

자동차공장 용접공의 망간폭로와 신경행동기능의 관련성

영남대학교 의과대학 예방의학교실, 영남대학교 의과대학 부속병원 산업의학과¹⁾
고려대학교 의과대학 예방의학교실 및 환경의학연구소²⁾
한국산업안전공단 산업안전보건연구원³⁾

사공준 · 정종학 · 성낙정¹⁾ · 이종정¹⁾ · 박종태²⁾ · 김대성³⁾

— Abstract —

Assessment of Neurobehavioral Performance among Welders Exposed to Manganese

Joon Sakong, Jong-Hak Chung, Nak-Jung Sung¹⁾,
Joong-Jung Lee¹⁾, Jong-Tae Park²⁾, Dae-Seong Kim³⁾

Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yeungnam University,
Department of Occupational and Environmental Medicine, Yeungnam University Hospital¹⁾,
Department of Preventive Medicine, College of Medicine,
Institute for Occupational & Environmental Medicine, Korea University²⁾
Korea Occupation Safety and Health Agency³⁾

Objectives : A cross sectional study was carried out in the welders exposed to manganese and control group. The aim of this study was to assess the adverse effects of manganese on central nervous system of welders.

Methods : The study group consisted of 49 welders and the reference group, 49 workers matched with welders for age and educational level in automobile manufacturing company. Concentration of manganese in welding fume, in blood, and cumulative exposure index(CEI) were determined for each subject. For each group, computerized neurobehavioral test including Simple Reaction Time, Digit Symbol, Digit Span, and Finger Tapping Speed of Swedish Performance Evaluation System were applied.

Results : Exposure level of manganese in welders were very low(mean CEI: 0.069). Welders exposed to manganese had slower response speed, slower motor steadiness, and shorter memory span than control group. But these differences were not statistically significant. The performance of Finger Tapping Speed tended to lower as environmental and biological exposure index got higher. Other neurobehavioral tests were found to have a little association with the exposure indices.

Conclusions : There was no significant difference of neurobehavioral performance between welders and control group. This study indicates that Finger Tapping Speed measuring motor steadiness might be a one of useful tests for early detection of adverse effects of welding on central nervous system.

Key Words : Welder, Neurobehavioral, Manganese

<접수일 : 2000년 5월 6일, 채택일 : 2000년 8월 8일>

교신저자 : 사 공 준(Tel : 053-620-4614) E-mail : jsakong@med.yu.ac.kr

* 이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.

서 론

용접작업 중 폭로되는 철, 크롬, 니켈, 망간, 알루미늄 등의 중금속이 인체에 미치는 영향에 관한 연구는 비교적 일찍이 이루어져 왔으나 망간폭로에 의한 용접작업자의 중추신경계장애는 1960대 후반부터 보고되기 시작하였다(Whitelock, 1966). 이후 Hine과 Pasi(1975)는 망간중독에 의한 신경학적 변화를 보고하고 Nelson 등(1993)은 망간에 폭로되어 중추신경계장애를 보이는 환자의 자기공명영상에서 관찰되는 특징적인 고신호강도를 보고하기도 하였다. Mergler 등(1994)은 74명의 망간 폭로 근로자를 대상으로 한 연구에서 망간의 폭로수준이 허용기준보다 매우 낮음에도(기하평균 0.89 mg/m³) 폭로군에서 자각증상의 호소가 많고, 후각기능, 인지기능 및 운동능력이 대조군에 비해 유의하게 감소하였다고 보고하였다. 즉 컴퓨터 신경행동검사의 하나인 Swedish Performance Evaluation System (SPES)에서의 운동속도와 단기기억기능의 저하와 혈중 및 뇨중 망간농도 사이에 유의한 용량반응관계를 보이며 이러한 관련성은 연령, 음주량 및 언어능력(verbal ability)을 보정한 뒤에도 유지되었다고 보고하였다.

