사용을 연방법으로 금지시키고 있으나 낮은 농도의 납 섭취 시에도 유해한 영향이 관찰되기 때문에 계속 관심을 가지고 있다. 대부분의 사람들에게 납 섭취는 주로 식사를 통해서 온다. 혈액 내 납 수준이  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$  시 유아나 어린이의 경우에 신경조직에 손상이 왔으며, 어른의 경우에도  $\text{Pb } 30 \mu\text{g}/\text{dl}$  시에 혈압이 상승하는 등 부작용이 관찰된다. 따라서 잠정적인 일일 납 섭취 제한 수준은 6세 미만 어린이는  $60 \mu\text{g}/\text{일}$ , 7세 이상 어린이는  $150 \mu\text{g}/\text{일}$ , 임신부는  $250 \mu\text{g}/\text{일}$  성인의 경우는  $750 \mu\text{g}/\text{일}$ 로 미국 FDA는 제한하고 있다(Carrington등,1992). 다음 표 33에서는 캐나다 식품 속에 함유된 납 함량을 분석한 자료이다

Table 33. Lead levels in food categories

Category	Description	n	Mean ng/g	Median ng/g	Range ng/g
I	Milk and dairy	13	6.56	4.80	1.94-17.6
II	Meat and poultry	18	18.50	12.40	3.03-67.0
III	Fish	6	21.20	13.50	4.73-41.0
IV	Soups	4	26.30	25.30	3.74-42.0
V	Bakery goods, cereals	29	23.50	16.30	1.58-247
VI	Vegetables	37	29.30	12.00	1.42-182
VII	Fruits, fruit juices	24	60.70	21.20	1.85-407
VIII	Fats, oils	3	8.10	6.00	3.11-15.2
IX	Sugar, candies	8	32.80	30.30	1.9-69.0
X	Beverages	5	47.40	9.20	5.13-141
All composites		147	29.90	14.70	1.42-407

\* Dabeka & McKenzie (1992)

우리나라에서 대중 음식중 중금속 함량은 김정현(1989)등이 조사 보고했는데, 49개 식당에서 판매되고 있는 11종의 음식(설령탕, 갈비탕, 육개장, 칼국수, 된장찌개백반, 비빔밥, 비빔냉면, 짜장면, 불고기, 양곱창, 주물럭)을 조사 분석했다. 그 결과 체중 kg당 섭취량에서 납과 카드뮴이 FAO 최대 일일 허용치 수준에 근접함을 알 수 있다. 즉, 한국 사람이 납과 카드뮴 섭취량이 높다는 것을 의미한다.

Sharma 등(1982)은 납(2.38, 5.74, 21.45 ppm)과 카드뮴(0.23, 2.41, 10.12 ppm)수준에서 돼지에 투여 시 돼지고기 지육부위에는 이들 중금속이 축적되지 않았고, 신장과 간부위에 축적이 됐다고 보고했으며 이런 간이나 신장은 식용으로는 적합치 않다고 했다.

Korsrud 등(1988)은 납을 pelleted diet와 semipurified diet로 급여 사료 형태를 달리 했을때의 효과를 비교했다. 납을 경구투여 시는 대조구(납 무첨가)의 경우에 혈액중 DALAD 함량이 semipurified diet 급여시가 7.35 unit로 pelleted diet 의

5.00보다 유의적으로 높았다. 그러나 납투여구에서는 DALAD( $\delta$ -aminolevulinic acid dehydratase)함량이 두사료간에 차이가 인정되지 않았다. 하지만 activated DALAD를 측정했을 때는 다른 경향을 보였다. 즉, 납처리구에 관계없이 semipurified diet 급여구가 pelleted diet에서 보다는 DALAD 함량이 유의하게 높았고, 납처리수준 0 ppm 구와 100 ppm구간에 차이가 없었다 (표 34).

Table 34. Effect of diet on the response in blood to a single oral dose of lead acetate

Lead dose (mg/kg)	Diet	Hematocrit (%)	DALAD*	Activated DALAD*	Ratio**
0	Pellets	41.7	5.00	5.57	1.12
0	Semipurified	41.1	7.35	8.15	1.11
100	Pellets	44.0	1.10	5.65	5.60
100	Semipurified	41.2	1.08	7.18	7.10

\* nmol porphobilinogen formed/min/ml red blood cell

\*\* activated to non-activated DALAD

## 2. 납의 대사

Forbes and Feina(1982)에 의하면 쥐에게서 소화관을 통한 납의 흡수율은 생후 20일까지는 80~90%로 아주 높으며 그후 급격히 감소하여 생후 24일에는 40%, 32일까지는 15%로 낮아진다. 한편 Kostial 등(1971)은 구강으로 투여된 납의 소화관 흡수율이 생후 일주일된 쥐에서 52%인 반면에 성숙한 쥐에서는 1% 이하라고 보고하고 있다. Aungst 등(1981)은 식수를 통하여 1~100 ppm의 납을 250~350g의 쥐에게 14일간 섭취시켰을 때 혈액과 신장의 납농도가 섭취시킨 납수준에 따라 증가하였으나, 일반적으로 인정하고 있는 것처럼 섭취한 납에 대하여 비례하여 증가하지는 않았다고 보고하고 있다. Keller and Doherty (1980)도 생쥐에게 체중 1kg당 4~445mg의 납을 일회 구강으로 투여하였을 때 장기 및 조직의 납 농도는 대퇴골>신

장>간장>혈액의 순을 나타내었으나 투여한 납 수준에 비례하지는 않았다고 보고하고 있다.

한편 독일 호헨하임 대학교에서 연구된 식이와 함께 섭취시킨 미량의 납 수준과 납 섭취기간이 납의 체내 축적 및 분포에 미치는 영향에 관한 보고(이명희와 한스 쉐켈, 1994)에 의하면, 미량의 납을 식이와 함께 섭취시켰을 때 혈액, 간장, 신장 및 골조직에서의 납과의 binding capacity 는 섭취하는 납의 수준에 비례하여 증가하지만 동일한 수준의 납을 함유하는 사료를 지속적으로 섭취시켰을 때 골조직을 제외한 연조직의 납 농도는 steady state 상태하에 있게 된다. 따라서 생리적인 수준의 납의 만성적인 섭취시 납의 표적기관은 골조직이라 볼 수 있으며, 한편 혈중 납 농도는 체내의 납축적 상태보다는 현재의 납 섭취수준에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 보여진다고 보고했다.

한편, Fowler 등(1980)은 0, 0.5, 5, 2.5, 50 및 250 ppm의 납을 함유하는 식수를 임신과 포유기간 동안에는 모체를 통하여, 그리고 생후에는 직접 섭취시켰을 때 0.5 ppm 이상의 납을 함유하는 식수를 9개월 동안 섭취시킨 숫쥐에서 신장의 무게가 증가하였으나, 체중에는 차이가 없었다고 보고하고 있으며, 뿐만 아니라 숫쥐에게서 5 ppm 이상의 납을 섭취시킨 군에서, 그리고 암컷에서는 250 ppm 이상의 군에서 신장세포에서 histopathological lesion이 관찰되었다고 보고하고 있다. Miller and Massaro(1983)의 보고에서는 갓 태어난 쥐에게 생후 6일에서 18일동안 3일 간격으로 체중 1kg 당 50mg의 납을 intragastric intubation 방법으로 투여하였을 때 납의 투여로 체중의 변화는 없었으나 신장의 무게가 증가하였다고 보고했으며, 체내로 흡수된 납은 주로 신장을 통하여 체외로 배설이 일어나며 만성 납중독에 의한 신장의 기능적 및 구조적 비정상은 많은 양의 납이 신장세포로 유입될 때 노로 배설되지 못한 납이 proximal tubular epithelial cell에 intranuclear body 형태로 축적되는 과정에서 *de novo* protein synthesis가 일어나기 때문으로 알려져 있다(Mistry 등 1982).

### 3. 납의 독성

납의 독성에 관해서는 빈혈, 신경장애, 신장 기능 장애, 간 기능장애, 성장 장애, 위장염, 태아기형, 유산 등이 보고되고 있다. 납중독은 적혈구 수명감소, 적혈구막의 Na-K ATPase의 감소를 일으켜 세포막의 기능을 상실케 함으로서 용혈성 빈혈과 망상적혈구 증가가 나타나게 되고, 조혈인자의 저해로 세포수가 급격히 감소하게 된다(Waldron 1980; Hansan 등 1967).

권오덕 등(1992)도 산양을 공시하여 납중독에 관한 임상병리학적 관찰 시에 현저한 식욕감퇴, 설사, 적혈구수, 헤모글로빈량, 헤마토크릿치의 감소가 확인되었고, 혈청내 납함량이 현저히 증가되었으며, 뇨내 납함량도 증가되었고,  $\delta$ -aminolevulinic acid(ALA) 함량도 200 ppm구와 1000 ppm 구에서 투여 14일째부터 유의적으로 증가됐음을 알 수 있다(표 35). DALAD는 HEM합성과정에서  $\delta$ -aminolevulinic acid(ALA)를 porphobilinogen으로 전환시키는데 이용되는 효소로, 납은 DALAD의 활성을 저해시킴으로서 HEM생성에 지장을 주는 것으로 알려졌다(Wapnir 등 1977; Mahaffey 등 1974).

Table 35. Effects of dietary lead on  $\delta$ -aminolevulinic acid ( $\mu\text{g/ml}$ ) in urine of goats

Group	0 day	7	14	21	28	42	56	70
Pb 10 ppm	0.68	1.15	1.22	1.68	1.54	1.47	1.92	1.95
Pb 200 ppm	0.89	1.60	1.64	1.88	2.64	2.74	2.48	2.81
Pb 1,000 ppm	0.84	1.91	3.06	4.71	4.11	3.07	3.71	3.96
Control	0.80	1.02	0.88	0.70	1.06	1.00	0.86	1.17

\* 권오덕(1992)

Sandhir & Gill(1995)은 쥐에게 체중당 50mg수준의 납을 8주간 투여 시에 세포막을 구성하고 있는 지질에 peroxidative damage를 증진시켰다고 보고했다(표 36).

Table 36. Effect of lead exposure on antioxidant enzymes in liver of rats

	Control	Lead-treated
Superoxide dismutase (U/mg protein )	12.01	6.42
Glutathione peroxidase, (NADPH oxidized/min/mg protein)	310.96	246.03
Glutathione reductase, (NADPH oxidized/min/mg protein)	115.41	78.97

#### 4. 납 대사에 영향을 주는 식이 요인

이정숙 등(1997)은 갈근 추출물이 납 중독 된 흰쥐의 혈액성분 및 조직의 납 축적에 미치는 영향을 보고했다. 뇨 중 ALA 및 포도당 배설은 납 급여 시 유의적인 증가를 나타냈으며, 납 급여구보다 갈근 급여구에서 감소를 보였다(표 38). 혈액 중 DALAD활성은 납 단독 급여구에서만 감소를 보였고(표 37), 혈청의 납 함량은 납 단독 급여군과 갈근-납 급여군 사이에 차이를 보이지 않았으나, 간, 신장, 대퇴골의 경우에는 갈근-납급여군에서 납 단독 급여군보다 감소를 나타냈다. 변과 뇨로의 납 배설량은 납급여군이 대조군보다 많았으며, 변에서는 갈근-납급여군이 납 단독 급여군보다 높은 배설량을 보인 반면 뇨에서는 차이가 나지 않았다. 즉, 갈근 추출물이 납 중독을 완화시킬 수 있을 것으로 보고했다.

Table 37. Effect of extract of *pueraria radix* on hematocrit value and blood DALAD activity in rats

Group	Hematocrit (%)	DALAD activity ( $\mu$ mol PBG/ml BC/ml)
Control	43.1	42.7
Puerarix	43.8	68.0
Control-Pb	35.8	29.5
Puerarix-Pb	38.1	38.5

Table 38. Effect of extract of *pueratia radix* on  $\delta$ -aminolevulinic(ALA) and urinary glucose content in rats

Group	ALA, $\mu$ g/24hr	Urinary glucose, mg/24hr
Control	32.5	2.20
Puerarix	29.0	4.20
Control-Pb	152.9	14.97
Puerarix-Pb	100.3	8.01

Myloie등 (1977)은 식이 중 단백질 수준과 아미노산 첨가 시 혈액과 조직내 납 축적과의 관계를 보고했다. 저단백질(8% casein + 1% alanine)구는 심각한 중독 현상을 보였고 뇨 중 ALA 배설량도 정상단백질구(27% Casein)에 비해 2배 이상이었으며, 혈액 중 납 농도도 369  $\mu$ g/100ml로 정상단백질구의 61  $\mu$ g/100ml 보다 유의적으로 높았다. 그러나 methionine과 cystine을 사료의 1%씩 첨가시에는 혈중 납농도, 뇨중 aminolevulinic acid (ALA)함량도 유의하게 저하됐다. 또한 혈중 납 농도와 조직중 납 농도가 다른 경향을 보여서 혈액 중 납 함량은 납중독 시험에서는 지표로 사용할 수 없다고 지적했다(표 39, 표 40).

Table 39. Concentration of lead in blood and tissues of rats ingesting different diets and consuming lead in their drinking water

Diet	Blood	Bone	Kidney	Spleen	Liver
Nor.P +Pb	61	384	50	3.8	4.4
Low.P +Pb	369	243	37	8.9	5.4
Low.P + Pb+Cys	46	259	40	1.5	2.1
Low.P + Pb +Met	65	205	32	2.4	1.8

Table 40. Hematopoietic effects on rats ingesting different diets and consuming lead in their drinking water

Diet	Red blood cell $\times 10^6/\text{mm}^3$	Hemoglobin (g/100ml)	Hematocrit (%)	Urinary ALA (mg/100ml)
Nor.P -Pb	7.30	14.6	42.8	0.40
+Pb	5.83	11.5	30.6	2.12
Low.P -Pb	7.42	13.8	41.6	0.31
+Pb	5.68	10.8	30.4	4.61
Low.P +Cys -Pb	6.96	13.3	38.9	0.36
+Pb	6.54	12.6	34.8	2.33
Low.P +Met -Pb	6.91	13.8	38.5	0.41
+Pb	6.56	12.6	34.8	1.49

김정숙 등(1987)은 납과 지방수준을 달리한 식이로 사육한 흰쥐의 체내 대사에 관한 연구에서 지방섭취가 많으면 Pb섭취가 증가된다고 보고했다 (표 41)

Table 41. Pb contents in blood, kidney, liver and bone of experimental rats

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)
Low lipid	4.0	32	10	34
Low lipid-Pb	44.0	7,988	580	1,880
Stand.lipid	5.0	29	11	29
Stand.lipid-Pb	35.0	5,967	816	1,419
High lipid	4.0	27	20	37
High lipid-Pb	45.0	19,306	877	1,909

Donaldson(1991)은 병아리를 공시하여 납중독 시 항산화제(ethoxyquin)을 첨가 시에 납중독에 의한 성장억제를 완화할 수 있다고 보고했다.

Hu와 Kies(1989)는 납 수준(0, 100, 200 ppm)과 단백질 급원(대두단백질, 카제인)과의 비교시험에서 뇌조직 중 납 함량은 대두단백질 급여시 보다는 카제인 급여 시에 유의하게 축적량이 높았고, 대퇴골과 갈비뼈중의 납 함량은 납 수준의 증가에 따라서 회귀적으로 증가됐다고 보고하였다. Vahter 등(1992)은 사람에서 동물성식품과 혼합된 일반식품 섭취 후에 채식주의자들의 식단인 Lactovegetarian diet로 변경 급이 시에 납과 카드뮴 배설량이 증진됐다고 보고했다. 즉 Pb는 일일 배설량이  $31\mu\text{g}$ 에서  $42\mu\text{g}$ 으로, Cd는  $12\mu\text{g}$ 에서  $14\mu\text{g}$ 으로 증진됐다.

Suzuki 등(1979)은 쥐에다 납 500 ppm투여 시 성장억제, 사료섭취량 감소, 빈혈, 신장 비대, 뼈와 신장에 납 축적증가 현상이 나타났으나, 철 400 ppm과 1%의 ascorbic acid를 첨가 시에 중독 증상이 완화됐다고 보고했다. 한편 Smith 등(1978)은 Vitamin D가 생체 내에서 납 흡수를 더 촉진시킨다고 보고했다. Lead acetate 상태로 소장에서 0.01 mM 농도에서 45%정도 흡수됐다고 보고했다. Rastogi 등(1976)은 셀레늄과 납이 상호 해독작용을 한다고 보고했다. 납은 80-200 mg Pb/kg 체중 단위로 사료에 첨가 급여했고, 셀레늄은 5, 10, 15 ppm 수준에서 음료수에 타서 급여했다. 8주간 시험결과  $\delta$ -DALAD함량은 다음 표 42에 제시된 바와 같다.

Table 42. DALAD activity in various tissues

Tissues	Control	Pb	Pb + 5 ppm Se	Pb+10ppm Se	Se 15 ppm
Blood	683	469	692	635	320
Liver	2214	1720	2139	2021	1688
Kidney	742	505	677	666	409

Singh등(1979)은 Mg 섭취와 납중독과의 관계를 보고했다. Mg은 납중독을 완화시키는 것으로 설명했다(표 43). 납 중독 시에 뇨중 ALA( $\delta$ -aminolevulinic acid)는 증가되고, 혈액 중 DALAD( $\delta$ -aminolevulinic acid dehydratase)는 감소된다.

Table 43. Enzyme levels in the rats at different time intervals

Treatment	Urinary ALA (mg/ l )						Blood DALAD (units 100cc packed cell)						
	0	15	30	45	62	106	0	15	30	45	62	106	
100mg/Pb/kg body wt. day	4.0	7.9	9.0		14.5	-					9.5	5.4	-
None				12.2			37.5	29.6	15.7				
100mgPb+250mg Mg/kgbody wt. day	4.0	7.0	6.3		9.2	-				14.7	10.9		6.6
250 mg Mg/kg body wt. day				7.6			36.5	30.0					
						4.8			19.7				18.9

Cerklewski 등(1976)은 아연( 8, 35, 200 ppm)이 납(0, 50, 200 ppm)중독 완화에 미치는 영향을 보고했다. 7주간의 쥐 실험에서 사료의 아연수준이 증가할수록 납중독현상은 감소됐다. 혈액, 간, 신장, 대퇴골중 납함량이 감소됐고, 뇨중  $\delta$ -aminolevulinic acid 배출이 감소했고, free erythrocyte porphyrins 축적 감소, 신장의 DALAD 억제 감소, 납 흡수감소 현상을 보였다. 아연이 납중독 완화효과는 장에서

납 흡수의 억제에 의한 것으로 설명했다.

Blake 등(1983)은 저 칼슘 식이를 섭취한 사람의 경우에 우유는 납 흡수를 감소시켰다고 보고했다(표 44). 그러나 Meredith 등(1977)은 우유가 납의 소화흡수에 영향을 미치지 않았다는 보고를 하였다.

Table 44. Effect of milk on the retention of  $^{203}\text{Pb}$

Subject	96 -hr retention (%)	
	Without milk	With milk
K.B	65.42	18.57
J.B	71.70	14.27

Rose & Quarterman (1987)은 식이섬유와 중금속 축적과의 관계를 조사했다. alginic acid, pectin, agar, carrageenan (1g fiber/100ml) 모두가 Pb와 Cd와 정도의 차이는 있으나 다 결합하는 능력을 보였다. alginic acid가 가장 우수한데  $50\mu\text{g}$  Pb bound/mg fiber 수준에서, carrageenan은  $9.3\mu\text{g}$  Cd bound/mg fiber 수준에서 결합됐다. 또한 indulin, cellulose, carrageenan 이 중금속 축적에 미치는 영향은 cellulose의 경우는 Pb, Cd 모두 축적을 감소시켰으나, carrageenan은 Pb는 감소, Cd는 증가 현상을 보였다.

## 제 2 절 재료 및 방법

### 1. 흰쥐를 이용한 납 중독 유발과 돼지고기에 의한 해독 효과

#### 가. 실험동물 및 사양관리

본 시험은 돼지고기가 납에 중독 된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 행해졌다. 그리하여 처음 6주 동안은 일반식이에 납을 첨가하여 중독을 유발시켰고, 이중 일부 쥐를 희생시켜 중독을 확인하였고 계속하여 6주 동안은 납 섭취를 중단시켜, 해독이 저절로 이루어지도록 하였다. 이 해독과정 동안 대조식의 단백질 급원인 카제인을 돼지고기로 완전 대체시켜 돼지고기가 해독에 미치는 영향을 보고자 하였다. 실험배치는 다음 표 45와 같다.

Table 45. Experimental design

Treatment	Intoxication (6 weeks)			Detoxification (6 weeks)		
	Lead	# of rats		Treatment	Protein source	
A	0 ppm	18	6	sacrificed	AC	casein diet
			6			
			6			
B	50 ppm	18	6	sacrificed	BC	casein diet
			6			
			6			
C	100 ppm	18	6	sacrificed	CC	casein diet
			6			
			6			
D	250 ppm	18	6	sacrificed	DC	casein diet
			6			
			6			
E	500 ppm	18	6	sacrificed	EC	casein diet
			6			
			6			
					EP	pork diet

평균체중이  $68.97 \pm 4.68g$  내외 인 male Sprague-Bawley rats를 90수 공시하였다. 실험 동물은 완전임의배치법에 의해 처리구 별로 체중이 균일하게 처리구당 18수씩 배치하여 2수씩 stainless steel 사육 cage에 넣고 1주간 주위 환경에 적응시킨 후 본 실험을 실시하였다. 처음 6주간은 납에 의한 중독을 유발시키고자 하여 Pb-acetate를 납 기준으로 0, 50, 100, 250, 500 ppm을 각각 첨가하여 사료를 제조하였다. 실험식은 A1N-76 Purified diet 배합표를 기준으로 하되 흰쥐 식이 중의 sucrose양을 10%로 줄이고 옥수수 전분으로 대체하였다(표 46). 식이와 증류수는 제한 없이 먹게 하였다.

Table 46. Composition of experimental diets(%)

Ingredient	Treatment				
	A	B	C	D	E
Sucrose	10.0				
Corn starch	55.0				
Casein	20.0				
Cellulose	5.0				
Corn oil	5.0	"	"	"	"
DL. methionine	0.3				
Choline bitartrate	0.2				
Vitamin mixture <sup>1)</sup>	1.0				
Mineral mixture <sup>2)</sup>	3.5				
PB-ACETATE	0	0.005	0.01	0.025	0.05

1) Contained per kg mixture ; Thiamin·HCl 600mg, Riboflavin 600mg, Pyridoxine·HCl 700mg, Nicotinic acid 3g, Vit. A 400,000 IU(Retinyll acetate), Vit. E(dL- $\alpha$ -Tocoperyl acetate) 5,000 IU, Vit. D<sub>3</sub> 2.5mg, Vit. K 5.0mg, and sucrose.

2) Contained per kg mixture ; CaHPO<sub>4</sub> 500g, NaCl 74g, K<sub>3</sub>C<sub>6</sub>O<sub>7</sub> · H<sub>2</sub>O 220g, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 52g, MgO 24g, 48% Mn 3.5g, 17% Fe 6.0g, 70% Zn 1.6g, 53% Cu 0.3g, KIO<sub>3</sub> 0.01g, CrK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O 0.55g, and sucrose.

6주후 납중독 효과를 확인하기 위하여 각 처리구에서 임의로 6수씩을 희생시킨 후 생화학적 측정을 실시하였다. 나머지 12수를 임의로 두 처리구씩으로 나누어 모두 10처리구로서 해독 시험을 6주간 행하였다. 해독 시험 동안에는 Pb은 더 이상 첨가하지 않았으며 실험식이의 단백질 급원은 카제인을 이용하거나 (AC, BC, CC, DC, EC) 돼지고기로 완전히 대체되었다. (AP, BP, CP, DP, EP) 돼지고기는 카제인을 대체하기 위해 삶은 뒷다리 부위를 하루 저녁 실온에서 방치한 후 이용하였는데 그 첨가량은 casein을 사용하였을 때와 동일한 단백질 함량이 나오도록 고려하였다. 즉 삶은 돼지고기의 수분(50.79%) 및 단백질 함량(39.66%)을 고려하여 단백질 급원으로서의 카제인 20%를 모두 돼지고기로 대체한 사료에서는 삶은 돼지고기 50.0g 을 첨가하였다.

#### 나. 시료 채취

혈액의 채취는 시험 종료 일에 쥐를 12시간 절식시킨 후 ethyl ether로 실험 동물을 마취시켜 복부 대동맥으로부터 헤파린이 처리된 주사기로 채혈한 다음 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 측정에 사용하였다. 장기의 채취는 간장과 신장을 적출하여 0.9% 생리 식염수로 혈액을 씻어내고 장기의 무게를 측정후 냉동 보관하였다. 카드뮴 대사 실험을 위한 뇨와 변의 채취는 실험 종료 전 3일간 stainless steel metabolic cage에서 실시하였다.

#### 다. 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 측정

헤모글로빈 측정은 Cyanmethemoglobin법으로 측정하였다. 즉 cyanide solution 5ml에 0.02ml의 혈액을 가하고 잘 혼합한 다음 spectrophotometer(JASCO, Uvidec-610)를 사용하여 540 nm에서 비색 정량 하였으며, 헤마토크릿치는 혈액을 채취한 후 헤파린으로 처리된 모세관에서 모세관의 원리를 이용하여 2/3정도 채운 다음 원심 분리시킨 후 packed red cell volume의 백분율을 측정하였다.

#### 라. 장기 및 배설물의 납 함량 측정

사료, 간장, 신장, 변 중의 납 함량은 시료를 회화시킨 후 1N HNO<sub>3</sub> 10ml를

가하여 hot plate에서 거의 마를 때까지 증발건조 시킨다. 이 과정을 반복한 후 냉각 시킨다. 1N HNO<sub>3</sub>로 적당부피까지 희석하여준다. 희석된 시료는 여과지를 이용하여 여과하고 원자흡광계(Atomic Absorption Spectrometer, Perkin-Elmer Co.)를 이용하여 283.3 nm에서 측정하였다.

마. DALAD( $\delta$  - aminolevulinic acid dehydratase) 함량 측정

혈중  $\delta$ -aminolevulinic acid dehydratase(DALAD) 함량은 Korsrud와 Meldrum의 방법을 응용하여 측정하였다. 즉, 혈액 0.25ml와 Triton X-100 (0.2%) 1.25ml을 넣어서 용혈 시킨 후 기질용액(0.1M Sodium phosphate buffer pH 6.8, 0.01M  $\delta$  - aminolevulinic acid, 0.01M Dithiothreitol) 1ml 를 넣고 37°C 수조에서 1 시간 동안 반응시킨다. 여기에 0.05M HgCl<sub>2</sub> 를 함유한 10% TCA용액 1ml와 0.05ml 포화 Cuperic sulfate를 첨가하여 반응을 정지시킨 후 27,000×g에서 10분간 원심분리 시키고 상등액에 Ehrlich's reagent 1ml를 넣어 15분간 방치 후 Spectrophotometer (JASCO, Uvidec-610)를 사용하여 555 nm에서 측정하였다. 간의 DALAD 함량은 0.1M Sodium phosphate buffer(pH 6.8)로 4% liver homogenate한 것을 사용하여 위와 동일한 방법으로 한다.

바. 대사시험

실험종료 1주일 전 실험동물을 stainless steel로 된 대사 cage에 옮기고 물과 사료는 동일한 조건으로 공급하면서 72시간 동안 뇨와 변을 채취하였다. 이때 공급된 사료 양과 뇨와 변의 양, 또한 사료, 뇨, 변속의 납 함량을 측정하여 납의 대사를 관찰하였다.

$$* \text{ 납의 축적량}(\mu\text{g}) = \text{Pb 섭취량}(\mu\text{g}) - \text{뇨와 변으로 배설된 Pb량}(\mu\text{g})$$

$$* \text{ 납의 축적율}(\%) = \frac{\text{Pb 축적량}(\mu\text{g})}{\text{Pb 섭취량}(\mu\text{g})} \times 100$$

$$* \text{ 납의 일반흡수율}(\%)$$

$$= 100 \times \frac{\text{Pb 섭취량}(\mu\text{g}) - \text{변으로 배설된 Pb량}(\mu\text{g})}{\text{Pb 섭취량}(\mu\text{g})}$$

## 사. 통계처리

측정된 자료는 SAS 통계 package program을 이용하여 분석하였다. 실험 식이의 처리에 의한 실험 결과는 각 군의 평균과 표준오차를 계산하였고, 각 군의 평균치의 비교는 분산 분석을 한 후 처리구 간의 유의성을 Duncan's multiple range test로 검정하였다. 또한 실험인자(Pb:중독 시의 Pb 수준, Pork:해독 시의 단백질 급원)의 영향과 이들의 상호작용(Pb\*Pork)에 의한 영향은  $\alpha=0.05$ 수준에서 이원배치 분산분석(two-way analysis of variance)으로 유의성을 검정하였다.

## 2. 돼지기름 투여가 납 해독에 미치는 영향

### 가. 실험 배치

본 시험은 돼지기름이 카드뮴에 중독 된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 행해졌다. 그리하여 처음 7주 동안은 일반 식이에 납 500 ppm을 첨가하여 중독을 유발시켰고, 이 중 일부 대사 시험을 실시하였으며 이 쥐를 희생시켜 중독을 확인하였고 계속하여 7주 동안은 납 섭취를 중단시켜, 해독이 저절로 이루어지도록 하였다. 이 해독과정 동안 대조 식이의 지방 급원인 옥수수기름을 돼지기름으로 완전대치시켜 돼지기름이 카드뮴 해독에 미치는 영향을 보고자 하였다. 실험배치는 다음 표 47과 같다.

Table 47. Experimental design for the effect of pork feeding on the intoxication of detoxification of lead

Treatment	Intoxication (7 weeks)		Detoxification (7 weeks)	
	lead	# of rats	Treatment	Fat source
A	0 ppm	18	6 sacrificed	
			6	AC corn oil
			6	AL lard
B	500 ppm	18	6 sacrificed	
			6	BC corn oil
			6	BL lard
C	500 ppm	18	6 sacrificed	
			6	CC Pb 500 ppm + corn oil
			6	CL Pb 500 ppm + lard

Male Sprague-Dawley rats를 54수 공시하였다. 실험 동물은 완전임의배치법에 의해 처리구 별로 체중이 균일하게 처리구 당 12수씩 배치하여 2수씩 stainless steel 사육 cage에 넣고 1주간 주위 환경에 적응시킨 후 본 실험을 실시하였다. 처음 6주간은 카드뮴에 의한 중독을 유발시키고자 하여 Pb acetate를 카드뮴 기준으로 0, 500 ppm을 각각 첨가하여 사료를 제조하였다. 실험 식이는 A1N-76 Purified diet 배합표를 기준으로 하되 흰쥐 식이 중의 sucrose양을 10%로 줄이고 옥수수 전분으로 대체하였다(표 5 참조). 식이와 증류수는 제한 없이 먹게 하였다.

7주 후 납 중독 효과를 확인하기 위하여 각 처리구에서 임의로 6수씩을 희생시켜 중독을 확인하였다. 나머지 6수씩을 임의로 두 처리구씩으로 나누어 모두 4처리구로서 해독 시험을 6주간 행하였다. 해독 시험 동안에는 카드뮴은 더 이상 첨가하지 않았으며 실험식이의 지방 급원은 옥수수기름을 이용하거나 돼지기름으로 완전히 대체되었다. 다른 분석항목은 앞에서 언급한 바와 동일하다.

### 3. 돼지고기 돼지기름 동시 투여가 카드뮴 해독에 미치는 영향

#### 가. 실험 배치

본 시험은 돼지고기와 돼지기름의 동시 투여가 납에 중독된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 행해졌다. 그리하여 처음 7주 동안은 일반 식이에 납 500 ppm을 첨가하여 중독을 유발시켰고, 이 중 일부 쥐를 대사시험에 사용하였다. 대사 시험 후 이 쥐들을 희생시켜 중독을 확인하였고 나머지 쥐들은 계속하여 7주 동안 납 섭취를 중단시켜, 해독이 저절로 이루어지도록 하였다. 납 중독시험 종료일에 0 ppm 군은 돼지기름+돼지고기와 옥수수기름+카제인의 두군으로 나누고 500 ppm군은 크게 두군으로 나누어 납 500 ppm을 계속 투여하는 군과 더 이상 납을 투여하지 않는 군으로 나눈 후 다시 세부적으로 각 군을 돼지기름+돼지고기 투여와 옥수수기름+카제인투여구로 나누어 결과적으로 4군으로 나누었다. 이 해독과정 동안 대조 식이의 단백질 급원인 카제인을 돼지고기로 완전 대체시켰으며, 지방 급원인 옥수수기름을 돼지기름으로 완전대치시켜 돼지고기와 돼지기름의 동시투여가 납 해독에 미치는 영향을 보고자 하였다. 실험배치는 다음 표 48과 같다.

Table 48. Experimental design for the effect of pork and lard feeding on the intoxication and detoxification of lead

Treatment	Intoxication (7 weeks)		Detoxification (7 weeks)	
	Lead	# of rats	Treatment	Fat source/ Prtotein source
A	0 ppm	18	6 sacrificed	
			6	AC corn oil / casein
			6	AL lard / pork
B	500 ppm	18	6 sacrificed	
			6	BC corn oil / casein
			6	BL lard / pork
C	500 ppm	18	6 sacrificed	
			6	CC Pb 500 ppm + corn oil / casein
			6	CL Pb 500 ppm + lard / pork

평균체중이  $105.9 \pm 4.3$ 인 male Sprague-Dawley rats를 54수 공시하였다. 실험 동물은 완전임의배치법에 의해 처리구 별로 체중이 균일하게 처리구 당 12수씩 배치하여 2수씩 stainless steel 사육 cage에 넣고 1주간 주위 환경에 적응시킨 후 본 실험을 실시하였다. 처음 7주간은 납에 의한 중독을 유발시키고자 하여 Pb acetate를 납 기준으로 0, 500 ppm을 각각 첨가하여 사료를 제조하였다. 실험식은 A1N-76 Purified diet 배합표를 기준으로 하되 흰쥐 식이 중의 sucrose양을 10%로 줄이고 옥수수 전분으로 대체하였다(표 5 참조). 식이와 증류수는 제한 없이 먹게 하였다.

7주 후 카드뮴 중독 효과를 확인하기 위하여 각 처리구에서 임의로 6수씩을 희생시켜 중독을 확인하였다. 나머지 6수씩을 임의로 두 처리구씩으로 나누어 모두 4처리구로서 해독 시험을 7주간 행하였다. 해독 시험 동안에는 납은 더 이상 첨가하지 않았으며 실험식의 단백질 급원은 카제인을 이용하거나 돼지고기로 완전히 대체되었다. 또한, 실험식의 지방 급원은 옥수수기름을 이용하거나 돼지기름으로 완전히 대체되었다. 돼지고기는 카제인을 대체하기 위해 삶은 뒷다리 부위를 하루 저

넉 실온에서 방치한 후 이용하였는데 그 첨가량은 casein을 사용하였을 때와 동일한 단백질 함량이 나오도록 고려하였다. 즉 삶은 돼지고기의 수분(55.9%) 및 단백질 함량(35.9%)을 고려하여 단백질 급원으로서의 카제인 20%를 모두 돼지고기로 대치한 사료에서는 삶은 돼지고기 55.7g 을 첨가하였다. 다른 분석항목은 앞에서 언급한 바와 동일하다.

### 제 3 절 결과 및 고찰

#### 1. 흰쥐를 이용한 납 중독 유발과 돼지고기에 의한 해독 효과

##### 가. 체중, 사료효율

실험 동물의 체중 증가와 식이 효율은 표 49와 같다. 처음에 실험 식이를 급여하기 전에는 각 처리구 간에 체중 차이는 250 ppm 처리군이 약간의 차이를 보였으나 전체적으로는 그다지 큰 유의적인 차이를 보이지 않았다. 6주 동안 납중독용 실험 식이를 공급한 결과, 최종 체중은 각 처리구 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 납 공급군은 대조구에 비해 점차적으로 체중증가량이 감소되었다.

