한국산업위생학회지 제20권 제3호(2010년 9월)
J Korean Soc Occup Environ Hyg 2010;20(3):156~167

퇴직한 납 근로자들의 체내 납 부담 노출지표가 신경행동학적 기능에 미치는 영향

김남수 · 김진호 · 이병국†

순천향대학교 환경산업의학연구소

The effect of body lead burden on neurobehavioral function in retired lead workers

Nam-Soo Kim · Jin-Ho Kim · Byung-Kook Lee†

Institute of Environmental and Occupational Medicine, Soonchunhyang University

To evaluate the effect of lead biomarkers including bone lead on neurobehavioral test in retired lead workers, 131 retired lead workers without any occupational exposure to organic solvent, mercury and arsenic were agreed to participate this study. For the control subjects 56 non-occupationally lead exposed subjects were recruited from same area of retired lead workers with consideration of demographic characteristics.

The mean levels of blood and bone lead of retired lead workers were significantly higher than control group and there were significant correlation among other lead biomarkers. Compared with controls without occupational lead exposure, lead exposured subjects had worse performance on 10 tests out of 12 neurobehavioral tests, but only two tests(Purdue pegboard nondominant and both hand) showed statistical significance of differences.

In multiple linear regression analysis of neurobehavioral tests with lead biomarkers and demographic and lifestyle variables, age was associated negatively with 11 neurobehavioral tests, whereas log-transformed ZPP was associated with Purdue pegboard(both hand) and Santa Ana manual dexterity(non-dominant hand). On the other hand, tibia lead was associated Pursuit aiming test(correct) and Purdue pegboard(dominant hand) and calcaneal lead was associated with Purdue pegboard(dominant hand).

This study confirmed that among all relevant variables age was most significantly associated with the poor performance of neurobehavioral tests. The blood lead did not have any significant association with neurobehavioral tests, but tibia and calcaneal bone lead and blood ZPP showed significant association with a few tests even after more than mean 9 years from their retirements.

Key Words : blood lead, tibia lead, calcaneous lead, neurobehavioral test, retired lead workers

접수일 : 2010년 5월 15일, 채택일 : 2010년 7월 5일
† 교신저자 : 이병국(충남 아산시 신창면 읍내리 646번지 학예관 H207,
Tel : 041-530-1760, Fax : 041-530-1778, E-mail : bklee@sch.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

납의 신경계의 영향은 독성뇌증과 말초신경병변이 알려졌으나(Waldron, 1973), 납 노출 수준이 감소하면서 납의 신경독성은 좀 더 미묘한 문제인 신경행동학적인 분야 즉, 정서 및 정신운동기능과 같은 연구들이 시도되기 시작하였다(Baker, 1982). 신경행동학적 검사는 1950년대 핀란드에서 개발된 이래 여러 나라에서 연구가 이루어 졌으나 일관성을 보이지 않는 경우가 많았고, 이의 연구 설계에 표준화되지 못한 검사방법이 적용되어 검사결과의 비교에 어려움이 있었다. 이를 해결하기 위한 노력의 일환으로 세계보건기구에서는 검사방법이나 항목간의 일관성이 있는 자료를 얻기 위해 7가지 검사항목을 택하여 신경행동학적 검사기구(Neurobehavioral Core Test Battery, NCTB)에 대한 지침서를 마련하였다(Anger 등, 2000). 이후 표준화된 신경행동학적 검사는 독성물질에 의한 말초 및 중추신경병변 이상을 확인하는 주요한 검사항목으로 이용되고 있다. 특히 소아의 납 노출에 의한 영향을 평가하는데 많은 기여를 하였고, 납 근로자들의 장기적 납 노출로 인한 신경행동학적 기능의 저하를 평가하는데 필요한 검사로 알려져 있다.

직업적 납 노출과 관련하여 신경행동학적 검사 기구를 이용한 많은 연구가 보고되고 있으며, 납 노출관련 지표들과 신경행동학적 검사 수행능력 간에 유의한 관련성이 확인되고 있다(Chia 등, 2007; Winker 등, 2006; Schwartz 등, 2005; Chung 등, 2005). 우리나라에서도 납 근로자들을 대상으로 한 신경행동학적 연구는 최근 10여년 사이에 이루어졌으며, 납 취급사업장에 근무하는 납 근로자들의 신경행동학적 기능이 저하된 것을 일부 검사에서 확인할 수 있었다(이성수 등, 2005). 그러나 대부분의 연구는 현직근로자를 대상으로 하거나 환경 납 노출로 인한 신경행동학적 수행능력 간에 관련성에 대한 평가로 납 취급근로자들의 신경행동학적 기능이 직업적 납 노출이 중단된 시점인 퇴직 후 일정기간이 지난경우에도 계속남아 있는지 혹은 기능이 회복되는지에 대한 연구는 국외에서도 소수의 연구밖에는 없다(Winker 등. 2005). 특히 체내에 흡수된 납은 약 95%정도가 뼛속에 존재하며, 우리나라와 같이 비교적 납 노출이 많았던 납 근로자들의 경우 일정기간이 지나도 체내의 납 부담이 높은 상태를 유지한다. 이는 퇴직 후 체내 납 노출원이 뼛속 납이 되기 때문이며, 일반인들과 비교하여 신경행동학적 기능의 저하가 계속 나타나는지에 대한 연구는 아직 이루어 지지 않았다.

본 연구에서는 납을 취급했던 근로자중 직력이 1년 이상이고 퇴직한지 10년 이상 경과된 납 근로자들을 대상으로 납 노출관련 생물학적지표로서 뼛속납량과 혈중납량 및 혈중 ZPP와 WHO의 표준화된 신경행동학적 검사방법으로 신경행동학적 기능을 측정하였다. 또한 기존의 납 노출지표가 퇴직이후의 중추신경기능에 미치는 영향을 보기 위해 신경행동학적 검사 수행 능력과 이들 지표들과의 관련성을 규명하고자 하였다.

