

저농도 연 폭로근로자들의 혈중 및 요중 연량과 생화학적 검사치들간의 관련성

김종숙 · 정용준* · 조영채*
충남대학교 보건대학원
충남대학교 의과대학 예방의학교실*

Relationship between Lead Levels in Blood and Urine and Laboratory Test Values among Lead Exposed Workers

Jong-Sook, Kim · Yong-Jun Jeong* · Young-Chae, Cho*
*Graduate School of Public Health Chungnam National University,
Department of Preventive Medicine and public Health
College of Medicine, Chungnam National University**

Abstract

The study subjects included the workers who were estimated to have been exposed in a low density of lead-laden glaze from pottery manufacturers. They were evaluated in terms of PbB and PbU as indices of lead concentration in the body, and Hb, Hct, ALAD, and FEP as indices of biochemical lead poisoning. Consequently, the study results revealed the relationship between each of indices and its effectiveness to indicate the degree of occupational lead exposure.

1. The mean of PbB was $22.85 \mu\text{g/dl}$ (range; $4.2\sim 44.7 \mu\text{g/dl}$) and PbU $45.69 \mu\text{g/dl}$ (range; $6.7\sim 87.5 \mu\text{g/dl}$), to indicate the level of lead exposure in the subjects.
2. While there was a high, linear correlation between PbB, PbU and FEP ($r=0.835$, $r=0.855$, respectively), a low correlation existed between PbB and ALAD($r=-0.240$).
3. While there was a high, linear correlation between PbU and FEP($r=0.825$), a low correlation existed between PbU and ALAD($r=-0.352$).

The above results suggest that FEP can be used as a highly useful biochemical index of lead poisoning, based on its high correlation with PbB and PbU indicating lead concentration in the body.

Key word: PbB, PbU, ALAD, FEP, low density of lead exposed worker

I. 서 론

연(鉛)은 연 광산 제련업을 비롯하여 축전지제조, 인쇄, 도료, 석유공업, 도자기제조업 등 많은 산업분야에서 광범위하게 사용되고 있어서 비교적 직업성 중독이 다른 중금속에 비하여 많은 편이다.¹⁾ 따라서 연 취급 근로자는 연 폭로 및 흡수정도에 따라 중독증상으로 조혈기능장애, 위장관 장애, 신경장애 및 뇌기능 장애 등 다양한 임상증세를 나타내게 된다.²⁾

이와 같은 연 중독증상의 조기발견 및 예방을 위해서는 연에 의한 조혈기능의 장애가 특징적이기 때문에 이를 연 중독의 진단을 위한 검사실 소견으로 유용하게 사용하고 있다. 연에 의한 조혈기능의 생물학적 효과로는 혈 중 및 뇨 중 연 농도의 증가, 뇨 중 coproporphyrin과 δ -aminolevulinic acid(ALA)의 증가, hemoglobin(Hb) 및 Hematocrit(Hct)치의 감소 또는 저하, 적혈구 중의 δ -aminolevulinic acid dehydrogenase(ALAD) 활성치 저하 등을 들 수 있으며 이들을 검사항목으로 많이 사용하고 있다.^{3,4)}

특히 연은 Heme의 생합성과정에 있어서 몇몇 효소의 작용을 억제하는데 그 중에서도 ALAD에 대한 억제작용이 흥미를 끌고 있다. 최근에 와서 적혈구내 ALAD 활성치는 혈 중 연 농도와 높은 상관관계를 가지며 특히 작업장 연 농도가 낮은 곳에서의 폭로시에는 가장 민감하게 반응하는 생화학적 검사로 알려져 있다.⁵⁾ 그러나 ALAD 활성치는 도시환경중의 연 폭로 정도에 따라서도 이미 활성저하를 보이는 한편, 혈 중 연농도(lead in blood; PbB)가 60 μ g/dl 이상이 되면 PbB의 증가와 ALAD 활성의 저하 정도에서 상관성이 저하되기 때문에 직업적 폭로지표로서는 너무나 예민하다는 것과 또한 이 효소 자체는 적혈구 중에 대량으로 존재하는 것으로서 *in vitro*에서 관찰되는 효소활성의 저하는 *in vivo*에서의 Heme 합성의 장애를 직접적으로 의미하는 것은 아니라는 사실과, 여기에 채혈 후 24시간 이내에 측정을 하지 않으면 안된다는 기술적 제약상의 이유로서 실용적 유용성은 높지 않다고 하는 의견도 많다.⁶⁾⁻⁸⁾

한편 적혈구중의 free erythrocyte porphy-

rins(FEP)도 저농도의 PbB와의 좋은 상관성을 갖고 있으며, PbB 40 μ g/dl 전후부터 그 증가정도가 현저하다는 이유로 직업상의 연 폭로지표로서 계속적인 주목을 받고 있다.^{5),9)} 이 같은 적혈구 중의 protoporphyrin량(erythrocyte protoporphyrin; EP)의 증가는 *in vivo*에서 protoporphyrin IV로부터 Heme 합성과정이 장애를 받는다는 것을 나타내는 점에서도 훌륭한 중독학적 지표가 되지만 EP에 의한 연구는 아직 일천하며 그 지견도 한정되어 있을 뿐만 아니라 연 폭로에 의한 EP 증가의 기전에 대해서도 불명확한 점이 있다.^{10),11)} 따라서 연 폭로지표로서의 EP의 유용성을 결론 짓기 위하여서는 앞으로 많은 연 작업자들에 대해 EP의 동태를 검토하는 것이 필요하다고 생각된다.