식이 효율 (Feed Efficiency Ratio=weight gain/feed)은 납의 투여가 높을수록 식이 효율이 유의적으로 낮아져, 납 50 ppm 첨가구의 경우는 대조구와 유의적인 차이가 없었으나 납 100 ppm 이상부터는 점차적으로 저하됨을 볼 수 있었다. 납 투여에 의한 성장의 둔화 경향을 보인 실험 결과는 다른 연구에서도 보여진다. 이와 김(1997)은 식이 섭취량, 체중증가량, 식이 효율이 모두 유의적으로 감소하였으며, 류와 김(1996)도 대조군에 비해 납 공급군에서 모두 감소되었음을 보였다. 납은 식이 섭취에 직접 영향을 주어 사료섭취를 감소시키거나, 납 급여로 인한 식욕감퇴와 성장장애 유발에 따른 식이 섭취량과 체중증가량의 감소현상이 나타나는 것으로 여겨진다.

Table 49. Body weight, and feed efficiency ratio of lead-exposed rats

Treatment	Pb (ppm)	Initial weight	Final weight	FER gain/feed
A	0	64.50±2.61	323.9±29.93 <sup>a</sup>	0.329±0.040 <sup>a</sup>
B	50	66.15±7.09	304.9±35.52 <sup>ab</sup>	0.326±0.040 <sup>a</sup>
C	100	69.99±5.55	309.4±5.98 <sup>ab</sup>	0.311±0.008 <sup>ab</sup>
D	250	73.89±2.00	279.8±19.58 <sup>ac</sup>	0.283±0.026 <sup>b</sup>
E	500	70.31±6.14	258.1±15.96 <sup>c</sup>	0.298±0.028 <sup>ab</sup>

\*  $\alpha = 0.05$

해독에 의한 체중변화는 다음 표 50과 같다. 납 급여를 중단하고 난 후 체중회복이 급격히 이루어졌다. 돼지고기를 급여한 쥐의 경우(BP, CP, DP, EP), AP를 제외하고 카제인을 급여한 쥐에 비해 평균체중이 높은 수치를 나타내었다. 그리하여 해독시험이 종료된 후의 체중에 영향을 주는 요인(Significant factor)으로는 납중독의 경력보다는 돼지고기에 의한 차이가 두드러지는 것으로 나타났다(pork\*,  $p < 0.05$ ). 납 급여를 중단하고 난 후 납 투여율이 높을수록 식이 효율이 높아짐을 알 수 있다. 식이 효율의 경우에도 돼지고기를 공급한 쥐가 카제인을 공급한 쥐에 비해 약간 높은 수치를 나타내었다. 납 투여를 중단하면 정상체중으로 회복하기 위해 식이 효율이 매우 높아진다. 돼지고기를 공급한 군은 최종체중이 모두 대조구보다 높았고, 카제인을 공급한 군은 비슷하거나 약간 낮았지만 정상체중을 나타냈다. 식이 효율에 영향을 주는 요인은 납중독 경력( $p < 0.0005$ )과 돼지고기 섭취여부( $p < 0.005$ )로 나타났다.

Table 50. Body weight, and feed efficiency ratio of detoxifying rats

Treatment	Initial weight	Final weight	FER gain/feed
AC	330.88 ± 61.57 <sup>a</sup>	453.42 ± 96.37 <sup>ab</sup>	0.11 ± 0.04 <sup>d</sup>
AP	317.24 ± 44.59 <sup>a</sup>	385.99 ± 193.97 <sup>b</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>bcd</sup>
BC	303.12 ± 35.74 <sup>ab</sup>	435.87 ± 41.03 <sup>ab</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>cd</sup>
BP	299.63 ± 37.78 <sup>ab</sup>	457.23 ± 72.25 <sup>ab</sup>	0.15 ± 0.05 <sup>bcd</sup>
CC	315.46 ± 29.81 <sup>a</sup>	462.80 ± 45.83 <sup>ab</sup>	0.14 ± 0.04 <sup>bc</sup>
CP	303.26 ± 20.81 <sup>ab</sup>	492.80 ± 23.94 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.02 <sup>bc</sup>
DC	280.98 ± 39.16 <sup>abc</sup>	443.35 ± 42.98 <sup>ab</sup>	0.16 ± 0.03 <sup>bc</sup>
DP	291.08 ± 41.52 <sup>abc</sup>	489.45 ± 25.16 <sup>ab</sup>	0.18 ± 0.04 <sup>ab</sup>
EC	248.50 ± 41.11 <sup>bc</sup>	416.65 ± 60.98 <sup>b</sup>	0.17 ± 0.04 <sup>bc</sup>
EP	241.33 ± 50.51 <sup>c</sup>	479.95 ± 61.03 <sup>ab</sup>	0.21 ± 0.02 <sup>a</sup>
Significant factors	Pb <sup>***</sup>	Pork*	Pb <sup>***</sup> Pork <sup>**</sup>

\*  $\alpha = 0.05$

나. 헤모글로빈과 헤마토크릿

납중독에 의해 헤모글로빈과 헤마토크릿 모두는 납 농도가 높아질 수록 비례적으로 그 수치가 낮아지는 변화를 볼 수 있었다(표 51). 이런 결과는 이와 권(1992)의 연구에서도 보여지는데, 납중독은 적혈구 수명을 감소시키고, 적혈구 막의 Na<sup>+</sup>-K ATPase의 감소를 일으켜 세포막의 기능을 상실케 함으로써 용혈성 빈혈과 망상적혈구 증가가 나타나게 되고 조혈인자의 저해로 세포수가 급격히 감소하게 된다(Waldron, 1980 : Hansan등, 1967).

해독작용에서는 납 급여가 중단되면서 헤마토크릿치는 정상과 비슷한 수준으로 상승되어 B, C 처리구는 대조구와 같은 수준을 이루었고, 납중독이 심했던 D, E 처리구는 대조구 보다는 약간 낮은 수치이나 양호한 결과를 나타내었다.

Table 51. Hemoglobin content and hematocrit value of lead-exposed rats

Intoxication				Detoxification		
Treatment	Pb (ppm)	Hb	Hct	Treatment	Hct	t test
A	0	11.43±1.93 <sup>d</sup>	36.25±1.75 <sup>d</sup>	AC	36.76±0.90 <sup>ab</sup>	*
				AP	37.17±3.37 <sup>ab</sup>	
B	50	11.38±1.08 <sup>d</sup>	33.90±3.15 <sup>ab</sup>	BC	37.20±2.06 <sup>ab</sup>	
				BP	36.02±1.37 <sup>ab</sup>	
C	100	11.22±0.96 <sup>d</sup>	32.42±2.20 <sup>b</sup>	CC	35.51±2.25 <sup>b</sup>	
				CP	39.22±1.95 <sup>a</sup>	
D	250	10.88±1.01 <sup>d</sup>	31.50±2.37 <sup>bc</sup>	DC	33.83±2.76 <sup>b</sup>	
				DP	35.18±2.82 <sup>b</sup>	
E	500	9.74±1.15 <sup>d</sup>	28.25±2.94 <sup>c</sup>	EC	33.83±1.66 <sup>b</sup>	
				EP	35.18±3.96 <sup>b</sup>	
				Significant factors	Pb*	

다. 조직의 무게

간 무게는 납 투여에 따른 대조군과의 유의적인 차이를 보이지 않았고, 체중 100g에 따른 간의 무게 또한 대조구보다 무게가 늘어나기는 했으나 처리구간의 큰 차이는 없었으며 납 투여 정도에 따른 일정한 경향을 찾기 힘들었다(표 52). 즉, 납 투여가 간장에는 특별한 영향을 끼치지 않는 것으로 보여졌다. 신장의 경우에는 납중독이 심해지면서 무게가 증가하여 유의적인 차이를 보였고, 100g에 따른 신장 무게도 유의적인 차이는 보이지 않았지만 납중독이 심할수록 신장이 비대해짐을 볼 수 있었다. 김, 이(1997)는 납 급여시 흰쥐의 신장과 비장의 무게가 증가하였다는 보고를 한 바 있으며 Suzuki 와 Yoshida(1979)도 신장의 비대를 촉진한다고 보고하였다.

Table 52. Organ weight of intoxicated rats

Treatment	Pb (ppm)	Liver (g/100g bw)	Liver (g)	Kidney (g/100g bw)	Kidney (g)
A	0	3.56±0.56 <sup>b</sup>	11.56±3.27 <sup>ns</sup>	0.72±0.05 <sup>c</sup>	0.72±0.05 <sup>ns</sup>
B	50	3.78±0.13 <sup>ab</sup>	11.70±1.37	0.83±0.04 <sup>bc</sup>	0.83±0.04
C	100	4.23±0.51 <sup>a</sup>	12.77±1.43	0.91±0.13 <sup>ab</sup>	0.91±0.13
D	250	3.79±0.21 <sup>ab</sup>	10.74±0.98	0.88±0.12 <sup>ab</sup>	0.88±0.12
E	500	3.82±0.31 <sup>ab</sup>	11.07±1.48	0.98±0.12 <sup>a</sup>	0.98±0.12

\*  $\alpha = 0.05$ 

해독 시험 후 장기 무게변화를 보면 간 무게는 CC, CP 처리구가 가장 높게 나왔고, EC처리구가 가장 낮아 납중독이 가장 심한 경우 무게가 감소되었으나 다른 경우에는 별 차이를 보이지 않았다. 체중 100g당 간의 무게는 CP와 EC를 제외하고는 대조군과의 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 체중 100g당 간의 무게에 영향을 주는 인자로는 돼지고기 섭취여부( $p < 0.05$ )가 있음을 보여주었다. 즉, 돼지고기를 섭취한 경우 간이 더 커졌음을 보여주었다. 신장의 경우는 납 투여군이 대조군보다 무게가 더 많이 나가 신장이 비대해졌음을 알 수 있었고, 체중 100g당 무게도 납 투여가 높을수록 신장의 무게가 커져 E군이 가장 높은 값을 나타냈다. 그리하여 신장무게에 영향을 주는 인자는 납중독 여부( $p < 0.05$ ), 돼지고기 섭취여부( $p < 0.05$ )가 나타났으며 체중 100g당 신장무게에 영향을 주는 인자는 납중독( $p < 0.05$ )과 돼지고기 섭취의 상호작용( $Pb * Pork, p < 0.05$ )가 있음을 보였다. 고환의 무게를 보면, 납중독 후 해독시의 무게는 처리구간에 아무런 차이를 보이지 않았다. 그러나 납 500 ppm으로 중독되었던 EC와 EP처리구의 경우 체중 100g당 고환의 무게는 돼지고기 섭취에 의해 고환 무게가 작음을 보여주었다. 특히 이러한 현상이 두드러졌다.

Table 53. Organ weight of detoxified rats

Treatment	Liver (g/100g bw)	<i>t</i> test	Liver (g)	<i>t</i> test	Kidney (g/100g bw)	<i>t</i> test	Kidney (g)	<i>t</i> test
AC	3.42±0.24 <sup>a</sup>		15.71±4.37 <sup>ab</sup>		0.61±0.03 <sup>d</sup>		2.78±0.62 <sup>bc</sup>	
AP	3.62±0.38 <sup>a</sup>		17.04±1.95 <sup>ab</sup>		0.68±0.06 <sup>bcd</sup>		3.20±0.23 <sup>abc</sup>	
BC	3.46±0.30 <sup>a</sup>		15.15±2.29 <sup>ab</sup>		0.62±0.02 <sup>d</sup>		2.73±0.28 <sup>c</sup>	
BP	3.31±0.53 <sup>a</sup>		15.10±3.41 <sup>ab</sup>		0.67±0.03 <sup>bcd</sup>		3.06±0.42 <sup>abc</sup>	
CC	3.48±0.37 <sup>a</sup>		16.22±3.14 <sup>ab</sup>		0.65±0.03 <sup>cd</sup>		3.01±0.24 <sup>abc</sup>	
CP	3.67±0.30 <sup>a</sup>		18.13±1.98 <sup>a</sup>		0.68±0.04 <sup>bcd</sup>		3.36±0.11 <sup>a</sup>	
DC	3.24±0.31 <sup>a</sup>		14.43±2.36 <sup>ab</sup>		0.73±0.06 <sup>ab</sup>		3.27±0.40 <sup>ab</sup>	
DP	3.33±0.22 <sup>a</sup>		16.34±1.50 <sup>ab</sup>		0.68±0.08 <sup>abcd</sup>		3.37±0.39 <sup>a</sup>	
EC	3.22±0.28 <sup>a</sup>		13.54±2.82 <sup>b</sup>		0.75±0.08 <sup>a</sup>		3.13±0.37 <sup>abc</sup>	
EP	3.28±0.25 <sup>a</sup>		15.84±2.67 <sup>ab</sup>		0.70±0.02 <sup>abc</sup>		3.40±0.48 <sup>a</sup>	
Significant factors			Pork <sup>*</sup>		Pb <sup>**</sup> Pb*Pork <sup>*</sup>		Pb <sup>*</sup> Pork <sup>**</sup>	

\*  $\alpha = 0.05$ 

Table 54. Organ weight of detoxified rats(continued)

Treatment	Testis (g/100g bw)	<i>t</i> test	Testis	<i>t</i> test
AC	0.70±0.07 <sup>ab</sup>		3.17±0.64 <sup>ns</sup>	
AP	0.71±0.08 <sup>ab</sup>		3.33±0.16	
BC	0.71±0.09 <sup>ab</sup>		3.08±0.28	
BP	0.72±0.17 <sup>ab</sup>		3.25±0.42	
CC	0.74±0.03 <sup>ab</sup>		3.46±0.34	
CP	0.68±0.01 <sup>ab</sup>		3.38±0.10	
DC	0.77±0.05 <sup>ab</sup>		3.45±0.34	
DP	0.71±0.06 <sup>ab</sup>		3.48±0.24	
EC	0.81±0.14 <sup>a</sup>		3.31±0.21	
EP	0.66±0.08 <sup>b</sup>		3.15±0.16	
Significant factors				

\*  $\alpha = 0.05$

라. 조직 내 카드뮴 축적 농도

간, 신장, 대퇴골의 납중독은 다음(표 55)과 같다. 언급된 모든 조직에서 납 섭취량이 높을수록 납 축적량은 통계적으로 유의적인 차이를 보였다. 각 조직에서의 축적 농도를 보면 대퇴골, 신장, 간 순으로 축적량이 높으며 간에서의 축적 농도보다 신장은 약 2-3배, 대퇴골은 8배에서 최대 37배까지 평균 30배의 높은 축적량을 보였다.

Table 55. Lead accumulation in organ of intoxicated rats

Treatment	Pb (ppm)	Liver	Kidney	Tibia
A	0	1.98±2.17 <sup>c</sup>	1.85±1.44 <sup>c</sup>	17.04±4.86 <sup>c</sup>
B	50	5.53±2.58 <sup>bc</sup>	11.25±4.06 <sup>c</sup>	121.75±33.86 <sup>bc</sup>
C	100	4.49±1.63 <sup>c</sup>	17.10±2.92 <sup>bc</sup>	185.67±24.94 <sup>b</sup>
D	250	10.19±1.91 <sup>ab</sup>	28.55±7.20 <sup>b</sup>	350.40±95.04 <sup>a</sup>
E	500	13.88±7.51 <sup>a</sup>	50.36±23.91 <sup>a</sup>	480.82±190.27 <sup>a</sup>

\*  $\alpha = 0.05$

해독 시 전반적으로 조직 내 납 함량이 매우 감소된 것을 볼 수 있다. 간의 경우 카제인 공급군에서는 약 3배, 돼지고기 공급군에서는 최대 6배의 납 감소율을 보였으며, 특히 돼지고기 공급군에서의 해독율은 매우 높아 처음 중독 시 대조구의 수준까지 낮아졌고 통계적으로 유의하게 차이를 나타냈다. 그리하여 간에서의 납 축적에 영향을 미치는 요인으로는 납중독 여부( $p < 0.0005$ ), 돼지고기 섭취( $p < 0.0005$ ), 납과 돼지고기 섭취의 교호작용( $p < 0.0005$ )이 모두 작용하는 것으로 나타났다. 신장에서는 큰 감소를 보이지는 않았으나 감소 경향은 보였으며 E군(500 ppm)서만 오히려 납이 증가한 결과를 나타내었다. 즉, 신장은 간에서 축적되었던 납이 해독되는 과정에서 서서히 이동되는 납이 축적됨을 보여주었다. 또한 돼지고기에 의해서 신장 내 납의 축적량이 낮아지는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 대퇴골은 약 1.3-2배의 감소율을 보였고 유의적인 차이를 나타내었다. 이로서 중금속 제거

속도가 간에서 가장 빠르고 신장에서는 납 제거율이 매우 낮아 대퇴골보다 느림을 알 수 있다. 대퇴골에서의 납 함량은 돼지고기를 섭취한 경우 현저히 낮아져서, 요인분석 결과를 보면 납중독 여부( $p < 0.0005$ )와 돼지고기 섭취 여부( $p < 0.005$ )가 대퇴골 납 함량에 영향을 미치는 중요 요인임을 보여주었다.

신장은 납을 배출하는 주요 장기로 납에 가장 민감한 표적기관이다. 납에 중독된 동물의 신장과 간의 미토콘드리아는 크기가 커지고 호흡과 인산화에 손상을 받는다. Conrad와 Bartan(1978)은 흰쥐에 lead acetate를 정맥내 투여한 후 시간에 따른 장기 축적량을 살펴본 실험에서 신장, 적혈구, 간의 순서로 축적되었다고 한다. 납은 골격에 lead crystal salt로 침착한 후 유기 matrix와 점차적으로 결합 함으로써 불용성의 lead triphosphate형태로 침착되어 골격에 축적되는데 골격은 체내 납의 90-95%가 비확산 형태의 납으로 존재하고 있는 주된 납 축적장소이다. 카제인 공급군보다 돼지고기 공급군의 해독율이 훨씬 높아 조직 내 납 축적이 낮게 나타났으며 특히 간에서의 납 축적 농도에 영향을 미치는 인자로서 납뿐만 아니라 납과 돼지고기 섭취여부의 교호작용( $Pb^{***}$ ,  $Pb*Pork^{***}$ )등이 나타났다(표 56). 즉, 돼지고기 공급군이 더 효과적으로 해독이 이루어졌음을 알 수 있어 단백질 종류에 따른 장기 납 농도 차이가 있음을 보여주었다.

Table 56. Lead accumulation in organ of detoxicated rats

Treatment	Liver	<i>t</i> test	Kidney	<i>t</i> test	대퇴골	<i>t</i> test
AC	0.37±0.15 <sup>g</sup>		1.76±0.61 <sup>b</sup>		18.83±3.81 <sup>t</sup>	
AP	0.40±0.17 <sup>g</sup>		0.96±0.75 <sup>b</sup>		17.62±4.01 <sup>t</sup>	
BC	1.27±0.39 <sup>ed</sup>		5.84±2.96 <sup>b</sup>		96.71±11.33 <sup>de</sup>	
BP	0.61±0.21 <sup>ig</sup>		3.78±1.23 <sup>b</sup>		79.69±15.50 <sup>e</sup>	
CC	1.48±0.38 <sup>cde</sup>		6.03±0.70 <sup>b</sup>		129.64±12.50 <sup>d</sup>	
CP	1.03±0.52 <sup>et</sup>		4.46±0.76 <sup>b</sup>		98.70±13.36 <sup>de</sup>	
DC	2.24±0.74 <sup>b</sup>		20.92±11.19 <sup>b</sup>		185.27±43.33 <sup>c</sup>	
DP	1.91±0.71 <sup>bc</sup>		17.93±12.74 <sup>b</sup>		164.35±30.85 <sup>c</sup>	
EC	4.14±0.31 <sup>a</sup>		78.13±32.56 <sup>a</sup>		285.78±37.89 <sup>a</sup>	
EP	1.84±0.39 <sup>bcd</sup>		81.96±44.32 <sup>a</sup>		228.79±54.52 <sup>b</sup>	
Significant factors	Pb <sup>***</sup> Pork <sup>***</sup> Pb*pork <sup>***</sup>		Pb <sup>***</sup>		Pb <sup>***</sup> Pork <sup>**</sup>	

\*  $\alpha = 0.05$

마. DALAD( $\delta$  - aminolevulinic acid dehydratase)

납 중독에 의해 헤모글로빈과 헤마토크릿은 납 투여 정도에 따라 감소되었으나 DALAD 활성은 처리구마다 차이는 보였으나 납 투여 정도에 따른 일관적인 변화는 찾기 힘들었다(표 57). DALAD는 HEM합성과정에서  $\delta$ -aminolevulinic acid (ALA)를 porphobilinogen으로 전환 시키는데 이용되는 효소로, 납은 DALAD의 활성을 저해시킴으로서 HEM생성에 지장을 주는 것으로 Wapnir등(1997)은 보고했다. 본 시험에서 납중독시험은 납을 0, 50, 100, 250, 500 ppm수준에서 급여시 liver 중 Pb함량은 activated DALAD의 경우에 4.93, 4.14, 5.33, 6.83, 5.88로 100 ppm 이상 투여시 대조구에 비해 현저히 증가 경향을 보였다( $p < 0.05$ ). 그러나 혈액에서는 일정한 경향을 보이지 않았다. 한편, activated DALAD / non-activated DALAD의 비율을 보면 Pb 수준이 0 ppm에서 0.75, 50 ppm에서 0.70으로 낮은 반면에 Pb수준을 100 ppm이상으로 첨가 시에는 activated DALAD / non-activated DALAD의 비율은 높

아 졌으며 특히 납 500 ppm 구에서는 1.13으로 activated DALAD 함량 비율이 현저히 많아졌다. 그러나 납 중독시 활성 DALAD / 비활성 DALAD비율은 Korsrud 등 (1988)의 보고와는 차이를 보이고 있다. 즉, 납 0 ppm구에서 activated DALAD 함량은 5.57로 본시험 결과와는 유사한 성적이지만, 그 활성/비활성 DALAD비율에 있어서는 납 0 ppm구에서는 1.11 -1.12, 납 100 ppm 구에서는 5.60-7.10으로 납중독 시에 그 비율이 현저히 높아졌다고 보고했다.

Table 57. DALAD activity in the liver and blood.

Treat -ment	Pb (ppm)	Liver			Blood		
		activated DALAD(A)	non-activated DALAD(B)	Ratio A/B	activated DALAD(A)	non-activated DALAD(B)	Ratio A/B
A	0	4.93±1.17 <sup>b</sup>	6.59±1.18 <sup>ab</sup>	0.75	0.41±0.02 <sup>ab</sup>	0.09±0.06 <sup>a</sup>	4.56
B	50	4.14±1.67 <sup>b</sup>	5.89±1.58 <sup>ab</sup>	0.70	0.39±0.06 <sup>b</sup>	0.09±0.07 <sup>a</sup>	4.33
C	100	5.33±0.86 <sup>ab</sup>	7.34±1.55 <sup>a</sup>	0.73	0.47±0.12 <sup>ab</sup>	0.07±0.06 <sup>a</sup>	6.71
D	250	6.83±1.82 <sup>a</sup>	6.91±1.18 <sup>ab</sup>	0.99	0.48±0.11 <sup>ab</sup>	0.12±0.13 <sup>a</sup>	4.00
E	500	5.88±0.58 <sup>ab</sup>	5.21±1.18 <sup>b</sup>	1.13	0.54±0.14 <sup>a</sup>	0.13±0.13 <sup>a</sup>	4.15

\*  $\alpha = 0.05$

해독 과정에서 간과 혈액의 non-activated DALAD 활성은 중독 과정 시와 비교하였을 때 비교적 높게 나타났다(표 58, 표 59). 납 해독 시험에 있어서는 간에 있는 DALAD함량 분석 경향이 대조구에 비해서 pork 첨가구가 활성,비활성에 관계 없이 또한 납 첨가 수준에 관계없이 유의적으로 높아졌음을 알수 있다. 즉, 돼지고기 첨가에 의해서 DALAD의 함량이 증가했다는 결과는 매우 고무적인 결과였다. 즉, DALAD의 함량이 높아졌다는 것은 납중독에 대한 해독 효과가 있다는 의미이다.

Liver 중에 activated DALAD 함량은 납 0 ppm 구에서는 돼지고기 무첨가구와 돼지고기 첨가구와 비교 시 각각 4.58 에서 6.14로, 납 50 ppm구에서는 3.97에서 6.87로, 납 100 ppm 구에서는 4.26에서 7.09로, 납 250 ppm구에서는 5.95에서 9.19

로, 납 500 ppm구에서는 5.52 에서 7.37로 현저하게 돼지고기 첨가에 의해서 activated DALAD 함량이 증가됐다.( $P < 0.005$ ). Non-activated DALAD 함량도 유사한 경향으로서 돼지고기 첨가구가 비첨가구에 비해서 납농도에 관계없이 DALAD 함량이 유의하게 증가됐음을 알 수 있다. 또한 activated DALAD / non-activated DALAD 비율에 있어서도 거의 일정한 경향을 보였는데 돼지고기 첨가구는 비첨가구에 비해서 그 비율이 낮게 평가됐다. 즉, 납 0 ppm구는 돼지고기 비첨가구가 0.62, 돼지고기 첨가구가 0.58, 납 100 ppm구는 비첨가구가 0.55, 첨가구가 0.45, 납 250 ppm구는 돼지고기 비첨가구가 0.82, 첨가구가 0.61, 납 500 ppm구는 돼지고기 비첨가구가 0.77, 돼지고기 첨가구가 0.56으로, 돼지고기는 납 해독에 크게 기여했음을 알 수 있다.

즉, 돼지고기 첨가에 의해서 납 중독으로 야기된 DALAD의 감소 현상을 크게 극복해 효소의 활성을 높인 것으로 해석된다.

Table 58. Activated DALAD and non-activated DALAD in the liver

Treatment	Liver				Ratio A/B
	Activated DALAD(A)	<i>t</i> test	Non-activated DALAD(B)	<i>t</i> test	
AC	4.58 ± 2.12 <sup>dc</sup>		7.37 ± 2.30 <sup>dc</sup>		0.62
AP	6.14 ± 1.47 <sup>abcd</sup>	*	11.58 ± 4.44 <sup>bc</sup>		0.58
BC	3.97 ± 1.07 <sup>d</sup>		6.32 ± 1.61 <sup>e</sup>		0.63
BP	6.87 ± 3.63 <sup>abc</sup>		10.67 ± 5.07 <sup>cd</sup>	*	0.64
CC	4.26 ± 1.96 <sup>cd</sup>		7.79 ± 0.78 <sup>de</sup>		0.55
CP	7.09 ± 2.50 <sup>abc</sup>		15.65 ± 3.94 <sup>a</sup>	**	0.45
DC	5.95 ± 1.83 <sup>bcd</sup>		7.24 ± 1.42 <sup>de</sup>		0.82
DP	9.19 ± 1.79 <sup>ab</sup>		15.14 ± 3.83 <sup>abc</sup>		0.61
EC	5.52 ± 2.27 <sup>bcd</sup>		7.17 ± 1.52 <sup>de</sup>		0.77
EP	7.37 ± 3.97 <sup>a</sup>		13.25 ± 1.68 <sup>ab</sup>	*	0.56
Significant factors	Pb* Pork***		Pork***		

\*  $\alpha = 0.05$

Table 59. Activated DALAD and non-activated DALAD in the blood

Treatment	Blood				Ratio A/B
	Activated DALAD(A)	t test	Non-activated DALAD(B)	t test	
AC	0.39±0.08 <sup>ab</sup>		0.21±0.07 <sup>a</sup>		1.86
AP	0.44±0.03 <sup>a</sup>		0.23±0.03 <sup>a</sup>		1.91
BC	0.33±0.14 <sup>bc</sup>		0.11±0.02 <sup>b</sup>		3.00
BP	0.29±0.04 <sup>c</sup>	*	0.08±0.04 <sup>b</sup>		3.63
CC	0.28±0.06 <sup>c</sup>		0.07±0.04 <sup>b</sup>		4.00
CP	0.29±0.06 <sup>bc</sup>		0.08±0.04 <sup>b</sup>		3.63
DC	0.26±0.06 <sup>c</sup>		0.07±0.05 <sup>b</sup>		3.71
DP	0.31±0.08 <sup>bc</sup>		0.09±0.06 <sup>b</sup>		3.44
EC	0.35±0.07 <sup>abc</sup>		0.09±0.07 <sup>b</sup>		3.89
EP	0.30±0.07 <sup>bc</sup>		0.11±0.06 <sup>b</sup>		2.73
Significant factors	Pb**		Pb***		

\*  $\alpha = 0.05$

바. 대사 시험

납 중독 시의 대사 시험 결과를 보면 납의 경우 카드뮴과 달리 체내의 보유율이 매우 높게 나타났다(표 60). 납 50 ppm을 투여한 경우에도 보유율이 84%에 이르렀으며 250 ppm과 500 ppm 투여구에서는 98% 가량으로 나타났다. 이는 납이 카드뮴보다 흡수가 잘 되고 대사되어 배출되는 속도가 느린 것으로 추정되었다. 또한 카드뮴에서는 카드뮴의 배설이 주로 분에 의해서만 이루어진 반면, 납에서는 분 뿐만 아니라 뇨를 통한 배설량도 상당 부분을 차지하고 있음을 보였다.

Table 60. Metabolic trial of lead-exposed rats

측정항목	Pb 처리수준 (ppm)				
	A ( 0 )	B ( 50 )	C ( 100 )	D ( 250)	E (500)
쥐 시험두수	3	3	3	3	3
개시체중 (g)	311.5	317.9	302.9	294.0	260.1
종료시체중	313.4	336.2	310.0	310.1	285.8
일당증체량	0.38	3.67	1.41	3.21	5.14
음수량 (ml/두)	42.3	57.7	64.7	64.0	95.7
총사료급여량 (g)	76.0	108.45	92.5	112.8	100.5
사료중 Pb (ppm)	1.82	46.8	93.8	307.0	508.0
총Pb섭취 ( $\mu$ g)	138	5,075	8,676	34,629	51,054
총분량 (g)	6.41	8.36	7.92	10.83	10.52
분중 Pb (ppm)	8.33	84.49	21.23	48.82	75.07
분Pb배설 ( $\mu$ g)	53.40	705.8	168.1	528.7	789.7
총뇨량 (g)	46.25	83.86	89.26	123.10	190.13
뇨중 Pb ( $\mu$ g)	0.69	1.22	2.83	1.51	2.06
뇨 중 Pb( $\mu$ g)	31.91	102.3	252.6	185.9	391.7
총Pb배설 ( $\mu$ g)	85.31	808.1	420.7	714.6	1,181
Pb retention( $\mu$ g)	52.69	4,267	8,087	33,914	49,873
Pb retention (%)	38.2	84.1	93.2	97.9	97.7

\* 대사시험 기간 : 98.2 10 - 2.15

7주간 lead acetate를 투여하여 납 중독 된 흰쥐에게 casein 단백질 대신 돼지고기(pork) 단백질의 급여가 Pb의 해독에 미치는 효과를 조사하였다(표 61). 앞서 실시한 7주간의 납 중독시험 종료일에 A~E의 6처리구에서 각 처리구별로 18수 중

에서 6수씩 희생시킨 다음 남은 12수를 대상으로 6수씩 2군으로 나누어 casein 단백질 vs pork 단백질의 납 해독 효과를 비교하였다. 한편 본 해독시험에서 처리구 C'의 경우 7주간의 중독에 이어 7주간의 해독기간 중에도 100 ppm Pb를 계속 투여하여 중독 7주간만 100 ppm의 Pb를 투여한 처리구C와 돼지고기의 첨가에 따른 해독 효과를 비교하였다. 납 해독 대사시험 결과는 표 61 및 표 62와 같다. 납 중독 처리구의 경우 축적되어 있던 납이 배설되어 나올 때 돼지고기의 투여에 의해 납의 보유율이 낮아짐을 볼 수 있었다. 또한 납 계속 처리구(C')의 경우 돼지고기의 효과는 두드러져서 분에 의한 배설도 증가되었고 뇨에 의한 배설은 거의 9배 가량 증가되었다. 그러나 카드뮴 500 ppm 처리구에서는 돼지고기에 의한 해독촉진 효과가 나타나지 않았다. 납은 배설이 뇨와 분에 의해 이루어지며, 돼지고기를 투여한 경우 특히 뇨로의 배설을 촉진시켜 줌으로써 중금속 보호작용을 할 수 있는 것으로 보여졌다.

Table 61. Metabolic trial of lead-detoxified rats

측정항목	Pb 첨가수준 (ppm)					
	A(0)		B(50)		C(100)	
돼지고기 (%) <sup>1</sup>	0	100	0	100	0	100
쥐 시험두수	3	3	3	3	3	3
개시체중 (g)	457.1	475.8	427.9	413.5	498.8	488.9
종료시체중	463.9	470.9	406.2	392.2	489.7	492.3
일당증체량	1.35	-0.99	-4.34	-4.26	-3.04	0.68
음수량 (ml/두)	64.6	58.4	58.8	43.4	50.9	99.2
총사료급여량 (g)	93.3	81.6	79.9	54.8	77.1	90.9
사료중 Pb (ppm)	1.82	1.69	1.82	1.69	1.82	1.69
총Pb 섭취 ( $\mu$ g)	169.8	137.9	145.4	92.6	140.3	153.6
총분량 (g)	12.8	12.4	9.64	5.77	10.9	14.1
분 중 Pb (ppm)	5.67	5.83	8.37	11.23	8.57	9.76
분 Pb배설 ( $\mu$ g)	72.6	72.3	80.7	64.8	93.4	137.6
총뇨량 (g)	45.9	46.2	52.1	31.2	47.0	120.8
뇨 중 Pb ( $\mu$ g)	0.46	0.45	0.36	0.57	1.65	2.27
뇨 Pb배설 ( $\mu$ g)	20.9	20.8	18.5	17.8	77.7	270.0
총Pb배설 ( $\mu$ g)	93.5	93.1	99.2	82.6	171.1	407.6
Pb retention ( $\mu$ g)	76.3	44.8	46.2	10.0	-30.8	-254
Pb retention (%)	44.9	32.5	31.8	10.8	-22.0	-165

1. Pb해독을 위해 casein을 돼지고기 단백질로 대체한 수준

\* 대사시험 기간 : 98. 3. 30 - 4 .4 (5일간)

Table 62. Metabolic trial of lead-detoxified rats (continued)

측정항목	Pb 첨가수준 (ppm)					
	C (+100) <sup>2</sup>		D (250)		E (500)	
돼지고기 (%) <sup>1</sup>	0	100	0	100	0	100
쥐 시험두수	3	3	3	3	3	3
개시체중 (g)	503.2	441.6	424.8	474.8	446.8	508.8
종료시체중	500.0	444.0	430.3	477.2	436.0	509.4
일당증체량	-0.64	0.48	1.10	0.48	-2.16	0.12
음수량 (ml/두)	63.8	45.5	57.5	53.8	87.1	92.1
총사료급여량 (g)	96.7	74.5	95.3	84.9	84.0	93.1
사료 중 Pb (ppm)	93.8	94.2	1.82	1.69	1.82	1.69
총 Pb섭취 (μg)	9,070	7,018	173.4	143.5	152.9	157.3
충분량 (g)	13.8	10.9	10.7	11.6	11.4	13.0
분 중 Pb (ppm)	95.1	106.0	15.7	14.1	21.4	17.2
분 Pb배설 (μg)	1,312	1,155	168.0	163.2	244.1	223.3
총뇨량 (g)	66.2	47.2	69.8	50.0	103.8	110.9
뇨 중 Pb (μg)	6.69	8.51	0.35	0.51	3.53	1.48
뇨 Pb배설 (μg)	442.9	4,018	24.1	25.3	366.7	164.5
총 Pb배설 (μg)	1,755	5,173	192.1	188.5	610.8	387.8
Pb retention(μg)	7,315	1,845	-18.7	-45.0	-457.9	-230.5
Pb retention (%)	80.7	26.3	-10.8	-31.4	-300	147

1. Pb해독을 위해 casein을 돼지고기 단백질로 대체한 수준

2. 이 처리군은 해독시험 기간에도 Pb투여군 임

\* 대사시험 기간 : 98. 3. 30 - 4. 4 (5일간)

## 2. 납 중독 흰쥐에 돼지기름의 해독 효과 시험

### 가. 흰쥐의 납 중독 시험

돼지기름이 납에 중독된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 처음 7주 동안은 일반식이에 납을 첨가하여 중독을 유발시켰다. 종료 시 체중과 식이효율은 납이 중독된 처리구에서 현저하게 낮게 나왔다(표 63).