우리나라의 경우 1991년 망간광석을 분쇄하여 용접봉의 제조원료를 생산하는 작업장에서 4명의 근로자가 망간중독으로 밝혀진 이후 박정일 등(1991)에 의한 망간중독 역학조사, 철망간과 규소망간 생산업체의 남자 생산직 근로자를 대상으로 한 연구(김지용 등, 1994) 및 망간분쇄과정의 여자 생산직 근로자를 대상으로 연구(임현술 등, 1995)가 있어왔으나 1996년 포항지역에서 10년간 용접작업에 종사해온 30대 남자근로자의 긴장성-간대성 발작(홍영섭 등, 1996)과 망간중독에 관한 논란이 제기되면서부터 망간폭로에 의한 중추신경계장애에 의학적 관심이 야기되어 이후 용접공의 혈중 및 요중 망간농도에 관한 연구(최호춘 등, 1998)와 뇌자기공명영상의 고신호강도의 임상적 의의에 관한 연구(정해관, 1997; 홍영섭 등, 1999) 및 망간에 폭로된 용접작업자들의 신경행동검사 수행능력에 관한 연구(김규상 등, 1999; 진영우 등, 1999) 등의 연구가 이루어져 왔다.

현재까지 국내에서 수행된 연구들은 망간의 신경

계에 미치는 영향을 설문지를 이용한 자각증상의 조사, 전문의에 의한 신경학적 검사 및 면접식 신경행동검사를 이용하여 평가하여 왔으나 외국의 다수의 연구들에서(Iregren, 1990; Wennberg, 1991; Iregren, 1994; Mergler, 1994) 매우 높은 민감도를 보인다고 보고된 컴퓨터 신경행동검사를 이용한 연구는 시도되지 않았다. 이 연구는 저농도의 망간에 만성적으로 폭로되는 용접작업자와 대조군의 신경행동기능을 컴퓨터 신경행동검사를 이용하여 비교함으로써 저농도의 망간이 용접작업자의 중추신경계에 미치는 영향과 작업환경의 폭로수준 및 폭로의 생물학적 지표와 신경행동기능의 관련성을 평가하고, 망간폭로를 가장 민감하게 반영하는 신경행동검사를 선별하기 위하여 수행되었다.

대상 및 방법

1. 연구대상

경기도내의 모 자동차공장 생산직에 근무하는 근로자중 하루 한시간 이상 용접작업을 하는 근로자로서 망간에 관한 임시건강진단을 위해 의료기관을 내원한 근로자 54명을 폭로군으로 선정하였다. 대조군은 폭로군과 유사한 제조업에 종사하는 근로자중 용접작업을 전혀 하지 않으며 동시에 신경행동기능에 영향을 미칠 수 있는 각종 유기용제 및 중금속에 폭로되지 않는 것으로 추정되는 자동차 공장의 조립작업자들 중 용접작업자와 연령과 교육수준을 짝짓기 하여 선택하였다.

대상자들 중 컴퓨터 신경행동검사에 영향을 미칠 수 있는 신체적 장애를 가진 근로자는 과거에 수행된 유사한 연구(정중학 등, 1998)와 동일한 기준으로 제외되었으며 신경행동검사에 임하는 동기가 매우 낮은 것으로 평가된 용접근로자 5명을 제외한 49명의 용접공과 49명의 대조군을 대상으로 하였다.

2. 연구내용

1) 인구학적 특성 및 직업력에 관한 조사

두 군의 연령, 교육수준, 음주 및 흡연력을 조사하고 현재 직장에서의 근무기간 및 유사한 작업환경에서의 총 근무기간, 작업부서, 작업내용, 작업시간을 설문지를 이용하여 조사하였다.

용접공에서는 용접작업경력, 용접작업의 빈도 및

작업량, 용접작업의 종류, 용접하는 장소의 환기상태, 호흡기 보호구의 착용여부, 용접작업의 취급하는 유해물질의 종류를 면접을 통하여 조사하였다.