그러나 국내에서의 연 취급 근로자에 대한 연구는 비교적 고농도의 연에 폭로될 위험성이 높은 산업장을 대상으로 한 연구¹²⁾⁻¹⁷⁾가 있을 뿐 저농도 폭로에 의한 폭로량의 실태나 폭로량과 생화학적 중독지표간의 관련성을 지적한 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 저 농도의 연 폭로자로 인정되는 도자기 및 용기제조업체에서 연이 함유된 분진이나 fume에 폭로되어 작업하는 근로자를 대상으로 위에 기술한 Hb, Hct, ALAD, 및 free erythrocyte protoporphyrin(FEP) 등 생화학적 연 중독 지표를 측정하여 이 같은 지표와 혈 중 및 요 중 연 농도와의 관련성을 알아봄으로서 각 지표의 작업상 연 폭로지표로서의 유용성을 평가하고자 시도하였다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상

조사대상은 저 농도 연 폭로군과 연에 폭로되지 않은 대조군으로 구분하였으며, 폭로군으로는 충청남도 일부 농촌지역 농공단지내 소재하고 있는 도자기 및 용기제조공장 8개소에서 연이 함유된 분진이나 fume에 폭로되어 일하고 있는 남성 근로자 42명으로 하였다. 대조군은 동일지역의 연을 취급하지 않은 다른 산업장 근로자 22명으로 하였다.

2. 조사방법

대상자의 연령, 작업경력, 작업시간 등의 작업조건에 대해서는 미리 작성한 질문표를 이용하여 조사하였고, 혈액 및 뇨 중 연 폭로 량과 혈액학치 및 혈액 생화학적 검사치의 측정을 위해서는 피조사자들에게 아침식사를 금식케 한 공복상태에서 혈액을 진공 채혈관을 이용하여 상완의 정맥에서 채취하였으며 뇨는 작업시간이 끝나는 오후 6시경에 채뇨용기에 실험에 충분히 사용할 만큼 대량 채취하였다. 채취한 혈액과 뇨 중의 검사항목별 측정방법은 다음과 같이 하였다.

1) 혈색소량(Hb)과 적혈구용적(Hct)의 측정

항 응고 처리된 CBC-bottle(녹십자, 서울)에 5ml의 혈액을 채취하여 자동혈구계산기(Coulter counter, STK-2A, U.S.A.)를 사용하여 제조회사의 지침에 따라 측정하였다.

2) 혈중 연 농도(Pb B)의 측정

증류수 2ml에 전혈 1ml를 가하고 여기에 10% TCA 2ml를 가하여 혼합한 다음 3500rpm으로 10분간 원심 분리하였다. 상등액을 공전시험관에 옮겨서 4M ammonium sulfate 5ml를 가하였다. Methyl orange로 pH를 확인 후 2% ammonium pyrrolidine dithiocarbamate(APDC) 2ml를 가하여 진탕시킨 다음 10분간 방치한 후 MIBK(methyl isobutyl ketone)을 1.5ml 가하여 5분간 심하게 진탕시킨 후 MIBK층을 분리하여 원자흡광광도계(Varian AA. mod. 40, Australia)로 2,170nm의 파장에서 연을 측정하였다.

3) 뇨중 연 농도(PbU) 측정

뇨 10ml를 질산, 황산 및 과염소산으로 회화시킨 후 증류수로 세척한 공전시험관에 넣고 4M ammonium sulfate 3ml를 가하였다. 암모니아로 pH를 4-5로 조정하고 증류수로 전량을 2ml되게 하였다. 다음 2% APDC 1ml를 가하여 10분간 방치시킨 후 1.5ml 가하여 5분간 심하게 진탕시킨 후 분리시킨 MIBK층을 원자흡광광도계(Varian AA. mod. 40, Australia)로 2,170nm의 파장에서 연을 측정하였다.

4) ALAD의 측정

ALAD의 측정은 牛尾¹⁸⁾ 등에 의한 Weissberg 방법에 의해 측정하였다. 전혈(whole blood)을 증류수로 30배 희석하고 용혈시킨 효소액 1.5ml에 0.2M triethanolamine-HCl buffer(pH 7.6) 0.5ml와 0.02 M δ -ALA용액 0.5ml를 가하여 37°C에서 60분간 방치하여 반응시켰다. 0.1 M HgCl₂를 함유한 10% TCA용액 1ml를 가하여 반응을 정지시킨 후 2500rpm에서 5분간 원심 분리시켰다. 상등액 1ml에 동량의 Ehrlich 시약을 가한 다음 555nm에서 비색 하였으며 효소활성은 ALAD(Unit) = $(OD_{60}-OD_0) \times 100 / Hct \times 131.48$ 의 공식으로 계산하여 Unit로 표시하였다.

5) FEP의 측정

FEP는 Piomelli¹⁹⁾ 방법에 의해서 측정하였다. 5% celite의 생리적 식염수 현탁액 0.25ml에 전혈 0.05ml를 가하고 여기에 ethyl acetate와 acetic acid를 4 : 1로 혼합한 혼합액 4ml를 가하여 혼합시킨 후 3000 rpm으로 5분간 원심시킨 다음 상등액을 공전시험관에 주입시키고 1.5 N HCl을 가하여 약 80회 진탕시킨 후 모세관으로 아래쪽의 HCl 층을 채취하여 형광도를 측정하였다. 측정조건은 여기파장 405nm, 측정파장 610nm, sleet width는 각각 19nm, 7.5nm로 하였다. 표준액은 5 μ g의 coproporphyrin I의 바이알에 1.5 N HCl을 가하여 3분간 끓는 물 속에서 가열한 것을 사용하였다. 계산은 다음 식에 의해 μ g/100ml · RBC의 단위로 표시하였다. $FEP(\mu g/100ml \cdot RBC) = 100/Htc \times Fu/1.11 \times Fs \times 0.05 \times 4.8/0.05 \times 100$. 여기서 Fu는 검사대상표본의 형광도 이고 Fs는 표준액의 형광도이다.