Table 63. Growing performance of lead-exposed rats

측 정 항 목	Pb 처리수준(ppm)	
	A(0)	B(500)
No. rat	36	54
개시시체중 (g)	105.9±4.3	105.9±7.5
종료시체중 (g)	333.6±35.1	290.7±32.3
일당증체량 (g/day)	5.13±0.61	4.12±0.21
도살시체중 (g)	361.0±36.1	254.9±39.6

헤마토크릿과 헤모글로빈 수치는 납에 중독된 쥐에서 현저하게 낮게 나왔으며(표 64) 이는 납의 1차 실험 중 500 ppm 중독 결과와 동일하다. 간의 무게는 납 중독된 처리구에서 유의하게 낮게 나왔으나 신장과 정소의 무게는 납에 의해 영향을 받지 않았다. 그러나 체중 100g 당 간의 무게는 납 처리구에서 높게 나타났으나 유의적인 차이는 없었다. 한편 체중 100g 당 신장과 정소의 무게는 유의적으로 증가되었다. 흡수된 납은 장기 여러 곳에 축적되는 데 간 << 신장 << 대퇴골의 순서였다. 특히 이번 결과에서는 납 1차 실험 때보다 신장에서의 축적이 높게 나타났다.

Table 64. Hemoglobin content, hematocrit value, and organ weight of lead - exposed rats

측 정 항 목		Pb 처리수준(ppm)	
		A(0)	B(500)
Hematocrit (%)		34.3±2.9	28.5±3.1
Hemoglobin (g/dl)		11.20±0.86	9.72±1.68
장기무게 (g/100g Body wt.)	간	3.71±0.27	4.07±0.25
	신장	0.33±0.02	0.46±0.11
	정소	0.44±0.05	0.59±0.08
장기무게 (g)	간	13.40±1.72	10.40±1.87
	신장	1.20±0.14	1.18±0.36
	정소	1.59±0.15	1.58±0.06
장기중 납함량 (ppm)	간	0.277±0.142	4.179±1.024
	신장	0.328±0.095	70.18±17.77
	대퇴골	22.46±4.14	315.5±93.0

DALAD는 간에서의 active form을 제외하고는 납 처리구에서 모두 낮게 나타났다(표 65). 이는 헤모글로빈과 헤마토크릿의 수치 납처리구에서 낮게 나오는 것과 같은 경향을 보여주었다.

Table 65. Activated DALAD and non-activated DALAD in liver and blood of lead-exposed rats

측 정 항 목			Pb 처리수준(ppm)	
			A(0)	B(500)
DALAD	간	active (A)	0.14±0.07	0.15±0.03
		non-active (B)	0.243±0.123	0.142±0.017
		Ratio (A/B)	0.58	1.06
	혈액	active (A)	0.27±0.08	0.17±0.04
		non-active (B)	0.14±0.04	0.05±0.04
		Ratio (A/B)	1.93	3.40

7주 동안의 중독기간이 종료되는 시점에서 일부의 쥐에서 대사실험을 실시하였다(표 66). 분으로의 납 배설이 매우 높은 것으로 나타났다.

Table 66. Metabolic trial of lead - exposed rats

측 정 항 목	Pb 처리수준(ppm)	
	A(0)	B(500)
쥐 시험두수	9	9
개시체중 (g)	326.7±14.4	277.5±6.9
종료시체중	304.6±8.1	273.5±12.4
일당증체량	2.77±0.23	2.87±0.13
음수량 (ml/두)	55.14±1.35	58.38±1.01
총사료급여량 (g)	104.5±1.94	91.71±9.50
사료 중 Pb (ppm)	0.93	520.4
총Pb섭취 (μg)	97.2	47,728
총분량 (g)	7.36±0.09	6.36±0.57
분 중 Pb (ppm)	10.03±4.00	8521±2622
분Pb배설 (μg)	73.8	54,194
총노량 (g)	47.86±3.11	62.51±7.20
노 중 Pb (μg)	1.00±0.22	5.40±1.64
노 Pb배설 (μg)	47.86	337.6
총Pb배설 (μg)	121.7	54,532
Pb retention (μg)	-24.5	-6,804
Pb retention (%)	-25.2	-14.3

나. 납에 중독된 흰쥐의 해독 대사에 돼지기름이 미치는 영향

돼지기름이 납에 중독된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 납이 중독된 쥐에게 돼지기름을 옥수수 기름 대신 첨가하여 6주간 사육하였다. A군과 B군은 납을 더 이상 투여하지 않았으며, C군은 납 500 ppm을 계속적으로 투여하였다. 돼지기름 투여군은 옥수수 기름 투여구에 비교하였을 때 체중이 낮

게 나타났으며, CL군(납 500 ppm 계속 투여와 lard 투여군)도 CC군(납 500 ppm 계속 투여와 옥수수기름 투여군)에 비교하였을 때 식이 효율이 낮은 것으로 나타났다.

Table 67. Growing performance of lead-detoxified rats by lard feeding

측정항목	Pb 처리수준 (ppm)					
	A (0)		B(-500)		C (+500) <sup>1</sup>	
Fat	corn oil	lard	corn oil	lard	corn oil	lard
No. rat	6	6	6	6	6	6
개시시체중 (g)	342.6 ±47.9	319.0 ±18.5	289.8 ±28.4	292.9 ±29.3	313.0 ±28.2	313.4 ±37.2
종료시체중 (g)	483.9 ±63.1	438.5 ±39.4	442.3 ±60.9	415.7 ±47.9	446.1 ±53.6	419.0 ±55.8
일당증체량 (g/day)	3.36 ±0.72	2.84 ±0.96	3.63 ±1.00	2.92 ±1.43	3.17 ±1.01	2.51 ±0.75

### 1. 납 500 ppm 계속 투여군

사육이 종료된 후 쥐를 희생하여 장기 무게와 납 축적, 효소활성 등을 관찰하였다(표 68). 헤모글로빈과 헤마트크릿은 B군의 경우 납 투여가 중단된 후 정상 가까이 회복이 되었으며 특히 돼지기름 투여군에서 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 카드뮴 계속처리군(C)에서 헤모글로빈과 헤마트크릿은 대조군에 비해 다소 낮기는 하였으나 큰 차이가 없었다. 간, 신장, 정소의 무게는 옥수수 기름 투여되는 처리군에서 높게 나타났다. 체중 100g 당 장기무게를 살펴보면 처리군간에 큰 차이가 없었다. 납의 축적량을 조사하였을 때 간과 신장에서는 돼지기름에 의해 축적 정도가 낮게 나타났으나 대퇴골에서는 나타나지 않았다.

Table 68. Hemoglobin content, hematocrit value, organ weight, and lead content in the organs of lead-detoxified rats by lard feeding

측 정 항 목		Pb 처리수준 (ppm)					
		A (0)		B(-500)		C (+500) <sup>1</sup>	
Hematocrit (%)		35.2±3.1	34.3±1.5	30.4±3.2	33.6±2.5	30.8±2.5	28.1±4.4
Hemoglobin (g/dl)		8.26±1.22	8.55±7.52	7.52±1.18	8.29±0.66	7.52±1.80	7.77±1.18
장기무게 (g)	간	14.73 ±3.37	13.90 ±1.10	15.82 ±3.33	13.15 ±1.21	15.08 ±2.33	13.55 ±2.04
	신장	1.37±0.14	1.23±0.20	1.60±0.67	1.44±0.15	1.55±0.17	1.48±0.19
	정소	1.73±0.13	1.68±0.15	1.78±0.20	1.74±0.15	1.73±0.10	1.60±0.16
장기무게 (g/100g Body Weight)	간	3.05±0.59	3.17±0.12	3.55±0.36	3.18±0.35	3.37±0.27	3.22±0.07
	신장	0.57±0.04	0.56±0.05	0.71±0.22	0.69±0.03	0.70±0.05	0.71±0.07
	정소	0.72±0.07	0.76±0.07	0.81±0.12	0.84±0.08	0.78±0.06	0.77±0.07
장기 중 납 함량 (ppm)	간	1.35 ±1.18	1.17 ±1.39	9.66 ±9.11	6.37 ±3.95	18.78 ±14.26	15.09 ±9.56
	신장	0.61 ±0.64	0.60 ±1.01	26.38 ±34.46	15.57 ±15.49	77.79 ±54.45	82.11 ±51.25
	대퇴골	22.28 ±17.52	15.54 ±2.66	175.4 ±38.8	187.8 ±65.4	244.2 ±92.0	275.0 ±77.7

1. 납 500 ppm 계속 투여구

간에서의 DALAD 활성은 납 투여가 중단된 B 처리구에서보다 납 투여가 계속되고 있는 C 처리구에서 더욱 높게 나타났다(표 69). 그러나 혈액에서의 DALAD 활성은 A > B > C 순서로 나타났다.

Table 69. Activated DALAD and non-activated DALAD in the liver and blood of lead-detoxified rats by lard feeding

측정항목			Pb 처리수준 (ppm)					
			A (0)		B(-500)		C (+500) <sup>1</sup>	
DALAD 활성	간	active	0.088 ±0.016	0.079 ±0.015	0.098 ±0.018	0.100 ±0.025	0.155 ±0.024	0.238 ±0.344
		non-active	0.175 ±0.043	0.137 ±0.090	0.146 ±0.058	0.161 ±0.064	0.187 ±0.055	0.185 ±0.073
		Ratio (A/B)	0.50	0.58	0.67	0.62	0.83	1.29
	혈액	active	0.219 ±0.020	0.211 ±0.044	0.155 ±0.034	0.165 ±0.035	0.129 ±0.043	0.126 ±0.036
		non-active	0.136 ±0.031	0.123 ±0.035	0.031 ±0.012	0.032 ±0.002	0.022 ±0.009	0.027 ±0.019
		Ratio (A/B)	1.61	1.72	5.00	5.16	5.86	4.67

1. 납 500 ppm 계속 투여구

납의 해독 과정의 대사 시험 결과는 다음(표 70)과 같다. 납투여가 중단된 B처리구에서는 돼지기름과 옥수수기름이 미치는 영향이 드러나지 않았다. 그러나 납 500 ppm이 계속적으로 투여되고 있는 C 처리구에서는 돼지기름에 의하여 분과 뇨로의 배설이 현저하게 높았다.

Table 70. Metabolic trial of lead-detoxified rats by lard feeding

측정항목	Pb 처리수준 (ppm)					
	A (0)		B(-500)		C (+500) <sup>1</sup>	
Fat	corn oil	lard	corn oil	lard	corn oil	lard
No. rat	3	3	3	3	3	3
개시체중 (g)	436.8 ±53.6	447.7 ±27.0	425.2 ±58.0	392.1 ±26.6	477.9 ±21.6	435.2 ±36.4
종료시체중	445.5 ±50.8	446.9 ±41.7	436.5 ±64.2	374.7 ±7.3	479.3 ±28.1	437.7 ±36.4
일당증체량	1.74 ±0.58	-0.15 ±3.02	2.25 ±1.55	-3.47 ±2.87	0.29 ±3.63	0.50 ±1.22
총사료급여량 (g)	19.15 ±1.28	17.72 ±1.94	20.43 ±4.54	10.63 ±4.35	17.53 ±3.74	18.19 ±3.30
사료 중 Pb (ppm)	0.55 ±0.09	0.58 ±0.18	0.55 ±0.09	0.58 ±0.09	488.4 ±7.9	484.5 ±10.1
총Pb섭취(μg)	10.53	10.28	11.24	6.17	8,562	8,813
총분량 (g)	13.32 ±1.19	12.02 ±1.85	12.08 ±2.05	7.83 ±3.05	11.51 ±4.57	14.05 ±4.37
분 중 Pb (ppm)	0.22 ±0.20	0.17 ±0.04	3.09 ±2.77	1.56 ±0.61	2065 ±574	3108 ±1352
분Pb배설 (μg)	2.93	2.04	37.33	12.21	23,768	43,667
총뇨량 (g)	109.0 ±73.8	82.8 ±62.2	54.1 ±12.4	61.5 ±35.3	98.7 ±63.8	113.9 ±54.8
뇨 중 Pb (μg)	0.05 ±0.03	0.03 ±0.03	1.59 ±0.98	1.55 ±0.51	1.00 ±0.79	1.60 ±0.41
뇨 Pb배설 (μg)	5.45	2.48	96.02	95.33	98.7	182.2
총Pb배설 (μg)	8.38	4.52	133.4	107.54	23,867	43,849
Pb retention (μg)	2.15	5.76	-122.1	-101.4	-15,304	-35,036
Pb retention (%)	20.4	56.0	-1,086	-1,643	-178.8	-397.6

98. 6. 29 - 7. 6 (5일간)

### 3. 납 중독 흰쥐에 돼지고기와 돼지기름 동시투여의 해독 효과 시험

#### 가. 납 중독된 흰쥐에 돼지고기와 돼지기름 동시투여의 효과

7주간 lead acetate를 투여하여 납 중독된 흰쥐에게 casein 단백질 대신 돼지고기를 옥수수기름 대신 돼지기름(lard)를 급여하여 이 동시투여가 Pb의 해독에 미치는 효과를 조사 하였다. 돼지고기와 돼지기름이 투여된 군의 종료 체중이 일반식이를 급여한 군보다 낮은 경향을 보였다.

Table 71. Growing performance of lead-detoxified by pork and lard feeding

측 정 항 목	Pb 처리수준 (ppm)					
	A (0)		B(-500)		C (+500) <sup>1</sup>	
Protein	casein	pork	casein	pork	casein	pork
Fat	corn oil	lard	corn oil	lard	corn oil	lard
No. rat	6	6	6	4	6	4
개시시체중 (g)	342.6 ±47.9	339.2 ±51.5	289.8 ±28.4	268.8 ±1.7	313.0 ±28.2	283.7 ±7.8
종료시체중 (g)	483.9 ±63.1	399.6 ±183.5	442.3 ±60.9	436.7 ±28.6	446.1 ±53.6	387.1 ±62.5
일당증체량 (g/day)	3.36±0.72	3.30±1.44	3.63±1.00	4.00±1.05	3.17±1.01	2.46±1.22

#### 1. 납 500 ppm 계속 투여구

사육이 종료된 후 쥐를 희생하여 장기 무게와 납 축적, 효소활성 등을 관찰 하였다(표 72). 헤모글로빈과 헤마트크릿은 B군의 경우 납 투여가 중단된 후 정상 가까이 회복이 되었다. 카드뮴 계속처리구(C)에서 헤모글로빈과 헤마트크릿은 대조구에 비해 다소 낮기는 하였으나 큰 차이가 없었으며 돼지고기와 돼지기름에 의한 차이는 보이지 않았다. 간, 신장, 정소의 무게는 일반식이가 투여되는 처리구에서 높게 나타났다. 체중 100g 당 장기무게를 살펴보면 처리구간에 큰 차이가 없었다. 납

의 축적량을 조사하였을 때 간과 신장, 대퇴골에서 B 처리군의 경우 오히려 돼지고기와 돼지기름에 의해 축적 정도가 높게 나타났으나 납 계속 처리구(C)에서는 돼지고기와 돼지기름이 효과적인 것으로 나타났다.

Table 72. Hemoglobin content, hematocrit value, organ weight of lead-detoxified rats by pork and lard feeding

측 정 항 목		Pb 처리수준 (ppm)					
		A (0)		B(-500)		C (+500) <sup>†</sup>	
Hematocrit (%)		35.2±3.1	35.2±1.4	30.4±3.2	30.0±5.6	30.8±2.5	30.6±3.2
Hemoglobin (g/dl)		8.26±1.22	7.79±1.07	7.52±1.18	8.44±0.51	7.52±1.80	7.55±0.33
장기무게 (g)	간	14.73 ±3.37	14.94 ±2.28	15.82 ±3.33	14.36 ±1.39	15.08 ±2.33	12.67 ±1.04
	신장	1.37±0.14	1.42±0.11	1.60±0.67	1.47±0.24	1.55±0.17	1.45±0.11
	정소	1.73±0.13	1.74±0.16	1.78±0.20	1.70±0.10	1.73±0.10	1.53±0.14
장기무게 (g/100g Body Weight)	간	3.05±0.59	3.10±0.12	3.55±0.36	3.29±0.16	3.37±0.27	3.31±0.37
	신장	0.57±0.04	0.59±0.08	0.71±0.22	0.67±0.08	0.70±0.05	0.75±0.08
	정소	0.72±0.07	0.74±0.15	0.81±0.12	0.78±0.07	0.78±0.06	0.80±0.06
장기 중 납 함량 (ppm)	간	1.35 ±1.18	2.20 ±2.09	9.66 ±9.11	21.15 ±14.88	18.78 ±14.26	14.87 ±7.64
	신장	0.61 ±0.64	1.28 ±1.63	26.38 ±34.46	42.99 ±23.93	77.79 ±54.45	51.25 ±22.30
	대퇴골	22.28 ±7.52	14.51 ±2.70	175.4 ±38.8	226.03 ±21.92	244.2 ±92.0	237.69 ±46.91

1. 납 500 ppm 계속 투여구

간에서의 DALAD 활성은 납 투여가 중단된 B 처리구에서보다 납 투여가

계속되고 있는 C 처리구에서 더욱 높게 나타났다(표 73). 그러나 혈액에서의 DALAD 활성은 A > B > C 순서로 나타났다. 간에서의 활성형 DALAD와 비활성형 DALAD의 비율을 비교하면 돼지기름과 돼지고기가 투여된 처리구는 일반식이 처리구보다 낮은 수치를 보였다. 그러나 혈액에서는 B 처리구와 C 처리구의 경우 돼지기름과 돼지고기가 투여된 처리구는 일반식이 처리구보다 높은 수치를 보였다.

Table 73. Activated DALAD and non-activated DALAD of lead-detoxified rats by pork and lard feeding

측 정 항 목			Pb 처리수준 (ppm)					
			A (0)		B(-500)		C (+500) <sup>1</sup>	
DALAD 활성	간	active (A)	0.088 ±0.016	0.069 ±0.030	0.098 ±0.018	0.088 ±0.024	0.155 ±0.024	0.114 ±0.021
		non-active (B)	0.175 ±0.043	0.182 ±0.088	0.146 ±0.058	0.180 ±0.040	0.187 ±0.055	0.163 ±0.036
		Ratio A/B	0.50	0.38	0.67	0.49	0.83	0.70
	혈액	active (A)	0.219 ±0.020	0.201 ±0.036	0.155 ±0.034	0.151 ±0.035	0.129 ±0.043	0.163 ±0.014
		non-active (B)	0.136 ±0.031	0.117 ±0.030	0.031 ±0.012	0.020 ±0.008	0.022 ±0.009	0.017 ±0.002
		Ratio A/B	1.61	0.72	5.00	7.55	5.86	9.59

1. 납 500 ppm 계속 투여구

돼지기름과 돼지고기 동시 투여에 의한 대사시험 결과는 다음 표 74와 같다. 납의 급여가 중단된 B 처리구에서는 분으로의 배설보다는 뇨로의 배설이 월등히 높았으나 납 계속 처리구의 경우에는 분으로의 배설이 매우 높았다. 이는 많은 양의 납이 대부분 흡수되지 못한 채 장관을 통과하여 나온 것이 아닐까 사료된다. 돼지기름과 돼지고기 동시 투여구의 경우 B와 C 모두에서 납의 배설에 효과적으로 작용하고

있음을 보여주었다.

Table 74. Metabolic trial of lead-detoxified rats by pork and lard feeding

측정항목	Pb 처리수준 (ppm)					
	A (0)		B(-500)		C (+500) <sup>1</sup>	
Protein	casein	pork	casein	pork	casein	pork
Fat	corn oil	lard	corn oil	lard	corn oil	lard
No. rat	3	3	3	3	3	3
개시체중 (g)	436.8 ±53.6	472.7 ±36.4	425.2 ±58.0	429.6 ±31.2	477.9 ±21.6	394.6 ±51.1
종료시체중	445.5 ±50.8	463.9 ±106.5	436.5 ±64.2	429.9 ±29.4	479.3 ±28.1	429.9 ±29.4
일당증체량	1.74±0.58	-1.42±2.94	2.25±1.55	0.07±0.41	0.29±3.63	2.56±0.88
총사료급여량 (g)	19.15 ±1.28	14.20 ±4.63	20.43 ±4.54	15.17 ±1.74	17.53 ±3.74	11.64 ±10.33
사료중 Pb (ppm)	0.55±0.09	0.48±0.09	0.55±0.09	0.48±0.05	488.4±7.9	531.8±4.4
총Pb섭취 (μg)	10.53	6.82	11.24	7.28	8,562	6,190
총분량 (g)	13.32 ±1.19	11.15 ±3.84	12.08 ±2.05	13.51 ±4.35	11.51 ±4.57	13.96 ±11.39
분중 Pb (ppm)	0.22±0.20	0.12±0.12	3.09±2.77	1.85±0.44	2065±574	1643±650
분Pb배설 (μg)	2.93	1.34	37.33	24.99	23,768	22,936
총뇨량 (g)	109.0 ±73.8	71.2 ±26.9	54.1 ±12.4	71.9 ±39.1	98.7 ±63.8	58.9 ±17.1
뇨중 Pb (μg)	0.05±0.03	0.08±0.03	1.59±0.98	3.00±1.01	1.00±0.79	1.53±0.31
뇨 Pb배설 (μg)	5.45	5.70	96.02	215.7	98.7	90.12
총Pb배설 (μg)	8.38	7.04	133.4	240.7	23,867	23,026
Pb retention(μg)	2.15	-0.22	-122.1	-233.4	-15,304	-16,836
Pb retention (%)	20.4	-3.2	-1,086	-3,206	-178.8	-272.0

1. 납 500 ppm 계속 투여구

## 제 4 장 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

기술적 측면의 기대효과는 돼지고기의 중금속 해독 기능을 과학적으로 규명함으로써 기초 학문 발전에 기여할 수 있고, 간, 신장 조직에 대한 현미경적 관찰을 통한 병리조직학적 연구는 중금속 독성 및 해독시험 분야에서 획기적인 연구방법론으로 영양학 연구분야에 미치는 영향이 지대할 것으로 예상 된다. 경제·산업적 측면기대효과는 국민들이 평소에 생각하는 돼지고기에 대한 잘못된 편견을 시정해주는 자료를 홍보함으로써 양돈산업 발전에 긍정적인 효과기대이다. 예를 들어 돼지기름 등에서 부가가치 효과를 높여 기름 가격이 상승시 추가 이득이 발생된다. 이 추가 이득은 생산 농가인 양축가들이 얻는 소득증대 효과이다.

이 연구의 참여기업에 해당되는 대한 양돈협회의 회원은 모두 양돈업자이기 때문에 WTO 체제하에서 다소 불안감을 느끼는데, 이 연구 결과를 통하여 이들 양돈업자들에게 희망을 심어주고 또한 소비자들도 돼지고기와 돼지기름 섭취를 증가시킬수 있는 계기가 돼 연구결과는 대한 양돈협회에서 대국민 홍보 자료로 적극 활용한다. 돼지고기와 돼지기름이 중금속 배출 등 공해 저하 식품으로 인정 시에는 돼지고기와 기름을 이용한 가공식품이 다양하게 개발될 것이며, 빈대떡 등에서 사라졌던 돼지기름을 다시 전통식품에 활용함으로써 맛과 기호성이 좋은 전통식품의 재등장이 기대된다.

### 1. 흰쥐에서 카드뮴 중독 현상 유발 및 돼지고기, 돼지기름 및 돼지고기와 돼지기름을 동시 투여에 의한 카드뮴 해독시험

가. 카드뮴 중독 유발 시험에서는 흰쥐의 성장지연, 카드뮴의 표적 장기인 신장의 무게 증가와 hematocrit 수치 및 hemoglobin 함량의 혈액 지표 감소로 볼 때 흰쥐에서 임상중독을 유발하는 카드뮴 수준은 50 ppm 이상으로 평가됐다.

나. 카드뮴의 해독과 관련하여서 단백질 급원으로 카제인 대신에 돼지고기로 대체했을 때 돼지고기 투여구에서 성장율이 높았고 hematocrit나 hemoglobin 함량이 정상 수준으로 회복됐다. 50 ppm구에서는 간과 신장내 카드뮴 축적량도 돼지고기 대체구가 유의적으로 낮았다.

다. 돼지기름 투여에 의한 해독시험에서는 카드뮴 50 ppm 수준에서 중독된 쥐를

공시하였다. 지방 급원으로서 옥수수기름 대신에 돼지기름으로 대체했을 때 성장율이 정상 수준으로 회복됐고, 신장의 무게와 hematocrit 및 hemoglobin 함량도 정상 수준 범위로 회복됐다. 그러나 간과 신장에 축적된 카드뮴 함량은 지방 급원간에 유의적인 차이가 없었다.

라. 돼지고기와 돼지기름 동시 투여에 의한 해독시험에서는 성장율, 간과 신장의 무게, hematocrit와 hemoglobin 함량에서 대조구와 차이가 없었고, 간과 신장에서 카드뮴 축적량은 돼지고기와 돼지기름 동시 투여구에서 낮은 경향을 보였다.

2. 흰쥐에서 납 중독 현상 유발 및 돼지고기, 돼지기름 및 돼지고기와 돼지기름을 동시 투여에 의한 납 해독시험

가. 납 중독 유발 시험에서는 성장율, 납 표적 장기인 대퇴골중 납함량을 기준으로 했을 때 납 중독 유발 수준은 250 ppm 이상으로 평가됐다.

나. 돼지고기 투여에 의한 납 해독 영향 시험에서는 성장율이 납 첨가 수준에 따른 통계적 차이는 없었으나, 대퇴골에서 납 축적량은 납 첨가 수준에 따라서 증가됐지만, 돼지고기로 대체한 처리구에서는 납 첨가 수준에 관계없이 납 축적량이 유의적으로 낮았다.

다. 돼지기름 투여에 의한 납해독 시험에서는 500 ppm수준에서 중독시킨 쥐를 공시 했다. 성장율, hematocrit, hemoglobin, 장기의 무게에서 정상범위내로 회복됐다. 그러나 대퇴골 중의 납함량은 해독 기간중에도 500 ppm을 계속 투여한 구나 안한 구나 관계없이 납농도가 대조구에 비해 높은 경향이였다. 체외로 배출된 납함량은 +500 ppm, -500 ppm구 공히 대조구 보다 돼지기름 투여구가 더 많은 경향을 보였다.

라. 돼지고기와 기름을 동시 투여한 시험에서는 일당중체량, hematocrit, hemoglobin, 간, 신장, 정소의 무게가 정상적인 범위내로 회복됐다. 대퇴골내 납 축적량은 +500 ppm구에서는 대조구보다 낮은 경향을 보였고, 간과 신장내 납함량도 역시 낮았다. 체외로 배출된 납은 처리구 공히 고기와기름 동시 투여구에서 많은 경향을 보였다.

3. 카드뮴 50 ppm 수준, 납은 500 ppm수준에서 중독시킨 흰쥐를 공시하여서, 카제인 대신에 돼지고기 또는 돼지고기와 돼지기름 동시 투여시 중금속 중독을 완화시키는 효과가 인정됐다. 따라서 본시험 결과는 국민건강적 차원에서 도시민만 아니라 산업 현장 근로자들에게도 유익한 자료로 활용할 수 있을 것으로 사려된다.

## 제 5 장 인용문헌

1. 김정헌, 조남준, 박성배 : 대중음식중 중금속 함량. 영양식량학회지, 18, 316 (1989)
2. 송미란, 이서래 : 서울시내 대중식사로부터 중금속의 총섭취량 평가. 한국식품과학회지, 18, 458 (1986)
3. 이순재, 전수영 : 카드뮴투여 흰쥐에 있어서 Metallothionein 합성과 항산화적 해독기구에 미치는 식이 Selenium의 영향. 한국영양학회지, 26, 286 (1993)
4. 조수열, 김명주, 이미경 : 아연수준이 카드뮴을 투여한 흰쥐의 항산화 효소계에 미치는 영향. 영양식량학회지, 23, 725 (1994)
5. 최미경, 김애정, 전예숙, 김화남, 노숙령, 승정자 : 카드뮴의 장기 중독시 철분의 섭취 수준이 흰쥐의 체내 카드뮴 축적에 미치는 효과. 한국영양학회지, 27, 709 (1994)
6. 김미경, 백주은 : 쌀과 보리의 식이 섬유가 흰쥐의 지방 및 카드뮴대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, 30, 252 (1997)
7. 김미경, 정혜선 : 감귤과피로부터 분리한 식이섬유가 흰쥐의 지방 및 카드뮴대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, 30, 229 (1997)
8. 이남형, 한찬규, 노정해, 김영봉, 이복희 : 돼지고기 섭취가 체내 중금속 대사에 미치는 영향에 관한 연구. 한국식품개발연구원 보고서 E1325-0667 (1995)
9. 안영미 : 흰쥐의 카드뮴 독성에 대한 부추(*Allium odorum L.*)의 방어효과에 관한 연구. 명지대학교 박사학위 논문 (1990)
10. 정우일 : Mouse의 간과 신장에 흡수되는 카드뮴에 대한 differential pulse stripping polarography 분석. 원광대학교 석사학위 논문 (1989)
11. 이영옥, 차철환 : 백서의 카드뮴 중독시 BAL 및 DMSA와 마늘의 방어효과에 대한 비교 연구. 고대의대 논문집, 23, 109 (1986)
12. 윤연희, 이순재 : 한국산 녹차, 우롱차 및 홍차가 카드뮴에 중독된 흰쥐 간조직의 항산화적 해독작용에 미치는 영향. 한국영양학회지, 27, 1007 (1994)
13. 김운성, 이철호, 김성조, 이주돈, 문광현, 백승화 : 알로에 첨가식이 흰쥐의

- 카드뮴 독성에 미치는 영향. 한국식품학회지, 27,555 (1995)
14. 김미경, 설은영 : Chitin과 Chitosan이 흰쥐의 카드뮴중독과 지방대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, 27, 996 (1994)
  15. 배계현, 김미경 : 급원과 분자량이 다른 Chitosan과 N,O-Carboxymethyl Chitosan이 카드뮴중독에 미치는 영향. 한국영양학회지, 30, 751 (1997)
  16. 배계현, 김미경 : 급원과 분자량이 다른 Chitosan과 N,O-Carboxymethyl Chitosan이 지방대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, 30, 770 (1997)
  17. 배계현, 김호정, 김미경 : Chitin, Chitosan 및 수용성 Chitosan 유도체가 흰쥐의 카드뮴중독과 지방대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, 30, 622 (1997)
  18. 김미경, 서명숙 : 식이내 단백질의 수준과 종류가 흰쥐의 카드뮴 중독에 미치는 영향. 한국영양학회지, 29, 578 (1996)
  19. 권오란, 김미경 : 식이 단백질과 Ca수준이 흰쥐의 Cd 중독과정 중 Metallothionein과 조직의 형태변화에 미치는 영향, 한국영양학회지, 25, 360 (1992)
  20. 이해영, 김미경 : 식이내 Cadmium과 단백질 수준이 흰쥐의 체내 단백질 대사 및 카드뮴중독에 미치는 영향. 한국영양학회지, 21, 410 (1988)
  21. 김미경, 박주연 : 식이 단백질과 Cysteine 수준이 흰쥐의 카드뮴중독에 미치는 영향. 한국영양학회지, 29, 461 (1996)
  22. 노정해, 한찬규, 이남형, 정용기 : 돼지고기를 단백질 급원으로 한 식이가 쥐의 체내 카드뮴 대사에 미치는 영향에 대한 연구. 한국축산학회지, 39(5), 605 (1997)
  23. 임정남 : 식품의 무기성분 분석. 식품과 영양, 7, 42 (1986)
  24. 김정숙, 김미경 : 납과 지방수준을 달리한 식이로 사육한 성장기 흰쥐의 체내 대사 변화. 한국영양학회지, 20, 225 (1987)
  25. 권오덕, 이현범, 이주목, 채준석 : 산양의 실험실적 납중독에 관한 임상 병리학적 관찰. 대한수의학회지, 32, 127 (1992)
  26. 이정숙, 김명주, 박은미 : 갈근추출물이 납중독된 흰쥐의 혈액성분 및 조직의 납 축적에 미치는 영향. 한국식품영양과학회지, 26, 488 (1997)
  27. 김정현, 박성배 : 대중음식중 중금속 함량. 한국영양식량학회지, 18, 316 (1989)

28. 전수영, 이순재 : 카드뮴으로 중독된 흰쥐의 간장 및 위장에서의 Metallothionein 합성에 관한 연구. 한국영양학회지, 26, 156 (1993)
29. 이명희 : 단백질에 결합된 카드뮴과 CdCl<sub>2</sub>를 섭취한 쥐에서 카드뮴의 체내 축적 및 분포의 차이. 한국영양학회지, 27, 828 (1994)
30. Page, A. L. and Chang, A. C. : Cadmium. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.33 (1986)
31. Eaton, D. L. and Toal, B. F. : Evaluation of the Cd/hemoglobin affinity assay for the rapid determination of metallothionein in biological tissues. Toxicol. Appl. Pharmacol., 66, 134 (1982)
32. Onosaka, S. and Cherian, M. G. : Comparison of metallothionein determination by polarographic and cadmium-saturation methods. Toxicol. Appl. Pharmacol., 63, 270 (1982)
33. Suzuki, T. K. : Studies of cadmium and metabolism by the kidney. Environ. Health Perspect, 54, 21 (1984)
34. Fox, M. R. S., Jacobs, R. M., Jones, A. O. L., Fry, B. E. Jr., Stone, C. L. : Effects of vitamin C and iron on cadmium metabolism. Ann. N. Y. Acad. Sci., 355, 249 (1980)
35. Valverg, L. S., Sorbe, D. L. and Hamilton, D. L. : Gastrointestinal metabolism of Cd experimental iron deficiency. Am. J. Physiol., 231, 461 (1976)
36. Hamilton, D. L. and Valverg, L. S. : Relationship between Cd and Fe absorption. Am. J. Physiol., 227, 1033 (1974)
37. Mahaffey, K. R. : Nutritional factors in lead poisoning. Nutr. Rev., 39, 353 (1981)
38. Norberg, G. F., Goyer, M. and Norberg, M. : Comparative toxicity of cadmium-metallothionein and cadmium chloride on mouse kidney. Arch. Pathol., 99, 192 (1975)
39. Garvey, J. S. : Metallothionein: Structure/Antigenicity and

- Detection/Auantitation in normal physiological fluids. *Environ. Health Perspect.*, 54, 117 (1984)
40. Hidalgo, J., Armario, A., Flos, R. and Garvey, J. S. : Restraint stress induced changes in rat liver and serum metallothionein in Zn metabolism. *Experientia.*, 42, 1006 (1986)
  41. Stowe, H. D. and Wilson, M. : Clinical and morphological effects of oral Cd toxicity in rabbits. *Arch. Pathol.*, 94, 389 (1972)
  42. Blake, H. and Mann, M. : Effect of calcium and phosphorus on the gastrointestinal absorption of  $^{203}\text{Pb}$  in man. *Environmental Research*, 30, 88 (1983)
  43. Carrington, C. D. and Bolger, P. M. : An assessment of the hazards of lead in food. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 16, 265 (1992)
  44. Cerklewski F. I. and Forbes, R. M. : Influence of dietary zinc on lead toxicity in the rat. *J. Nutr.*, 106, 689 (1976)
  45. Dabeka R. and McKenzie, A. D. : Total diet study of lead and cadmium in food composites: Preliminary investigation. *J. of AOAC International*, 75, 386 (1992)
  46. Donaldson W. E. : Interactions of dietary lead with fish oil and antioxidant in chicks. *Biological Trace Element Research.*, 31, 215 (1991)
  47. Hasan, J. and Hernberg, S. : Deficient red cell membrane Na-K ATPase in lead poisoning. *Arch Environ. Health*, 14, 313 (1967)
  48. Hu, S. P. and Kies, C. : Lead/ dietary protein interactions in rats. *Nutrition Reports International*, 39, 81 (1989)
  49. Johansson, M. V., Akesson, A. and Rahnster, B. : Faecal elimination of lead and cadmium in subjects on a mixed and a lactovegetarian diet. *Food Chem. Toxic.*, 30, 281 (1992)
  50. Korsrud, G. O. and Meldrum, J. B. : Effect of diet on the response in rats to lead acetate given orally or in the drinking water. *Biological Trace Element*

Research, 17, 167 (1988)

51. Mahaffey, K. R., Goyer, R. A. and Wilson, M. H. : Influence of ethanol ingestion of lead toxicity in rats fed isocaloric diets. Arch Environ. Health, 21, 217 (1974)
52. Mylroie A. A., Moore, L. and Erogbogbo, U. : Influence of dietary factors on blood and tissue lead concentrations and lead toxicity. Toxicology and Applied Pharmacology, 41, 361 (1977)
53. Rastogi ,S. C., Clausen, J. and Srivastava, K. C. : Selenium and lead : Mutual detoxifying effects. Toxicology, 6, 377 (1976)
54. Rose, H. E. and Quarterman, J. : Dietary fibers and heavy metal retention in the rat. Environmental Research, 42, 166 (1987)
55. Sandhir, R. and Gill, K. D. : Effect of lead on lipid peroxidation in liver of rats. Biological Trace Element Research, 48, 91 (1995)
56. Sharma, R. P., Street, J. C. and Shupe, J. L. : Translocation of lead and cadmium from feed to edible tissues of swine. J. Food Safety, 4, 151 (1982)
57. Singh, N. P., Thind, I. S., Vitale, L. F. and Pawlow, M. : Intake of magnesium and toxicity of lead : an experimental model. Archives of Environmental. Health, 28, 168 (1979)
58. Smith C. M., DeLuca, H. F., Tanaka, Y. and Mahaffey, K. R. : Stimulation of lead absorption by vitamin D administration. J. Nutr., 108, 843 (1978)
59. Suzuki, T. and Yoshda, A. : Effectiveness of dietary iron ascorbic acid in the prevention and cure of moderately long-term lead toxicity in rats. (1979)
60. Waldron, H. A. : Metals in the environment. Academic press, New York, (1980)
61. Wapnir, R. A., Exeni, R. A., Mcvicar, M. and Lifsheitz, F. : Experimental lead poisoning and intestinal transport of glucose, amino acid and sodium. Pediat. Res., 11, 153 (1977)

## 위탁연구 보고서

연구 과제 : 육류단백질 및 지방섭취가 카드뮴(Cd)  
및 납 (Pb) 중독과 해독에 미치는  
영향에 관한 연구

위탁연구과제 : 카드뮴(Cd)과 납(Pb) 중독된 흰쥐  
장기의 병리 조직학적 연구

위탁연구기관 : 서울대학교 수의과대학

연구책임자 : 채 찬 희 (D.V.M., Ph. D.)