Ⅱ. 연구대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2007년 8월부터 2008년 3월 사이에 이루어졌다. 납 사업장에서 납을 취급 했던 근로자중 직력이 1년 이상이고 퇴직한지 10년 이하 36명 10년 이상 경과된 퇴직근로자 95명 총 131명과 납 퇴직근로자와 성, 연령 및 주거환경이 비슷한 납을 취급하지 않은 대조군 56명 총 187명을 선정대상으로 하였다. 대조군 참여자들은 신경질환의 과거력이 없으며 납 이외의 중추신경계에 영향을 줄 수 있는 유기용제, 수은, 비소 등에 노출되고 있지 않고 본 연구에 참여하기로 동의한 경우만 연구대상자로 선정하였다.

2. 연구 방법

1) 설문조사

표준화된 설문지를 이용하여 연구 대상자들의 특성(성, 연령, 과거력, 교육정도, 직력, 작업부서, 비만도, 음주 및 흡연요인 등)과 납에 의한 임상증상을 조사하였으며, 임상증상 등에 대한 설문은 의사에 의한 문진과 동시에 진행하였다.

2) 혈액의 검사

혈액은 각 대상자들로부터 약 4㎖의 정맥혈을 채취하여 납흡수 및 중독 지표로 혈중납량(PbB), 혈중 zinc protophorphyrin(ZPP), 혈색소, 혈구용적치를 조사였다.

(1) 혈중 납량의 분석

혈중 납의 정량분석은 전혈 0.5㎖를 2.5㎖의 1% Triton X-100으로 희석하여 polarized zeeman 바탕보정장치가 장착되어 있는 비불꽃 원자흡수분광광도계(automic absorption spectrophotometer, Z-8100, Hitachi, Japan))를 사용하였으며, 자동시료 주입장치(autosampler, SSC-200, Hitachi, Japan)가 부착된 기기를 사용하였다(Fernandez, 1975).

(2) 혈중 ZPP의 분석

혈중 ZPP는 채혈 즉시 근로자들의 정맥혈 한 방울을 cover glass에 떨어뜨린 후 이를 휴대용 hematoflurometer (model:

Aviv-206)를 이용하여 형광 스펙트럼 423nm에서 측정하였다(Blumberg 등, 1977).

(3) 혈색소 및 혈구용적치의 분석

자동혈구계산기(coulter counter A.T series, USA)을 이용하여 혈액의 혈색소(hemoglobin), 혈구용적치(hematocrit)를 측정하는데 사용하였다.

3) XRF를 이용한 뼛속 납 침착량 조사(Todd 등, 1993)

뼛속 납 침착량 조사는 형광 엑스레이를 이용한 K-shell XRF방법을 이용하였다. 경골 밀 종골의 중앙에 방사성 동위원소인 Cd109에서 나오는 감마선을 30분간 조사하면 골 조직 내의 납 원자가 여기상태(exciting)가 되었다가 원래의 상태로 돌아올 때 형광 방사선이 발생되는데 이것을 컴퓨터로 부호화하여 분석하였다. 표준시료(phantom)을 이용하여 표준 검량선을 작성하기 때문에 골중 납량이 음의 값을 나타내는 경우가 발생할 수 있으나 분석오차를 줄이기 위하여 이를 그대로 통계분석에 이용하였다.

4) 신경행동학적 검사

세계보건기구의 신경행동학적 검사기구(Neurobehavioral Core Test Battery, NCTB)의 7가지 검사항목 중 번역의 문제가 있는 POMS 항목을 제외한 6가지 항목을 WHO의 표준검사방법(WHO, 1986)에 따라 실시하였으며, Purdue Pegboard 검사를 추가하였다. 신경 행동학적 검사는 소음이 차단되고 외부의 간섭이 없으며 적절한 온도와 조명을 갖춘 검사 장소에서 검사자와 근로자는 책상을 사이에 두고 마주앉은 형태로 검사를 실시하였다. 작업 현장에서 검사를 실시한 경우에는 조용한 회의실을 이용하였고, 장소가 적당하지 않은 경우 칸막이를 이용하여 외부의 자극을 최소화하였다. 수검자의 태도와 행동으로부터 발생되는 여러 요인이 신경 행동학적 검사 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 검사는 이러한 상황적 요인을 잘 통제할 수 있는 훈련된 연구자에 의해 실시되었다. 또한 모든 근로자들에게 동일한 자극이 주어지도록 하기 위해 세계 보건 기구의 검사 시행 지침서에 따라 표준화된 지시문을 사용하여 검사 방법을 설명하였으며 근로자가 이해를 잘 하지 못한 경우에는 추가적인 설명을 하거나 좀 더 쉬운 다른 지시어를 사용하여 설명하였다. 검사는 근로자의 이해를 돕기 위해 설명과 함께 시범을 보인 후 실시하였다.

- 검사항목의 내용은 다음과 같다

(1) Simple reaction time(단순반응시간) : 64회의 시각자극이 무작위 간격으로 발생되는 standard reaction time tester (Software Science, USA)를 이용하여 검사하며 단순반응시간에 대한 평균치와 표준편차를 기록하였다.

(2) Digit span(숫자암기) : 청각에 의한 단기 기억력을 측정하는 방법으로 숫자를 정순과 역순으로 암기하는 정도를 측정하였다.

(3) Santa Ana manual dexterity test : 48개의 네모난 구멍이 뚫린 밑판에 꽂혀 있는 위는 둥글고 아래는 네모난 peg을 하나씩 뽑아서 180도 돌린 후 제자리에 다시 꽂되 오른손은 'ㄹ'자 모양으로 꽂고, 왼손은 반대 방향으로 꽂도록 한다. 글을 쓰는 손(dominant hand)과 반대쪽 손(Non-Dominant Hand)을 각각 번갈아서 30초씩 2회 반복 실시하여 올바르게 돌려놓은 peg의 수를 세어 점수화하였다.

(4) Digit symbol(숫자 기호화 검사) : 1에서 9까지의 숫자가 매겨져 있는 것을 보면서 무작위로 나열된 숫자에 해당되는 기호를 기록하되 90초간 실시하여 올바르게 기입한 것을 기록하였다.