3. 통계처리

수집된 자료는 SPSS(ver 10.0)프로그램을 사용하여 통계처리 하였으며, 각 변수에 따른 검사항목의 평균치의 차이는 t-test 및 ANOVA test를 하였으며, PbB, PbU, ALAD, FEP 농도간의 관련성은 Pearson 상관계수를 구하였다.

III. 결 과

1. 폭로군과 대조군의 연령, 근무경력 및 검사성적

평균연령은 폭로군이 45.19세, 대조군이 46.77세로 두 군간에 차이가 없었으며, 근무경력에서도 폭로군 13.79년, 대조군 13.77년으로 두 군이 비슷하였다. Hb치는 폭로군에서 13.47g/dl, 대조군에서 14.51g/dl로 두 군간에 유의한 차이가 없었고, Hct치도 폭로군에서 43.66%, 대조군에서 44.68%로 역시 두 군간에 유의한 차이는 없었다.

그러나 PbB는 대조군에서 6.36 μ g/dl이었으나 폭로군에서는 22.85 μ g/dl로 폭로군에서 월등히 높았으며(p=0.000), 폭로군의 범위는 4.2~44.7 μ g/dl로 넓은 범위를 보였다. PbU의 경우도 대조군에서 6.84 μ g/l이었으나 폭로군에서는 45.69 μ g/l로 폭로군에서 월등히 높았으며(p=0.000), 폭로군에서의 범위도 6.7~87.5 μ g/l로 넓은 범위를 보였다.

ALAD활성치는 대조군에서 41.23U이었으나 폭로군에서는 26.53U로 유의하게 감소하였으며(p=0.000), FEP는 대조군에서 79.91 μ g/100ml·RBC이었으나 폭로군에서는 206.69 μ g/100ml·RBC로 유

의하게 증가하였다(p=0.000)(Table 1).

2. 폭로군과 대조군의 검사성적에 대한 정상치와 비정상치

Hb과 Hct의 비정상치 비율은 폭로군이 대조군보다 높았으나 유의한 차이는 보이지 않았다. 그러나 PbB와 PbU는 대조군에서는 정상치의 비율이 100%이었으나 폭로군에서는 비정상치의 비율이 각각 54.8%, 66.7%이었다. ALAD활성치의 비정상치 비율은 대조군에서 13.6%이던 것이 폭로군에서는 64.3%로 유의하게 높아졌으며, FEP치의 비정상치 비율도 대조군은 100% 정상이었으나 폭로군에서는 비정상치 비율이 59.5%로 나타났다(Table 2).

3. 폭로군의 연령별 검사성적

Hb치는 30대 이하 연령군에서 15.47g/dl이던 것이 40대 연령군에서 13.68g/dl, 50대 이상 연령군에서 11.68g/dl로 연령증가에 따라 유의하게 감소하였으며(p=0.000), Hct치도 30대 이하 연령군에서 46.38%, 40대 연령군에서 44.84%, 50대이상 연령군에서 40.50%로 연령증가에 따라 유의하게 감소하는 경향이였다(p=0.000).

Table 1. Mean values and ranges of age, job tenure and laboratory tests in exposure group and non-exposure group

Variable\Group	Exposure (n=42)		Non-exposure (n=22)		p-value
	Mean \pm SD	(Range)	Mean \pm SD	(Range)	
Age(yr)	45.19 \pm 11.21	(19.0~63.0)	46.77 \pm 12.57	(20.0~68.0)	0.609
Job tenure(yr)	13.79 \pm 8.89	(1.0~36.0)	13.77 \pm 7.58	(2.0~26.0)	0.995
Hb(g/dl)	13.47 \pm 1.88	(10.2~18.0)	14.51 \pm 2.31	(10.2~18.4)	0.059
Hct(%)	43.66 \pm 3.45	(36.0~49.0)	44.68 \pm 4.32	(38.0~51.0)	0.310
PbB(μ g/dl)	22.85 \pm 13.73	(4.2~44.7)	6.36 \pm 3.82	(2.4~15.8)	0.000
PbU(μ g/l)	45.69 \pm 19.25	(6.7~87.5)	6.84 \pm 2.66	(2.4~11.4)	0.000
ALAD(Unit)	26.53 \pm 11.50	(10.1~50.8)	41.23 \pm 10.80	(18.1~55.8)	0.000
FEP(μ g/100ml RBC)	206.69 \pm 104.71	(62.0~427.0)	79.91 \pm 24.97	(42.0~126.0)	0.000

Hb : hemoglobin

Hct : hematocrit

PbB : blood lead level

PbU : lead in urine

ALAD : δ -aminolevulinic acid dehydrogenase activities

FEP : free erythrocyte protoporphyrin

Table 2. Normal and abnormal values of laboratory tests in exposure group and non-exposure group

Variable\Group	N	Normal	Abnormal	p-value
Hb(g/dl)				0.134
Exposure	42	17(40.5)	25(59.5)	
Non-exposure	22	14(63.6)	8(36.4)	
Hct(%)				0.913
Exposure	42	30(71.4)	12(28.6)	
Non-exposure	22	16(72.7)	6(27.3)	
PbB($\mu\text{g}/\text{dl}$)				0.000
Exposure	42	19(45.2)	23(54.8)	
Non-exposure	22	22(100.0)	0(0.0)	
PbU($\mu\text{g}/\ell$)				0.000
Exposure	42	14(33.3)	28(66.7)	
Non-exposure	22	22(100.0)	0(0.0)	
ALAD(Unit)				0.000
Exposure	42	15(35.7)	27(64.3)	
Non-exposure	22	19(86.4)	3(13.6)	
FEP($\mu\text{g}/100\text{ml RBC}$)				0.000
Exposure	42	17(40.5)	25(59.5)	
Non-exposure	22	22(100.0)	0(0.0)	

PbB 농도는 30대 이하 연령군에서 10.59 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 40대 연령군에서 18.60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이던 것이 50대이상 연령군에서 36.28 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 증가하여 연령증가에 따라 유의하게 증가하였으며(p=0.000), PbU 농도도 30대 이하 연령군 27.76 $\mu\text{g}/\ell$, 40대 연령군 42.09 $\mu\text{g}/\ell$, 50대이상 연령군 63.18 $\mu\text{g}/\ell$ 로 연령증가에 따라 유의하게 증가하였다(p=0.000).