연구 기간 : 1996. 10 ~ 1998. 10 (2년)

**여 백**

# 요 약 문

## I. 제 목

카드뮴(Cd)과 납(Pb) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

중금속에 오염된 환경속에서 종사하는 근로자들이 민간요법으로 돼지고기 및 지방 섭취를 통하여 천식 및 객담 등의 임상증상 개선 효과를 얻는 것으로 알려져 있어, 돼지 고기 및 지방의 섭취가 중금속의 중독 및 해독에 영향을 미치는 것으로 사료되었다. 따라서, 이의 과학적인 연구를 통하여, 일상생활에서 끊임없이 노출되는 중금속의 위해성을 경감시키는 방법으로 돼지고기와 지방의 섭취가 유용한지를 알아보고자 하였다.

이러한 연구의 결과가 효과가 있는 것으로 판명된다면 체내에 부작용이 없는 육류 및 지방의 일상 섭취를 통하여 중금속의 체내 축적을 손쉽게 예방할 수 있어 공중보건학상 중요한 결과로 이용될 수 있으며, 돼지 고기 및 지방의 소비 증가로 국내의 축산업계에도 소득증대를 가져올 수 있을 것으로 생각된다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

가. 1차년도 : 카드뮴(Cd) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구

실험 I. 돼지고기 급여가 Cd 해독에 미치는 영향

실험 II. 돼지기름 급여가 Cd 해독에 미치는 영향

실험 III. 돼지고기와 돼지기름의 병용투여가 Cd 해독에 미치는 영향

나. 2차년도 : 납(Pb) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구

실험 I. 돼지고기 급여가 Pb 해독에 미치는 영향

실험 II. 돼지기름 급여가 Pb 해독에 미치는 영향

실험 III. 돼지고기와 돼지기름의 병용투여가 Pb 해독에 미치는 영향

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 카드뮴(Cd) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구

Cadmium과 lead를 이용한 중금속의 중독 시험을 실시한 결과, 중금속 함유 사료를 공급받은 rat들에서 육안소견, 병리조직학적 소견 및 전자현미경적 소견으로 중독이 유발되었음을 확인할 수 있었고, 돼지고기, 돼지기름 및 돼지고기와 기름의 혼합 사료를 이용한 해독시험 결과 이들 성분이 함유되어 있지 않은 사료를 중독후 공급받은 대조군에 비교하여 조직 및 세포의 손상이 보다 적은 것을 알 수 있었다. 따라서 돼지고기, 돼지기름 및 돼지고기와 기름의 병용투여가 cadmium 및 lead의 체내 축적을 경감시키는 것으로 판단되었다. cadmium 중독에 의한 육안병변으로는 간장의 황색조 변화, 종창, 수축 및 장기의 위축 소견등이었으며, 병리조직학적 소견으로 간장의 세포변성, 국소적인 염증세포침윤, 신장의 세뇨관 변성, 국소적인 염증세포 침윤, 칼슘 침착, 정소의 정자세포의 변성, 다핵거세포의 형성, 세포수의 감소 등의 병변이 관찰되었다.

해독시험으로 돼지고기, 돼지기름 및 돼지고기와 기름의 병용투여에 의한 영향을 연구한 결과 대조군으로 이들 성분이 배합되지 않은 사료를 공급받은 rat들에 비교하여, 개체에 따라 정도차이는 있지만 cadmium 중독에 의한 조직의 손상정도가 약한 것으로 판단되었다. 또한, 전자현미경적 소견으로는 간장의 간세포질의 공포 형성 및 세포질의 구조 손상과 신장의 근위세뇨관 상피세포에 미세음모의 소실, 용해소체의 증가 등의 병변이었으며, 돼지고기, 기름 또는 돼지고기와 기름의 병용투여 개체들에서 cadmium에 의한 손상 병변이 경감된 것을 관찰할 수 있었다.

### 2. 납(Pb) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구

Lead에 의한 중독 시험 종료후 부검한 rat들의 육안 소견으로는 간장의 황색조 변화, 소엽간 경계의 비후, 신장의 위축 및 백색 반점과 정도의 증가 병변이었으며, 병리조직학적 소견으로는 간장의 세포변성, 국소적인 염증세포 침윤, 지

방변성, 핵내 납 봉입체, 신장의 근위세뇨관, 낭포 형성, 정소의 세포수 감소와 대뇌 및 소뇌의 수종성 변화, 국소 출혈소, gliosis 등의 병변이었다. 해독시험기 간중 전자현미경적 소견으로는 간세포의 세포질에 공포형성 및 RER의 변형, ribosome의 감소와 신세뇨관 상피세포의 미세용모 소실, mitochondria의 감소, 종창 등이었다.

이상의 결과를 종합하면, 세포의 손상 유무를 직접 확인할 수 있는 병리조직학 검사와 전자현미경 검사를 통하여 돼지고기, 돼지기름 또는 돼지고기와 기름의 섭취가 cadmium 또는 lead의 중독증을 경감시키고, 해독을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단되었다. 단, 돼지기름의 섭취에 의하여 다른 성분과 유사한 세포 손상의 경감효과를 관찰할 수 있었으나, 일부 rat에서 간 세포의 세포질에 지방 축적이 관찰된 점을 감안하면, 돼지기름만의 섭취는 체내에 과도한 지방의 유입으로 지방 축적이 야기될 수 있음을 간과해서는 안될 것으로 사료된다.

### 3. 활용에 대한 건의

이상의 결과에서 돼지고기와 돼지기름의 단독 또는 병용투여가 일상생활에서 지속적으로 노출되는 Cd와 Pb와 같은 중금 속의 체내 축적을 경감시키고 체외 배출을 촉진 시킬수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

따라서 민간의 속설로 알려져온 사실에 대한 과학적이고 학문적인 규명이라는 측면에서 본 연구 결과는 매우 중요하다고 사료된다.

앞으로 본 연구의 결과는 국내외 전문 학술지에 투고할 뿐만 아니라 국민 보건적인 측면에서 돼지고기의 소비 촉진을 위한 홍보자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

**여 백**

## Summary

This study was carried out to clarify the effect of pork and lard on heavy metal poisoning. A number of toxic effects in humans and animals resulting from heavy metal – especially, cadmium (Cd) and lead (Pb) – exposure have been reported. Cadmium and lead were some of the most important heavy metal in environmental toxicants. Therefore, lead and cadmium in this study were used. The diets mixed with several dose of lead and cadmium were supplied with ad libitum in male Sprague Dawley rat for 7 to 8 weeks.

The effects of exposure to cadmium with or without pork and lard in feed on several aspects were evaluated by gross findings, histopathological examination and electromicroscopic study. The rats exposed to lead were shown individually the yellowish color changes and swelling of the liver, emaciation and atrophy of the organs. Histopathologically, the rats were shown the cellular degeneration in the liver, the tubular degeneration, focal cellular infiltration and calcium deposition in the kidney and the degeneration of spermatids, giant cell formation and decrease of cellularity in the testes. Electromicroscopically, the findings were the vacuolation, rough endoplasmic reticulum (rER) dilation, loss of ribosomes in the hepatocytes and the loss of microvilli, increase of lysosomal bodies, vacuolation in the tubular cells. But, the rats received diets mixed with pork or/and lard during the toxicating period or the detoxifying period were shown individually decreased degrees of the lesions compared with the rats supplied with the control diets.

The gross findings of the lead toxicity were the yellowish color changes and the marked lobular connective tissues in the liver and the atrophy, white spots, harden dry in the kidney. The histopathological findings of the rats administered lead-containing diets were the cellular degeneration, focal cellular infiltration, and fatty changes intranuclear lead inclusions in the liver, the tubular degeneration, cyst formation, focal cellular infiltration, and intranuclear lead inclusions in the kidney, and the decrease of cellularity in the testes, the edematous changes, focal hemorrhage, and gliosis in the brain.

The electromicroscopic observations were the vacuolations, rER dilation and decrease of ribosomes in the hepatocytes and the loss of microvilli and decrease or swelling of mitochondria in the proximal tubular cells. However, the rats supplied with pork or/and lard during the lead-poisoning period or detoxifying period were shown gradually decreased degree of their lesions.

These results suggest that pork and lard seem to have protective effect against lead or cadmium-induced toxicity and have increase the detoxifying activity against heavy metals. But, some rats supplied with lard were shown the fatty change in the liver. So, the exclusive intake of only lard may result in the excessive deposit of fat in the body.

These results suggest that the balanced intake of pork and lard can protect effectively the body accumulation of the heavy metals which were exposed continuously in our daily life.

# 목 차

요 약 문 .....	121
제 1장 서론 .....	141
제 2장 재료 및 방법 .....	142
제 3장 카드뮴(Cd) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구 .....	143
제 1절. 돼지고기 급여가 Cd 해독에 미치는 영향 .....	143
제 2절. 돼지기름 급여가 Cd 해독에 미치는 영향 .....	157
제 3절. 돼지고기와 돼지기름의 병용투여가 Cd해독에 미치는 영향 .....	170
제 4장 납(Pb) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구 .....	179
제 1절. 돼지고기 급여가 Pb 해독에 미치는 영향 .....	179
제 2절. 돼지기름 급여가 Pb 해독에 미치는 영향 .....	192
제 3절. 돼지고기와 돼지기름의 병용투여가 Pb 해독에 미치는 영향 .....	198
제 5장 결론 .....	206

# List of Tables

## Cadmium (Cd) Experiment (1st year)

### Exp I . Effect of pork on detoxification in cadmium administered rat

Table 1. Gross findings of the rats administered with cadmium for 8 weeks .....	147
Table 2. Histopathological lesions of rats administered with cadmium for 8 weeks .....	148
Table 3. Gross findings of cadmium detoxification with pork .....	149
Table 4. Histological lesions of cadmium detoxification with pork .....	150

### Exp II . Effect of lard on detoxification in cadmium administered rat

Table 5. Gross findings of the rats administered with cadmium for 6 weeks .....	162
Table 6. Histopathological lesions of the rats administered with cadmium for 6 weeks .....	162
Table 7. Gross findings of cadmium detoxification with lard .....	163
Table 8. Histopathological lesions of cadmium detoxification with lard .....	164

### Exp III . Effect of pork and lard on detoxification in cadmium administered rat

Table 9. Gross findings of the rats administered with cadmium for 6 weeks .....	172
Table 10. Histopathological lesions of the rats administered with cadmium for 6 weeks .....	173
Table 11. Gross findings of cadmium detoxification with pork and lard .....	172
Table 12. Microscopic lesions of cadmium detoxification with pork and lard .....	174

## **Lead (Pb) Experiment (2nd year)**

### **Exp I . Experiment for lead poisoning**

Table 1. Gross findings of the rats administered with lead-containing diet for 7 weeks .....	180
Table 2. Histopathological lesions of the rats administered with lead-containing diet for 7 weeks .....	181

### **Exp II . Effect of pork on detoxification in lead administered rat**

Table 3. Gross findings of lead detoxification with pork .....	186
Table 4. Histopathological lesions for lead detoxification with pork .....	187

### **Exp III . Effect of lard on detoxification in lead administered rat**

Table 5. Gross findings of lead detoxification with lard .....	193
Table 6. Histopathological lesions for lead detoxification with lard .....	194

### **Exp IV . Effect of pork and lard on detoxification in lead administered rat**

Table 7. Gross findings of lead detoxification with pork and lard .....	199
Table 8. Microscopic findings of lead detoxification with pork and lard .....	200

## List of Figures

### Cadmium (Cd) Experiment (1st year)

#### Exp. I . Effect of pork on detoxification in cadmium administered rat

Fig. 1. Liver of control rat .....	151
Fig. 2. Kidney of control rat .....	151
Fig. 3. Testis of control rat .....	151
Fig. 4. Liver of Cd 250ppm feeding group for 8 weeks .....	152
Fig. 5. Kidney of Cd 250ppm feeding group for 8 weeks .....	152
Fig. 6. Testes of Cd 250ppm feeding group for 8 weeks .....	152
Fig. 7. Liver of Cd 0ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks .....	153
Fig. 8. Liver of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks .....	153
Fig. 9. Liver of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks .....	153
Fig. 10. Kidney of Cd 100ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks .....	154
Fig. 11. Kidney of Cd 100ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks .....	154

Fig. 12. Testis of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks .....	154
Fig. 13. Testis of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks .....	154
Fig. 14. Liver of Cd 0ppm feeding group for 8 weeks .....	155
Fig. 15. Liver of Cd 250ppm feeding group for 8 weeks .....	155
Fig. 16. Liver of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks .....	155
Fig. 17. Liver of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks .....	155
Fig. 18. Kidney of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks .....	156
Fig. 19. Kidney of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks .....	156

**Exp. II. Effect of lard on detoxification in cadmium administered rat**

Fig. 1. Liver of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control) ..... 165

Fig. 2. Kidney of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control) ..... 165

Fig. 3. Liver of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks ..... 165

Fig. 4. Kidney of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks ..... 165

Fig. 5. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and lard 100% feeding group  
for 6 weeks ..... 166

Fig. 6. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and lard 100% feeding group  
for 6 weeks ..... 166

Fig. 7. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and lard 0% feeding group  
for 6 weeks ..... 166

Fig. 8. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and lard 0% feeding group  
for 6 weeks ..... 166

Fig. 9. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group  
for 6 weeks ..... 167

Fig. 10. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group  
for 6 weeks ..... 167

Fig. 11. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group  
for 6 weeks ..... 167

Fig. 12. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group  
for 6 weeks ..... 167

Fig. 13. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group  
for 6 weeks ..... 168

Fig. 14. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group  
for 6 weeks ..... 168

Fig. 15. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group  
for 6 weeks ..... 169

Fig. 16. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group  
for 6 weeks ..... 169

**Exp. III. Effect of pork and lard on detoxification in cadmium administered rats**

Fig. 1. Liver of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control) ..... 175

Fig. 2. Kidney of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control) ..... 175

Fig. 3. Testis of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control) ..... 175

Fig. 4. Liver of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks ..... 175

Fig. 5. Kidney of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks ..... 175

Fig. 6. Testis of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks ..... 175

Fig. 7. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of  
pork and lard 100% group for 6 weeks ..... 176

Fig. 8. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of  
pork and lard 100% group for 6 weeks ..... 176

Fig. 9. Testis of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of  
pork and lard 100% group for 6 weeks ..... 176

Fig. 10. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of  
pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 177

Fig. 11. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of  
pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 177

Fig. 12. Testis of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of  
pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 177

Fig. 13. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks .....	177
Fig. 14. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks .....	177
Fig. 15. Testis of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks .....	177
Fig. 16. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks .....	178
Fig. 17. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks .....	178
Fig. 18. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks .....	178
Fig. 19. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks .....	178

## Lead (Pb) Experiment (2nd year)

### Exp. I . Experiment for lead poisoning

Fig. 1. Liver of control rat .....	183
Fig. 2. Kidney of control rat .....	183
Fig. 3. Testis of control rat .....	183
Fig. 4. Cerebellum of control rat .....	183
Fig. 5. Liver of Pb 500ppm feeding rat for 7 weeks .....	184
Fig. 6. Kidney of Pb 500ppm feeding rat for 7 weeks .....	184
Fig. 7. Testis of Pb 500ppm feeding rat for 7 weeks .....	184
Fig. 8. Cerebellum of Pb 500ppm feeding rat for 7 weeks .....	184

## Exp. II . Effect of pork on detoxification in lead administered rat

Fig. 1. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks .....	189
Fig. 2. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks .....	189
Fig. 3. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 100% feeding group for 6 weeks .....	189
Fig. 4. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks .....	190
Fig. 5. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks .....	190
Fig. 6. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 100% feeding group for 6 weeks .....	190
Fig. 7. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks .....	191
Fig. 8. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 100% feeding group for 6 weeks .....	191
Fig. 9. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks .....	191
Fig. 10. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 100% feeding group for 6 weeks .....	191

### Exp. III. Effect of lard on detoxification of lead administered rat

Fig. 1. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks .....	196
Fig. 2. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks .....	196
Fig. 3. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks .....	196
Fig. 4. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks .....	196
Fig. 5. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks .....	197
Fig. 6. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks .....	197
Fig. 7. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks .....	197
Fig. 8. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks .....	197

**Exp. IV. Effect of pork and lard on detoxification of lead administered rat**

Fig. 9. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 202

Fig. 10. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 202

Fig. 11. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks ..... 202

Fig. 12. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 203

Fig. 13. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 203

Fig. 14. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks ..... 203

Fig. 15. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 204

Fig. 16. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks ..... 204

Fig. 17. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 204

Fig. 18. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks ..... 205

Fig. 19. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks ..... 205

## 제 1장 서 론

중화학 공업의 발달 및 중금속의 용도가 다양해지면서, 전세계적으로 사람의 중금속 노출 위험이 증대되고, 중독 사례가 빈발하는 추세이다.

체내에 축적되어 치명적인 결과를 초래하는 대표적인 중금속들에는 cadmium과 lead가 있으며, 이러한 중금속들은 배터리, ceramic, 매연, 페인트, 농약, 제련소, 도자기 염료, 부식방지제, 전기도금 및 오염된 식품 등을 통하여 체내에 유입될 수 있으며, 심지어 오염된 대기, 하천수, 토양에 의하여 농수산물이나 사료에 오염되어 간접적으로 체내에 유입될 수 있다.

유입된 중금속들은 체내 축적 정도에 따라 심각한 기능장애를 유발하는데, cadmium의 축적에 의하여 골 조직 및 신장의 손상과 간 및 정소의 손상이 유발되며 오염된 어패류를 섭취함으로써 인하여 일본에서 발생한 Itai-itai병은 cadmium중독증의 위험성을 가장 잘 알려주는 사건이다.

Lead 또한 오염된 환경이나 식품 등을 통하여 만성적으로 체내에 축적되면, 조혈계 및 신경계 손상과 정소의 손상, 간장 및 신장의 손상이 유발되는 것으로 알려져 있다. 또한 lead가 체내에 축적된 어머니의 태반 및 유즙을 통하여 태아에게 lead가 유입되어 문제를 야기할 수 있음이 보고되었으며, 태아 및 어린이들과 같은 중추신경계 발달기의 연령들에서는 lead의 노출에 의하여 IQ, 기억력, 집중력 및 감정 반응의 감퇴 등의 증상까지도 유발될 수 있음이 알려지고 있다. 이러한 중금속의 위해성을 알면서도 광범위하게 사용되는 도구들과 매일 섭취하는 식품 및 오염된 환경 때문에 현대인들이 이들 중금속으로부터 노출되지 않는 방법을 찾는다는 것은 거의 불가능하다고 할 것이다. 따라서 노출된 중금속의 체내 축적을 억제하거나 체외로 배출하는 해독작용을 촉진하는 방법을 모색하는 것이 중금속 중독증의 예방 및 개선 효과를 연구하는 좋은 방향이 될 것으로 판단된다.

## 제 2장 재료 및 방법

육류 단백질 및 지방 섭취가 중금속 중독과 해독에 미치는 영향에 관한 연구를 실시하기 위하여, 흔히 체내에 축적되어 문제를 야기할 수 있는 대표적인 중금속인 cadmium과 lead를 사용한 중독 및 해독시험을 실시한다. 실험에 사용되는 동물로는 기초자료가 비교적 많이 보고되어 있는 male rat(Sprague-Dawley 계)를 이용하며, 1차년도와 2차년도로 시험을 나누어, 1차년도에는 cadmium 중독 및 해독시험을 실시하고, 2차년도에는 lead 중독 및 해독시험을 실시한다.

각 중독 및 해독시험은 다시 돼지고기, 돼지기름, 돼지고기와 기름의 병용과 같이 각각 3가지 성분을 이용하여 시험을 실시하고, 그 결과를 비교 분석한다.

중독시험을 위하여는 8주-6주간 cadmium 또는 lead가 농도별로 함유된 사료를 자유 급식하여 중독을 확인한다. 해독시험을 위하여는 7주-6주간 돼지고기, 돼지기름, 돼지고기와 기름의 병용사료를 자유 급식시키고, 해독효과를 확인한다. 이때, 중독 예방을 확인하기 위한 시험으로 cadmium 50ppm 농도를, lead 500ppm 농도를 해독시험기간중에도 계속 공급하며, 육류 단백질과 지방의 섭취에 의한 영향을 확인한다. 이때, 중독 및 해독의 정도를 평가하기 위한 기준으로 체중, 장기중량, 혈액검사, 중금속의 체내함량, 뇨 및 분변을 통한 배출정도, 체내 특이 효소활성의 변화 등의 검사를 통하여 간접적으로 평가를 할 수 있으며, 조직의 손상 및 회복 효과를 확인할 수 있는 직접적인 방법으로 부검을 통한 육안 검사와 병리조직학적 검사, 전자현미경을 이용한 세포소기관들의 손상유무 등을 관찰하는 방법을 이용할 수 있다.

각각의 해당 시험 종료시 시험에 사용된 rat를 부검하여 육안적인 병변을 관찰하고, 다른 검사에 이용될 재료를 채취한 후, cadmium과 lead의 중독에 의하여 쉽게 손상되는 것으로 알려진, 신장, 간장, 정소 및 대뇌, 소뇌를 10% 중성 포르말린에 고정하고 통상적인 병리조직 준비과정을 거쳐 파라핀 포매한 후 4 $\mu$ m로 절편하여, haematoxylin과 eosin 염색을 거쳐 광학현미경으로 조직의 손상유무를 검경한다. 또한, 부검시 간장과 신장의 신선한 조직을 채취하여 1차 고정액(2.5% glutaraldehyde, 2% paraformaldehyde in 0.01M PBS)에 4시간 고정한 후, 1% OSO<sub>4</sub>로 2차 고정하고 탈수 과정을 거쳐 epon 포매하고 semithin section을 실시하여 투과전자현미경으로 세포의 손상 유무를 관찰한다.

# 제 3장 카드뮴(Cd) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구

## 제 1절. 돼지고기 급여가 Cd 해독에 미치는 영향

### 실험 1. 카드뮴 투여가 흰쥐의 임상적인 중독에 미치는 영향

#### 1. 육안 병변 결과

카드뮴을 8주간 투여한 흰쥐에서의 육안병변에서는 카드뮴 투여 농도와 육안 병변간에는 상관관계가 관찰되었다 (Table 1). 즉 카드뮴 농도가 증가될수록 흰쥐의 전반적인 상태는 수척(emaciation) 해지고 신장과 간장의 위축(atrophy)이 관찰된다.

#### 2. 병리조직학적 관찰 결과

##### (1) 간장

무처리 대조군에서는 미약한 국소 염증세포의 침윤을 제외하고는 특이한 병변을 관찰할 수 없었다 (Figure 1; Table 2). 미약한 국소 염증세포는 실험동물 랫드에서 일반적으로 관찰되는 병변이기 때문에 병리학적 병변으로 판정할 수 없다.

카드뮴 투여군에서는 정도의 차이는 있지만 무처리 대조군과 비교하여 보면 카드뮴에 의한 병리학적 병변이 관찰되고 있다. 카드뮴 투여군의 간세포에서는 변성이 관찰되며, sinusoid에서는 호산성 물질이 축적되어 있다 (Figure 4; Table 2). 때때로 간문맥에 염증세포의 축적도 관찰된다.

##### (2) 신장

무처리 대조군에는 카드뮴에 의해 유발되는 병변은 관찰할 수가 없었다 (Figure 2). 카드뮴 투여군의 투여농도에 의해서 근위 곡세뇨관 상피세포의 변성 및 호염성 병변이 관찰되고 있다. 근위곡세뇨관 내강에서 초자양물질이 축적되어 있다 (Figure 5; Table 2).

### (3) 고환

무처치 대조군에는 카드뮴에 의해 유발되는 병변은 관찰할 수가 없었다 (Figure 3). 카드뮴 투여군의 투여농도에 의해서 세포변성 정액수의 감소 및 거핵세포의 출현이 관찰되었다 (Figure 6; Table 2).

## 3. 전자 현미경적 관찰 결과

### (1) 간장

카드뮴을 투약하지 않은 대조군의 간장은 정상적인 미토콘드리아 (mitochondria), 리보솜(ribosome) 및 무과립 세망 내피계(rough endoplasmic reticulum)등이 관찰되었다 (Figure 16). 카드뮴을 8주간 투약한 투여군의 간장에서는 미토콘드리아에서 공포가 관찰되었으며, 세포질에서 세망 내피계에서 유래된 것으로 추정되는 크기가 다양한 많은 수의 공포(vacuole)가 관찰되었다 (Figure 17).

### (2) 신장

카드뮴을 투약하지 않은 대조군의 신장의 근위극세뇨관 상피세포에서는 정상적인 미세구조가 관찰된 반면, 카드뮴을 투여한 투여군에서는 세포질에서 공포 (vacuole)가 관찰되었다.

## 4. 결과분석

간장 간세포의 변성은 카드뮴에 의해 세포막의 투과성 증가등에 의해 유발되는 병변으로 추정되며 간세포와 간세포사이의 모세혈관인 sinusoid에서의 호산성물질이 저류는 간세포의 변성에 의해 간세포에서부터 유출된 단백질이 축적되어 있는 것으로 추정된다. 또한 카드뮴의 직접작용에 의해서 sinusoid에 위치해 있는 Kupffer cell이 활성화된 것으로 추정된다. 상피세포의 변성과 초자양 물질의 내강 축적은 체내에 흡수된 카드뮴에 의해서 직접적 손상을 의미하며, 호염성 병변의 카드뮴에 의해 직접적 손상된 상피세포의 복구과정을 의미하는 것이다. 카드뮴이 고환내에서 생성되고 있는 정액에 직접적인 영향을 유발하여 손상된 정액들이 융합되어 거핵 정액 세포를 생성하는 것으로 추정된다.

## 실험 2. 카드뮴 중독 흰쥐에 돼지고기 급여가 Cd 해독에 미치는 영향

### 1. 육안 병변 결과

카드뮴을 8주간 투여 후 돼지고기를 함유한 사료와 함유되지 않은 사료를 먹인 흰쥐에서 육안 병변은 뚜렷한 유의차가 없었다 (Table 3).

### 2. 병리 조직학적 관찰

#### (1) 간장

카드뮴이 함유되어 있지 않은 사료를 8주간 먹이고 8주간 돼지고기가 함유된 사료를 먹인 대조군 흰쥐에서는 중심정맥을 중심으로 간세포가 일렬로 정렬되어 있으며, 뚜렷한 병변이 관찰되지 않았다 (Figure 7). 카드뮴 농도가 25ppm과 50ppm으로 낮게 투여한 투여군에서는 사료에 돼지고기를 첨가한 군이나 무첨가 군이나 뚜렷한 차이를 관찰할 수 없었다. 카드뮴 농도가 100ppm과 250ppm을 투여한 투여군에서는 사료에 돼지고기를 무첨가한 투여군 간장에서는 간세포의 변성과 간문맥 주위의 염증세포 침윤이 관찰된 반면 (Figure 8), 사료에 돼지고기를 첨가한 투여군 간장에서는 대조군의 흰쥐 간장에서 관찰되는 중심 정맥을 중심으로 간세포가 일렬로 정렬되어 있다 (Figure 9).

#### (2) 신장

카드뮴이 함유되어 있지 않은 사료를 8주간 먹이고 8주간 돼지고기가 함유된 사료를 먹인 대조군 흰쥐에서는 신장의 사구체와 근위 곡세뇨관에서 뚜렷한 병변을 관찰할 수가 없었다. 카드뮴 농도가 100ppm으로 투여하고 사료에 돼지고기가 미 첨가된 사료를 투여한 투여군신장에서는 근위 곡세뇨관 상피세포의 재생과 내강에서 원형의 초자적 물질이 관찰된다 (Figure 10). 반면 카드뮴 농도가 100ppm으로 투여하고 사료에 돼지고기가 첨가된 사료를 투여한 투여군에서는 대조군의 신장과 동일하게 뚜렷한 병변을 관찰할 수 없었다 (Figure 11).

### (3) 고환

카드뮴이 함유되어 있지 않은 사료를 8주간 먹이고 8주간 돼지고기가 함유된 사료를 먹인 대조군 흰쥐에서는 고환에서 뚜렷한 병변을 관찰할 수가 없었다. 카드뮴 농도가 250ppm으로 투여되고 돼지고기가 미첨가된 사료를 투여한 투여군 고환에서는 고환의 곡세뇨관 중앙에서 정자 형성이 관찰되고 있지 않다 (Figure 12). 반면에 카드뮴 농도가 250ppm으로 투여하고 돼지고기가 첨가된 사료를 투여한 투여군 고환에서는 뚜렷한 병변을 관찰할 수가 없었다 (Figure 13).

## 3. 전자현미경적 관찰

### (1) 간장

돼지고기가 첨가된 사료와 미첨가된 사료를 투여한 투여군 사이에 전자 현미경적 병변의 차이가 관찰된다. 카드뮴 농도가 250 ppm으로 투여하고 사료에 돼지고기가 미첨가된 사료를 투여한 투여군 간장에서는 간세포 세포질 내에서 무과립 세망 내피계(rough endoplasmic reticulum)에서 유래된 것으로 추정된 크기가 다양한 공포(vacuole)가 관찰된다 (Figure 17). 반면에 카드뮴 농도가 250ppm으로 투여되고 사료에 돼지고기가 첨가된 사료를 투여한 투여군 간장에서는 간세포에서 뚜렷한 병변을 관찰할 수가 없었다 (Figure 16).

### (2) 신장

돼지고기가 첨가된 사료와 미첨가된 사료를 투여한 투여군 사이에 전자 현미경적 병변의 차이가 관찰된다. 카드뮴 농도가 250ppm으로 투여하고 사료에 돼지고기가 미첨가된 사료를 투여한 투여군 신장의 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 크기가 다양한 공포가 세포질에서 관찰된다 (Figure 19). 반면에 카드뮴 농도가 250ppm으로 투여되고 사료에 돼지고기가 100% 첨가된 사료를 투여한 투여군 신장의 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 뚜렷한 병변이 관찰되지 않는다 (Figure 18).

#### 4. 결과분석

병리조직학적 관찰 결과는 카드뮴의 농도가 낮을 경우에는 자체 간세포가 해독을 할 수 있지만, 카드뮴의 농도가 높아져서 간세포 스스로의 해독능력을 초과하는 경우 돼지고기를 이용하여 해독하는 것으로 추정된다. 신장에서도 간장과 비슷한 경향이 나타나고 있다. 신장은 간장보다 자체 카드뮴 해독능력이 떨어져서 50ppm 급여군에서부터 그 차이가 나타나고 있다. 카드뮴에 의해 손상된 세포를 의미하는 세뇨관의 호염성이 50ppm 급여군에서부터 돼지고기 무첨가 군에서 현저히 많이 관찰되고 있다. 고환에서는 신장과 간장과 같은 용량에 따라 효과(dose-dependent effect)는 나타나고 있지 않지만 250ppm 투여군에서는 돼지고기 무첨가 군에서 현저히 많은 세뇨관의 괴사가 관찰되고 있다. 고환은 신장, 간장만큼 카드뮴에 민감하지 않거나, 돼지고기의 효과가 우수하여 250ppm의 고용량에서만 병변의 차이가 있는지는 좀 더 연구해야 될 것으로 사료 된다.