2) 망간의 혈중농도, 환경농도 및 누적폭로지수

(1) 혈중 망간농도

전혈(whole blood)에 망간 표준용액 일정량과 1 % Triton X-100용액, 1 % Ammonium phosphate 용액을 첨가하여 분석하는 표준물질 첨가법(standard addition method)으로 표준시료를 제조하고, 이를 비불꽃 원자흡광광도계(atomic absorption spectrophotometer - graphite furnace)를 사용하여 혈중 망간을 정량분석하였다. 망간의 체내 반감기는 매우 짧아 작업량에 따라 혈중 망간농도의 변이가 클 것으로 예상되어 1달 간격으로 두 번의 전혈을 채취하고 동일한 방법으로 혈중 망간농도를 측정 후 두 측정치의 평균을 분석에 이용하였다.

(2) 망간흡 농도

용접공에게 개인시료포집기(personal air sampler)와 0.8 μ m cellulose ester membrane filter 를 연결한 후 작업자 호흡기 영역에 고정시키고 포

집유량 1.6-1.8 l/min으로 흡인시켜 6시간 이상 시료를 포집한 후 데시케이터에서 24시간 이상 방치한 후 시료에 10 % 질산용액 10 ml를 첨가하고 microwave oven으로 전처리하여 용출시킨 후 불꽃 원자흡광광도계(flame atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여 망간 흡을 정량분석하였다.

(3) 누적폭로지수

용접작업자의 망간에 대한 개인별 누적폭로지수는 망간흡 농도에 용접공으로서의 작업 년수를 곱하여 산출하였다.

3) 신경행동검사

컴퓨터 신경행동검사용 프로그램으로는 SPES를 이용하였다. 검사는 격리된 조용한 공간에서 개인용 컴퓨터를 이용하여 간호사에 의해 실시되었으며 검사자는 검사요령과 측정과 관련된 편견과 오차에 대한 교육을 연구자로부터 받고 충분한 실기를 거쳐 검사에 숙달된 후 검사에 임하도록 하였다. 검사자는 미리 준비된 설명서를 통하여 모든 피검자에게 동일한 방법으로 각 검사항목에 대한 검사과정과 자극의 형태 및 키보드를 이용하여 자극에 반응하는

Table 1. General characteristics of welders and control group

| Characteristics | Welders | Control | Significance |
|-----------------------------|----------------|----------------|--------------|
| Age(yrs.) | | | |
| ~29 | 4(8.2 %) | 4(8.2 %) | NS |
| 30~34 | 16(32.7 %) | 16(32.7 %) | |
| 35~39 | 15(30.6 %) | 15(30.6 %) | |
| 40~44 | 8(16.3 %) | 8(16.3 %) | |
| 45~ | 6(12.2 %) | 6(12.2 %) | |
| Mean \pm SD | 36.9 \pm 5.7 | 36.8 \pm 5.7 | |
| Educational level | | | |
| Middle school | 11(22.4 %) | 12(24.5 %) | NS |
| High school | 38(77.6 %) | 36(73.5 %) | |
| Junior college | | 1(2.0 %) | |
| Working duration (yrs.) | 11.6 \pm 5.0 | 8.8 \pm 4.5 | <0.01 |
| Alcohol drinking(days/week) | | | |
| None | 13(26.5 %) | 15(30.6 %) | NS |
| 1~2 | 31(63.3 %) | 25(51.0 %) | |
| 3~4 | 5(10.2 %) | 9(18.4 %) | |
| Smoking | | | |
| None | 11(22.4 %) | 16(32.7 %) | NS |
| < 1pack/day | 9(18.4 %) | 15(30.6 %) | |
| \geq 1pack/day | 29(59.2 %) | 18(36.7 %) | |