(5) Benton visual retention(시각기억검사) : Benton visual retention test recognition form을 이용하여 그림 kit를 10초간 보여준 후 비슷한 4개의 그림 중에서 앞의 그림과 같은 것을 맞추도록 되어 있으며 10매 중 맞힌 횟수를 기록하였다.

(6) Pursuit aiming(목적추구성) : 작은 원안에 점을 'ㄹ' 자형으로 따라 찍는 것으로 한 번에 60초씩 2회 실시하여 올바르게 한 것과 잘못한 것을 별도로 합산하였다.

(7) Purdue Pegboard 검사 : Purdue pegboard(Model 32020, Lafayette Instrument Company, USA)장비를 이용하였다. Pegboard의 위쪽 컵에 담긴 핀(pin), 칼라(collar), 볼트(washer)를 근로자에게 제한된 시간 동안 각각의 볼트와 핀을 구멍 안에 가능한 많이 꽂도록 한다. 글을 쓰는 손, 반대쪽 손, 양손, 조립의 순서로 3회씩 시행하며, 검사시간은 글을 쓰는 손, 반대쪽 손, 양손은 30초씩, 조립은 1분간 시행하여 제한된 시간동안 구멍에 꽂은 핀, 칼라, 볼트의 개수를 세어 점수화하였다.

5) 자료분석

자료에 대한 통계분석은 SAS version 9.2(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 과거 직업적으로 납에 노출된 군과 대조군간의 납 노출 지표들에 대한 차이를 t-검정하고, 납 노출여부 및 성별에 따라 신경행동학적 검사 결과 간에 차이도 t-검정하였다. 또한 납 노출지표 및 신경행동학적 검사성적 간에 관련성을 보기 위하여 단순상관분석을 시행하였다.

전체 연구 참여자를 대상으로 경골 납량 및 기타 납 노출 지표들과 연령에 따른 신경행동학적 검사들에 영향을 보기 위하여 신경행동학적 검사에 영향을 준다고 알려진 성별, 직업적 납 노출 여부, 음주 및 흡연, 교육수준, 체질량지수를 통제한 후 중회귀분석을 실시하였으며, 과거 직업적 납 노출이

있었던 대상자들만을 대상으로 교란변수를 통제한 후 중회귀분석을 실시하였다.

Ⅲ. 연구 결과

직업적인 납 노출이 없는 대조군과 퇴직 납 근로자들 모두 여성구성비가 높았고 평균 연령은 비슷하였다. 퇴직 납 근로자들에서 흡연자와 음주자의 비율이 높았으며, 교육수준은 양군에서 차이가 없었다. 납 노출 변수인 혈중납량, 혈중ZPP, 경골납량 및 종골납량 모두 퇴직 납 근로자들에서 유의하게 높았으며, 퇴직 납 근로자들의 평균 직업력은 9.26년 이었다(표 1).

퇴직 납 근로자들은 대조군과 비교하여 모든 신경행동학적 검사에서 불량한 검사결과를 나타냈다. 특히 Purdue pegboard의 잘 안 쓰는 손 및 양손검사에서 유의한 차이가 나타났다(표 2). 성별에 따라서는 남성보다 여성의 검사결과가 양호하였으며, Digit symbol(숫자 기호화 검사), Digit span(숫자암기), Benton visual retention(시각기억검사), Pursuit aiming 검사(incorrect), Purdue pegboard 검사(non-dominant hand)에서 유의한 차이가 나타났다. 평균적으로 검사수행능력은 연령증가에 따라 감소하였으며, 남성들에서 수행능력이 떨어졌다(표 3).

납 노출지표와 신경행동학적 검사결과 간에 상관관계는 표 4와 같다. 납 노출 변수 중 logPbB는 Pursuit aiming 검사(incorrect), Purdue pegboard의 잘 쓰는 손 및 잘 안 쓰는 손, 양손검사에서 유의한 결과를 나타냈다. 또한 경골납량은 Purdue pegboard의 assembly, Pursuit aiming 검사(correct 및 incorrect), Purdue pegboard의 잘 쓰는 손 및 잘 안 쓰는 손, 양손검사에서 유의한 결과를 나타냈으며, 종골납량은 Purdue pegboard의 assembly, Purdue pegboard의 잘 쓰는 손 및 잘 안 쓰는 손, 양손검사에서 유의한 결과를 나타냈다.

연구대상자 전체를 대상으로 연령, 성별, 납 노출여부, 음주 및 흡연습관, 체질량지수를 통제한 후 납 노출 변수들인

Table 1. Characteristics of study subjects

Variables	Exposed(N=131)				Non-exposed(N=56)				p-value
	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	
Age, yrs	54.13	6.14	31.00	66.00	52.43	8.20	30.00	65.00	0.12
Job duration, yrs	9.26	6.43	1.00	31.00	-	-	-	-	-
Height, ㎝	156.57	7.63	141.20	175.00	156.06	7.53	138.60	180.70	0.68
Weight, ㎏	61.21	8.99	40.00	91.00	59.14	7.42	48.00	84.00	0.13
Body mass index, ㎍/㎗	24.97	3.29	18.44	33.55	24.32	2.83	18.70	29.82	0.20
Blood lead, ㎍/㎗	10.40	7.29	1.39	38.00	3.51	1.60	1.30	10.92	<0.01
ZPP, ㎍/L	57.85	27.54	24.00	221.00	49.55	10.02	29.00	78.00	0.03
Tibia lead, ㎍/g	27.49	30.91	-5.00	194.00	8.25	9.69	-5.00	51.00	<0.01
Calcaneus lead, ㎍/g	52.46	62.69	-10.00	412.00	20.86	21.39	-10.00	71.00	<0.01
Gender									
Male, n(%)		38(29.01)				8(14.29)			
Female, n(%)		93(70.99)				48(85.71)			
Smoking									
Current, n(%)		31(23.66)				6(10.71)			
Never & Ex, n(%)		100(76.34)				50(89.29)			
Drinking									
Current, n(%)		89(67.94)				26(46.43)			
Never & EX, n(%)		42(32.06)				30(53.57)			
Education									
High school & over, n(%)		19(14.5)				11(19.64)			
Middle school & low, n(%)		112(85.5)				45(80.36)			