Table 1. Gross findings of the rats administered with cadmium for 8 weeks

Group	Cadmium concentration(ppm)	Duration (week)	Total No. of rat	Findings(No.)
A	0	8	6	NGL <sup>a</sup> (6)
B	25	8	6	NGL <sup>a</sup> (6)
C	50	8	6	NGL <sup>a</sup> (6)
D	100	8	6	NGL <sup>a</sup> (6) Emaciation(6)
E	250	8	6	Emaciation(6) Exposed penis(6) Atrophy of kidney(6) Atrophy of testes(6)

a : No gross findings

**Table 2. Histopathological lesions of rats administered with cadmium for 8 weeks**

	Group			A				B				C					D					E					
	No. of rat			6				6				6					6					6					
	Degree of Histopathologic Lesions			-	±	+	-	±	+	++	-	±	+	++	++	+	-	±	+	++	++	+	-	±	+	++	+++
<b>Liver</b>																											
Cellular Degeneration	6	0	0	2	0	3	1	0	0	3	3	0	2	0	4	0	0	0	0	5	1	0	0	0	5	1	0
Focal Cellular Infiltration	5	1	0	2	2	2	0	5	0	0	0	1	2	2	2	0	0	3	3	0	0	0	3	3	0	0	0
Eosinophilic Material in Sinusoid	6	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	1
Kupffer Cell Hyperplasia	6	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	5	0	1	0	0	5	0	1	0	0
<b>Kidney</b>																											
Proximal Tubular Degeneration	6	0	0	5	0	1	0	5	0	1	0	0	3	0	2	1	0	0	0	3	3	0	0	0	3	3	0
Proximal Tubular Regeneration	6	0	0	1	2	3	0	5	0	1	0	0	3	0	3	0	0	4	0	2	0	0	4	0	2	0	0
Proximal Tubular Dilatation	5	1	0	5	0	1	0	2	0	3	1	0	4	0	2	0	0	4	0	2	0	0	4	0	2	0	0
Focal Cellular Infiltration	6	0	0	5	0	1	0	6	0	0	0	0	5	1	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0
Fibrosis	6	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	1
<b>Testes</b>																											
Spermatids Degeneration	6	0	0	3	0	3	0	2	0	3	1	0	1	0	2	3	0	4	0	0	1	1	4	0	0	1	1
Decreased Spermatogenesis	6	0	0	6	0	0	0	4	0	1	1	0	5	0	1	0	0	1	0	2	1	2	1	0	2	1	2
Giant Cell	6	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	2	0	3	1	0	2	0	3	1	0

: no lesion, ±: slight lesion, +: mild lesion, ++: moderate lesion, +++: severe lesion

Table 3. Gross findings of cadmium detoxification with pork

Group	Treatment of pork (%)	Duration (week)	No. of rat	Findings(No.)
A	0	8	6	Liver yellowish, swelling(1)
	100	8	6	Liver yellowish, swelling(5)
B	0	8	6	Liver yellowish, swelling(3)
	100	8	6	Liver yellowish, swelling(4)
C	0	8	6	Liver yellowish, swelling(3)
	100	8	6	Liver yellowish, swelling(4)
D	0	8	6	Liver yellowish, swelling(3)
	100	8	6	Liver yellowish, swelling(3)
E	0	8	6	Liver white cyst(1~2cm) yellowish, swelling(2)
	100	8	6	Liver yellowish, swelling(4)

**Table 4. Histological lesions of cadmium detoxification with pork**

Microscopic Lesion	Group		A		B		C		D		E	
	Treated pork(%)		0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
	n		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Liver</b>												
Cellular Swelling	-		6	6	6	5	6	6	6	6	6	6
	+		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Fatty Change	-		6	6	6	5	6	6	6	6	6	6
	++		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Cellular Degeneration	-		6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
	+		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Abscess	-		6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
	+++		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Focal Necrosis	-		6	6	6	6	5	6	4	6	5	6
	±		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	+		0	0	0	0	0	0	2	0	1	0
Focal Cellular Infiltration	++		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	-		5	6	6	6	4	3	3	6	3	6
	±		1	0	0	0	1	2	3	0	0	0
Kupffer Cell Hyperplasia	+		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	++		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	-		6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
<b>Kidney</b>	+		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	++		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	-		5	6	4	5	4	6	5	2	2	2
	±		0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
	+		0	0	2	0	1	0	1	2	3	2
	++		1	0	0	1	1	0	0	0	1	0
	-		6	6	5	4	2	4	1	5	4	6
Tubular Regeneration	±		0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	+		0	0	1	2	2	1	2	0	2	0
	++		0	0	0	0	2	0	2	0	0	0
	-		6	6	4	6	6	6	6	6	6	6
<b>Testes</b>	±		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	+		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	-		6	6	6	6	6	6	6	6	4	6
Tubular Necrosis	+		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0

- : no lesion, ±: slight lesion, + : mild lesion, ++: moderate lesion, +++: severe lesion

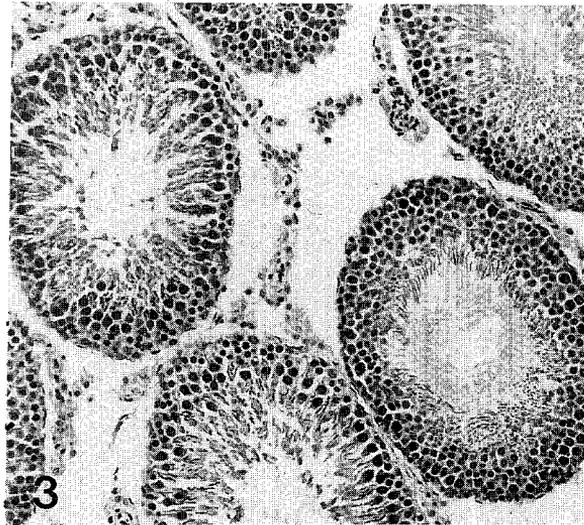
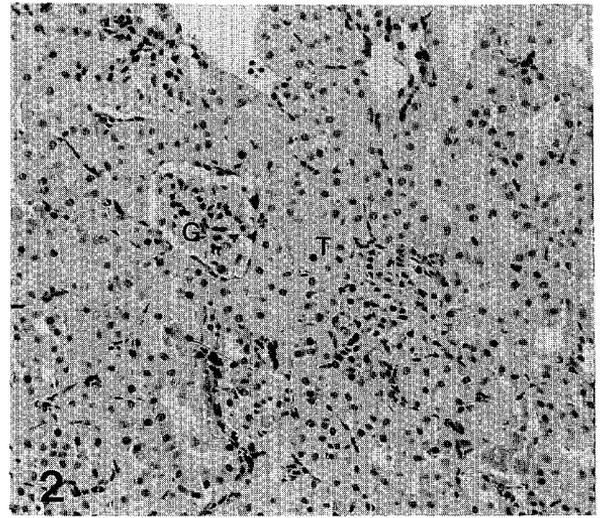
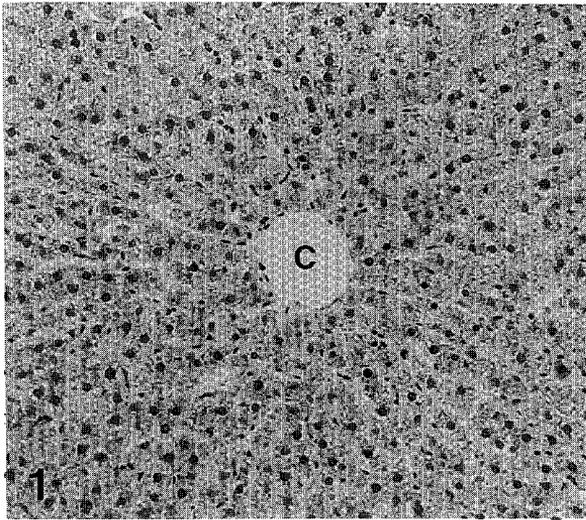


Fig. 1. Liver of control rat

The liver is almost normal. The hepatocytes are normally arranged in around the central vein(C). H&E Stain,  $\times 200$

Fig. 2. Kidney of control rat

The kidney is almost normal glomerular(G) and proximal tubular(T) appearance. H&E Stain,  $\times 200$

Fig. 3. Testis of control rat

The testis is normal appearance, The seminiferous tubules is shown the generation of the spermatids(arrow). H&E Stain,  $\times 200$

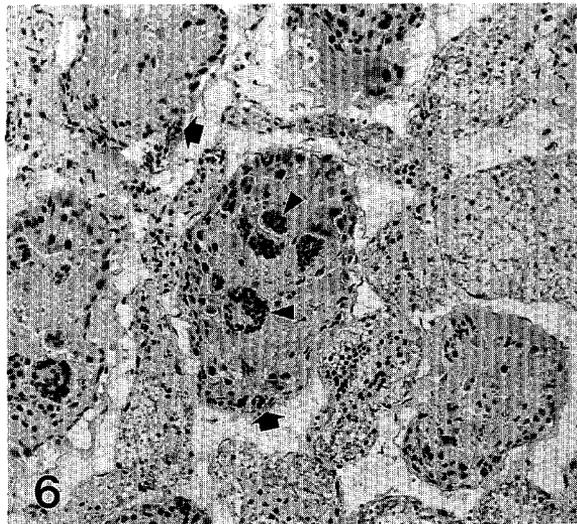
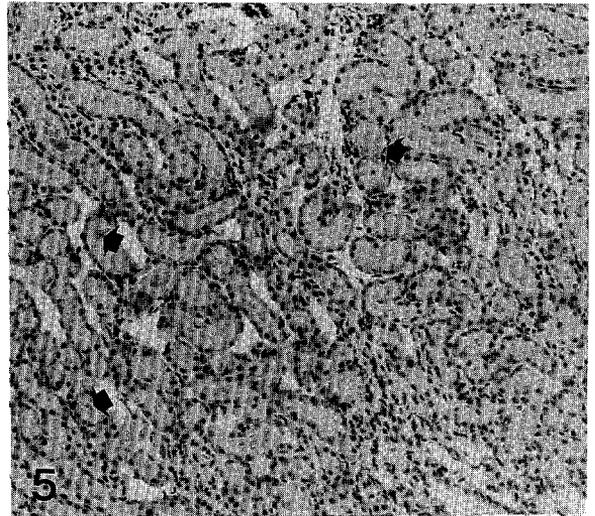
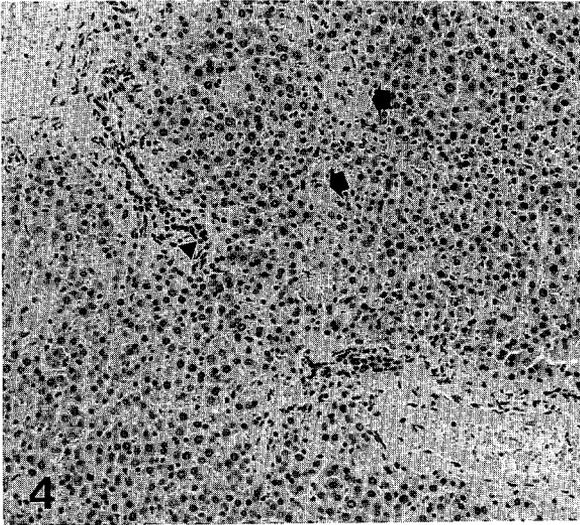


Fig. 4. Liver of Cd 250ppm feeding group for 8 weeks

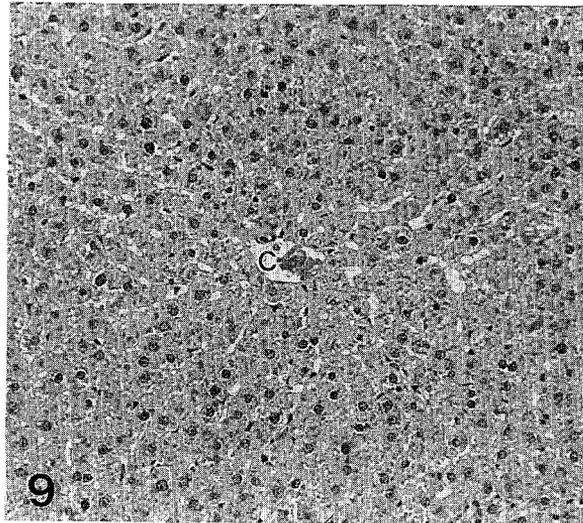
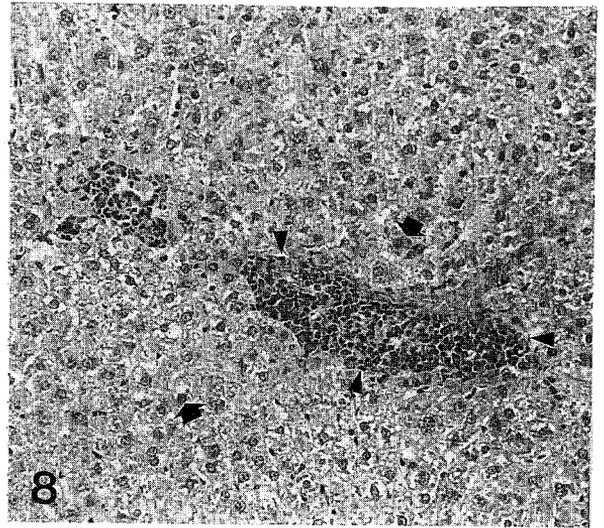
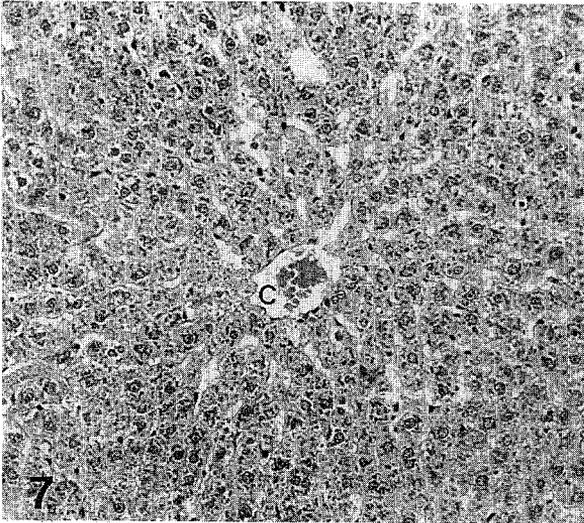
There were shown the irregular nucleus, homogenous material deposition in sinusoid(arrows), and inflammatory cell infiltration around the portal vein. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 5. Kidney of Cd 250ppm feeding group for 8 weeks

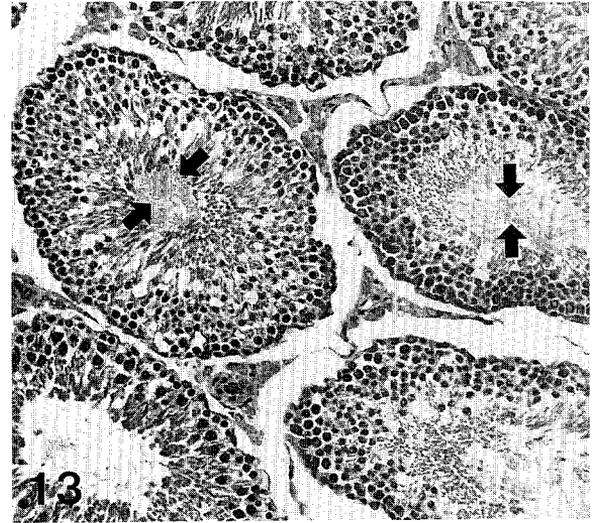
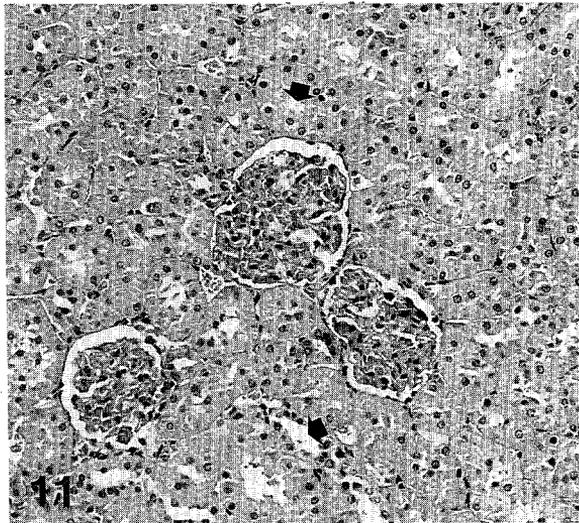
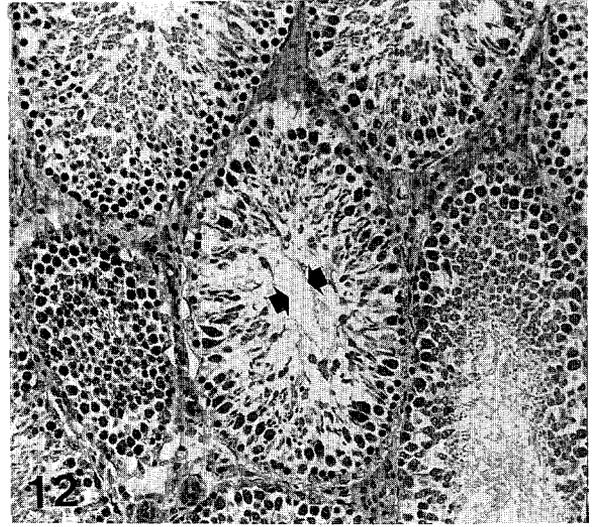
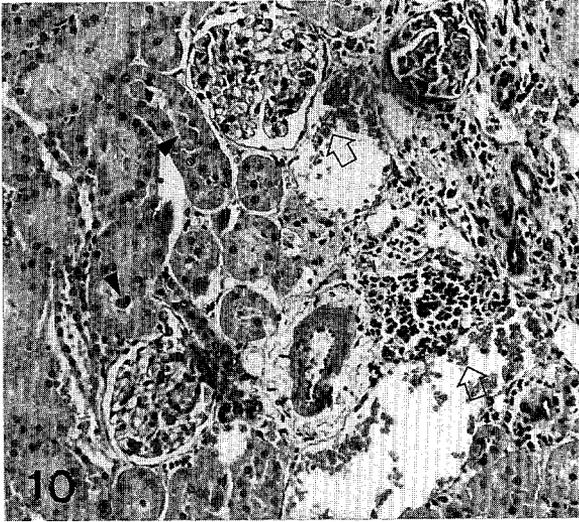
There were shown the eosinophilic urinary casts(arrows) in the lumen of proximal tubules. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 6. Testes of Cd 250ppm feeding group for 8 weeks

The testes were shown the degeneration of the seminiferous tubules(arrows) and giant cells(arrow heads). H&E stain,  $\times 200$



- Fig. 7. Liver of Cd 0ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks  
 There was shown the cord appearance of hepatocytes around the central vein.  
 H&E stain, ×200
- Fig. 8. Liver of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks  
 There were the dissociation of the hepatic cords and cellular infiltration around the  
 portal vein(arrow heads). H&E stain, ×20
- Fig. 9. Liver of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks  
 There were almost normal appearance and regularly cord arrangement of the  
 hepatocytes. H&E stain, ×200



- Fig. 10. Kidney of Cd 100ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks  
The proximal tubular cells were shown the lesions of degeneration and regeneration(arrow) and cellular infiltration around the vessel and eosinophilic urinary cast in the lumen of the tubules(open arrows). H & E stain,  $\times 200$
- Fig. 11. Kidney of Cd 100ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks  
There were almost normal appearance. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 12. Testis of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks  
There were shown the decrease of the spermatogenesis in the seminiferous tubules(arrow). H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 13. Testis of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks  
The testis was almost normal and shown the normal spermatogenesis in the seminiferous tubules(arrows). H&E stain,  $\times 200$

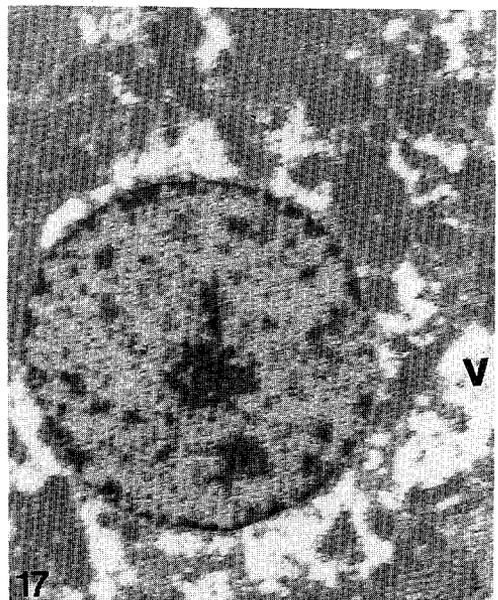
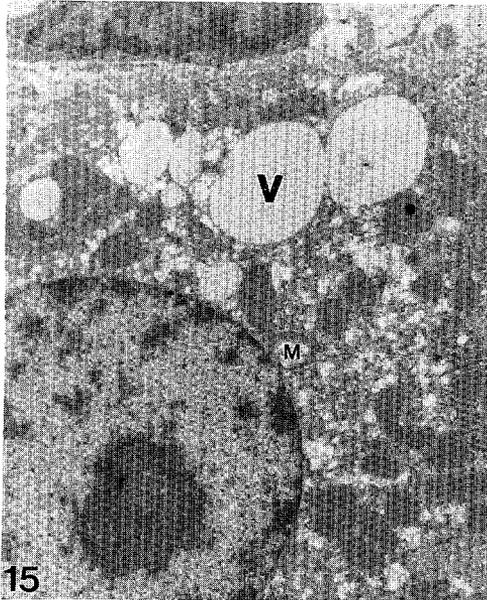
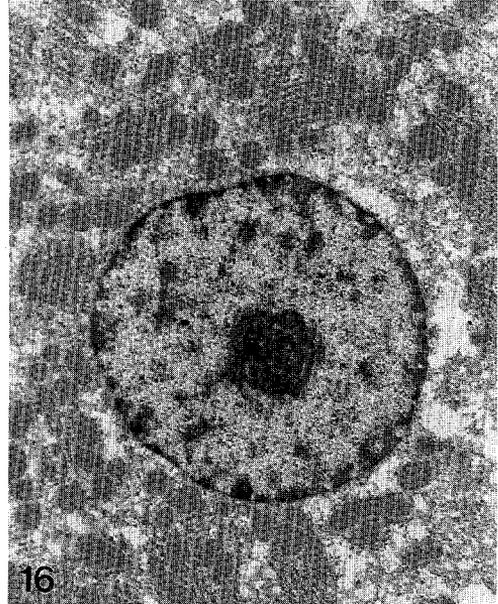
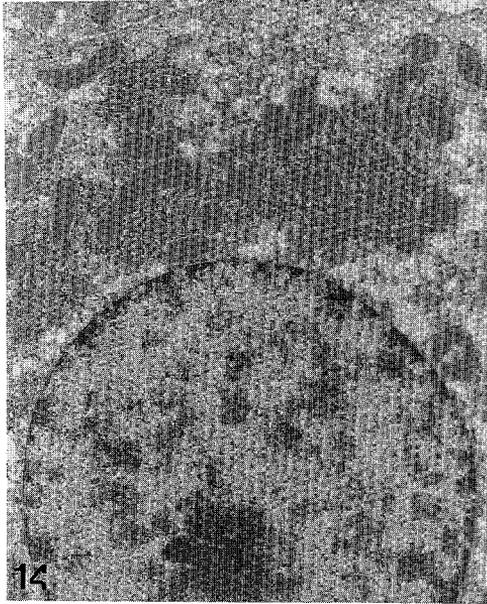


Fig. 14. Liver of Cd 0ppm feeding group for 8 weeks

The hepatocytes were almost normal. EM,  $\times 5,000$

Fig. 15. Liver of Cd 250ppm feeding group for 8 weeks

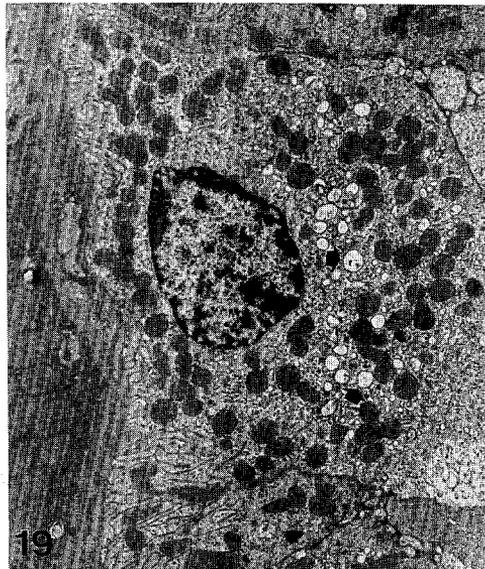
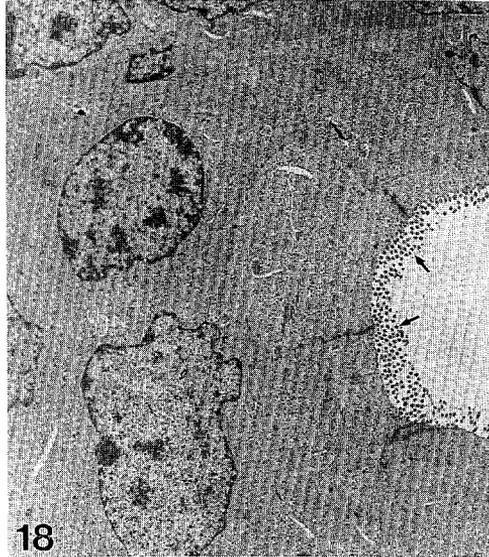
There were vacuoles(V) and swelling of the mitochondria(M), EM,  $\times 5,000$

Fig. 16. Liver of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks

The hepatocyte had almost normal mitochondria and rough endoplasmic reticulum. EM,  $\times 5,000$

Fig. 17. Liver of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks

There were shown vacuoles in the cytoplasm. EM,  $\times 5,000$



- Fig. 18. Kidney of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 100% feeding group for 8 weeks  
The normal brush border was observed in the proximal tubular cells. EM,  $\times 5,000$
- Fig. 19. Kidney of Cd 250ppm for 8 weeks and pork 0% feeding group for 8 weeks  
There were shown vacuoles in the cytoplasm of proximal tubular cells. EM,  $\times 5,000$

## 제 2절. 돼지 기름 급여가 카드뮴 해독에 미치는 영향

### 실험 1 : 카드뮴 투여가 흰쥐의 임상적인 중독에 미치는 영향.

#### 1. 육안병변 결과

육안 병변의 결과는 Table 5에 요약되어 있다. 카드뮴을 투여하지 않은 대조군의 흰쥐에서는 어떠한 육안병변도 관찰되지 않았다. 카드뮴 50ppm을 6주 투여한 B군 흰쥐 6마리중 2마리 간장이 황색조를 띠었으며, 1마리에서는  $0.5 \times 0.4$  cm 정도의 백색낭이 관찰되었다. 6주간 투여한 C군 6두의 흰쥐중 5마리 간장이 황색조를 띠고 있었다.

#### 2. 병리조직학적 병변

##### (1) 간장

병리조직학적 병변의 결과는 Table 6에 요약되어 있다. 카드뮴을 투여하지 않은 대조군의 흰쥐에서는 뚜렷한 병리조직학적 병변이 관찰되지 않았다 (Figure 1). 카드뮴 50ppm을 6주간 투여한 흰쥐 간장에서는 간세포의 변성, 염증 세포 침윤등이 관찰되었으며 때로는 육아 조직이 관찰된다 (Figure 3).

##### (2) 신장

병리조직학적 병변의 결과는 Table 6에 요약되어 있다. 카드뮴을 투여하지 않은 대조군의 흰쥐에서는 뚜렷한 병리조직학적 병변이 신장에서 관찰되지 않았다 (Figure 2). 카드뮴 50ppm을 6주간 투여한 흰쥐 신장에서는 근위 곡세뇨관 상피 세포의 변성과 재생이 관찰된다. 때때로 신장 간질에서 염증세포의 침윤이 관찰되었다 (Figure 4).

##### (3) 고환

병리조직학적 병변의 결과는 Table 6에 요약되어 있다. 카드뮴을 투여하지 않은 대조군의 흰쥐에서는 뚜렷한 병리조직학적 병변이 고환에서 관찰되지 않았다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여한 흰쥐 고환에서는 정액 생산 감소, 정액 세포의 변성이 관찰되며, 곡세뇨관의 위축이 관찰되었다.

### 3. 전자현미경 관찰

#### (1) 간장

카드뮴을 투여하지 않은 대조군의 간장에서는 정상적인 미토콘드리아와 무형질 세망 내피계가 관찰되었다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여한 간장에서는 크기가 다양한 공포가 세포질에서 관찰되었다.

#### (2) 신장

카드뮴을 투여하지 않은 대조군의 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 정상적인 미토콘드리아가 세포질에서 관찰되었다. 카드뮴을 투여한 투여군 신장 근위 곡세뇨관 상피세포의 내강쪽에는 brush border가 사라져 있으며 세포질 내에는 공포가 관찰되었다.

### 4. 결과분석

간장 간세포의 변성은 카드뮴에 의해 세포막의 투과성 증가 등에 의해 유발되는 병변으로 추정된다. 신장 근위 곡세뇨관 상피세포의 변성과 재생도 카드뮴에 의해서 상피세포가 손상된 후 다시 재생되는 과정으로 추정된다. 고환에서의 정액 생산 감소등은 카드뮴에 의해 직접적으로 정액생산이 감소되는 것으로 추정된다.

### 실험 2 : 카드뮴 중독 흰쥐에 돼지기름 급여가 Cd 해독에 미치는 영향

#### 1. 육안 병변

카드뮴 6주간 투여 후 돼지 기름을 함유한 사료와 함유되지 않은 사료를 먹인 흰쥐에서 육안 병변은 뚜렷한 유의차가 없었다 (Table 7).

#### 2. 병리조직학적 관찰

##### (1) 간장

병리조직학적 병변의 결과는 Table 8에 요약되어 있다. 카드뮴이 함유되어 있지 않은 사료를 6주간 먹이고 6주간 돼지 기름이 함유된 사료를 먹인 대조군

흰쥐에서는 중심정맥을 중심으로 간세포가 일렬로 정렬되어 있다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군 간세포의 변성이 관찰되며 (Figure 7), 간문맥에서는 염증세포의 침윤이 관찰된다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 100%함유된 사료를 투여한 투여군 간세포에서는 가끔 간문맥에서 염증 세포의 침윤만이 관찰되었다 (Figure 5). 카드뮴 50ppm을 12주간 투여후 돼지 기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군 간세포의 변성이 관찰되며, 간문맥에서는 염증 세포의 침윤이 관찰된다 (Figure 11). 카드뮴 50ppm을 2주간 투여후 돼지기름을 100% 함유된 사료를 투여한 투여군에서는 간장에서 병변이 관찰되지 않았다 (Figure 9). 돼지기름은 카드뮴에 의한 간세포 손상을 해독하는 경향이 있으며, 카드뮴 투약기간과 돼지기름의 간 손상 해독에는 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다.

## (2) 신장

병리조직학적 병변의 결과는 Table 8에 요약되어 있다. 카드뮴이 함유되어 있지 않은 사료를 6주간 먹이고 6주간 돼지 기름이 함유된 사료를 먹인 대조군 흰쥐에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서 뚜렷한 병변이 관찰되지 않았다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서 변성과 재생이 관찰되며, 가끔 간질에서 염증 세포의 침윤이 관찰된다 (Figure 8). 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 100%함유된 사료를 투여한 투여군에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 대조군과 유사하게 뚜렷한 병변이 관찰되지 않았다 (Figure 6). 카드뮴 50ppm을 12주간 투여후 돼지 기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서 변성과 재생이 관찰된다 (Figure 12). 카드뮴 50ppm을 2주간 투여후 돼지기름을 100% 함유된 사료를 투여한 투여군에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 뚜렷한 병변이 관찰되지 않았다 (Figure 10).

### (3) 고환

병리조직학적 병변의 결과는 Table 8에 요약되어 있다. 카드뮴이 함유되어 있지 않은 사료를 6주간 먹이고 6주간 돼지 기름이 함유된 사료를 먹인 대조군 흰쥐에서는 정상적인 고환으로 뚜렷한 병변이 관찰되지 않았다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군에서는 정액생산 감소, 정액세포의 변성이 관찰된다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 100%함유된 사료를 투여한 투여군에서는 뚜렷한 병변이 관찰되지 않았다. 카드뮴 50ppm을 12주간 투여후 돼지 기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군에서는 정액생산 감소와 정액세포의 변성이 관찰된다. 카드뮴 50ppm을 2주간 투여후 돼지기름을 100% 함유된 사료를 투여한 투여군에서는 고환에서 병변이 관찰되지 않았다.

## 3. 전자현미경 관찰

### (1) 간장

카드뮴이 함유되어 있지 않은 사료를 6주간 먹이고 6주간 돼지 기름이 함유된 사료를 먹인 대조군 흰쥐에서는 간장에서는 정상적인 미토콘드리아와 무형질 세망 내피계가 관찰되었다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군에서는 간장에서는 간세포의 세포질에서 크기가 다양한 공포가 관찰되었다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 100%함유된 사료를 투여한 투여군에서는 정상적인 미토콘드리아와 무과립 세망 내피계가 관찰되었다. 카드뮴 50ppm을 12주간 투여후 돼지 기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군에서는 간장에서는 간세포의 세포질에서 크기가 다양한 공포가 관찰되었다 (Figure 13). 카드뮴 50ppm을 2주간 투여후 돼지기름을 100% 함유된 사료를 투여한 투여군에서는 정상적인 미토콘드리아와 무과립 세망 내피계가 관찰되었다 (Figure 14).

## (2) 신장

카드뮴이 함유되어 있지 않은 사료를 6주간 먹이고 6주간 돼지 기름이 함유된 사료를 먹인 대조군 흰쥐에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 정상적인 세포 소기관이 관찰되었다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 세포질에서 공포가 관찰되며 상피세포 내강의 표면에서 brush border가 관찰되지 않는다. 카드뮴 50ppm을 6주간 투여후 돼지기름을 100%함유된 사료를 투여한 투여군에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 정상적인 세포 소기관이 관찰되었다. 카드뮴 50ppm을 12주간 투여후 돼지 기름을 함유하지 않은 사료를 투여한 투여군에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 세포질에서 공포가 관찰되며 상피세포 내강의 표면에서 brush border가 관찰되지 않는다 (Figure 16). 카드뮴 50ppm을 2주간 투여후 돼지기름을 100% 함유된 사료를 투여한 투여군에서는 신장 근위 곡세뇨관 상피세포에서는 정상적인 세포 소기관이 관찰되었다 (Figure 15).

## 4. 결과 분석

돼지고기와 마찬가지로 돼지기름도 카드뮴에 의한 간장의 간세포 병변을 효과적으로 해독하고 방지하는 것으로 판명되었다. 간장에서는 카드뮴의 투여기간이 6주와 12주 사이에는 뚜렷한 차이가 없는 것으로 판명되었다. 신장에서도 돼지 기름이 근위 곡세뇨관 상피세포의 변성을 예방하는 것으로 병리조직 소견과 전자현미경 관찰에서 판명되었다. 고환에서도 돼지기름이 카드뮴에 의한 정자세포의 변성과 정자 생산의 억제를 예방하는 것으로 병리조직 소견에서 판명되었다.

**Table 5. Gross findings of the rats administered with cadmium for 6 weeks**

Group	Cadmium concentration (ppm)	Duration (week)	No. of rat	Findings(No)
A	0	6	6	NGL <sup>a</sup> (6)
B	50	6	6	Liver-white cyst, 0.5×0.4cm <sup>2</sup> (1) Liver-yellowish(2)
C	50	12	6	Liver-yellowish(5)

a : No gross findings.