ALAD 농도는 연령군간에 유의한 차이가 없었고, FEP 농도는 30대 이하 연령군에서 100.15 μg

/100ml · RBC이던 것이 40대 연령군에서 185.38 $\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$, 50대 이상 연령군에서 310.56 $\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$ 로 증가하여 연령증가에 따라 유의하게 증가하였다(p=0.000)(Table 3).

4. 폭로군의 연 작업기간별 검사성적

Hb치는 연 작업기간이 9년 이하 군에서 15.19g/dl이던 것이 10~19년 군에서 13.22 g/dl, 20년 이상 군에서는 11.50g/dl로 작업기간의 증가에 따라

Table 3. Mean values of laboratory tests in exposure group by age

(Mean \pm SD)

Variable\Age(yr)	≤ 39 (n=13)	40~49 (n=13)	50 \leq (n=16)	Total (n=42)	p-value
Hb(g/dl)	15.47 \pm 1.20	13.68 \pm 0.95	11.68 \pm 0.94	13.47 \pm 1.88	0.000
Hct(%)	46.38 \pm 2.29	44.84 \pm 2.41	40.50 \pm 2.33	43.66 \pm 3.45	0.000
PbB($\mu\text{g}/\text{dl}$)	10.59 \pm 5.34	18.60 \pm 8.42	36.28 \pm 9.87	22.85 \pm 13.73	0.000
PbU($\mu\text{g}/\ell$)	27.76 \pm 12.86	42.09 \pm 12.75	63.18 \pm 11.59	45.69 \pm 19.25	0.000
ALAD(Unit)	28.36 \pm 12.45	21.03 \pm 5.23	29.51 \pm 13.29	26.53 \pm 11.50	0.110
FEP($\mu\text{g}/100\text{ml RBC}$)	100.15 \pm 27.86	185.38 \pm 36.75	310.56 \pm 80.79	206.69 \pm 104.71	0.000

Table 4. Mean values of laboratory tests in exposure group by duration of lead exposure

Variable\Duration	(Mean±SD)								
	≤9 (n=15)		10~19 (n=16)		20≤ (n=11)		Total (n=42)		p-value
Hb(g/dl)	15.19±	1.39	13.22±	1.13	11.50±	1.02	13.47±	1.88	
Hct(%)	46.53±	2.09	43.43±	2.94	40.09±	1.81	43.66±	3.45	0.000
PbB($\mu\text{g}/\text{dl}$)	10.76±	5.08	23.90±	9.76	37.83±	11.22	22.85±	13.73	0.000
PbU($\mu\text{g}/\ell$)	31.12±	15.42	46.10±	13.66	64.96±	13.38	45.69±	19.25	0.000
ALAD(unit)	27.84±	11.35	22.61±	8.90	30.44±	14.09	26.53±	11.50	0.192
FEP($\mu\text{g}/100\text{ml RBC}$)	119.46±	51.52	209.37±	69.42	321.72±	89.59	206.69±	104.71	0.000

유의하게 감소하였다($p=0.000$). Hct치도 9년 이하 군에서 46.53%, 10~19년 군에서 43.43%, 20년 이상 군에서 40.09%로 연 작업기간 증가에 따라 유의하게 감소하는 경향이였다($p=0.000$).

PbB 농도는 9년 이하 군에서 $10.76\mu\text{g}/\text{dl}$, 10~19년 군에서 $23.90\mu\text{g}/\text{dl}$ 이던 것이 20년 이상 군에서 $37.83\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 증가하여 연 작업기간 증가에 따라 유의하게 증가하였으며($p=0.000$), PbU 농도도 9년 이하 군 $31.12\mu\text{g}/\ell$, 40대 연령군 $46.10\mu\text{g}/\ell$, 50대 이상 연령군 $64.96\mu\text{g}/\ell$ 로 연 작업기간 증가에 따라 유의하게 증가하였다($p=0.000$).

그러나 ALAD 농도는 연 작업기간에 따라 유의한 차이가 없었고, FEP 농도는 9년 이하 군에서 $119.46\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$ 이던 것이 10~19년 군에서 $209.37\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$, 20년 이상 군에서 $321.72\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$ 로 증가하여 연 작업기간에 따라 유의하게 증가하였다($p=0.000$)(Table 4).

5. 연령, 연 폭로기간 및 연 폭로지표간의 상관성

연령과 연 폭로기간은 Hb, Hct치와는 유의한 음의 상관관계를 보였고, PbB, PbU, ALAD 및 FEP와는 양의 상관관계를 보였다. Hb치는 Hct치와는 양의 상관을 보였으나 PbB, PbU 및 FEP와는 음의 상관관계를 보였다. Hct치는 PbB, PbU 및 FEP와는 음의 상관관계를 보였고, PbB는 PbU 및 FEP와 강한 양의 상관을 보였다. PbU는 ALAD와 음의 상관을 보인 반면 FEP와는 강한 양의 상관관계를 보였다(Table 5).