Table 2. Work3 related characteristics of welders

| Characteristics | No. | % |
|----------------------------------|-----|------------|
| Duration of welding(yrs.) | | |
| ~ 4 | 9 | 18.4 |
| 5~10 | 14 | 28.6 |
| 11~14 | 15 | 30.6 |
| 15~19 | 7 | 14.3 |
| 20~ | 4 | 8.2 |
| Mean ± SD | | 10.1 ± 6.1 |
| Welding hours in a days(hrs.) | | |
| ~1 | 19 | 38.8 |
| 2~3 | 18 | 36.7 |
| 4~5 | 7 | 14.3 |
| 6~ | 5 | 10.1 |
| Mean ± SD | | 2.6 ± 2.0 |
| Main type of welding | | |
| Shielded metal | | |
| arc welding | 31 | 63.3 |
| CO ₂ arc welding | 15 | 30.6 |
| O ₂ acetylene welding | 3 | 6.1 |
| Exposure to other chemicals | | |
| None | 14 | 28.6 |
| Organic solvents | 20 | 40.8 |
| Lead | 9 | 18.4 |
| Other | 6 | 12.2 |
| Respiratory protective mask | | |
| None | 25 | 51.0 |
| Yes | 24 | 49.0 |

방법을 교육하고 피검자가 혼자서 충분히 이해하지 못하는 경우에 한하여 검사자가 추가적인 설명을 하도록 함으로써 검사자와 피검자 사이의 대화를 규격화, 최소화하였다.

검사는 단순반응시간(simple reaction time), 부호숫자 짝짓기(symbol digit), 숫자 외우기(digit span)와 손가락 두드리기(finger tapping speed)의 순서로 모든 대상자에게 동일한 순서로 시행하였다. 컴퓨터 신경행동검사의 점수화 과정은 다른 연구들(사공준과 정중학, 1994; 정중학 등, 1994)에서 이미 기술된 바 있다.

결 과

용접공과 대조군의 평균 연령은 용접공이 36.9세, 대조군이 36.8세였으며 30대가 31명으로 각 군에서

63.3 %를 차지하였다. 대부분의 근로자가 고등학교 졸업의 학력을 가졌다. 근로자의 평균 근무기간은 용접공이 11.6년, 대조군이 8.8년으로 용접공의 근무기간이 유의하게 길었다(p<0.01). 1주일에 1-2회 음주를 한다고 대답한 근로자가 용접공과 대조군에서 각각 63.3 %, 51.0 %로 가장 많았으며 용접공의 경우 하루 1갑 이상 흡연하는 근로자가 59.2 % 인데 비해 대조군에서는 36.7 %로 대조군의 흡연량이 많았으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 1).

용접공의 용접경력이 5-10년이 28.6 %, 11-14년이 30.6 %으로 가장 많았으며 20년 이상의 경력을 가진 근로자는 4명(8.2 %)이었다. 하루 평균 용접 작업시간은 2.6시간이었으며 1시간 이하가 38.8 %, 2-3시간이 36.7 %로 가장 많았다. 용접작업의 종류로는 피복아크용접이 63.3 %로 가장 많았으며 이산

Table 3. Concentration of manganese in welding fume, blood and cumulative exposure index* of welders

| Characteristics | No. | % | Mean & Dispersion |
|---|-----|------|--------------------|
| Mn in Fume (mg/m ³) | | | |
| ≤ 0.01 | 32 | 69.6 | GM 0.0086 |
| 0.02~0.1 | 8 | 17.4 | SD 1.95 |
| 0.2~0.5 | 6 | 13.0 | Range 0.0002-0.464 |
| Mn in blood (μg/dl) | | | |
| ≤ 0.99 | 8 | 16.3 | AM 1.518 |
| 1.00~1.49 | 18 | 36.8 | SD 0.475 |
| 1.50~1.99 | 14 | 28.5 | Range 0.81-2.48 |
| 2.00~9 18.4 | | | |
| CEI * (mg/m ³ × exposure yrs.) | | | |
| ≤ 0.04 | 23 | 50.0 | GM 0.069 |
| 0.05~0.09 | 8 | 17.4 | GSD 2.26 |
| 0.10~0.99 | 8 | 17.4 | Range 0.00-11.61 |
| 1.0~ | 7 | 15.2 | |

GM, Geometric mean.