**Table 6. Histopathological lesions of the rats administered with cadmium for 6 weeks**

Lesion	Group	A				B				C			
	Rat No	6				6				6			
	Grade	-	±	+		-	±	+	++	-	±	+	++
<b>Liver</b>													
Cellular Degeneration		6	0	0		1	3	2	0	4	1	1	0
Cellular Infiltration		6	0	0		1	2	1	1	6	0	0	0
Granulation		6	0	0		5	0	0	1	6	0	0	0
<b>Kidney</b>													
Proximal Tubular Degeneration		6	0	0		3	2	1	0	1	3	1	1
Proximal Tubular Regeneration		6	0	0		1	1	4	0	4	0	2	0
Cellular Infiltration		6	0	0		3	0	2	1	2	2	2	0
<b>Testis</b>													
Decreased of Spermatogenesis		6	0	0		1	3	2	0	2	0	4	0
Spermatids Degeneration		6	0	0		1	2	3	0	4	1	1	0
Tubular Atrophy		6	0	0		5	0	1	0	6	0	0	0

- : no lesion, ± : slight lesion, + : mild lesion, ++ : moderate lesion, +++ : serve lesion

**Table 7. Gross findings of cadmium detoxification with lard**

Group	Treatment of lard (%)	Duration (week)	No. of rat	NGL <sup>a</sup> Findings(No)
A (control)	0	6	6	Liver-yellow · swelling Fragil(1) Lung-Dark red spot, hardness(1)
	100	6	6	Liver-yellow · swelling Fragil(1) Lung-Dark red spot, hardness(1)
B (50ppm for 6 weeks)	0	6	6	Liver-yellowish(3)
	100	6	6	Liver-yellowish(1)
C (50ppm for 12 weeks)	0	6	6	Emaciation(3) Liver-yellowish(4) Lung-Dark red spot, hardness(1)
	100	6	6	NGL <sup>a</sup>

a : No gross findings

**Table 8. Histopathological lesions of cadmium detoxification with lard**

Microscopic Lesion	Group	A		B		C	
	Cadmium treated, (ppm)	0		50ppm for 6weeks		50ppm for 12weeks	
	Treatment of lard, (%)	0	100	0	100	0	100
	Degree \ (n)	6	6	6	6	6	6
<b>Liver</b>							
Fatty Change	-	6	5	6	6	6	6
	++	0	1	0	0	0	0
Cellular Infiltration	-	6	6	1	4	2	4
	±	0	0	5	2	1	2
	+	0	0	0	0	3	0
Cellular Degeneration	-	6	6	0	6	2	6
	±	0	0	2	0	1	0
	+	0	0	4	0	3	0
Focal Necrosis	-	6	6	6	6	5	6
	+++	0	0	0	0	1	0
	+	6	6	6	6	5	6
Calcification	-	0	0	0	0	1	0
<b>Kidney</b>							
Cellular Infiltration	-	6	5	5	5	1	6
	±	0	0	0	1	2	0
	+	0	1	1	0	2	0
	++	0	0	0	0	1	0
Regenerative Tubules	-	6	6	0	2	2	3
	±	0	0	4	4	2	3
	+	0	0	2	0	1	0
Tubular Degeneration	++	0	0	0	0	1	0
	-	6	6	5	6	4	6
	±	0	0	1	0	2	0
Fibrosis	+	0	0	0	0	0	0
	-	6	6	6	6	5	6
	+	0	0	0	0	1	0
<b>Testis</b>							
Decrease of Cellularity	-	6	6	6	6	2	6
	±	0	0	0	0	3	0
	+	0	0	0	0	1	0
Cellular Degeneration	-	6	6	2	4	2	4
	±	0	0	3	2	2	2
	+	0	0	1	0	2	0

- : no lesion, ± : slight lesion, + : mild lesion, ++ : moderate lesion, +++ : severe lesion

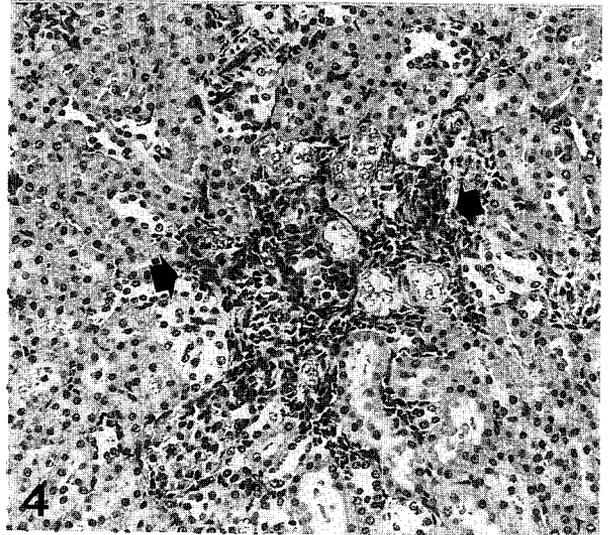
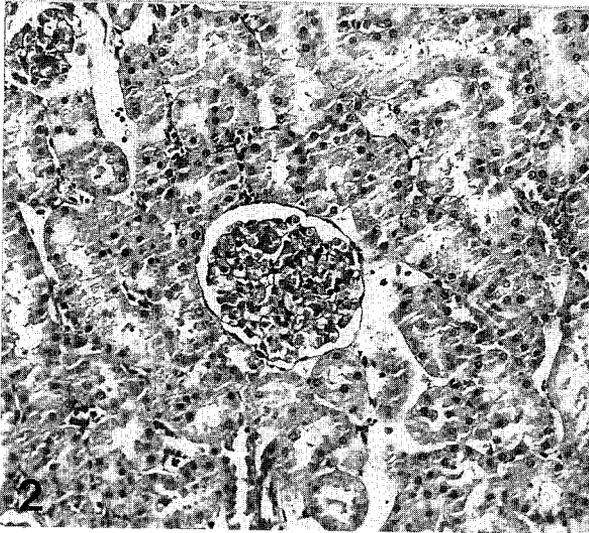
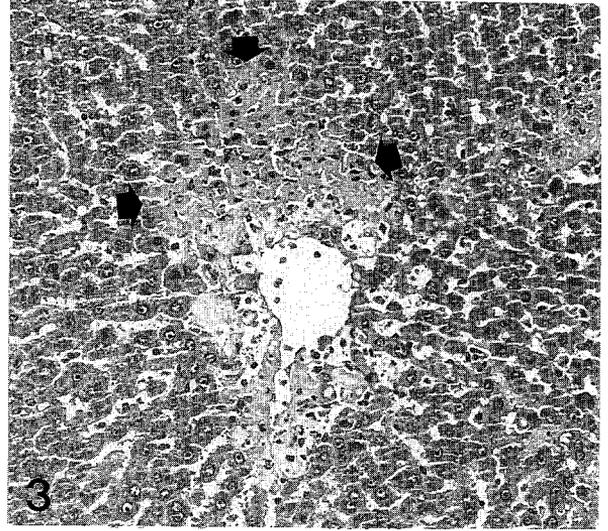
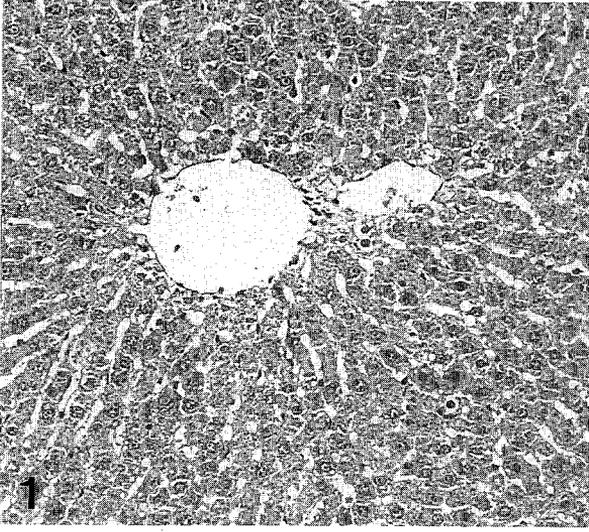


Fig. 1. Liver of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control)

The liver was almost normal. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 2. Kidney of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control)

The kidney was normal. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 3. Liver of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks

The hepatic necrosis(arrow) was observed around the central vein. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 4. Kidney of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks

The cellular infiltration(arrow) was observed in the renal interstitium. H&E stain,  $\times 200$

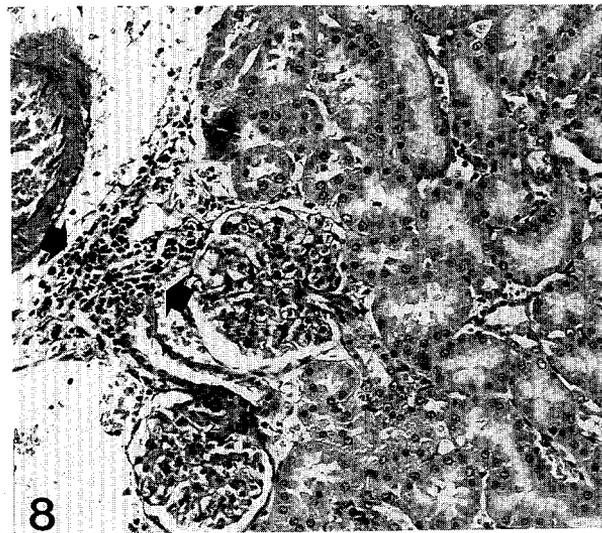
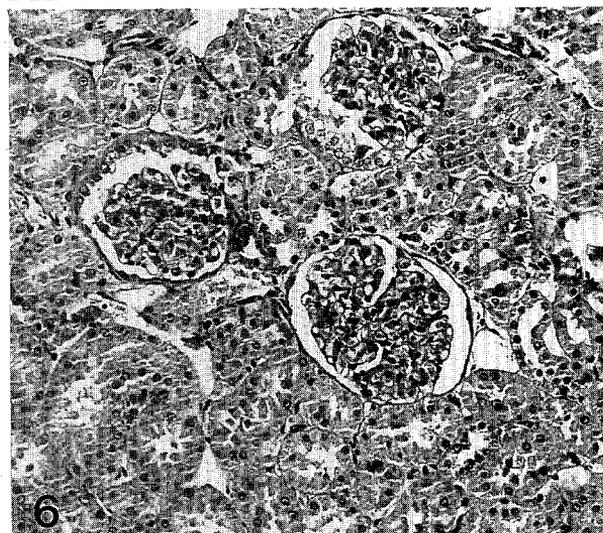
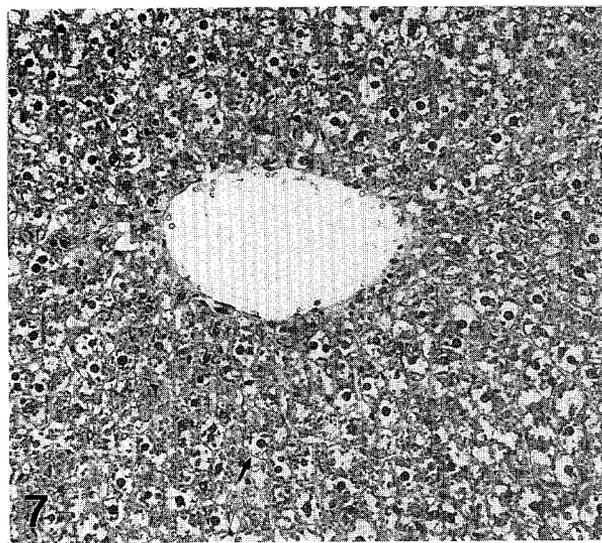
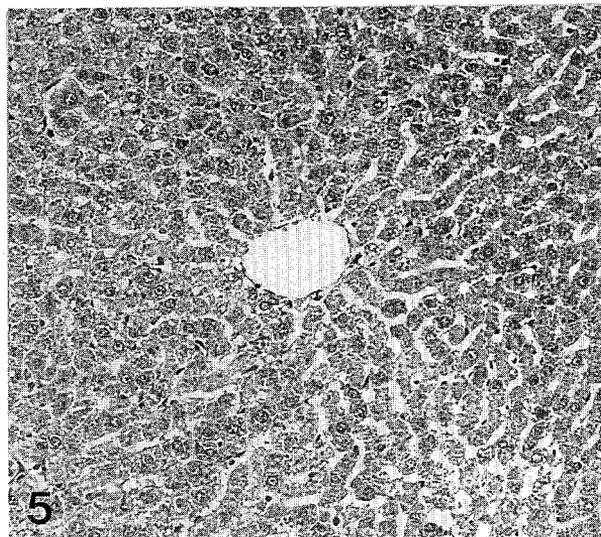


Fig. 5. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
The liver was almost normal. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 6. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
The kidney was almost normal. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 7. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
The hepatic degeneration was observed around the central vein. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 8. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
There were shown interstitial inflammation(arrow) around the glomerule. H&E stain,  $\times 200$

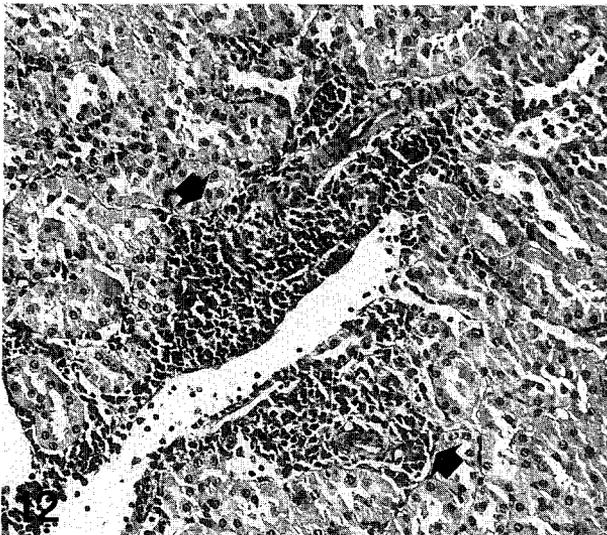
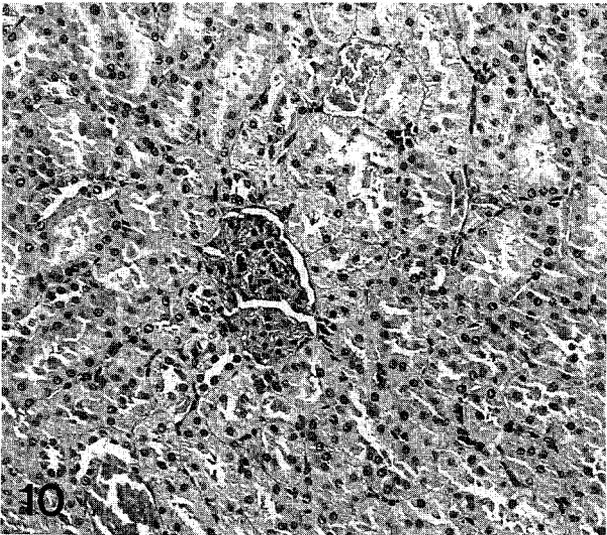
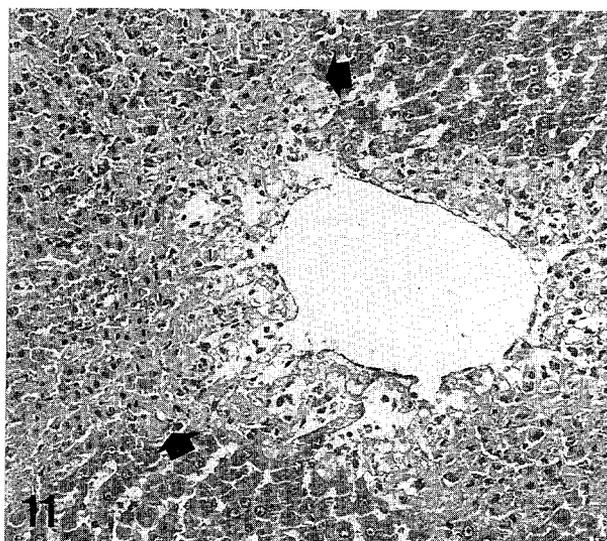
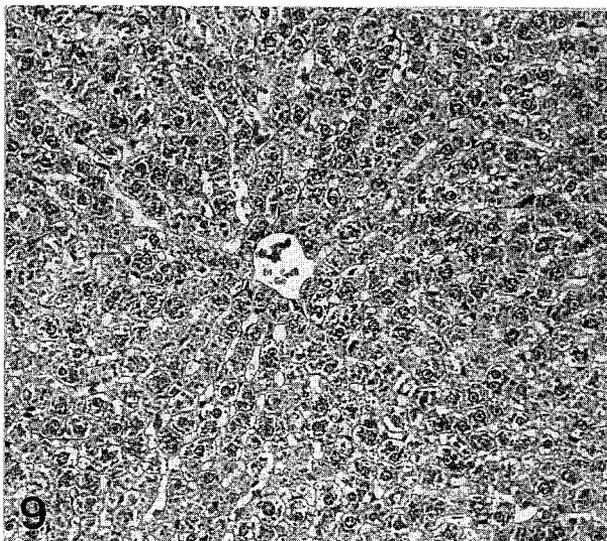


Fig. 9. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
The liver was almost normal, H&E stain,  $\times 200$

Fig. 10. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
The kidney was almost normal. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 11. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
The cellular necrosis was observed in the hepatocytes around the central vein.  
H&E stain,  $\times 200$

Fig. 12. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
There were shown cellular infiltration (arrows) in the renal interstitium. H&E stain,  
 $\times 200$

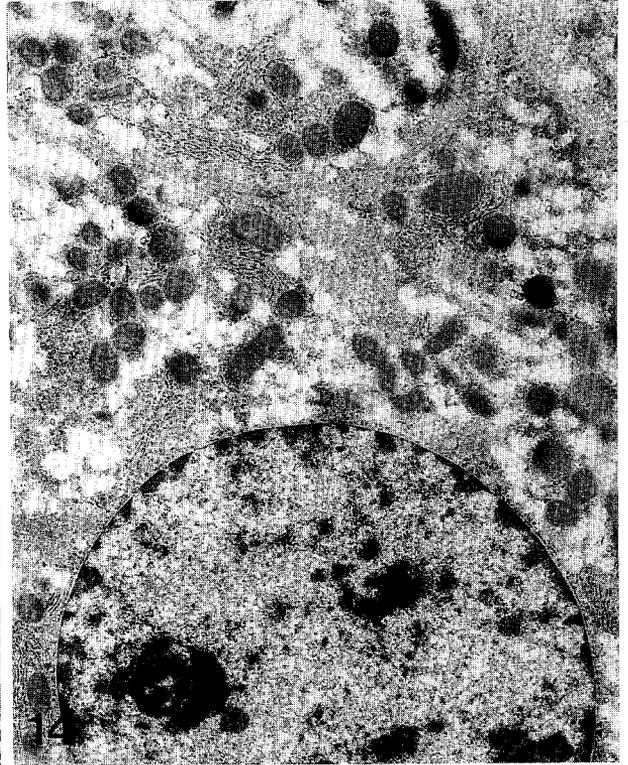


Fig. 13. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
The hepatocytes demonstrate mitochondria and agranular endoplasmic reticulum.  
EM,  $\times 5,000$

Fig. 14. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
There were shown vacuoles in the cytoplasm of the hepatocyte. EM,  $\times 5,000$



Fig. 15. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
The brush border was observed in the proximal tubular epithelium. EM,  $\times 5,000$

Fig. 16. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
There were shown vacuolations and loss of brush border in the proximal tubular  
epithelium. EM,  $\times 5,000$

## 제 3절. 돼지고기와 돼지기름의 병용투여가 Cd 해독에 미치는 영향

### 실험 1. 카드뮴 투여가 흰쥐의 임상적인 중독에 미치는 영향

#### 1. 육안소견

Cadmium 50ppm을 사료에 배합하여 6주간 급여한 B군과 C군의 동물에서 간장의 황색조 변화와 종창, 폐장에 백색 결절 1예, 수척(emaciation) 및 장기의 위축 소견을 보이는 개체들이 소수 관찰된다. Cd 0ppm을 배합한 사료로 6주간 급여한 대조군의 동물들은 다른 병변이 관찰되지 않았다 (Table 9).

#### 2. 병리조직학적 소견

병리조직학적 결과는 Table 10에 요약 되어있다. 음성 대조군인 A군의 동물들에서는 간장(Fig 1), 신장(Fig 2), 및 고환(Fig 3)에서 병리학적 병변이 관찰되지 않았다. Cd 50ppm을 6주간 투여한 동물의 간장(Fig 4)에서 세포변성, 국소성 세포침윤 등의 병변이 소수 예에서 관찰되며 신장은(Fig 5) 개체에 따라 근위세뇨관의 변성과 호염성의 세뇨관 재생상 및 국소성 염증세포 침윤과 Ca 침착에 의한 석회화가 몇몇 예에서 관찰되었다. 고환(Fig 6)은 Cd 50ppm 투여군 몇 예에서 미약한 정자 세포변성 및 정자 세포수 감소 소견이 관찰되었고, 1예에서는 심한 병변이 관찰되었다.

### 실험 2. 카드뮴 중독 흰쥐에 돼지고기와 돼지기름의 병용투여가 Cd 해독에 미치는 영향

#### 1. 육안소견

음성대조군은 지방과 돼지고기 100% 투여군에서 1예 간장의 황색조 변화와 종창 소견이 관찰되었을 뿐 다른 병변은 관찰되지 않았다. B군은 Cd 50ppm 6주간 투여후 해독시험 기간 중 Cd를 공급하지 않았으며 지방과 돼지고기 0% 및 100% 투여군에서 각각 3예씩 간장의 황색조 변화와 종창소견이 관찰되었다.

C군은 해독시험 기간 중에도 계속하여 Cd 50ppm을 투여한 군으로서 지방과 돼지고기 100% 배합 사료를 6주간 공급한 개체들은 다른 병변이 관찰되지 않았으나, 0% 배합된 사료를 공급받은 개체들은 간장의 황색조, 종창 소견이 1예, 수척(Emaciation) 및 체중 성장률의 감소가 2예 관찰되었다 (Table 11).

## 2. 병리조직학적 소견

병리조직학적 관찰 결과는 Table 12에 요약 되어있다. 음성 대조군 A군중 지방과 돼지고기 100% 투여군의 1예에서 간장(Fig 7)에 미약한 지방 변성이 관찰되었을 뿐 A군의 동물들에서 신장(Fig 8)과 고환(Fig 9)에서 병리 조직학적 병변은 관찰되지 않았다.

해독시험 기간중 Cd를 투여하지 않은 B군의 동물들은 돼지고기와 지방 0%를 함유한 사료를 6주간 공급받았을 때 간장(Fig 10)의 세포변성, 세포침윤, 신장(Fig 11)의 염증세포침윤, 신세뇨관 재생, Ca 침착에 의한 석회화가 관찰되었다 (Fig 12). 정소체의 세포변성과 세포수 감소 등의 병변이 정도의 차이는 있지만 관찰되었다.

B군의 동물들 중 해독시험 기간중 돼지고기와 지방 100%를 함유한 사료를 공급받은 개체들의 병변은 0%를 함유한 사료 급여군과 병변이 비슷하였으며 간장(Fig 13), 신장(Fig 14) 과 고환 (Fig 15)에서 병변은 관찰되지 않았다.

해독시험 기간 중에도 계속하여 Cd 50ppm을 6주간 지속적으로 공급한 C군의 개체들은 돼지고기와 지방을 0% 함유한 사료 급여군은 1개체에서 신장의 미약한 세뇨관 재생상을 제외하고는 다른 병변이 관찰되지 않았다.

## 3. 전자현미경 검사

전자 현미경 검사결과 Cd 50ppm을 12주간 투여하고 돼지고기와 지방 0%를 함유한 사료를 급여 받은 개체는 간장의 간 세포질에 공포화(Vacuolation)와 일부 세포질의 구조 손상이 관찰되었다 (Fig 16).

또한, 신장의 근위세뇨관은 세포질내 용해소체(lysosomal body)의 증가와 미세융모(microvilli)의 손실이 관찰되었다 (Fig 18).

반면, 돼지고기와 지방 100%를 함유한 사료를 6주간 공급받은 개체들은 간장

의 세포질내 소수의 공포가 관찰되지만 심한 구조의 손상은 관찰되지 않았다 (Fig 17).

또한 신장의 근위세뇨관도 세포질내 특이한 구조의 변화는 관찰되지 않았으며, 미세융모(microvilli)도 횡단면상으로 관찰되었다 (Fig 19).

**Table 9. Gross findings of the rats administered with cadmium for 6 weeks**

Group	Cadmium (ppm)	Total No.	Findings (No.)
A	0	6	NGL. <sup>a</sup> (6)
B	50	6	Liver-yellowish, swelling (2) Atrophy (1) Lung-white nodule (1) Kidney-Atrophy (1) Testis-Atrophy (1)
C	50	6	Liver-yellowish, swelling (4) Emaciation (2)

a. : No. Gross. Finding.

**Table 11. Gross findings of cadmium detoxification with pork and lard**

Group. (Cd ppm/Total period)		Total No.	Findings (No.)
Porcine lard + pork (%)			
A (0 / 12 wks)	0	6	NGL. <sup>a</sup> (6)
	100	6	Liver-yellowish, swelling (1)
B (50 / 6 wks 0 / 6 wks)	0	6	Liver-yellowish, swelling (3)
	100	6	Liver-yellowish, swelling (3)
C (50 / 12 wks)	0	6	Liver-yellowish, swelling (1) Emaciation (2)
	100	6	NGL. <sup>a</sup> (6)

a. : No. Gross. Finding.

Table 10. Histopathological lesions of the rats administered with cadmium for 6 weeks

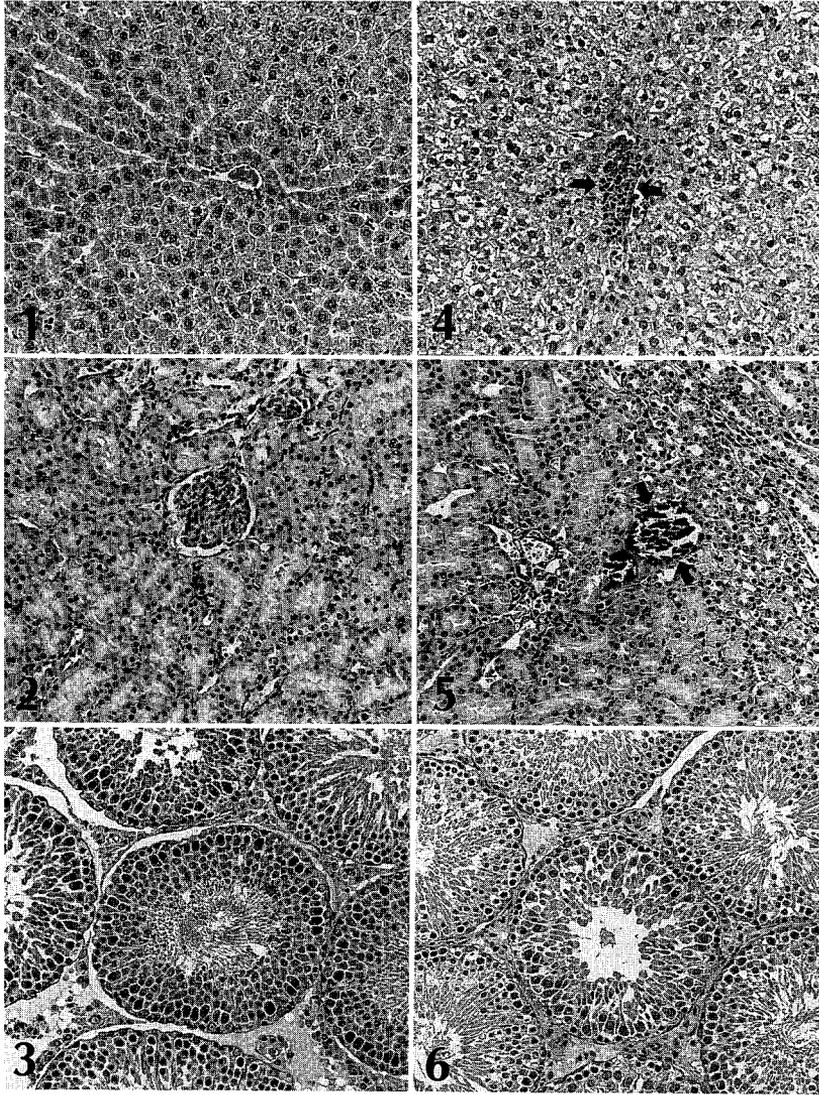
	Group		A		B		C							
	Cadmium (ppm)		0		50		50							
	No. of Animal		6		6		6							
	Degree of Histopathologic Lesions		-	±	+	-	±	+	++	++	+			
<b>Liver</b>														
Cellular Degeneration		6	0	0	1	2	3	0	0	0	4	2	0	0
Focal Cellular Infiltration		6	0	0	1	4	1	0	0	0	4	2	0	1
<b>Kidney</b>														
Tubular Degeneration		6	0	0	0	5	1	0	0	1	5	0	0	0
Tubular Regeneration		6	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0
Focal Cellular Infiltration		6	0	0	5	0	1	0	0	5	1	0	0	0
Calcium deposition		6	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0
<b>Testis</b>														
Spermatids Degeneration		6	0	0	5	0	0	0	1	5	1	0	0	0
Decreased Spermatogenesis		6	0	0	2	3	0	0	1	1	5	0	0	0

- : no lesion, ±: slight lesion, + : mild lesion, ++: moderate lesion, +++: severe lesion

Table 12. Microscopic lesions of cadmium detoxification with pork and lard

Microscopic Lesion	Group	A		B		C	
	Cadmium (ppm) / Exposed period-week	0 / 12wks		50 / 6wks 0 / 6wks		50 / 12wks	
	Pork and Lard (%)	0	100	0	100	0	100
	n	6	6	6	6	6	6
<b>Liver</b>							
Fatty change	-	6	5	6	6	6	6
	±	0	1	0	0	0	0
Cellular Degeneration	-	6	6	6	6	3	6
	±	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	2	0
	++	0	0	0	0	1	0
Focal Cellular Infiltration	-	6	6	4	5	1	6
	±	0	0	1	1	2	0
	+	0	0	1	0	1	0
	++	0	0	0	0	2	0
<b>Kidney</b>							
Focal Cellular Infiltration	-	5	6	5	5	4	6
	±	0	0	0	1	0	0
	+	0	0	1	0	2	0
	++	1	0	0	0	0	0
Tubular Regeneration	-	6	6	3	3	3	5
	±	0	0	1	2	2	1
	+	0	0	2	1	1	0
	++	0	0	0	0	0	0
Calcium deposition	-	6	6	4	5	5	6
	±	0	0	1	1	1	0
	+	0	0	1	0	0	0
<b>Testis</b>							
Cellular degeneration	-	6	6	6	6	6	6
	±	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0
Decrease of cellularity	-	6	6	5	5	2	6
	±	0	0	1	1	4	0
	+	0	0	0	0	0	0

- : no lesion, ±: slight lesion, + : mild lesion, ++: moderate lesion



- Fig. 1. Liver of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control)  
Normal hepatocytes were observed. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 2. Kidney of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control)  
There were shown normal glomerule and tubules. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 3. Testis of Cd 0ppm feeding rat for 6 weeks (control)  
There was shown normal spermatogenesis. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 4. Liver of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks  
There was shown cellular infiltration around the proximal tubules(arrow), H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 5. Kidney of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks  
There was shown calcification around the proximal tubules(arrow). H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 6. Testis of Cd 50ppm feeding rat for 6 weeks  
There was shown the decrease of spermatogenesis. H&E stain,  $\times 200$

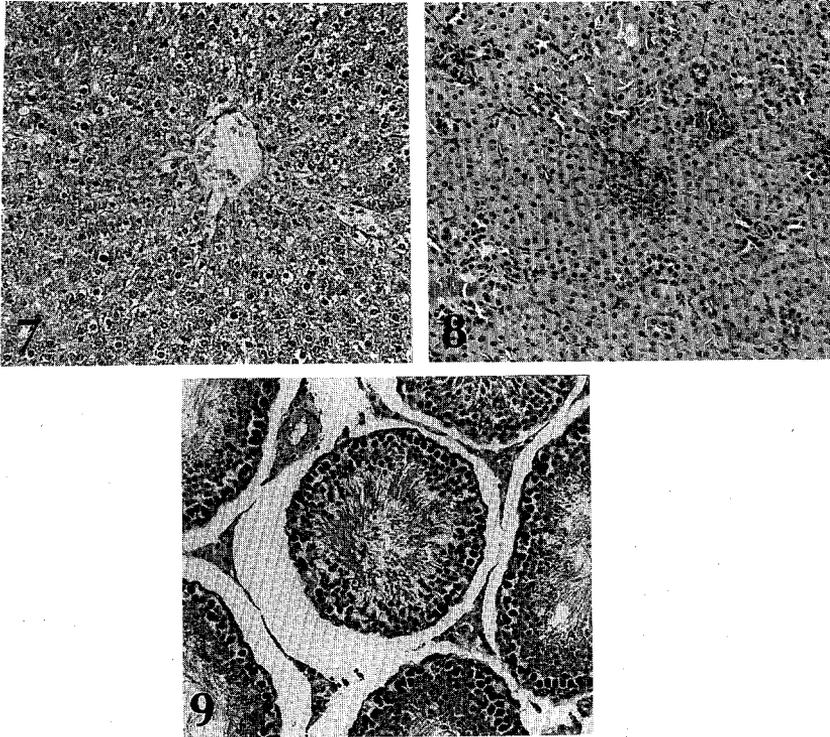


Fig. 7. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks

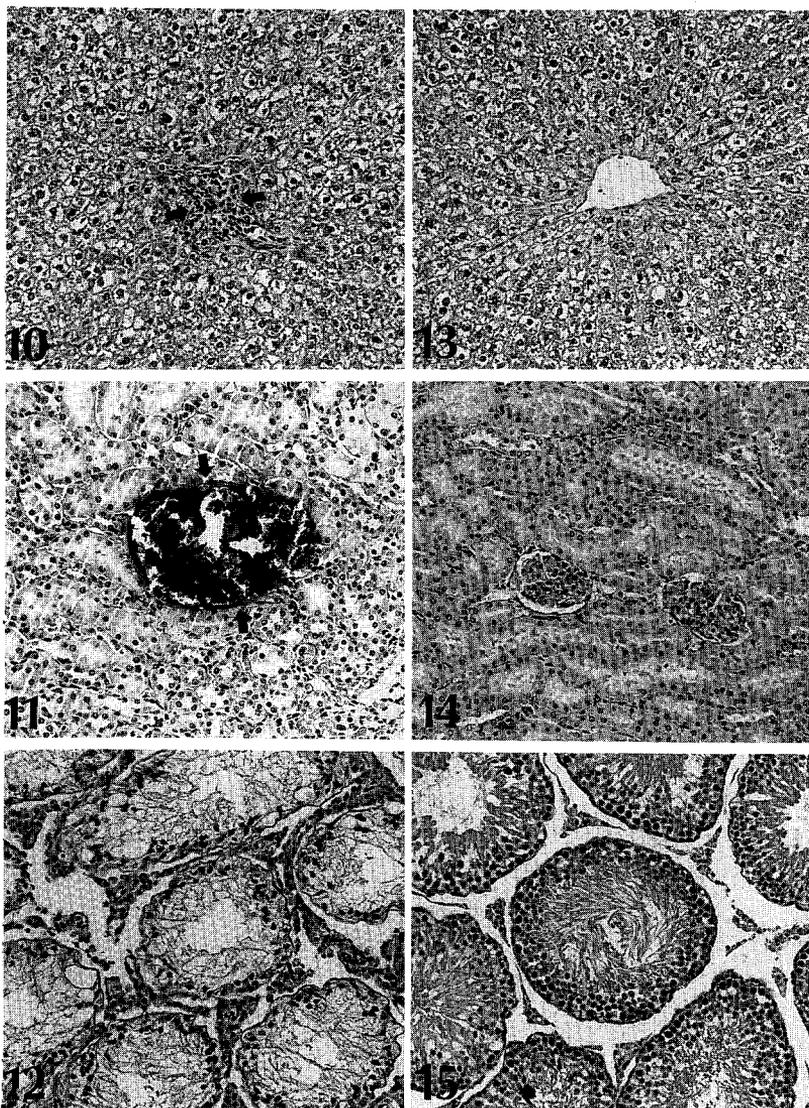
There was shown normal appearance. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 8. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 week.

There was shown normal architecture. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 9. Testis of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks

There was shown normal spermatogenesis. H&E stain,  $\times 200$



- Fig. 10. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks  
There was shown cellular infiltration around the central vein. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 11. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks  
There was shown the calcification around the tubules. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 12. Testis of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks  
There was shown decrease of spermatogenesis. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 13. Liver of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks  
The hepatocytes were almost normal. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 14. Kidney of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks  
The glomeruli and tubules were almost normal. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 15. Testis of Cd 50ppm for 6 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks  
There was shown normal spermatogenesis. H&E stain,  $\times 200$

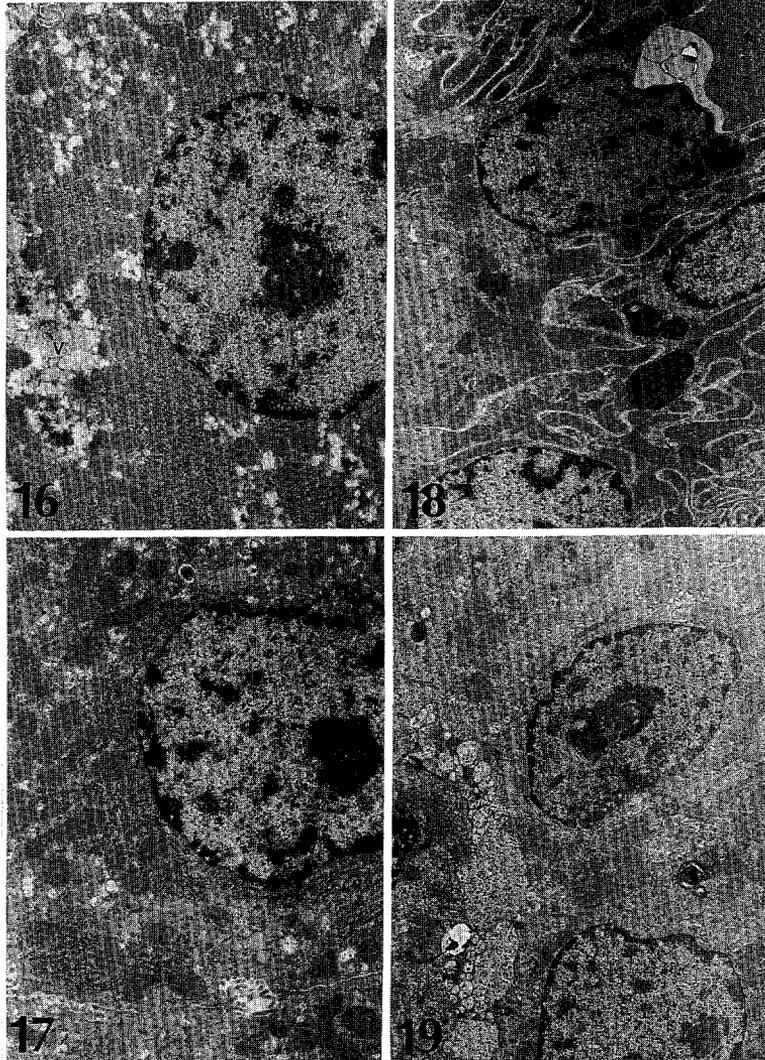


Fig. 16. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

The vacuoles were observed in the cytoplasm of the hepatocyte. EM,  $\times 5,000$

Fig. 17. Liver of Cd 50ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks

There were no significant lesions. EM,  $\times 4,000$

Fig. 18. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

There were shown the increase of lysosomes and loss of microvilli. EM,  $\times 3,000$

Fig. 19. Kidney of Cd 50ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks

There were shown almost normal. EM,  $\times 3,000$

## 제 4장 납(Pb) 중독된 흰쥐 장기의 병리조직학적 연구

### 제 1절. 돼지고기의 급여가 Pb 해독에 미치는 영향

#### 실험 1. 납 중독 유발시험

##### 1. 육안소견

7주간 납을 함유한 사료를 자유 급식한 Rat들을 부검한 결과 육안 소견은 Table 1.과 같다. 100ppm의 납을 함유한 사료를 공급받은 3마리 개체가 간장의 소엽간 결재직이 현저히 관찰되었으며, 250ppm의 납을 함유한 사료 공급군은 간장의 소엽간 결재 직의 비후 및 대뇌부의 국소적 연화 병변등이 관찰되었으며, 500ppm의 사료공급군은 간장의 색조가 옅어지고 비장 종대의 소견이 각각 관찰되었다.