Table 2. Neurobehavioral test scores in lead-exposed subjects and controls without occupational lead exposure

Variables	Exposed(N=131)				Non-exposed(N=56)				p-value
	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	
Pychomotor speed									
Simple reaction time, ms	309.4	51.0	214.0	524.0	298.5	43.4	227.0	429.0	0.16
Executive abilities									
Digit symbol substitution, no. of correct	33.05	15.07	1.00	74.00	36.84	17.81	4.00	84.00	0.14
Purdue pegboard; assembly, no. of pieces	7.60	1.42	4.33	10.67	7.98	1.54	4.00	12.00	0.10
Verbal memory and learning									
Digit span test; total, no. of correct	9.22	4.01	1.00	23.00	10.07	3.70	2.00	18.00	0.18
Visual memory									
Benton visual retention, no. of correct	7.21	1.89	2.00	10.00	7.27	1.91	2.00	10.00	0.86
Manual Dexterity									
Persuit aiming test, no. of correct	97.53	21.67	44.50	151.50	103.93	25.43	50.50	187.00	0.08
Persuit aiming test, no. of incorrect	7.05	11.35	0.00	84.00	8.90	11.70	0.00	51.00	0.31
Purdue pegboard; dominant hand, no. of pins	14.38	1.76	9.67	19.00	14.79	1.70	10.67	19.67	0.14
Purdue pegboard; nondominant hand, no. of pins	13.77	1.73	9.00	19.00	14.33	1.76	9.33	17.33	0.05
Purdue pegboard; both hand, no. of pairs	12.04	1.64	8.00	17.67	12.60	1.55	8.00	15.33	0.03
Santa ana manual dexterity test; dominant hand, no. of pegs	37.26	6.40	20.00	52.00	37.43	6.50	18.00	51.00	0.87
Santa ana manual dexterity test; nondominant hand, no. of pegs	34.57	6.12	16.00	52.00	35.63	6.53	13.00	45.00	0.29

logPbB, logZPP, 경골납량 및 종골납량에 따른 각각의 신경행동학적 검사에 미치는 영향을 비교한 바에 의하면 logZPP는 Santa ana manual dexterity 검사(non-dominant hand), Persuit aiming 검사(correct)는 경골납량의 변수에 의해 수행능력 저하가 나타났으며, Purdue pegboard 검사(dominant hand)는 종골납량의 변수에 의해 수행능력 저하가 나타났다(표 5).

퇴직근로자만을 대상으로 연령 등 교란변수를 통제한 후 납 노출 변수들인 logPbB, logZPP, 경골납량 및 종골납량에 따른 각각의 신경행동학적 검사에 미치는 영향을 비교한 바에 의하면 logZPP는 신경행동학적 검사결과 3종(Persuit aiming 검사(correct), Purdue pegboard 검사(both hand), Santa ana manual dexterity 검사(non-dominant hand))에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 경골납량은 2종(Persuit aiming 검사(correct)와 Purdue pegboard 검사(dominant)), 종골납량은 Purdue pegboard 검사(dominant)에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다(표 6).

Table 3. Neurobehavioral test scores in lead-exposed subjects and controls without occupational lead exposure by gender

Variables	Male(N=46)				Female(N=141)				p-value
	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	
Pychomotor speed									
Simple reaction time, ms	3290.2	48.5	214.0	457.0	311.3	48.2	224.0	524.0	0.01
Executive abilities									
Digit symbol substitution, no. of correct	42.61	17.00	8.00	82.00	31.44	14.69	1.00	84.00	<0.01
Purdue pegboard; assembly, no. of pieces	7.54	1.77	4.33	12.00	7.77	1.35	4.00	11.67	0.35
Verbal memory and learning									
Digit span test; total, no. of correct	11.48	4.54	1.00	23.00	8.82	3.48	2.00	21.00	<0.01
Visual memory									
Benton visual retention, no. of correct	8.04	1.69	2.00	10.00	6.96	1.89	2.00	10.00	<0.01
Manual Dexterity									
Persuit aiming test, no. of correct	102.48	28.83	50.00	187.00	98.47	20.73	44.50	167.00	0.31
Persuit aiming test, no. of incorrect	3.37	5.34	0.00	27.50	9.02	12.56	0.00	84.00	<0.01
Purdue pegboard; dominant hand, no. of pins	14.19	2.23	9.67	18.67	14.60	1.56	10.33	19.67	0.17
Purdue pegboard; nondominant hand, no. of pins	13.30	2.07	9.00	18.00	14.14	1.60	10.00	19.00	<0.01
Purdue pegboard; both hand, no. of pairs	11.86	1.82	8.33	15.67	12.32	1.55	8.00	17.67	0.10
Santa ana manual dexterity test; dominant hand, no. of pegs	37.47	7.79	21.00	52.00	37.26	5.94	18.00	48.00	0.85
Santa ana manual dexterity test; nondominant hand, no. of pegs	35.80	6.22	22.00	52.00	34.59	6.25	13.00	47.00	0.26

Ⅳ. 고 찰

2000년을 전후하여 국내의 납 사업장은 사업장별 환경이나 공정개선, 정부의 엄격한 규제 등으로 인하여 환경의 질이 많이 변화된 것으로 나타났다(최재욱 등, 2010; 최승현 등, 2007). 이러한 변화는 과거 고농도의 직업적 납 노출로 인한 중추신경계의 급성증상에 대한 관심에서 최근에는 저농도의 만성 노출이나 직업적 납 노출이 중지된 이후 중추신경계 영향에 대한 관심도 증대되고 있는 것과 관련이 있다.

본 연구에서는 과거 직업적 납 노출이 있었던 대상자들과 대조군을 대상으로 직업적 납 노출이 중지된 이후에도 대조군과 비교하여 중추신경계 영향이 있는지를 납 노출지표에 대한 측정과 신경행동학적 검사를 통해 확인하고자 하였다.