6. 연 폭로지표간의 양-영향관계

연 폭로군에서의 PbB와 PbU 간의 상관을 보면 $r=0.835(p<0.01)$ 로 강한 양의 상관을 보여 PbB 농도가 증가함에 따라 PbU 농도도 증가함을 보였고(Fig 1), PbB와 ALAD 간의 상관에서는 $r=-0.240(p<0.05)$ 로 비교적 약한 음의 상관을 보였

Table 5. Correlation coefficients of age, duration of lead exposure and laboratory tests in exposure group

	Age	Duration	Hb	Hct	PbB	PbU	ALAD
Duration	0.843**						
Hb	-0.851**	-0.721**					
Hct	-0.751**	-0.738**	0.705**				
PbB	0.532**	0.623**	-0.670**	-0.590**			
PbU	0.389**	0.447**	-0.551**	-0.459**	0.835**		
ALAD	0.308**	0.274*	-0.128	-0.224	-0.240*	-0.352*	
FEP	0.578**	0.644**	-0.693**	-0.525**	0.855**	0.825**	-0.133

* : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

으나 PbB 농도의 증가에 따라 ALAD활성치는 감소하는 경향이였다(Fig 2). PbB와 FEP 간의 상관에서는 $r=0.855(p<0.01)$ 로 강한 양의 상관을 보여 PbB 농도가 증가함에 따라 FEP 농도도 증가함을 보여주었다(Fig 3). PbU와 ALAD 간에는 $r=-0.240(p<0.05)$ 로 비교적 약한 음의 상관을 보였으나 PbU 농도의 증가에 따라 ALAD활성치는 감소하는 경향이였다(Fig 4). PbU와 FEP간의 상관에서는 $r=0.825(p<0.01)$ 로 강한 양의 상관을 보여

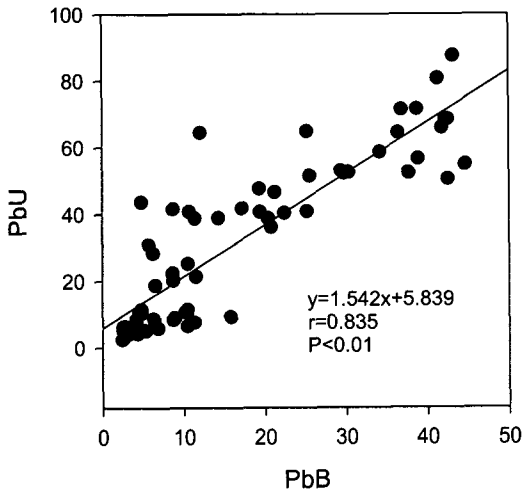


Fig 1. Correlation between PbU and PbB in ceramic painting workers

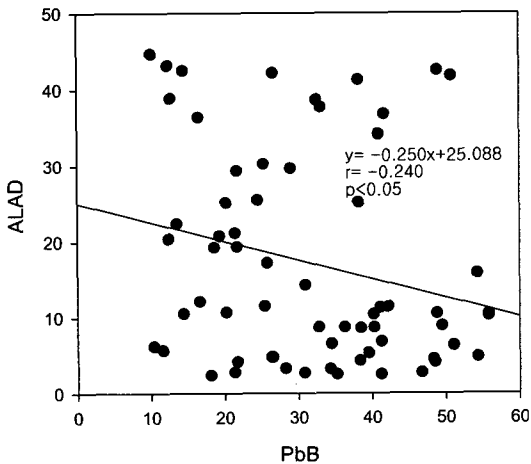


Fig 2. Correlation between PbB and ALAD in ceramic painting workers

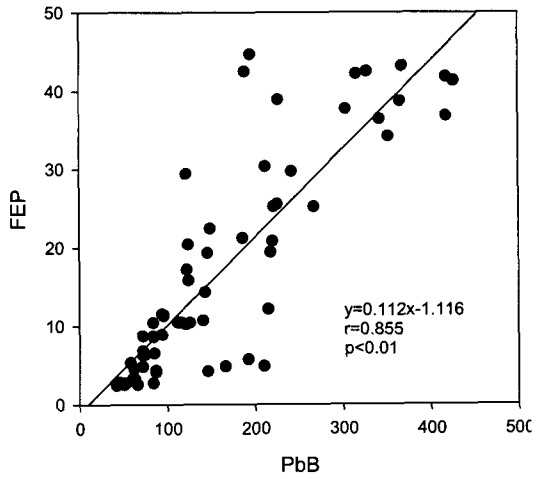


Fig 3. Correlation between PbB and FEP in ceramic painting workers

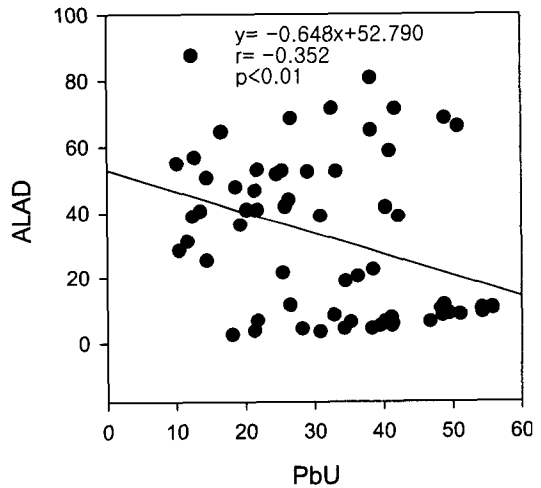


Fig 4. Correlation between PbU and ALAD in ceramic painting workers

PbU 농도가 증가함에 따라 FEP 농도도 증가함을 보여주었다(Fig 5). 그러나 ALAD와 FEP 간의 상관은 $r=-0.133$ 으로 음의 상관을 보였으나 유의한 차이가 없었다(Fig 6).