##### 2. 병리조직학적 소견

납을 함유한 사료로 중독 실험을 실시한 33마리의 랫드에 대한 병리조직학적 검사결과는 Table 2와 같다. 대조군에서는 간장 (Fig 1), 신장 (Fig 2), 고환 (Fig 3) 및 소뇌 (Fig 4)에서 병변이 관찰되지 않았다.

간장의 주된 병변은 간세포 변성 (Fig 5)과 국소적인 염증세포침윤 및 호산성 핵내 봉입체의 관찰이었으며, 육안적으로 관찰된 소엽간 경계의 명확한 구분은 병리조직학적으로 소엽간 결재직의 증식에 의한 소견보다는 간세포의 변성에 의한 변화와 연관되는 것으로 판단되었다.

신장에서 주로 관찰되는 병변은 근위 곡세뇨관 상피세포의 변성, 국소적인 염증 세포 침윤 및 변성된 세뇨관 상피세포의 핵내 호산성 봉입체 (Fig 6)의 관찰이었으며 변성된 세뇨관은 호산성 세포질 또는 색조가 옅어지고 핵이 정상세포의 2-3배 정도로 커지는 등 다양한 형태의 변화를 보였다. 정소의 주된 병변은 정소세포들의 변성과 세포수 감소이었다 (Fig 7). 대뇌의 병변으로는 수종성 변화

와 실질내 혈관 내피세포의 비후 및 부분적인 신경세포들의 변성, 탈수초 (demyelination) 및 신경교증(gliosis)이었다. 대뇌와 소뇌에서 출혈 반점이 관찰되었다 (Fig 8). 소뇌의 병변도 대뇌와 비슷하였으며 Purkinje 세포의 변성과 수종성 변화와 신경교증 및 혈관내피 세포의 비후이었다.

이러한 병변은 500ppm의 납을 함유한 사료 공급군에서 정도가 가장 심하게 관찰되었고 납의 농도가 낮을수록 병변의 정도는 약한 것으로 판단되었다.

**Table 1. Gross findings of the rats administered with lead-containing diet for 7 weeks**

Group	Pb concentration(ppm)	Total Heads	Lesion (No. of Animal)
A	0	4	· NGL*
B	50	5	· NGL*
C	100	6	· NGL*
C'	100	6	· Liver-Marked hepatic lobules(3) · Liver-pale color(1)
D	250	6	· Liver-Marked hepatic lobules(2) · Brain-Malacia(1)
E	500	6	· Liver-pale color(3) · Spleen-Enlargement(1)

\* NGL = No Gross Lesion

Table 2. Histopathological lesions of the rats administered with lead-containing diet for 7 weeks

Microscopic Lesion	Group	A	B	C	C'	D	E
	Pb concentration(ppm)	0	50	100	100	250	500
	Grade* n	4	5	6	6	6	6
<b>Liver</b>							
Regeneration of hepatocytes	-	4	0	0	0	0	0
	±	0	0	0	0	0	0
	+	0	5	6	6	5	1
	++	0	0	0	0	1	5
Focal cellular infiltration	-	4	4	6	6	4	6
	±	0	0	0	0	0	0
	+	0	1	0	0	2	0
Intranuclear inclusion bodies	-	4	4	4	3	3	2
	+	0	1	2	3	3	4
<b>Kidney</b>							
Degeneration of proximal tubules	-	4	0	0	0	0	0
	±	0	1	0	0	0	0
	+	0	4	3	2	1	0
	++	0	0	3	4	5	6
Focal cellular infiltration	-	4	5	6	4	6	4
	±	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	2	0	2
Intranuclear inclusion bodies	-	4	1	1	1	0	0
	+	0	4	4	0	0	0
	++	0	0	1	5	6	6
<b>Testis</b>							
Degeneration of spermatocytes	-	4	2	3	5	4	2
	±	0	1	1	0	0	0
	+	0	2	2	1	2	4
Decrease of cellularity	-	4	2	0	1	0	0
	±	0	2	1	1	1	0
	+	0	1	5	4	5	6

Table 2. (continued)

Microscopic Lesion	Group	A	B	C	C'	D	E
	Pb concentration(ppm)	0	50	100	100	250	500
	n	4	5	6	6	6	6
Grade*							
<b>Cerebrum</b>							
Edematous change	-	4	2	3	4	3	6
	±	0	1	0	0	1	0
	+	0	2	3	2	2	0
Thickening of vascular endothelium	-	4	5	5	5	5	4
	±	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	1	1	1	2
Degeneration of neurons	-	4	4	5	4	2	2
	±	0	1	0	0	1	1
	+	0	0	1	2	3	4
Demyelination	-	4	5	4	3	6	5
	±	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	2	3	0	1
Gliosis	-	4	4	3	3	2	1
	±	0	0	1	0	1	0
	+	0	1	2	3	4	5
<b>Cerebellum</b>							
Edematous change	-	4	2	3	4	3	6
	±	0	1	0	0	1	0
	+	0	2	3	2	2	0
Thickening of vascular endothelium	-	4	5	5	5	5	4
	±	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	1	1	1	2
Degeneration of purkinje cell	-	4	5	6	5	3	3
	±	0	0	0	1	3	0
	++	0	0	0	0	0	3
Gliosis	-	4	5	3	4	2	1
	±	0	0	1	2	4	5
	++	0	0	2	0	1	0

\* - : No lesion, ± : slight lesion, + : mild lesion, ++ : moderate lesion

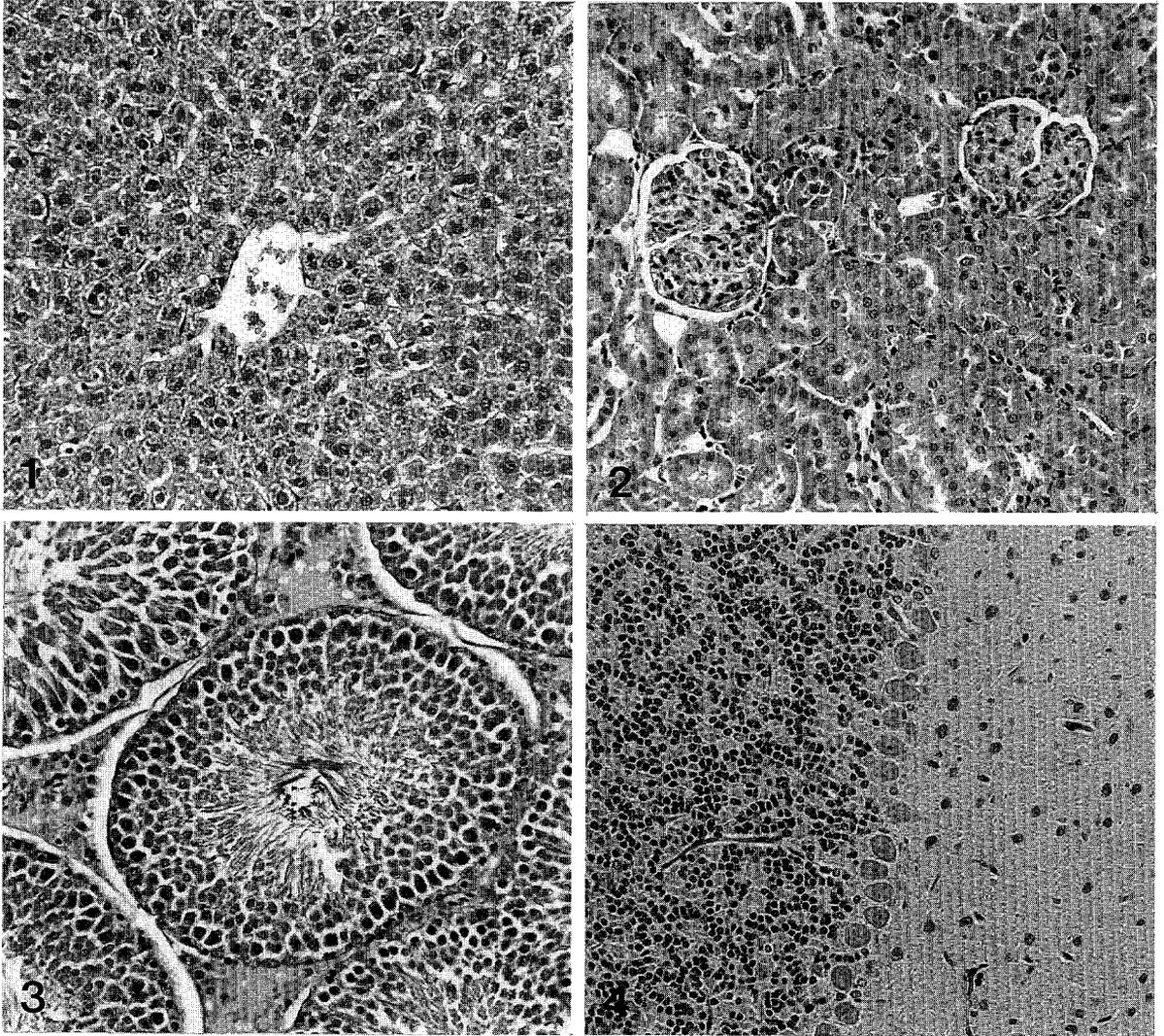


Fig. 1. Liver of control rat. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 2. Kidney of control rat. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 3. Testis of control rat. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 4. Cerebellum of control rat. H&E stain,  $\times 200$

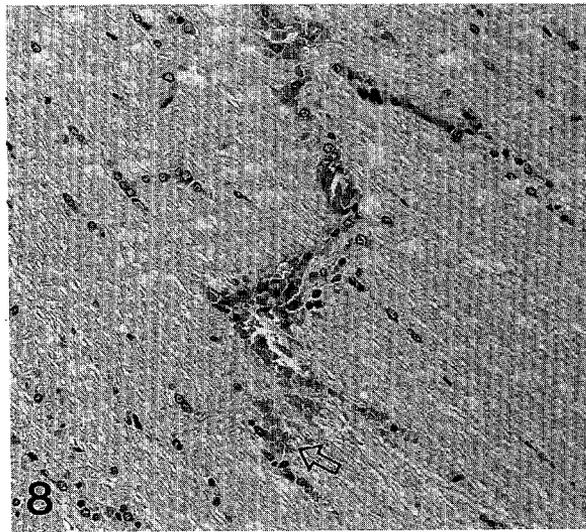
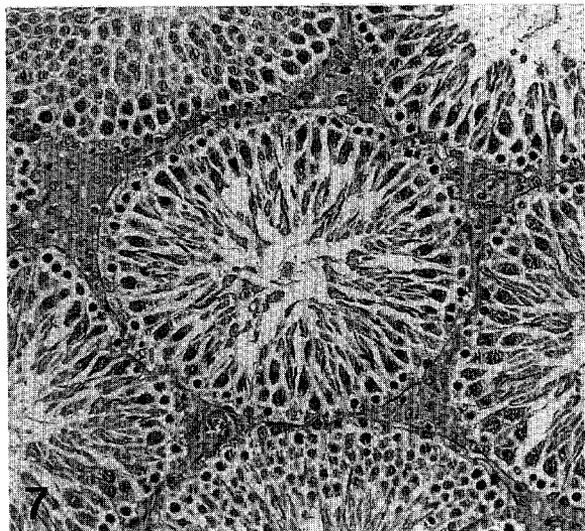
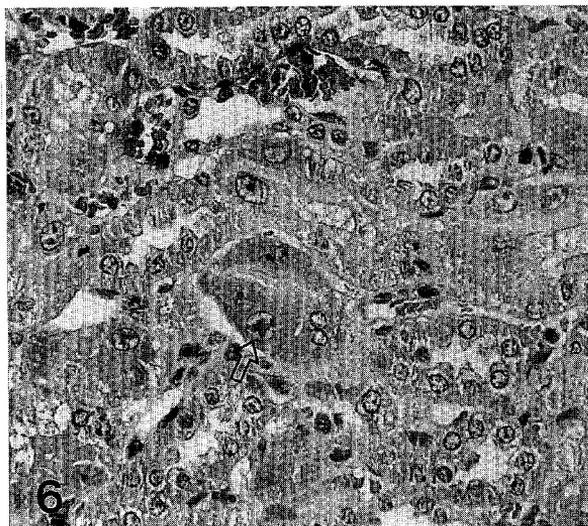
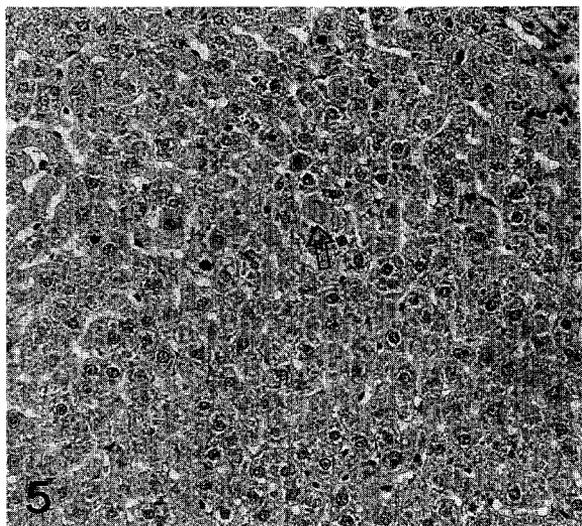


Fig. 5. Liver of Pb 500ppm feeding rat for 7 weeks

The degeneration(arrow) was observed in the liver. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 6. Kidney of Pb 500ppm feeding rat for 7 weeks

There were shown large nucleus and intranuclear inclusion of lead(arrow). H&E stain,  $\times 200$

Fig. 7. Testis of Pb 500ppm feeding rat for 7 weeks

The decrease of spermatid was observed. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 8. Cerebellum of Pb 500ppm feeding rat for 7 weeks

There were shown the hemorrhage around the vessel(arrow). H&E stain,  $\times 200$

## 실험 2. 돼지고기의 급여가 Pb 해독에 미치는 영향

### 1. 육안소견

6주간의 납중독된 SD rat들을 이용하여 6주간의 해독시험을 실시한 개체들의 부검 후 육안소견은 Table 3과 같다.

돼지고기가 100% 배합된 사료를 공급받은 개체들의 육안소견은 간장의 황색 조 변화와 아군의 한 개체에서 신장의 위축 소견을 제외하고는 다른 병변은 관찰되지 않았다.

### 2. 병리조직학적 소견

병리조직학적 소견은 Table 4와 같으며, 주된 병변으로는 간장의 세포 변성, 국소적인 염증세포 침윤, 핵내 호산성 봉입체, 신장의 근위세뇨관 변성, 국소적인 염증세포 침윤, 핵내 호산성 봉입체, 섬유화, 요원주, 호염성 세뇨관, 낭포 형성 등의 병변과 정소의 세포수 감소, 대뇌 및 소뇌의 수종성 변화와 국소적인 출혈소, gliosis 등의 병변이었다 (Fig 1, Fig 2, Fig 4, Fig 5).

돼지기름 배합사료와 다르게 간장의 지방 변성을 보이는 개체들이 없는 점이 특징적이며, 호염성 재생상 세뇨관들은 돼지고기 배합사료 급여군인 사', 아군에서 자주 관찰되는 소견이었다. 이들 소견을 제외하고, 다른 병변들은 돼지고기를 배합한 사료 급여군인 사', 아군이 대조군인 가', 다군에 비교하여 납 중독에 의한 조직의 손상이 보다 약한 것으로 판단되었다 (Fig 3, Fig 6).

### 3. 전자현미경적 소견

납 중독 및 해독 시험의 부검시 신선한 간조직과 신장 조직을 채취하여 1차 고정액(2.5% glutaraldehyde, 2% paraformaldehyde in 0.01M PBS)에 4시간 고정 후 1% OsO<sub>4</sub>로 2차 고정하고 탈수 과정을 거쳐 Epon mixture로 포매하고 ultrathin section을하여 투과전자현미경(JEM1010, JEOL, Japan)을 이용하여 전

자현미경적 소견을 관찰하였다.

납 500ppm이 배합된 사료를 12주간 공급하고, 그 기간중 6주간 돼지고기가 배합되지 않은 대조 사료를 공급받은 SD rat들의 간장의 간 세포들에서 관찰되는 주된 병변으로는 세포질에 크고 작은 공포(vacuoles)들이 관찰되는 것과, ribosome의 감소, RER의 형태가 불규칙하게 배열되는 병변이었다 (Fig 7). 또한 이들 rat에서 신장의 근위세뇨관은 세포질에 다수의 공포(vacuoles)들이 관찰되었고, mitochondria의 수가 감소되고, 세포의 brush border에 미세융모(microvilli)들이 소실되었다 (Fig 9). 반면, 납 500ppm을 12주간 공급하는 동안 6주간 돼지고기를 배합한 사료를 공급한 SD rat들은 간장의 간 세포들에서 공포들이 REM의 변화는 관찰되지 않았고, ribosome의 수가 다소 감소된 변화만 인지되었다 (Fig 8). 또한 이들 rat의 신장에서도 세뇨관 세포의 미세융모(micovilli)가 잘 관찰되었으며, mitochondria의 수도 많은 것을 관찰할 수 있었다 (Fig 10).

Table 3. Gross findings of lead detoxification with pork

Group	Pb/Exposed	Subgroup	Lard(%)	Total No.	Gross findings (Animal No.)
A	0ppm/12wks	사	0	6	NGL <sup>a</sup> (6)
		나	100	6	Liver-Yellowish color(1)
B	500ppm/6wks 0ppm/6wks	가	0	6	Liver-Yellowish color(1) Kidney-White spot(1), Hardening(1)
		사	100	4	Liver-Yellowish color(1)
C	500ppm/12wks	다	0	6	Liver-Marked lobular patterns(2) Kidney-Atrophy(2), White spot(2)
		아	100	4	Liver-Yellowish color(2) Kidney-Atrophy(1)

a : No Gross lesion

Table 4. Histopathological lesions for lead detoxification with pork

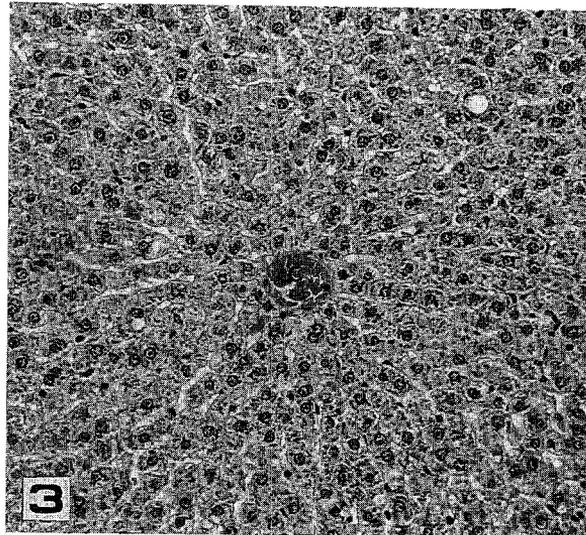
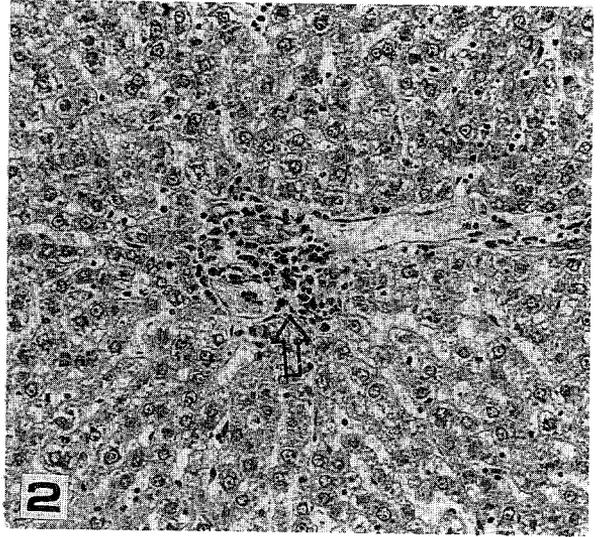
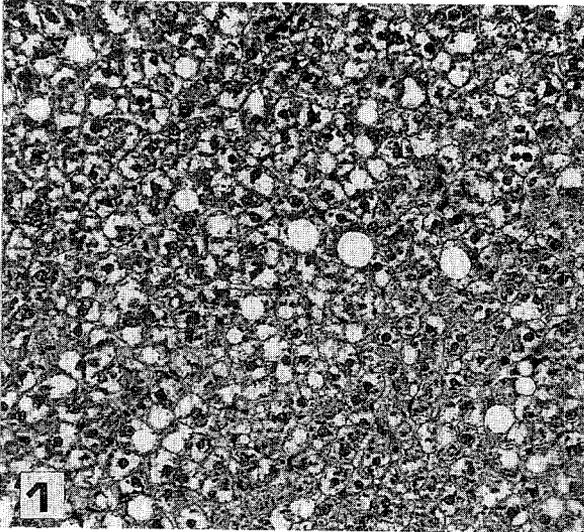
Microscopic lesion	Group	A		B		C	
	Pb(ppm)/ Exposed period	0/12		500/6 0/6		500/12	
	Subgroup (porcine pork, %)	사 (0)	나 (100)	가' (0)	사' (100)	다 (0)	아 (100)
	Grade* n	6	6	6	4	6	4
<b>Liver</b>							
Degeneration of hepatocytes	-	6	6	2	2	0	2
	+	0	0	4	2	3	2
	++	0	0	0	0	3	0
Focal cellular infiltration	-	6	6	6	4	5	4
	+	0	0	0	0	1	0
Fatty change	-	6	5	4	4	6	4
	+	0	1	2	0	0	0
Intranuclear inclusion bodies	-	6	6	4	4	4	4
	+	0	0	2	0	2	0
<b>Kidney</b>							
Degeneration of proximal tubules	-	6	6	1	3	0	1
	+	0	0	4	1	1	3
	++	0	0	1	0	5	0
Focal cellular infiltration	-	6	6	4	3	2	2
	+	0	0	1	1	4	2
	++	0	0	1	0	0	0
Intranuclear inclusion bodies	-	6	6	0	1	0	0
	+	0	0	5	3	1	4
	++	0	0	1	0	5	0
Fibrosis	-	6	6	6	4	4	3
	+	0	0	0	0	0	1
	++	0	0	0	0	2	0
Urinary cast	-	6	6	5	4	4	3
	+	0	0	1	0	2	1
Basophilic tubules	-	6	6	1	0	3	1
	+	0	0	3	4	2	3
	++	0	0	2	0	1	0
Cyst formation	-	6	6	6	4	4	3
	+	0	0	0	0	2	1

\* - ; No lesion, + ; mild lesion, ++ ; moderate lesion, +++ ; severe lesion

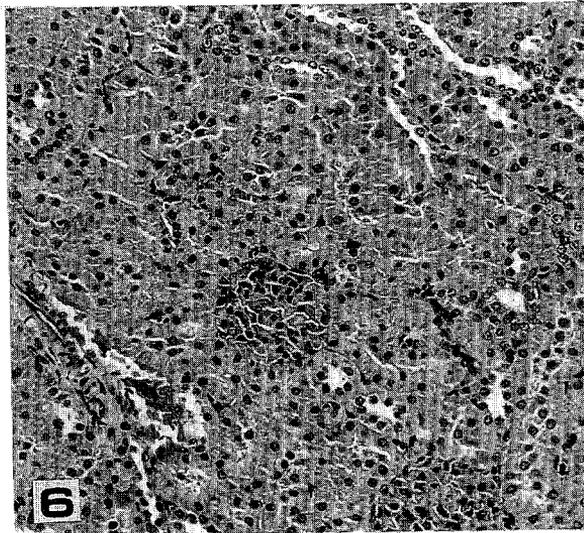
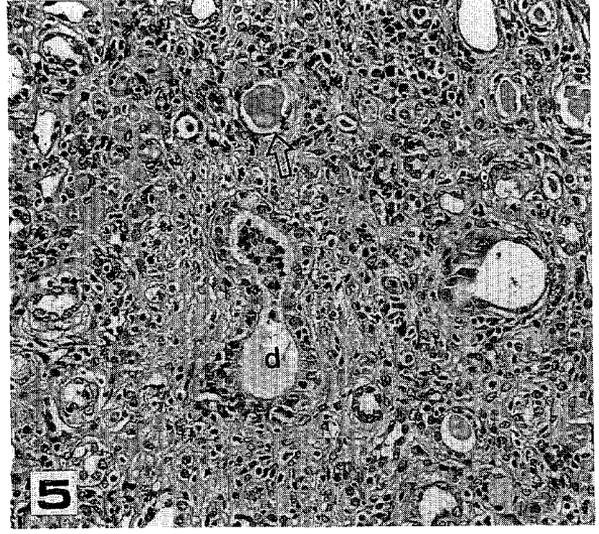
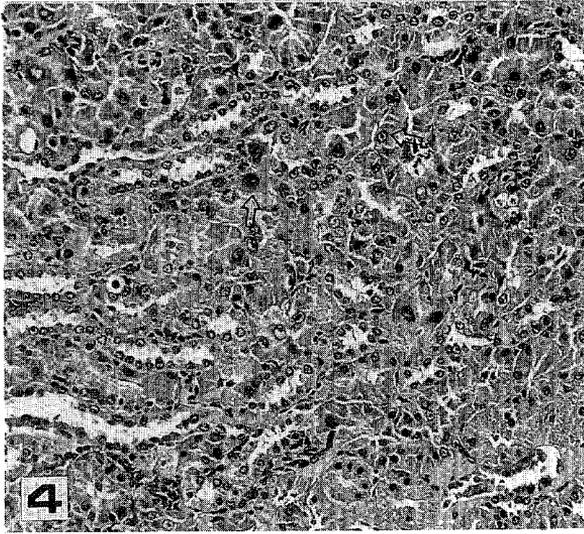
**Table 4. (continued)**

Microscopic lesion	Group	A		B		C	
	Pb(ppm)/ Exposed period	0/12		500/6 0/6		500/12	
	Subgroup (porcine pork, %)	사 (0)	나 (100)	가 (0)	사 (100)	다 (0)	아 (100)
	n Grade*	6	6	6	4	6	4
<b><u>Testis</u></b>							
Decrease of cellularity	-	6	6	5	3	3	2
	+	0	0	1	1	3	2
<b><u>Cerebrum</u></b>							
Edematous change	-	6	6	3	1	2	2
	+	0	0	3	3	4	2
Focal hemorrhage	-	6	6	6	4	5	4
	+	0	0	0	0	1	0
Gliosis	-	6	6	6	4	5	4
	+	0	0	0	0	1	0
<b><u>Cerebellum</u></b>							
Edematous change	-	6	6	3	1	2	4
	+	0	0	3	3	4	0
Focal hemorrhages	-	6	6	6	4	5	4
	+	0	0	0	0	1	0

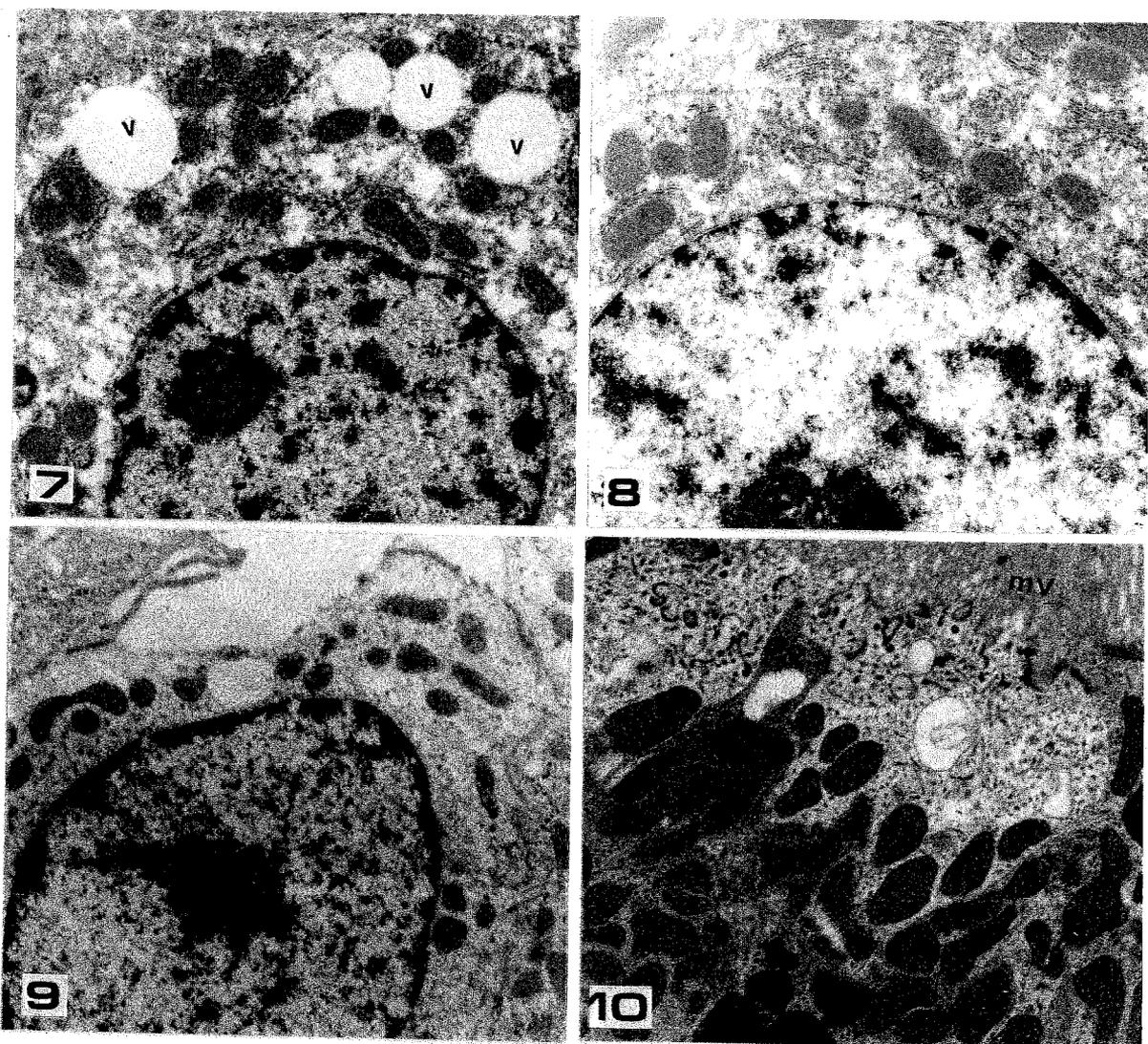
\* - ; No lesion, + ; mild lesion, ++ ; moderate lesion, +++ ; severe lesion



- Fig. 1. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks  
There were shown the various vacuoles and degeneration of the hepatocytes.  
H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 2. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks  
There was shown the cellular infiltration(arrow) around the portal vein. H&E vein,  
 $\times 200$
- Fig. 3. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 100% feeding group for 6 weeks  
The structure was almost normal. H&E stain,  $\times 200$



- Fig. 4. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks  
There were shown the tubular degeneration and eosinophilic intranuclear inclusions of lead(arrow). H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 5. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks  
There were shown the tubular dilation(d) and eosinophilic cast(arrow) and fibrosis.  
H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 6. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 100% feeding group for 6 weeks  
There were shown the basophilic regeneration of the proximal tubules, and almost tubules were normal. H&E stain,  $\times 200$



- Fig. 7. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks  
 There were shown the vacuoles(v), decrease of ribosome and morphological changes of RER. EM,  $\times 4,000$
- Fig. 8. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 100% feeding group for 6 weeks  
 The liver was almost normal. EM,  $\times 5,000$
- Fig. 9. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 0% feeding group for 6 weeks  
 There were shown the absence of microvilli, decrease of vacuoles(v), and loss of mitochondria. EM,  $\times 5,000$
- Fig. 10. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and pork 100% feeding group for 6 weeks  
 The microvilli(mv) were observed in the lumen of proximal tubule. EM,  $\times 4,000$

## 제 2절. 돼지기름 급여가 Pb 해독에 미치는 영향

### 1. 육안소견

납을 사료에 0, 500ppm으로 배합하여 각각 6주간 자유급식한 후 6주간의 회복시험 동안 각군마다 돼지 기름을 100% 배합한 사료와 돼지 기름을 배합하지 않고 옥수수 기름을 배합한 사료를 각각 자유급식하였다. 이때, 500ppm의 납을 회복시험 기간 동안에도 계속 급여한 군을 C군으로 하고, 회복시험 6주간 각각 2개의 subgroup으로 나누어 돼지 기름을 0% 및 100% 함유한 사료를 자유급식하고 시험종료일에 부검하여 육안소견을 관찰하였다.

본 실험의 육안 소견 결과는 Table 5와 같으며, 주된 변화로는 간장의 색조가 황색으로 관찰되는 것과 간장의 소엽의 구분이 명확하게 관찰되는 변화가 있었으며, 신장은 위축, 백색 반점과 경도의 증가 병변을 관찰할 수 있었다. 이들 변화는 간장의 황색조 변화를 제외하고 돼지 기름을 투여하지 않은 군에서 관찰되었다.

### 2. 병리조직학적 소견

납 중독후 돼지 기름을 배합하지 않거나 100% 배합한 사료를 공급하여 회복 실험을 거친 SD rat의 병리조직학적 소견은 Table 6과 같다.

특징적인 병변은 간장의 세포변성, 국소적인 염증세포 침윤, 지방변성, 핵내 납 봉입체와 신장의 근위세뇨관 변성, 국소적인 염증세포 침윤, 핵내 호산성 봉입체 및 섬유화, 요원주, 호염성 세뇨관, 낭포(cyst)형성 등이었으며, 이외에도 정소의 세포수 감소와 대뇌의 수종성 변화, 국소 출혈소, gliosis 및 소뇌의 수종성 변화와 국소 출혈소의 병변이었다 (Fig 1, Fig 3).

이들 병변 중 간장의 지방변성과 신장의 호염성 세뇨관은 돼지 기름을 100% 함유한 사료 급여군에서 오히려 병변이 많이 나오는 것으로 관찰되었는데, 이는 돼지 기름의 투여에 의한 일시적인 지방의 유입에 의하여 지방간이 유발된 것으로 추정되며, 신장의 세뇨관은 재생상의 호염성 세뇨관이기 때문에 돼지 기름 투여군인 나' 및 라군의 개체들이 세뇨관의 재생이 보다 빠르게 진행되기 때문인 것으로 유추된다.

이러한 병변을 제외한 나머지 병리조직학적 소견들은 납중독에 의한 조직의

손상 병변으로서, 돼지 기름을 배합한 사료 투여군인 나', 라군이 돼지 기름을 함유하지 않고 옥수수 기름을 함유한 사료를 급여한 가', 다군에 비교하여, 병변의 정도가 적은 것으로 판단되었다 (Fig2, Fig 4).

### 3. 전자 현미경적 소견

정상적인 EM 조직 처리과정을 거쳐 epon 포매된 조직을 semithin section을 하여 toluidine blue 염색을 실시 후 선정된 부위를 초박 절편하여 투과 전자현미경(JEOL, Japan)을 이용하여 전자현미경적 변화를 관찰하였다.