AM, Arithmetic mean.

* Cumulative exposure index(CEI) = the concentration of manganese in welding fume(mg/m³) × the duration of welding(years).

Table 4. Results of neurobehavioral performance test of welders and control group

| Test | Welders | Control |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Simple reaction time | | |
| Reaction time(msec) | 291±60 | 282±30 |
| SD(msec) * | 54.7±20.5 | 45.4±23.6 |
| Symbol digit | | |
| Reaction time(msec) | 3,077±382 | 3,011±508 |
| SD(msec) * | 893±274 | 1,094±501 |
| No. of error | 1.51±1.73 | 1.34±1.70 |
| Digit span | | |
| Length of memory span | 7.84±1.4 | 7.74±1.69 |
| Finger tapping speed | | |
| (No. of taps/10sec) | | |
| Dominant hand | 65.4±7.4 | 66.1±7.0 |
| Nondominant hand | 58.8±7.0 | 59.0±8.0 |

* p<0.05.

화탄소용접이 30.6 %, 산소아세틸렌용접이 6.1 %의 순서였다. 용접작업 외 다른 작업에 의해 폭로되는 물질로서는 유기용제가 20명(40.8 %)으로 가장 많았으며 연에 폭로되는 근로자가 9명(18.4 %)이었다. 호흡기 개인보호구를 착용하는 근로자가 24명(49.0 %)이었다(Table 2).

망간흡의 농도는 0.01 mg/m³ 이하에 폭로되는 근로자가 32명(69.6 %)으로 가장 많았고 0.2 mg/m³ 이상에 폭로되는 근로자는 6명(13.0 %)이었다. 망간농도의 기하평균은 0.0086 mg/m³였다. 혈중 망간농도는 1.00 - 1.99 μg/dl가 32명(65.3 %)로 가장 많았으며 산술평균은 1.52 μg/dl였다. 누적폭로지수

를 산출한 결과 23명(50.0 %)의 용접공이 0.04 이하의 누적폭로지수를 가졌으며 1.0 이상에는 7명(15.2 %)의 근로자가 해당하였다. 누적폭로지수의 기하평균은 0.069였다(Table 3).

용접공과 대조군의 컴퓨터 신경행동검사결과는 표 4와 같다. 단순반응시간의 평균반응시간의 경우 용접공과 대조군이 각각 291 msec, 282 msec으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 반응시간의 표준편차는 각각 54.7 msec, 45.4 msec으로 용접공에서 유의하게 크게 나타났다. 부호숫자 짝짓기의 평균반응시간은 용접공과 대조군에서 각각 3,077 msec, 3,011 msec, 잘못 짝지은 개수는 각각 1.51개, 1.34개로써 두 군에서 유의한 차이가 없었다. 반응시간의 표준편차는 각각 893 msec, 1,094 msec으로 대조군에서 유의하게 컸다. 숫자 외우기의 경우 용접공과 대조군이 각각 7.84개, 7.74개로 용접공이 다소 길

었으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 손가락 두드리기에서 우수의 경우 용접공과 대조군이 각각 65.4회, 66.1회, 열수의 경우 58.8회와 59.0회로서 양손 모두에서 대조군의 두드린 횟수가 많았으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 4).

용접공의 작업관련변수의 특성에 따른 신경행동기능의 변화를 관찰한 결과 손가락 두드리기의 두드린 횟수가 용접기간이 길수록, 하루에 수행하는 용접작업시간이 길수록 적어지는 경향을 보였다. 피복아크 용접을 주로 하는 용접공의 신경행동기능이 다른 용접작업을 하는 군에 비해, 호흡기 개인보호구를 착용하지 않는 군이 착용하는 군에 비해 검사항목 모두에서 검사성적이 낮았으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 5).