IV. 고 찰

도자기 제조공정에서의 연 폭로는 소성부로부터 발생하는 연 fume에 오염된 공기나 유약의 혼합시

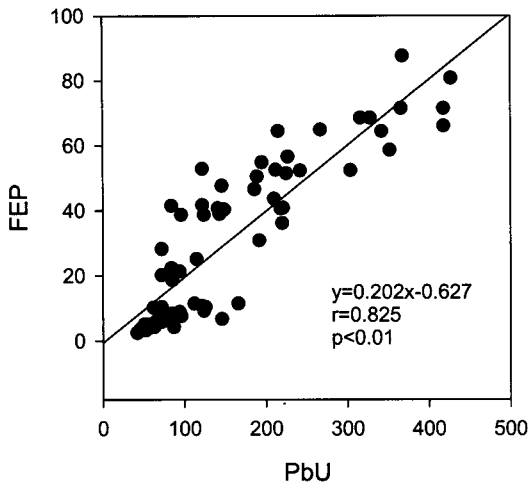


Fig 5. Correlation between PbU and FEP in ceramic painting workers

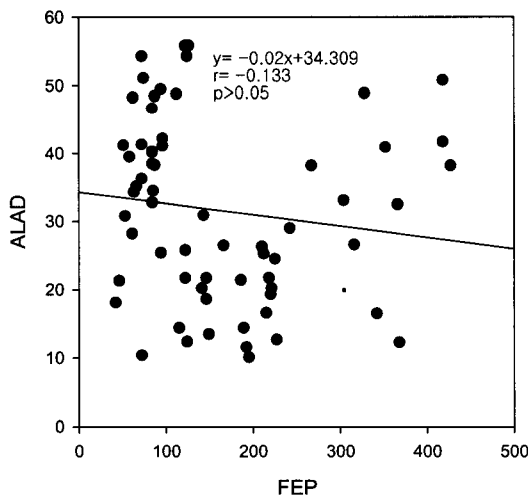


Fig 6. Correlation between ALAD and FEP in ceramic painting workers

에 발생하는 분진의 흡입 등 호흡기계를 통한 흡수와 함께 손이나 의복에 의해 유약의 경구섭취도 문제가 된다. 도자기나 용기 제조업은 많은 수가 가내공업형태로 연의 사용량도 업체마다 다르기 때문에 연 폭로정도도 작업자마다 각각 다를 것으로 생각된다. 우리나라와 제조공정이 비슷한 일본의 경우 소성부가 설치되어 있는 작업장의 공기 중 연 농도는 평균 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 전후이며, 최고 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도라는 보고²⁰⁾도 있으나 우리나라의 경우는

많은 수의 도자기 및 용기생산이 소규모의 가내공업형태로 이루어지고 있기 때문에 이들에 대한 정기적인 작업환경의 측정이나 작업자들의 건강검진이 실행되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 비교적 저 농도의 연에 폭로되고 있을 것으로 추정되나 아직까지 연 폭로에 대한 검사가 한번도 이루어지지 않은 도자기 및 용기제조공장에서 연이 함유된 분진이나 fume에 폭로되어 작업하는 근로자를 대상으로 이들의 혈 중 및 요 중 연 농도를 알아보고 이들 농도와 Hb, Hct, ALAD, 및 FEP 등 생화학적 연 중독 지표와의 관련성을 알아봄으로서 각 지표의 작업상 연 폭로지표로서의 유용성을 평가하고자 하였다.

일반적으로 일반인에 있어서의 체내 연 흡수량은 1일 $100\sim 350\mu\text{g}$ 정도로 추정하고 있으며 주 흡수원은 주로 음식과 식수이지만 $20\mu\text{g}$ 정도는 도시의 오염된 환경으로부터 흡수될 수 있다.²¹⁾ 그러나 연을 취급하는 산업장에서의 연 중독은 주로 연 분진과 fume의 흡수에 의해서 일어난다. 연의 분진이 흡수되면 약 2/3는 식도로 들어가고 나머지 1/3은 기도를 통하여 폐로 들어간다. 흡수된 연은 대부분 신조직에 침착되나 대량 흡수되면 전신의 세포에 그 영향이 나타나 중독증상이 나타나기도 하며, 배설은 주로 대변과 요 중으로 배설된다.

연에 폭로되었을 때 가장 초기에 민감하게 반응하는 소견으로는 조혈기능에 대한 영향을 들 수 있다. 연 취급 사업장에서 발생하는 연 중독의 대부분에 있어 조혈기능장해를 볼 수 있는데 이는 증상이나 증후가 나타나기 전에 초기에 발생되기 때문이다. 연에 의한 조혈기능의 장애로서는 적혈구의 수명을 짧게 하고 혈액소의 합성을 방해하며, δ -ALAD활성치를 감소시킴으로서 결국 혈 중 및 요중 δ -ALA가 증가하여 protoporphyrin IV에서 철의 흡수를 방해한다. 따라서 체내 연이 흡수됨으로서 초래되는 결과는 혈액소량 저하, 적혈구수 감소, δ -ALAD활성치 저하, 혈청 및 요중 δ -ALA 증가, 적혈구내 protoporphyrin 증가, 요 중 coproporphyrin의 증가 등을 들 수 있다. 따라서 혈중 연이 $40\mu\text{g}/100\text{g}$ 이상 올라간 근로자는 확실한 보호조치를 취하여 혈중 연 수준이 정상업무를 수행할 수 있는 안전수준까지 떨어지도록 하여야