납 500ppm이 함유된 사료를 12주간 공급하고, 해독 시험 기간 중에는 돼지 기름이 함유되지 않은 사료를 공급받은 SD rat들의 간 세포들은 세포질에 크고 작은 공포의 형성과 ribosome의 감소, RER의 형태 변화 등의 병변이 관찰되었다 (Fig 5). 또한 이들 rat의 신장에서는 세뇨관의 미세음모의 소실, 세포질에 mitochondria의 감소와 일부 mitochondria의 종창이 관찰되었다 (Fig 7). 반면 해독시험기간 중 돼지 기름이 함유되어 있는 사료를 공급받은 SD rat들의 간 세포들에서는 세포질의 일부 mitochondria에 작은 공포가 관찰되는 소견을 제외하고는 다른 변화가 관찰되지 않았으며 (Fig 6), 신장의 세뇨관은 세포의 미세음모가 관찰되고 특이한 병변은 관찰되지 않았다 (Fig 8).

Table 5. Gross findings of lead detoxification with lard

Group	Pb / Exposed	Subgroup	Lard(%)	Total No.	Gross findings (Animal No.)
A	0ppm/12wks	가	0	6	NGL <sup>a</sup> (6)
		나	100	6	Liver-Yellowish color(1)
B	500ppm/6wks 0ppm/6wks	가'	0	6	Liver-Yellowish color(1) Kidney-White spot(1), Hardening(1)
		나'	100	6	NGL <sup>a</sup> (6)
C	500ppm/12wks	다	0	6	Liver-Marked lobular patterns(2) Kidney-Atrophy(2), White spot(2)
		라	100	6	Liver-Yellowish color(1)

a : No Gross lesion

Table 6. Histopathological lesions for lead detoxification with lard

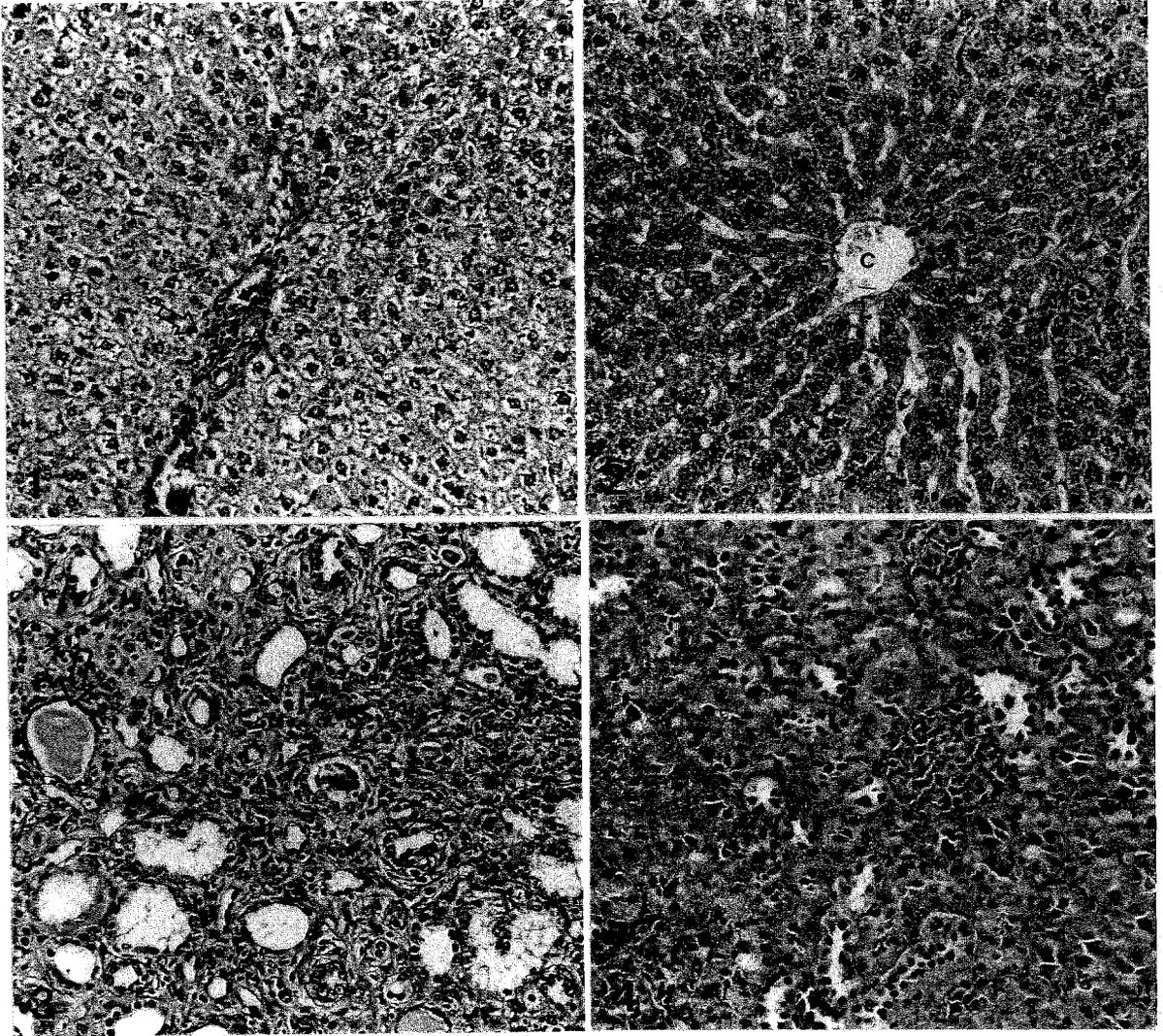
Microscopic lesion	Group	A		B		C	
	Pb(ppm)/ Exposed period	0/12		500/6 0/6		500/12	
	Subgroup (pork, %)	가 (0)	나 (100)	가' (0)	나' (100)	다 (0)	라 (100)
	Grade <sup>a</sup> / n	6	6	6	6	6	6
<b>Liver</b>							
Degeneration of hepatocytes	-	6	6	2	4	0	4
	+	0	0	4	2	3	2
	++	0	0	0	0	3	0
Focal cellular infiltration	-	6	6	6	6	5	5
	+	0	0	0	0	1	1
Fatty change	-	6	5	4	3	6	5
	+	0	1	2	3	0	1
Intranuclear inclusion bodies	-	6	6	4	6	4	6
	+	0	0	2	0	2	0
<b>Kidney</b>							
Degeneration of proximal tubules	-	6	6	1	4	0	3
	+	0	0	4	2	1	3
	++	0	0	1	0	5	0
Focal cellular infiltration	-	6	6	4	6	2	3
	+	0	0	1	0	4	3
	++	0	0	1	0	0	0
Intranuclear inclusion bodies	-	6	6	0	2	0	1
	+	0	0	5	4	1	5
	++	0	0	1	0	5	0
Fibrosis	-	6	6	6	6	4	6
	+	0	0	0	0	0	0
	++	0	0	0	0	2	0
Urinary cast	-	6	6	5	6	4	6
	+	0	0	1	0	2	0
Basophilic tubules	-	6	6	1	3	3	3
	+	0	0	3	3	2	3
	++	0	0	2	0	1	0
Cyst formation	-	6	6	6	6	4	6
	+	0	0	0	0	2	0

\* - ; No lesion, + ; mild lesion, ++ ; moderate lesion, +++ ; severe lesion

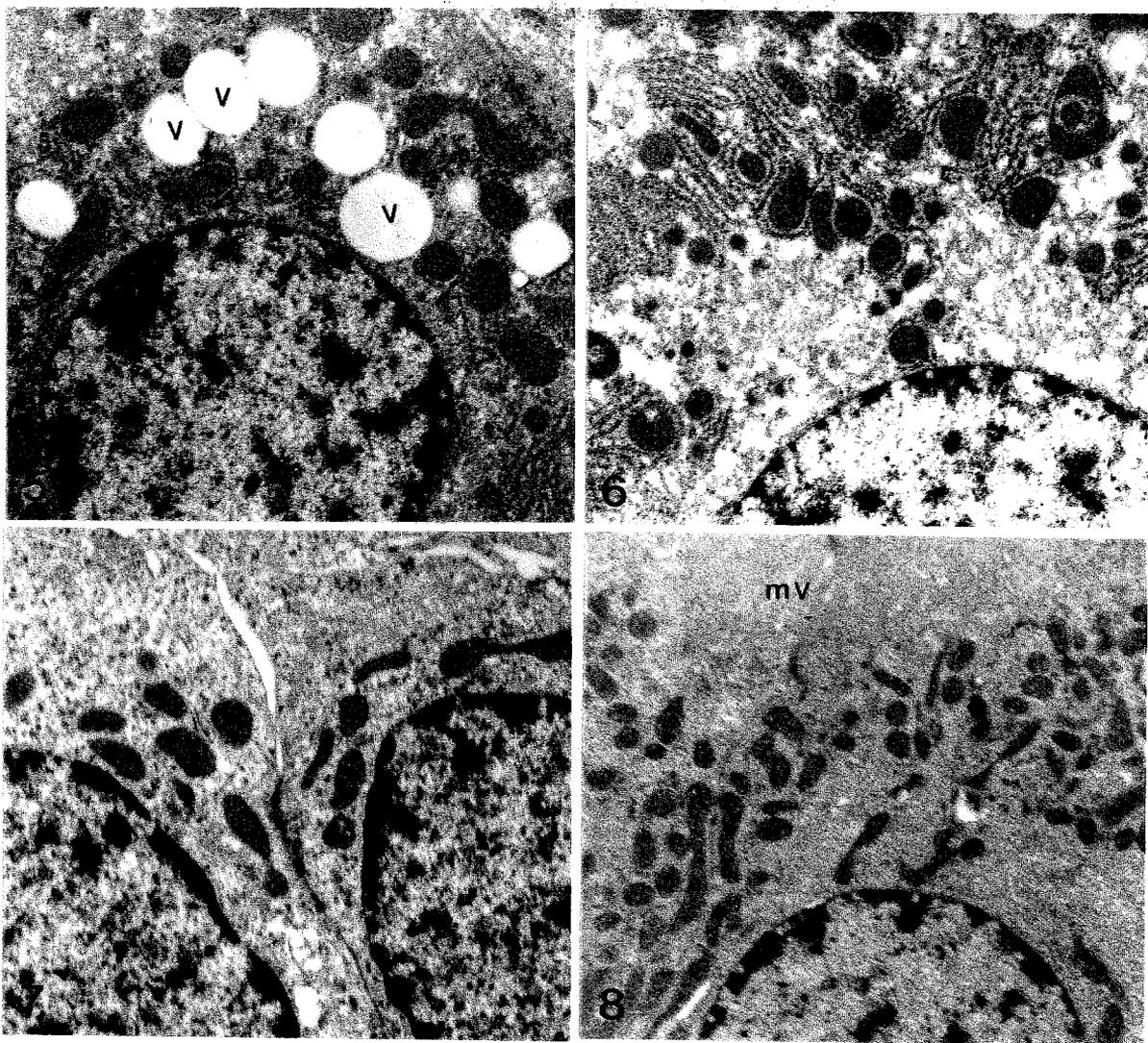
**Table 6. (continued)**

Microscopic lesion	Group	A		B		C	
	Pb(ppm)/ Exposed period	0/12		500/6 0/6		500/12	
	Subgroup (pork, %)	가 (0)	나 (100)	가' (0)	나' (100)	다 (0)	라 (100)
	n Grade*	6	6	6	6	6	6
<b><u>Testis</u></b>							
Decrease of cellularity	-	6	6	5	5	3	4
	+	0	0	1	1	3	2
<b><u>Cerebrum</u></b>							
Edematous change	-	6	6	3	3	2	3
	+	0	0	3	3	4	3
Focal hemorrhage	-	6	6	6	6	5	6
	+	0	0	0	0	1	0
Gliosis	-	6	6	6	6	5	6
	+	0	0	0	0	1	0
<b><u>Cerebellum</u></b>							
Edematous change	-	6	6	3	3	2	3
	+	0	0	3	3	4	3
Focal hemorrhages	-	6	6	6	6	5	6
	+	0	0	0	0	1	0

\* - ; No lesion, + ; mild lesion, ++ ; moderate lesion, +++ ; severe lesion



- Fig. 1. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
 There were shown the amorphous vacuoles in the hepatocytes and cellular infiltration(arrow) around the portal triad. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 2. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
 There were shown normal appearance around the central vein(C). H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 3. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
 There were shown anormal dilation and eosinophilic cast(arrow) of proximal tubules, and cellular infiltration and fibrosis of interstitium. H&E stain,  $\times 200$
- Fig. 4. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
 The structure was almost normal. H&E stain,  $\times 200$



- Fig. 5. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
 There were shown vacuoles(V), decrease of ribosomes, and morphologic changes of RER. EM,  $\times 4,000$
- Fig. 6. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
 The liver was almost normal. EM,  $\times 4,000$
- Fig. 7. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 0% feeding group for 6 weeks  
 The convoluted tubules were shown the loss of microvilli, decrease of mitochondria and cellular swelling in the cytoplasm. EM,  $\times 5,000$
- Fig. 8. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and lard 100% feeding group for 6 weeks  
 There were shown the microvilli(mv) in the lumen of tubule. EM,  $\times 4,000$

### 제 3절. 돼지고기와 돼지기름의 병용 투여가 Pb 해독에 미치는 영향

#### 1. 육안소견

납을 0, 500ppm으로 배합한 사료를 6주간 급여하여 중독을 유발한 후, 6주간의 회복시험동안 납을 함유하지 않은 사료를 공급한 2개군과 회복시험 기간동안에도 500ppm의 납이 함유된 사료를 계속 급여한 1개군으로하여 시험을 수행하였다.

회복시험기간동안 옥수수 기름을 배합한 사료 투여군과 돼지고기와 기름의 배합사료를 자유급식한 군으로 다시 군을 세분하여, 각각 마, 나, 가', 마', 다, 바군으로 분류하고 6주간의 회복시험 종료일에 부검하여 육안소견을 관찰하였다.

관찰된 소견은 Table 7과 같으며, 돼지고기와 기름을 배합한 사료를 공급받은 마' 와 바군은 간장의 황색조 변화를 제외하고 다른 변화는 관찰되지 않았다.

#### 2. 병리조직학적 소견

돼지고기와 기름의 병용 투여가 납 해독에 미치는 영향을 연구하기 위하여 SD rat에 납 중독 시험후 6주간의 해독 시험을 거쳐 부검 후 통상적인 병리조직 제작 과정을 거쳐 파라핀 포매된 조직을 4 $\mu$ m로 절편하여 Hematoxylin과 Eosin 대조 염색을 실시한 후 광학 현미경을 이용하여 관찰한 병변은 Table 8과 같다.

주된 병변은 간장의 세포 변성, 국소적인 염증세포 침윤, 핵내 호산성 봉입체, 신장의 근위세뇨관 변성, 국소적인 염증세포 침윤, 핵내 호산성 봉입체, 섬유화, 요원주, 호염성 세뇨관, 낭포 형성 등의 병변과 정소의 세포수 감소, 대뇌 및 소뇌의 수종성 변화와 국소적인 출혈소, gliosis 등의 병변이었다 (Fig 9, Fig 10, Fig 12, Fig 13).

이들 병변 중 간장의 지방변성, 신장의 호산성 세뇨관, 정소의 세포수 감소, 대뇌 및 소뇌의 수종성 변화 등의 병변은 돼지 고기와 기름을 배합한 사료를 급여한 개체들과 옥수수 기름을 배합한 사료 급여군간에 병변의 정도 차이가 구분하기 어려웠으며, 주된 해독 시험 결과의 확인에 가장 적합한 장기는 신장인 것으로 판단되었다.

간장 및 신장의 병변은 돼지고기와 기름을 병용 투여한 마' 와 바군의 개체들이 옥수수 기름을 투여한 가' 와 다군의 개체들보다 납에 의한 조직의 손상 정도가 적은 것으로 판단되었다 (Fig 11, Fig 14).

### 3. 전자현미경적 소견

실험에 사용된 SD rat들은 중독 및 해독 시험 종료시 부검하여 전자현미경 검사를 위한 재료로 간장과 신장의 조직을 채취하여 고정하고, 통상적인 EM 조직 처리과정을 거쳐 epon 포매하고 초박 절편하여 전자현미경적 검사를 실시하였다.

납에 중독된 SD rat들의 소견으로는 간세포의 세포질내 관찰되는 크고 작은 공포(vacuoles)들과 ribosome 수의 감소 및 신장 세뇨관 세포의 미세용모 소실, mitochondria의 감소, 세포질에 공포들의 형성과 핵내 전자 밀도가 높은 납 봉입체의 형성등이었다 (Fig 15, Fig 17, Fig 18).

신장에서 핵내 봉입체는 핵소체와 별개로 전자밀도가 높은 크기가 큰 비정형적 물체로 표면에는 방사상으로 filament와 유사한 물체들이 관찰되었다 (Fig 17).

반면, 해독 시험기간 중 돼지고기와 기름을 배합한 사료를 6주간 공급받은 rat들은 간세포의 ribosome 수의 감소 소견을 제외하고 간 세포의 변화는 관찰되지 않았다 (Fig 16). 또한 신세뇨관 세포들에서도 미세용모가 관찰되며, mitochondria도 많은 수로 관찰되었으며, 다른 특이한 변화는 관찰되지 않았다 (Fig 19).

Table 7. Gross findings of lead detoxification with pork and lard

Group	Pb/Exposed	Subgroup	Lard(%)	Total No.	Gross findings (Animal No.)
A	0ppm/12wks	마	0	6	NGL <sup>a</sup> (6)
		나	100	6	Liver-Yellowish color(1)
B	500ppm/6wks 0ppm/6wks	가'	0	6	Liver-Yellowish color(1) Kidney-White spot(1), Hardening(1)
		마'	100	4	Liver-Yellowish color(1)
C	500ppm/12wks	다	0	6	Liver-Marked lobular patterns(2) Kidney-Atrophy(2), White spot(2)
		바	100	4	Liver-Yellowish color(1)

a : No Gross lesion

**Table 8. Microscopic findings for lead detoxification with pork and lard**

Microscopic lesions	Group	A		B		C	
	Lead(ppm)/ Exposed period	0/1		500/6 0/6		500/12	
	Subgroup (pork, %)	마 (0)	나 (100)	가' (0)	마' (100)	다 (0)	바 (100)
	Grade <sup>a</sup> / n	6	6	6	4	6	4
<b><u>Liver</u></b>							
Degeneration of hepatocytes	-	6	6	2	3	0	1
	+	0	0	4	1	3	3
	++	0	0	0	0	3	0
Focal cellular infiltration	-	6	6	6	4	5	4
	+	0	0	0	0	1	0
Fatty change	-	6	5	4	3	6	3
	+	0	1	2	1	0	1
Intranuclear inclusion bodies	-	6	6	4	6	4	4
	+	0	0	2	0	2	0
<b><u>Kidney</u></b>							
Degeneration of proximal tubules	-	6	6	1	3	0	2
	+	0	0	4	1	1	2
	++	0	0	1	0	5	0
Focal cellular infiltration	-	6	6	4	3	2	3
	+	0	0	1	1	4	1
	++	0	0	1	0	0	0
Intranuclear inclusion bodies	-	6	6	0	1	0	0
	+	0	0	5	3	1	4
	++	0	0	1	0	5	0
Fibrosis	-	6	6	6	4	4	4
	+	0	0	0	0	0	0
	++	0	0	0	0	2	0
Urinary cast	-	6	6	5	4	4	4
	+	0	0	1	0	2	0
Basophilic tubules	-	6	6	1	1	3	0
	+	0	0	3	3	2	4
	++	0	0	2	0	1	0
Cyst formation	-	6	6	6	4	4	4
	+	0	0	0	0	2	0

\* - ; No lesion, + ; mild lesion, ++ ; moderate lesion, +++ ; severe lesion

Table 8. (continued)

Microscopic lesion	Group	A		B		C	
	Lead(ppm)/ Exposed period	0/12		500/6 0/6		500/12	
	Subgroup (pork, %)	가 (0)	나 (100)	가' (0)	나' (100)	다 (0)	라 (100)
	Grade <sup>a</sup> / n	6	6	6	6	6	6
<b>Testis</b>							
Decrease of cellularity	-	6	6	5	3	3	2
	+	0	0	1	1	3	2
<b>Cerebrum</b>							
Edematous change	-	6	6	3	2	2	2
	+	0	0	3	2	4	2
Focal hemorrhage	-	6	6	6	4	5	4
	+	0	0	0	0	1	0
Gliosis	-	6	6	6	4	5	4
	+	0	0	0	0	1	0
<b>Cerebellum</b>							
Edematous change	-	6	6	3	2	2	2
	+	0	0	3	2	4	2
Focal hemorrhages	-	6	6	6	4	5	4
	+	0	0	0	0	1	0

\* - ; No lesion, + ; mild lesion, ++ ; moderate lesion, +++ ; severe lesion

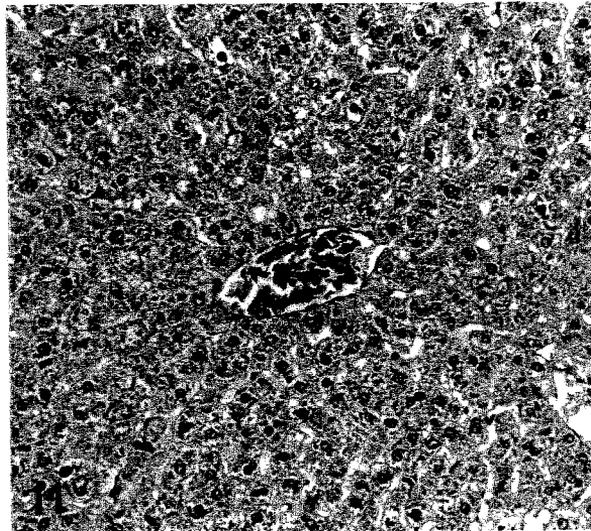
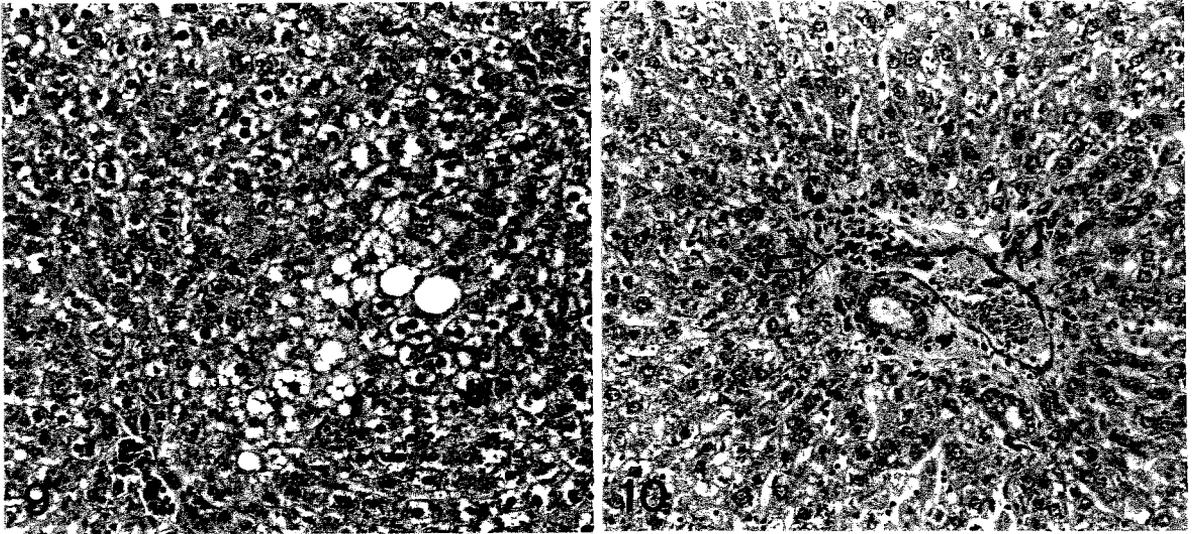


Fig. 9. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

There were shown the irregular vacuoles in the hepatocyte and cellular degeneration. H&E stain,  $\times 200$

Fig. 10. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

There were shown the cellular degeneration and cellular infiltration(arrow). H&E stain,  $\times 200$

Fig. 11. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks

The structure was almost normal. H&E stain,  $\times 200$

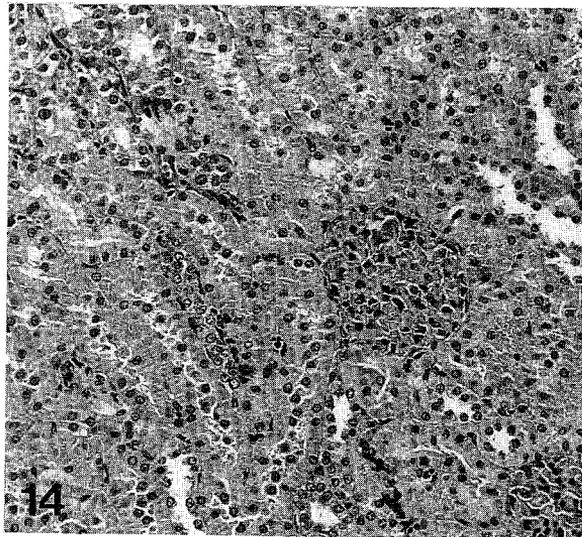
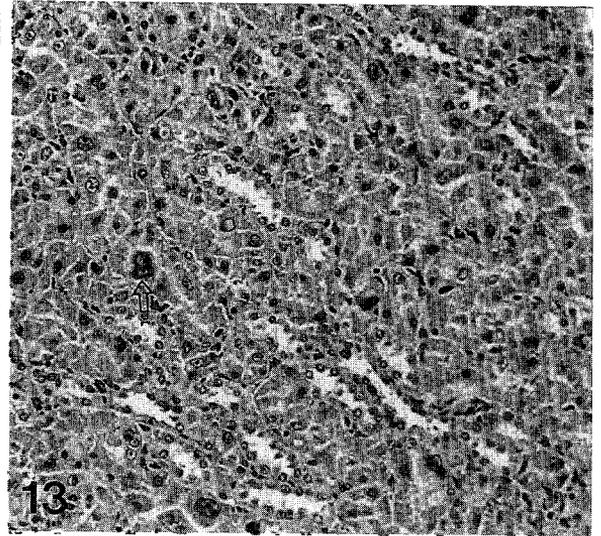
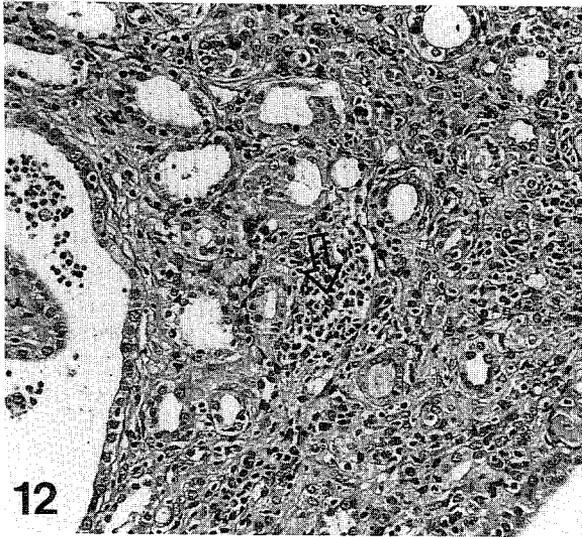


Fig. 12. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

There were shown the eosinophilic cast in the lumen of tubule and cellular infiltration of interstitium(arrow). H&E stain,  $\times 200$

Fig. 13. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

There were shown the epithelium degeneration of tubule and intranuclear inclusion of lead(arrow). H&E stain,  $\times 200$

Fig. 14. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks

The structure was normally observed. H&E stain,  $\times 200$

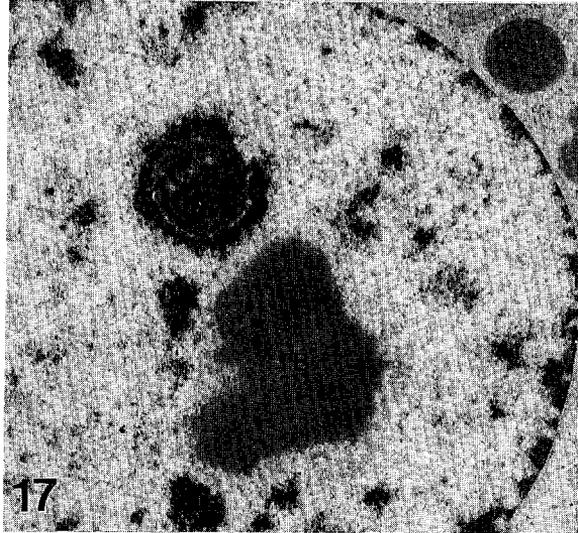
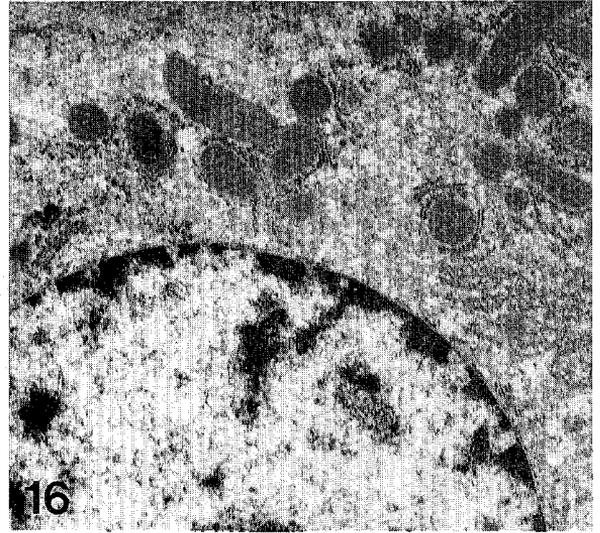
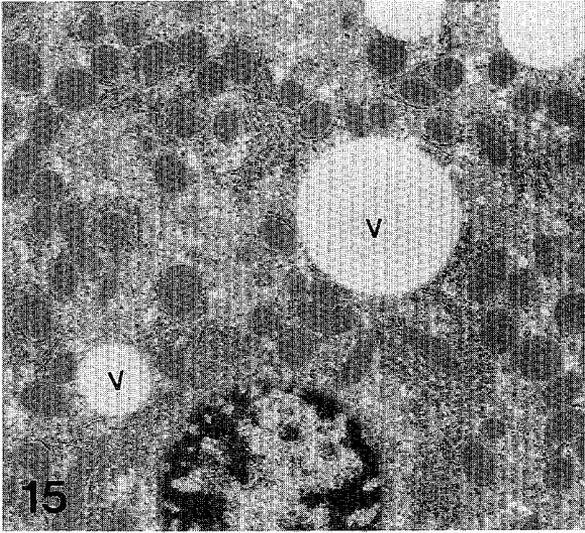


Fig. 15. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

There were shown the various vacuoles(V) in the cytoplasm. EM,  $\times 4,000$

Fig. 16. Liver of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks

The hepatocytes were almost normal. EM,  $\times 5,000$

Fig. 17. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

The lead inclusion(IB) was observed in the nucleus. EM,  $\times 5,000$

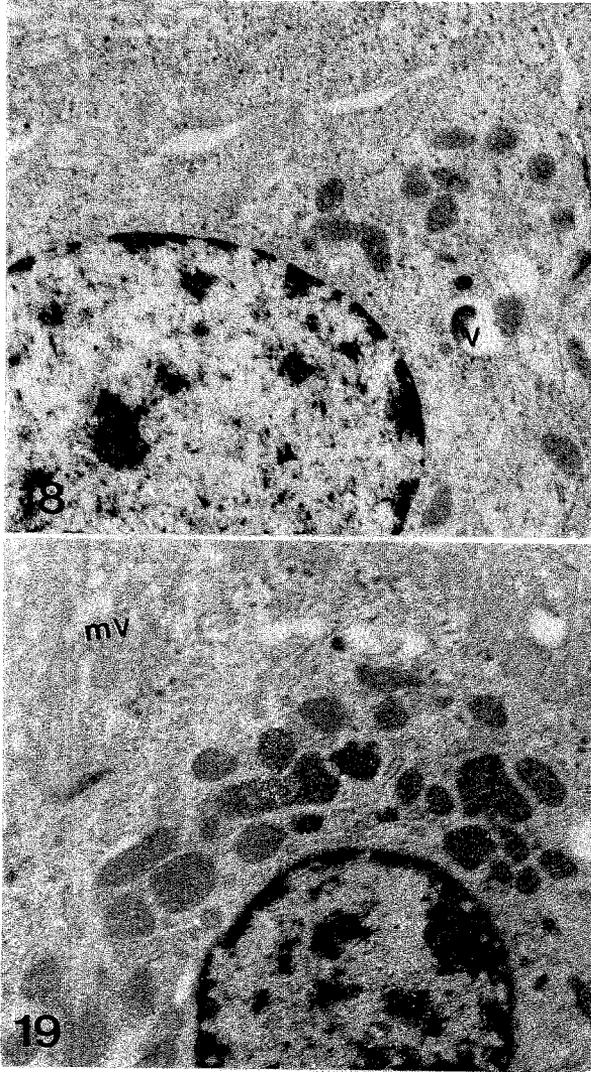


Fig. 18. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 0% group for 6 weeks

There were shown the loss of microvilli in the epithelium, vacuoles(V) and loss of microchondria in the cytoplasm. EM,  $\times 5,000$

Fig. 19. Kidney of Pb 500ppm for 12 weeks and simultaneous feeding of pork and lard 100% group for 6 weeks

There were shown the microvilli(mv) in the epithelial cell and almost normal findings. EM,  $\times 5,000$

## 제 5장 결 론

카드뮴(Cd)과 납(Pb)을 이용한 중독 시험결과 이들 중금속 함유 사료를 급여한 흰쥐에서 육안적, 병리 조직학적 및 전자현미경적 소견에서 중독이 유발되었음이 확인되었다.

카드뮴 중독에 의한 육안병변으로는 간장의 황색조 변화, 종창, 수척 및 장기의 위축 소견 등이었으며, 병리조직학적 소견으로는 간장의 세포변성, 국소적인 염증세포 침윤, 신장의 세뇨관 변성, 국소적인 염증세포 침윤, 칼슘침착, 정소의 정자세포의 변성, 다핵거대세포의 형성, 세포수의 감소 등의 병변이 관찰되었다.

납 중독 시험 종료후 부검한 흰쥐의 육안 소견으로는 간장의 황색조 변화, 소엽간 경계의 비후, 신장의 위축 및 백색 반점과 경도의 증가 병변이었으며, 병리조직학적 소견으로는 간장의 세포변성, 국소적인 염증세포 침윤, 지방변성, 핵내 납 봉입체, 신장의 근위세뇨관 낭포형성, 정소의 정자세포수 감소와 대뇌 및 소뇌의 수종성 변형, 국소 출혈소, gliosis 등의 병변이었다. 전자현미경적 소견으로는 간세포의 세포질에 공포형성 및 RER의 변형, ribosome의 감소와 신세뇨관 상피세포의 미세용모 소실, mitochondria의 감소, 종창 등이었다.

해독시험 결과 돼지고기, 돼지기름 및 돼지고기와 돼지기름의 병용투여는 이들 성분이 혼합되지 않은 사료를 급여한 대조군 흰쥐에 비교하여 개체에 따라 정도차이는 있지만 Cd 및 Pb 중독에 의한 조직의 손상정도가 미미한 것으로 판단되었다. 전자현미경적 소견으로는 대조군에서는 간장의 간 세포질의 공포형성 및 세포질의 구조 손상과 신장의 근위세뇨관 상피세포에 미세용모의 소실, 용해소체의 증가 등의 병변이 나타났으나 돼지고기, 돼지기름의 단독 투여군 및 돼지고기와 돼지기름의 병용 투여군에서는 Cd와 Pb에 의한 손상 병변이 경감된 것을 관찰할 수 있었다.

이러한 결과를 종합해 볼 때 세포의 손상 유무를 직접 확인할 수 있는 병리조직학 검사와 전자현미경 검사를 통하여 돼지고기, 돼지기름의 단독투여 또는 돼지고기와 돼지기름의 병용투여가 Cd 또는 Pb의 중독증을 경감시키고 해독을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단되었다. 그러나 돼지기름의 섭취에 의하여 다른 성분과 유사한 세포손상의 경감효과를 관찰할 수 있었으나 일부 흰쥐에서 간 세포의 세포질에 지방 축적이 관찰된 점을 감안하면 돼지기름만의 섭취는 체내에 과도한 지방의 유입으로 지방 축적이 야기될 수 있음을 간과해서는 안될 것이다.