작업환경과 관련된 변수의 특성에 따른 신경행동기능의 변화를 관찰한 결과 망간흡의 농도가 0.01

Table 5. Results of neurobehavioral performance test by work related characteristics of welders

| Work related characteristics | Simple RT | | Symbol digit | | Digit span | Finger TS | |
|----------------------------------|-----------|------|--------------|-------|------------|-----------|---------|
| | mean RT | SD | mean RT | SD | | D-hand | Nd-hand |
| Duration of welding(yrs.) | | | | | | | |
| ~4 | 289 | 49.1 | 2,911 | 925 | 8.04 | 69.6 | 61.8 |
| 5~10 | 305 | 52.0 | 3,066 | 901 | 7.64 | 67.8 | 60.9 |
| 11~14 | 296 | 57.4 | 3,202 | 938 | 7.91 | 64.8 | 58.6 |
| 15~19 | 275 | 52.6 | 3,228 | 908 | 7.79 | 62.4 | 56.6 |
| 20~ | 274 | 71.5 | 3,207 | 993 | 7.75 | 55.5 | 52.3 |
| Welding hours in a days(hrs.) | | | | | | | |
| ~1 | 294 | 53.0 | 3,010 | 934 | 8.27 | 68.8 | 62.3 |
| 2~3 | 286 | 55.7 | 3,183 | 968 | 7.63 | 63.5 | 57.1 |
| 4~5 | 290 | 56.3 | 3,296 | 835 | 7.07 | 63.0 | 57.3 |
| 6~ | 311 | 58.2 | 2,906 | 870 | 7.90 | 63.0 | 55.4 |
| Main type of welding | | | | | | | |
| Shielded metal arc welding | 295 | 55.0 | 3,173 | 936 | 7.78 | 65.1 | 58.4 |
| CO ₂ arc welding | 290 | 57.0 | 2,880 | 815 | 7.97 | 67.3 | 60.9 |
| O ₂ acetylene welding | 258 | 40.0 | 2,966 | 1,070 | 8.17 | 66.7 | 61.3 |
| Exposure to other chemicals | | | | | | | |
| None | 306 | 57.8 | 3,124 | 1,018 | 8.29 | 67.4 | 60.7 |
| Organic solvents | 294 | 54.3 | 3,171 | 879 | 7.43 | 66.5 | 60.2 |
| Lead | 260 | 50.4 | 2,973 | 949 | 7.72 | 63.3 | 57.0 |
| Other | 291 | 51.2 | 3,028 | 754 | 8.00 | 60.7 | 54.3 |
| Respiratory protective mask | | | | | | | |
| None | 288 | 49.1 | 3,061 | 1,033 | 7.75 | 65.3 | 58.6 |
| Yes | 283 | 53.8 | 3,025 | 902 | 7.90 | 67.1 | 60.1 |

RT, Reaction time; TS, Tapping speed; D-hand, Dominant hand; Nd-hand, Nondominant hand.

Table 6. Results of neurobehavioral performance test by exposure level and blood level of manganese