한다.²²⁾

본 연구 결과에서도 연 폭로 농도나 연 폭로 지표로서의 여러 검사치가 연 폭로군과 대조군간에 뚜렷한 차이가 있음이 관찰되었는데, 즉 PbB는 대조군에서 $6.36\mu\text{g}/\text{dl}$ 이었으나 폭로군에서는 $22.85\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 폭로군에서 월등히 높았으며, PbU의 경우도 대조군에서 $6.84\mu\text{g}/\text{l}$ 이었으나 폭로군에서는 $45.69\mu\text{g}/\text{l}$ 로 폭로군에서 월등히 높았다. 또한 ALAD 활성치는 대조군에서 41.23U 이었으나 폭로군에서는 26.53U 로 유의하게 감소하였으며, FEP는 대조군에서 $79.91\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$ 이었으나 폭로군에서는 $206.69\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$ 로 유의하게 증가하였다. 이 같은 결과는 위에서 설명된 체내 연 흡수에 따라 초래되는 결과를 잘 반영하고 있음을 보여주고 있다. Gian과 Lorenzo²³⁾도 본 조사와 연구대상은 다르나, 조사대상을 사무직원, 교통순경, 고속도로 톨게이트 근무자 등으로 구분하여 혈 중 연과 ALAD활성치를 측정하였는데 적혈구 중의 ALAD 활성치가 가장 높고($22.3 \pm 4.6\text{U}/\text{ml RBC}$) 혈 중 연 농도가 가장 낮은($24.0 \pm 9.3\mu\text{g}/100\text{ml}$ of blood) 사람은 여자 사무원이라고 하였으며, 다음은 남자 사무원, 교통순경, 고속도로 톨게이트 근무자의 순이라고 보고하여 연 폭로량이 적을수록 ALAD활성치는 증가하고 혈 중 연 농도는 낮아짐을 보여주고 있다.

한편 각 검사치들의 비정상치 비율을 알아보기 위하여 정상치 범위를 Hb는 14~18%, Hct는 42~52g/dl, PbB는 $20\mu\text{g}/\text{dl}$, PbU는 $40\mu\text{g}/\text{l}$, ALAD는 30~80U, FEP는 $160\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$ 로 기준하여 폭로군과 대조군의 비정상치 비율을 검토한 결과 Hb과 Hct에서는 유의한 차이가 없었으나 PbB와 PbU는 대조군에서는 정상치의 비율이 100%이었으나 폭로군에서는 비정상치의 비율이 각각 54.8%, 66.7%이었고, ALAD활성치의 비정상치 비율은 대조군에서 13.6%이던 것이 폭로군에서는 64.3%로 유의하게 높아졌으며, FEP치의 비정상치 비율도 대조군은 100% 정상이었으나 폭로군에서는 비정상치 비율이 59.5%로 나타나 폭로군에서의 여러 검사치들의 비정상치 비율이 높음을 알 수 있었다.

연 폭로군에서의 연령 또는 연 작업 폭로기간에

따른 각 검사치들의 값을 보면 Hb과 Hct치는 연령 및 폭로기간 증가에 따라 유의하게 감소하는 경향이었으나 PbB, PbU 및 FEP 농도는 연령 및 폭로기간 증가에 따라 유의하게 증가하는 경향이 있었다. 그러나 ALAD 농도는 연령군간에 유의한 차이가 없었다. 또한 각 검사치들의 상관성에 있어서도 PbB와 PbU 간의 상관을 보면 $r=0.835$ ($p<0.01$)로 강한 양의 상관을 보여 PbB 농도가 증가함에 따라 PbU 농도도 증가함을 보였고, PbB와 FEP 간의 상관에서는 $r=0.855$ ($p<0.01$)로 강한 양의 상관을 보여 PbB 농도가 증가함에 따라 FEP 농도도 증가함을 보여주었으며, PbU와 FEP간의 상관에서도 $r=0.825$ ($p<0.01$)로 강한 양의 상관을 보여 PbU 농도가 증가함에 따라 FEP 농도도 증가함을 보여주었다. 그러나 PbB와 ALAD 간의 상관에서는 $r=-0.240$ ($p<0.05$)로 비교적 약한 음의 상관을 보였고, PbU와 ALAD 간에도 $r=-0.240$ ($p<0.05$)로 비교적 약한 음의 상관을 보였다. 이 같은 결과를 볼 때, 연 폭로지표로서 FEP는 ALAD보다도 체내 연 흡수에 따른 민감도가 높은 것으로 생각된다. Yamada²⁴⁾등도 연 폭로에 대한 FEP 반응의 민감도는 요 중 ALA보다 높고, 또한 FEP의 증가는 Heme합성계의 구체적인 장애를 의미하는 점에서 ALAD보다도 중독학적 의의가 명료하여 새로운 연 폭로지표로서 주목된다고 하였으며, 현 단계에서 FEP는 연 폭로지표로서 가장 우수한 지표라고 주장하였다. 또한 Tomokuni⁵⁾등도 ALAD활성치와 FEP 검사가 장기간 낮은 연 농도에 폭로시 매우 민감한 검사라고 주장하고 있는데, 이들은 연에 폭로된 기왕력이 있는 근로자 65명을 대상으로 한 연구에서 FEP량은 $58 \sim 557\mu\text{g}/100\text{ml} \cdot \text{RBC}$ (평균치 $171\mu\text{g}$)으로 나타났으며, PbB와는 상관계수 $r=0.72$ 로 높은 상관관계를 보였으며, Hb와는 $r=-0.23$ 으로 상관성이 없게 나타났다. ALAD활성치와 PbB 사이에는 $r=0.68$ 로 높은 상관을 보였으나 FEP와 ALAD활성치 사이에는 $r=-0.54$ 로 별로 높은 상관을 볼 수 없다고 하였는데 이 같은 이유는 ALAD활성치에 비해 FEP치의 변역이 넓기 때문인 것으로 추측하였다. 이상과 같이 FEP는 생체내 연 폭로의 좋은 지표로 지적되지만, 연 폭로에 의한 FEP 증가의 생화학적 기전이 명

료하지 않으므로¹⁰⁾ PbB와 FEP간의 양-반응, 양-영향관계의 기전을 명확히 할 필요성이 있을 것으로 보이며, 이를 위해서는 연 작업자의 구체적인 연 폭로상태, 영양상태 및 폭로에 의한 감수성의 차이 등 여러 요인을 고려한 충분한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