Hanninen 등(1976)은 신경독성 증상을 파악하기 위한 신경행동학적 검사방법이 비교적 손쉽고 현장에서 바로 적용할 수 있다는 장점이 있고 민감도가 높아서 선별검사에 매우 유

Table 4. Correlation matrix of lead exposure indices, neurobehavioral test scores

	logpbb	logzpp	Tibia	Calcaneus	SRT	DSC	PPA	DST	BVR	PATC	PATI	PPD	PPN	PPB	SATD
logzpp	0.107														
Tibia	0.521**	0.063													
Calcaneus	0.583**	0.176*	0.699**												
SRT	0.080	0.158*	0.025	0.057											
DSC	-0.041	-0.058	-0.118	0.001	-0.380**										
PPA	-0.151	-0.032	-0.235**	-0.201**	-0.352**	0.598**									
DST	0.009	-0.103	-0.055	0.046	-0.265**	0.645**	0.352**								
BVR	0.091	-0.093	-0.031	0.055	-0.286**	0.597**	0.385**	0.389**							
PATC	-0.046	-0.099	-0.218**	-0.085	-0.369**	0.653**	0.550**	0.392**	0.411**						
PATI	-0.158*	-0.099	-0.153*	-0.141	0.002	-0.100	0.049	-0.101	-0.037	0.023					
PPD	-0.159*	-0.009	-0.282**	-0.265**	-0.320**	0.418**	0.708**	0.220**	0.251**	0.495**	0.107				
PPN	-0.178*	-0.014	-0.225**	-0.197**	-0.213**	0.362**	0.632**	0.192**	0.262**	0.391**	0.067	0.683**			
PPB	-0.171*	-0.065	-0.215**	-0.186*	-0.200**	0.401**	0.657**	0.257**	0.262**	0.453**	0.082	0.717**	0.853**		
SATD	-0.030	-0.040	-0.125	-0.060	-0.337**	0.456**	0.590**	0.182*	0.297**	0.553**	0.049	0.565**	0.435**	0.485**	
SATN	-0.079	-0.141	-0.095	-0.077	-0.358**	0.484**	0.600**	0.216**	0.383**	0.554**	0.077	0.530**	0.517**	0.539**	0.669**

SRT: Simple reaction time, DSC: Digit symbol substitution, PPA: Purdue pegboard; assembly, DST: Digit span test; total, BVR: Benton visual retention, PATC: Persuit aiming test; correct, PATI: Persuit aiming test; incorrect, PPD: Purdue pegboard; dominant hand, PPN: Purdue pegboard; nondominant hand, PPB: Purdue pegboard; both hand, SSTD: Santa ana manual dexterity test; dominant hand, SSTN: Santa ana manual dexterity test; nondominant hand, **; $p < 0.01$, *; $p < 0.05$

Table 5. Multiple regression modeling of neurobehavioral test scores with lead exposure indices and age after controlling bmi, gender, education level, lead exposure and smoking and drinking status in 187 study subjects.

Variables	β coefficient	SE β	p-Value	R-sq
Digital symbol substitution(no. of correct)				
Age(yrs)	-1.280	0.149	<0.01	0.39
Digit span test(total)				
Age(yrs)	-0.159	0.042	<0.01	0.18
Benon visual retention				
Age(yrs)	-0.091	0.020	<0.01	0.18
Pursuit aiming test(no. of correct)				
Age(yrs)	-1.284	0.249	<0.01	0.21
Tibia lead(μg/g)	-0.130	0.063	0.04	
Purdue pegboard(dominant hand)				
Age(yrs)	-0.126	0.018	<0.01	0.30
Tibia lead(μg/g)	-0.008	0.004	0.06	
Purdue pegboard(dominant hand)				
Age(yrs)	-0.128	0.018	<0.01	0.30
Calcaneus lead(μg/g)	-0.005	0.002	0.02	
Purdue pegboard(non-dominant hand)				
Age(yrs)	-0.118	0.018	<0.01	0.31
Purdue pegboard(both hand)				
Age(yrs)	-0.114	0.017	<0.01	0.28
Purdue pegboard(assembly)				
Age(yrs)	-0.117	0.014	<0.01	0.35
Santa ana manual dexterity test(dominant hand)				
Age(yrs)	-0.437	0.068	<0.01	0.20
Santa ana manual dexterity test(non-dominant hand)				
Age(yrs)	-0.437	0.065	<0.01	0.20
LogZPP	-2.966	1.314	0.02	

용하게 이용할 수 있다고 하였다(Bleeker 등, 1987). Chung (2003)등은 문화적인 차이가 신경행동학적 검사의 수행능력에 많은 영향을 준다고 보고하였으나 Johnson 등(1987)은 신경행동학적 검사가 중추신경계의 장애에 대한 조기 증상을 찾는데 매우 민감한 방법으로 문화적인 배경 등에도 영향을 거의 받지 않으며 시간적, 비용적 장점이 있다고 주장한바 있다. 본 연구에서는 세계보건기구(WHO)에서 채택한 신경행동학적 검사기구(Neurobehavioral Core Test Battery, NCTB)에 대한 지침서를 준용하였으며, 감정상태를 파악하기 위한 POMS검사는 번역상의 문제가 있어 제외하였고, Purdue Pegboard검사를 추가로 실시하였다.

몇몇 선행연구들에서 직업적으로 납에 노출된 근로자들의 혈중납량은 신경행동학적 검사의 수행능력감소와 관련이 있음이 보고되었다(Winker 등, 2006; Seeber 등, 2002; Bleecker 등, 1997; Balbus-Komfeld 등, 1995). Chuang 등(2005) 혈중납량이 30μg/dℓ 수준에서 신경행동학적 검사의 수행능력에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고하였고, Seeber 등(2002)은 메타분석에서 혈중납량이 37-52μg/dℓ 수준에서 신경행동학적 검사 성적(Santa Ana, Gooved Pegboard, Eye-hand Coordination)과 관련이 있다고 하였다. 이성수 등(2005)은 특히 Psychomotor speed를 나타내는 Simple reaction time 검사와 Executive abilities를 나타내는 검사항목들, Visual memory를 나

Table 6. Multiple regression modeling of neurobehavioral test scores with lead exposure indices and age after controlling bmi, gender, education level, lag time and smoking and drinking status in 131 retired lead worker.