| Work related characteristics | Simple RT | | Symbol digit | | Digit span | Finger TS | |
|---|-----------|------|--------------|-------|------------|-----------|---------|
| | mean RT | SD | mean RT | SD | | D-hand | Nd-hand |
| Mn in Fume(mg/m ³) | | | | | | | |
| <0.01 | 286 | 52.0 | 3,006 | 868 | 8.03 | 66.6 | 60.6 |
| 0.02~0.1 | 321 | 61.0 | 3,395 | 1,028 | 7.40 | 61.8 | 55.4 |
| 0.2~0.5 | 281 | 51.2 | 3,139 | 907 | 7.50 | 67.8 | 59.5 |
| Mn in Blood(μg/dl) | | | | | | | |
| <0.99 | 269 | 51.9 | 2,997 | 985 | 8.72 | 69.9 | 64.0 |
| 1.00~1.49 | 297 | 55.3 | 3,153 | 892 | 7.55 | 66.1 | 59.3 |
| 1.50~1.99 | 303 | 60.7 | 3,156 | 991 | 7.37 | 64.1 | 58.7 |
| 2.00~ | 291 | 46.2 | 3,033 | 859 | 8.35 | 64.3 | 56.5 |
| CEI * (mg/m ³ × exposure yrs.) | | | | | | | |
| <0.04 | 294 | 50.7 | 2,945 | 842 | 8.04 | 67.9 | 61.8 |
| 0.05~0.09 | 275 | 54.0 | 3,404 | 1,180 | 7.93 | 62.9 | 58.0 |
| 0.10~0.99 | 326 | 62.0 | 3,267 | 958 | 7.39 | 63.6 | 56.7 |
| 1.0~ | 272 | 50.1 | 3,172 | 879 | 7.64 | 65.7 | 58.3 |

* Cumulative exposure index(CEI) = the concentration of manganese in welding fume(mg/m³) × the duration of welding(: Tanaka와 Lieben, 1969years).

RT, Reaction time; TS, Tapping speed; D-hand, Dominant hand; Nd-hand, Nondominant hand.

mg/m³ 이하인 군의 신경행동검사 성적이 이상의 군에 비해 부호숫자 짝짓기, 숫자외우기 및 손가락 두드리기에서 다소 높았다. 혈중 망간농도에서는 0.99 μg/dl 이하의 군이 1.00 μg/dl 이상군에 비해, 누적 폭로지수에서는 0.04 이하의 군이 0.05 이상의 군에 비해 신경행동검사 성적이 높았다(Table 6).

고 찰

국내에서 용접공들의 신경행동기능을 검사한 연구는 비교적 최근에 이루어 졌으며(진영우 등, 1999; 김규상 등, 1999), 특히 컴퓨터 신경행동검사를 이용한 연구는 아직 국내에서 수행된 바가 없다. 따라서 본 연구에 이용된 컴퓨터 신경행동검사 결과를 국내의 다른 연구와 양적으로 비교하는 것은 다소 어려울 것으로 생각되나 대조군과 용접공의 비교를 통하여 가장 민감하게 영향을 받는 신경행동기능의 평가와 폭로수준 및 생물학적 지표의 수준에 따른 신경행동기능의 변화양상의 비교는 가능할 것으로 생각된다.

신경행동검사는 광범위한 중추신경계 장애를 평가하는 도구로서 산업장의 신경독성물질이 인체에 미

치는 영향을 평가하는 목적으로 비교적 널리 이용되어 왔으나 특정 화학물질에 특이적으로 노출되는 경우를 제외한 경우, 특히 다양한 신경독성물질에 동시에 폭로되는 근로자에서 신경행동기능의 장애를 유발하는 요인을 특이적으로 구분하기는 어렵다. 용접공의 경우 모재의 종류에 따라 다양한 종류의 중금속 흡과, 플럭스 등에서 발생하는 유해가스 등 신경계에 독성을 가질 수 있는 다양한 인자에 폭로되므로 여러 연구들에서 나타난 신경행동기능의 저하가 반드시 망간의 영향으로 단정할 수는 없다.