저 농도의 연 폭로자로 인정되는 도자기제조업체의 유약에 폭로된 근로자를 대상으로 체내 연 농도 지표로서 PbB와 PbU를 측정하고, 동시에 Hb, Hct, ALAD, 및 FEP 등 생화학적 연 중독 지표를 측정하여, 각 지표들 간의 관련성을 알아보고 각 지표의 작업상 연 폭로지표로서의 유용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 조사대상 연 폭로근로자의 연 폭로수준은 PbB 농도가 평균 $22.85\mu\text{g}/\text{dl}$ (범위; $4.2\sim 44.7\mu\text{g}/\text{dl}$), PbU농도가 평균 $45.69\mu\text{g}/\text{l}$ (범위; $6.7\sim 87.5\mu\text{g}/\text{l}$)이었다.
2. PbB와 PbU, FEP간에는 각각 $r=0.835$, $r=0.855$ 로 높은 선형상관을 나타내었으나, PbB 와 ALAD 간에는 $r=-0.240$ 으로 낮은 상관성을 보였다.
3. PbU와 FEP간에도 $r=0.825$ 로 높은 선형상관을 나타내었으나 PbU와 ALAD간에는 $r=-0.352$ 로 낮은 상관성을 보였다.

위의 결과를 볼 때 생화학적 연 중독지표로서 FEP는 체내 연 농도지표인 PbB 및 PbU와 높은 민감도를 나타내고 있어 유용성이 높은 지표로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 이세훈, 김정만, 이병국, 이광목 : 요량과 요중 연, ALA 및 coproporphyrin과의 관계, 한국의 산업의학. 19(1), 1-6, 1980.

2. Flink EB : Heavy metal poisoning in textbook of medicine, 13th ed, Ed by Cecil R, Saunder, Philadelphia., 63-66, 1972.
3. de Bruin A : Certain biological effects of lead upon the animal organism, Arch Environ Health. 23, 249-264, 1971.
4. Baloh RW : Laboratory diagnosis of increased lead absorption, Arch Environ Health. 28, 198-208, 1974.
5. Tomokuni K, Osaka I, Ogata M : Erythrocyte protoporphyrin test for occupational lead exposure, Arch Environ Health. 30, 588-590, 1975.
6. Kehoe RA : Standards for the prevention of occupational lead poisoning, Arch Environ Health. 23, 245-248, 1971.
7. Haeger-Aronsen B, Abdulla M, Fristedt BI : Effect of lead on δ -aminolevulinic acid dehydrase activities in red blood cells, Arch Environ Health. 23, 245-248, 1971.
8. Sakurai H, Sugita M, Tsuchiya K : Biological response and subjective symptoms in low level lead exposure, Arch Environ Health. 29, 157-163, 1974.
9. Alessio L, Bertazzi PA, Monelli O, Toffoletto F : Free erythrocyte protoporphyrin as an indicator of the biological effect of lead in adult males; III. Behavior of free erythrocyte protoporphyrin in workers with past lead exposure, Int Arch Occup Environ Health. 38, 77-86, 1976.
10. Labbe RF : History and background of protoporphyrin testing, Clin Chem. 23, 256-259, 1977
11. 佐野晴洋 : ポルフィリン代謝の最近の知識と鉛中毒, 第51回日本産業衛生學會講演集. 26-30, 1978.
12. 박석건, 김광종 : 연 폭로수준에 의한 공기중 연 농도와 혈액 중 연 농도간의 상관성, 대한 산업의학회지. 3(1), 98-103, 1991.
13. 박동욱, 백남원, 최병순, 김태균, 이광용, 오세

- 민, 안규동 : 직업적으로 납에 노출된 근로자들의 혈액중 납과 ZPP농도와의 관계, 한국산업위생학회지. 6(1), 88-96, 1996.
14. 강필규, 김용배, 안익수, 이규중, 한구석, 안규동, 이병국 : 우리나라 축전지제조업근로자의 연폭로에 관한 연구, 대한산업의학회지. 10(4), 438-449, 1998.
 15. 박종안, 최주섭, 이종화, 이석기 : 일부 남자 정상인의 혈액 및 요중 연 함량, 한국산업위생학회지. 8(2), 224-230, 1998.
 16. 김진호, 안규동, 이성수, 황규윤, 김용배, 이병국 : 연 노출 근로자들의 혈장 δ -ALAD량과 연 노출지표들과의 관련성, 한국산업위생학회지. 10(2), 165-172, 2000.
 17. 최성우 : 2차 연계련 노동자들에서 골 중 연량과 혈 중 연량과의 관련성, 순천향대학교 석사학위논문. 2000.
 18. 牛尾洪一, 坂井 公, 柳原 進, 渡辺秀子 : ALAD의性状と加温效果を用いる鉛暴露の評価, 産業醫學. 17, 475-482, 1975.
 19. Piomelli S : A micromethod for free erythrocyte porphyrin; the FEP test, J Lab Clin med. 81, 932-940, 1978.
 20. 山田裕一, 城戸照彦, 尾山光一, 坂元倫子, 能川造二, 小林悦子 : 上繪付作業者の鉛による人體汚染とその健康影響, 北陸公衛誌. 6, 35-46, 1979.
 21. 이태준 : 연중독의 병리와 증상, 한국의 산업의학. 7(3), 5-6, 1968.
 22. OSHA : OSHA criteria for laboratory proficiency in blood lead analysis, Arch Environ Health. 37, 58-60, 1982.
 23. Gian CS, Lorenzo A : Laboratory results of some biological measures in workers exposed to lead, Arch Environ Health. 29, 189-192, 1974.
 24. Yamada Y, Kido T, Okada A, Nogawa K, Kobayashi E : Study on the biological effects of low level lead exposure, Jpn J Ind Health. 23, 260-269, 1981.