Variables	β coefficient	SE β	p-Value	R-sq
Persuit aiming test(correct)				
Age(yrs)	-1.138	0.299	<0.01	0.20
LogZPP	-13.021	5.189	0.01	
Pursuit aiming test(correct)				
Age(yrs)	-0.992	0.308	<0.01	0.19
Tibia lead(ßð/g)	-0.138	0.063	0.03	
Purdue pegboard(dominant hand)				
Age(yrs)	-0.120	0.023	<0.01	0.30
Tibia lead(ug/g)	-0.009	0.004	0.05	
Purdue pegboard(dominant hand)				
Age(yrs)	-0.122	0.023	<0.01	0.29
Calcaneous lead(ug/g)	-0.006	0.002	0.02	
Purdue pegboard(both hand)				
Age(yrs)	-0.101	0.022	<0.01	0.2
LogZPP	-0.672	0.386	0.08	
Santa ana manual dexterity test(non-dominant hand)				
Age(yrs)	-0.407	0.083	<0.01	0.21
LogZPP	-3.900	1.455	<0.01	

타내는 Benton visual retention 검사, Manual dexterity를 나타내는 검사에서는 Purdue pegboard(both hand)에서 수행능력감소가 유의하게 나타났다고 보고한바 있다. 반면에 Krieg와 Butler 등(2009)은 혈중납량이 신경행동학적 검사 성적과 관련성이 없다고 보고하였으며, Krieg 등(2005)은 혈중납량이 25$\mu g/d\ell$ 이하수준에서 신경행동학적 검사성적에 영향을 줄 만한 증거는 없다고 보고하였다.

한편 혈중납은 반감기가 2개월 정도이어서 최근 납 노출에 의한 체내 납 노출정도를 잘 반영하는 반면 퇴직 등으로 인하여 직업적 납 노출이 없는 경우에 체내에 납 부담을 평가하는데 뼛속납량의 측정이 필요하다. 경골납량의 경우 반감기가 10년 이상으로 비교적 안정된 활성화되지 않은 상태로 존재하기 때문에 과거의 납 노출 정도를 나타내는 지표로서 의미가 있다. 본 연구에서는 과거 직업적 납 노출이 있었던 근로자들을 대상으로 뼛속납량으로 경골납량과 국내에서는 처음으로 종골납량을 측정 평가하였으며, 퇴직 등으로 인하여 직업적 납 노출이 없는 경우 체내 납 부담지표로서 뼛속납량이 퇴직이후 납 근로자들의 신경행동학적 검사의 수행능력감소와 관련이 있는지를 확인한바 Manual dexterity의 검사항목들(Persuit aiming 검사(correct)와 Purdue pegboard 검사(dominant hand))에서 유의한 관련이 있었다. Schwartz 등(2001)은 경골과 신경행동학적 검사사이의 관련성보다 슬개골납량과 신경행동학적 수행능력의 관련성이 높은 것으로 보고하였으나 경골납량은 Manual dexterity의 검사항목들에서 유의한 관련이 있는 것으로 보고하여 본 연구와 일치하였다.

반면에 Hanninen 등(1998) 및 Stokes 등(1998)의 일부 선행연구에서는 뼛속 납량과 신경행동학적 검사 성적과 관련성을 확인하지 못하였다고 보고하였다. Dorsey 등(2006)과 Schwartz 등(2001), Payton 등(1998)은 뼛속 납량 보다는 혈중납량이 신경행동학적 검사 성적과 더 유의한 관련성이 있다고 보고하였고, Bleeker 등(1997)도 경골납량보다는 다른 납 노출 지표들이 신경행동학적 검사 성적들과 더 강하고 일관성 있는 연관성을 나타내었다고 하였으나, Stewart 등(1999)은 경골납량이 과거 유기납 취급자들의 신경행동학적 검사 수치의 감소를 알아내는데 유의한 예측변수라고 하였다. 다만 이러한 선행연구결과들이 서로 일치하지 않는 것은 일부 연구의 경우 표본수가 100명 내외로 적고, 대상자의 연령이

나 교육수준, 대조군에 차이가 있다. 또한 혈중납량 등 납 노출지표의 노출수준이 다르고, 조사된 신경행동학적 방법의 다양성 등에 일부 기인한 것으로 보인다.

이성수 등(2005)은 652명의 납 근로자들과 102명의 대조군을 대상으로 혈중납량과 경골납량을 포함한 납 노출지표들과 신경행동학적 검사 수행능력과의 관련성을 비교한바 연령 등 교란변수를 통제한 후 14개의 수행검사항목 중 7개가 유의한 관련이 나타났고, 직력을 함께 고려한 경우 유관검사항목은 8개로 증가하였으며, 슬개골납량이 신경행동학적 검사들과 더 관련이 높은 것으로 보고하였다. 반면에 본 조사에서는 연령 등의 교란변수를 통제한 후 12개의 신경행동학적 검사항목 중 2개가 유의한 관련이 있었으며, 현직근로자들을 대상으로 한 선행연구와는 유의한 항목의 수에서 다소 차이가 있었다.

Schwartz 등(2001)은 신경행동학적 검사 수행능력이 혈중납량과 가장 관련이 있는 것으로 보고하였고, 이성수 등(2005)은 혈중납량과 슬개골납량의 관련성이 비슷한 수준으로 신경행동학적 검사의 수행능력은 비교적 최근 혹은 지난 2-3년의 납 노출에 의한 영향이 큰 것으로 보고한 바 있다. 본 연구에서는 혈중납량은 모든 신경행동학적 검사의 수행능력과 연관이 없는 것으로 나타난 반면 경골납량은 Pursuit aiming 검사(correct), Purdue pegboard 검사(dominant hand)는 경골 및 종골납량 모두에서 유의한 관련이 있는 것으로 나타나 경골 및 종골납량이 퇴직근로자들에 대한 일부 신경행동학적 검사의 수행능력 평가에 의미가 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 혈중납량과 신경행동학적 검사 수행능력 간의 유의한 관련성이 나타나지 않은 반면 혈중 ZPP는 3종의 검사에서 유의한 관계가 나타났다. 혈중납량의 반감기가 2개월 정도로서 직업적 납 노출이 중단된 후에는 혈중납량이 지속적으로 감소한다. 혈중납량은 현재의 납 노출의 정도와 과거의 납 노출로 인한 뼛속납의 용출로 인한 혈중 납으로 인한 누적 납 노출의 수준을 어느 정도 나타내지만 체내의 누적된 총 납량(total lead body burden)을 나타내는 지표로는 제한이 있어(Hu 들, 1998) 유의한 관련성을 나타내지 못한 것으로 판단된다. 한편 혈중 ZPP는 3개의 검사항목과 유의한 관련성이 나타났다. 혈중 ZPP는 납 노출이나 철 결핍성 빈혈 등으로 인하여 증가된다. 혈중 ZPP는 납 노출 후 1-2개월 정도의 시간간격을 가지고 증가하며, 혈중납량이 체내 납 노출 지표인 반면, 혈중 ZPP는 체내의 중독의 지표로서, 현재의 조혈기능의 이상 정도를 나타내는 것으로 신경행동학적 검사 수행능력과 보다 밀접한 관련이 있음이 확인되었다.

또한 모든 변수 중 연령이 신경행동학적 검사 수행능력과 관련된 가장 유의한 변수인 것으로 확인되었는데 이는 이미 많은 선행연구에서 확인된바 있다(Bleeker 등, 1987; Letz, 1991; 정종학 등, 1994; 이세훈 등 1995).

한편 납 노출이 없는 정상인과 퇴직한 납 근로자들의 신경행동학적 검사 수행능력을 비교한바 퇴직한 납 근로자들은 대조군보다 12개 신경행동학적 검사항목 중 11개 검사항목에서 불량한 검사결과를 나타냈다. 잠재적인 교란변수인 연령, 성별, 납 노출여부, 음주 및 흡연습관, 체질량지수를 통제한 후 양군을 비교한바 2개 항목(Purdue pegboard 검사(nondominant hand, both hand))은 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 이로 미루어 퇴직한지 9년 이상이 경과된 납 근로자들에서도 일부 납 노출지표에 의한 중추신경계의 영향을 확인할 수 있었다.

Ⅴ. 결 론

본 연구는 납을 취급했던 근로자중 직력이 1년 이상이고 퇴직한지 10년 이상 경과된 퇴직 근로자들을 대상으로 과거 직업적 납 노출로 인한 뼛속의 납 축적정도 등 납 노출변수가 신경행동학적 검사 수행능력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 퇴직한 납 근로자 131명과 납 노출이 없고 신경질환의 과거력이 없으며 납 이외의 중추신경계에 영향을 줄 수 있는 유기용제, 수은, 비소 등에 노출되고 있지 않고 본 연구에 참여하기로 동의한 대조군 56명, 총 187명을 연구대상으로 하였다. 조사 결과는 다음과 같다.

1. 직업적으로 고농도의 납에 장기간 노출되었던 근로자들이 퇴직한지 10년 이후 혈중납량 및 뼛속납(경골납량 및 종골납량)의 수준은 감소하였으며, 퇴직한 납 근로자들의 뼛속납 축적량과 기존의 납 흡수 및 중독 지표들(혈중납량, 혈중 ZPP)과의 관련성이 있었다.

2. 직업적 납 노출이 없는 대조군보다 퇴직한 납 노출 근로자들에서 12개 검사항목 중 11개 검사항목의 수행능력이 불량하였으며, 이중 2개 항목(Purdue pegboard 검사(non-dominant hand, both hand))은 통계적으로 유의하였다.

3. 성별, 연령, 납 노출여부, 음주 및 흡연습관, 체질량지수를 통제한 후 납 노출 변수들이 신경행동학적 검사의 수행능력에 미치는 영향을 보면, 연령은 Persuit aiming 검사(incorrect)를 제외한 11개 신경행동학적 검사항목에서 수행능력의 저하와 관련이 있었으며, logZPP는 Santa ana manual dexterity 검사(non-dominant hand), Persuit aiming 검사(correct)는 경골납량의 변수에 의해 수행능력 저하가 나타났으며, Purdue pegboard 검사(dominant hand)는 종골납량의 변수에 의해 수행능력 저하가 나타났다. 퇴직근로자만을 대상으로 연령 등 교란변수를 통제한 후 납 노출 변수들인 logPbB, logZPP, 경골납

량 및 종골납량에 따른 각각의 신경행동학적 검사에 미치는 영향을 비교한 바에 의하면 logZPP는 신경행동학적 검사결과 3종(Persuit aiming 검사(correct), Purdue pegboard 검사(both hand), Santa ana manual dexterity 검사(non-dominant hand))에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 경골납량은 2종(Persuit aiming 검사(correct)와 Purdue pegboard 검사(dominant)), 종골납량은 Purdue pegboard 검사(dominant)에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다

이상의 결과에서 모든 변수 중 연령이 신경행동학적 검사 수행능력과 관련된 가장 유의한 변수인 것으로 확인되었으며, 체내 납 축적의 지표로서 혈중납량은 신경행동학적 검사 수행능력 변수들과 관련성이 없는 것으로 나타났으나 퇴직한지 9년 이상이 경과된 이후에도 뼛속(경골 및 종골)납량과 혈중 ZPP는 신경행동학적 검사 수행능력 변수들과 일부 검사항목에서 유의한 관련성을 보였다.

REFERENCES

이성수, 김남수, 김화성, 안규동, 이병국. 연작업자들에서 골중연량이 신경행동학적 검사성적에 미치는 영향. 한국산업위생학회지 2005;15(2):144-152

이세훈, 김형아, 이원철, 장성실, 이경재, 박정일. 신경독성물질에 폭로되지 않은 건강한 남자의 신경행동학적 건사수행능력. 대한산업의학회지 1995;7(1):139-151

정종학, 김창윤, 사공준. 컴퓨터를 이용한 유기용제폭로근로자들의 신경행동학적 장애검사. 대한산업의학회지 1994;6:219-241

최승현, 김남수, 김진호, 조광성, 함정오, 안규동, 이병국. 축전지 사업장에서 공기중 납 농도의 변화에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2007; 17(4): 261-271

최재욱, 김남수, 조광성, 함정오, 이병국. 일부 제련 및 리사지 사업장에서 공기중 납 노출농도의 변화. 한국산업위생학회지 2010; 20(1): 10-18

Anger WK, Liang YX, Nell V, Kang SK, Cole D, Bazylewicz-Walczak B, Rohlman DS, Sizemore OJ. Lessons learned-15 years of the WHO-NCTB: A review. Neurotoxicology 21(5): 837-846

Baker EL. Neurologic and behavioral disorders. In Levy BS, Wegman DH eds., Occupational health; Recognition and prevention of work-related disease. Boston, Little Brown Co., 1982

Balbus-Kornfeld JM, Stewart W, Bolla KI, Schwartz BS. Cumulative exposure to inorganic lead and neurobehaviroal test performance in adults; An epidemiological review. Occup Environ Med 1995;52:2-12

Bandeen-Roche K, Glass TA, Bolla KI, Todd AC, Schwartz BS. Cumulative lead dose and cognitive function in older adults. Epidemiology 2009;20(6):831-839

Bleecker ML, Bolla-Wilson K, Agnew J, Meyers DA. Simple visual reaction time; Sex and age differences. Developmental Neuropsychology 1987;3:165-172

Bleecker ML, Lindgren KN, Ford DP. Differential contribution of current and cumulative indices of lead dose to neuropsychological performance by age. Neurology 1997;48:639-645

Blumberg WE, Eisinger J, Lamola AA, Zuckermann DM. Zinc protoporphyrin level in blood determination by a portable hematofluorometer; A screening device for lead poisoning. J Lab Clin Med 1977; 89: 712-723

Chia SE, Huijun Z, Theng TM, Yap E. Possibilities of newer ALAD polymorphism influencing human susceptibility to effects of inorganic lead on the neurobehavioral functions. Neurotoxicology 2007; 28:312-317

Chuang HY, Chao KY, Tsai SY, Reversible neurobehavioral performance with reductions in blood lead levels-A prospective study on lead workers. Neurotoxicology and Teratology 2005;27:497-504

Chung JH, Sakong J, Kang PS, Kim CY, Lee KS, Jeon MJ, Sung NJ, Ahn SH, Won KC. Cross-cultural comparison of neurobehavioral performance in Asian workers. Neurotoxicology 2005;24:533-540

Dorsey CD, Lee BK, Bolla KI, Weaver VM, Lee SS, Lee GS, Todd AC, Shi W, Schwartz BS. Comparison of patella lead with blood lead and tibia lead and their associations with neurobehavioral test scores. JOEM 2006;48(5)489-496

Fernandez FJ. Micromethod for lead determination in whole blood by atomic absorption with use of graphite furnace. Clin Chem 1975; 21: 555-561

Hanninen H, Aition A, Kovala T. Occupational exposure to lead and neuropsychological dydfunction. Occup Environ Med 1998;55:202-209

Hanninen H, Eskelinen L, Husman K, Nurminen M. Behavioral effects of long term exposure to mixture of organic solvents. Scand J Work Envrion Health 1976;240-255

Hu H, Rabinowiz, Smith D. Bone lead as a biological marker in epidemiologic studies of chronic toxicity: conceptual

paradigms. Envrion Health Perspect. 1998; 106(1): 1-8

Johnson BL, Baker EL, Gilioli R, Seppoloinen AM, Batawi M, Honninen H, Xintaras C. Prevention of neurotoxic illness in working populations. John Wiley & Sons, New York, 1987

Letz R. Use of computerized test batteries for quantifying neurobehavioral outcomes. Environ Health Perspect 1991; 90: 195-198

Krieg Jr EF, Butler MA. Blood lead, serum homocysteine, and neurobehavioral test performance in the third National Health and Nutrition Examination Survey. Neurotoxicology, 2009;30(2):281-289

Krieg EF, Chrislip DW, Crespo CJ, Stephen Brightwell W, Ehrenberg RL, Otto DA. The relationship between blood lead levels and neurobehavioral test performance in NHANES Ⅲ and related occupational studies. Public Health Reports 2005;120:240-251

Payton M, Riggs KM, Spiro A. Relations of bone and blood lead to cognitive function: the VA Normative Aging Study. Neurotoxicol Teratol 1998; 20: 19-27

Schwartz BS, Lee BK, Bandeen-Roche K, Stewart W, Bolla K, Links J, Weaver VM, Todd AC. Occupational lead exposure and longitudinal decline in neurobehavioral test scores. Epidemiology 2005;16(1):106-113

Schwartz BS, Lee BK, Lee GS, Stewart WF, Lee SS, et al. Associations of blood lead, dimercaptosuccinic acid-chelatable lead, and tibia lead with neurobehavioral test scores in South Korean lead workers. Am J Epidemiol 2001; 153(5): 453-64

Seeber A, Meyer-Baron M, Schaper M. A summary of two meta-analyses on neurobehavioural effects due to occupational lead exposure. Arch Toxicol 2002;76(3):137-145

Stewart WF, Schwartz BS, Simon D. Neurobehavioral function and tibial aand chelatable lead levels in 504 former organolead workers neurology 1999; 52:1610-1617

Stokes L, Letz R, Gerr F. Neurotoxicity in young adults 20 years after childhood exposure to lead: the Bunker Hill experience. Occup Environ Med 1998;55:507-516

Todd AC, Landrigan PJ, Bloch P. Workshop on the X-ray fluorescence of lead in bone: conclusions, recommendations and summary. Neurotoxicology 1993 ;14(1):145-54

Waldron HA. Lead poisoning in the ancient world. Med Hist 1973; 17: 391-399

Winker R, Ponocny-Seliger E, Rudiger W. Lead exposure levels and duration fo exposure absence predict neurobehaviral performance. Int Arch Occup Environ Health 2006;79:123-127

Winker R, Barth A, Ponocny-Seliger E, Pilger A, Osterode W, Rudiger HW. No cognitive deficits in men formerly exposed to lead. Wien Klin Wochenschr 2005;117(21-22):755-760

WHO. Field evaluation of WHO neurobehavioral core test. Geneva, 1986