다른 직종에 비해 일용직 근로자의 비율이 높은 우리나라 용접작업자의 현실을 감안할 때 여러 사업장 근로자를 대상으로 폭로군을 선정하는 경우 업무 형태와 작업기간 및 작업의 종류의 변이가 심할 뿐만 아니라 정확한 작업환경에 관한 자료를 얻는데 어려움이 있다. 이 연구에서는 보다 정확한 작업력과 환경측정자료를 얻기 위하여 근로자의 이직이 상대적으로 적은 대기업 자동차공장 근로자들을 대상으로 하여 폭로수준에 관한 자료의 타당성이 비교적 높으며 신경행동검사를 이용하는 연구에서 반드시 보정해야 하는 대표적 외생변수로 알려진(Gamberale, 1985; Iregren과 Letz, 1992:

Letz, 1993; 이세훈 등, 1995) 연령과 교육수준을 짝짓기(group matching)한 대조군을 이용함으로써 용접공과 대조군의 비교성이 높다는 장점을 가진다. 그러나 대상자수가 적음에 따라 중요한 변수의 짝짓기는 용이한 반면 폭로수준에 따른 신경행동기능의 차이를 타당성있게 평가하기가 어려운 단점이 있다.

용접에 의해 발생하는 유해물질의 농도는 작업공간의 특성과 환기상태, 작업량, 용접과 용접봉의 종류, 모재의 종류 등에 따라 다르므로 동일한 용접작업을 하더라도 직종에 따라 용접흡의 농도는 차이가 나며 일반적으로 밀폐된 공간 내에서 작업하는 조선업종과 철제구조물의 제작에 비해 자동차공장의 조립과 부품제조업의 경우 용접흡의 농도가 상대적으로 낮은 것으로 보고되고 있다(신용철, 1997; 최호춘, 1998). 본 연구의 용접공이 폭로되는 용접흡에서의 망간농도는 기하평균이 0.0086 mg/m³으로서 최호춘 등(1998)의 0.017 mg/m³과 다른 업종의 용접공들을 포함한 진영우 등(1999)의 0.14 mg/m³에 비해서 망간흡 농도가 매우 낮았다. 이러한 결과는 다른 조선업과 철 구조물제작 등 다른 작업에 비해 자동차 공장의 용접은 비교적 개방된 넓은 공간에서 이루어지고 작업량의 변이가 심하며 비교적 현대식 건물 내나 옥외에서 작업이 이루어지기 때문으로 추정된다.

이 연구에서 용접공과 대조군의 신경행동기능이 유의한 차이를 보이지 않는 것은 대상자의 폭로수준이 노동부의 망간노출기준이나 ACGIH의 기준보다 매우 낮았고 특히 동일한 신경행동검사도구를 이용한 Iregren(1990)의 연구에서 신경행동기능에 영향을 미치는 농도로 보고된 0.14 mg/m³보다도 낮은 농도에 폭로된 것도 하나의 원인으로 추정된다. 이는 적어도 0.01 mg/m³이하의 환경농도는 용접공의 신경행동기능에 유의한 영향을 미치지 않는다는 것을 의미할 수도 있다. 그러나 폭로군과 대조군의 차이가 통계적으로 유의하지 않더라도 모든 검사에서 대조군에 비해 용접공의 신경행동기능이 낮게 나타난 것은 용접작업 중 폭로되는 증금속흡 등과 기타 유해가스 등 다양한 원인에 의한 것으로 추정되며, 또한 이러한 영향의 크기를 민감하게 반영하는 검사도구로서 신경행동검사가 유용하게 사용될 수 있음을 반영한다. 그러나 이러한 가정을 검증하기 위해서는 향후 유사한 신경행동검사를 이용한 역학적 연구가

다양한 폭로수준을 가지는 용접공들을 대상으로 수행될 필요가 있다.

피복아크용접과 이산화탄소용접 및 산소아세틸렌 용접을 주로 하는 용접공들의 신경행동기능을 비교한 결과 용접종류사이의 유의한 차이를 나타나지 않았다. 그러나 대부분의 용접공들이 단일 용접방식의 작업이 아닌 작업여건에 따른 다양한 종류의 용접작업을 수행하고 있으므로 면접을 통해 조사하더라도 용접방식을 정확히 분류하기 어려운 현실적 어려움이 있으므로 용접작업의 종류에 따라 신경행동기능에 미치는 영향의 차이를 밝히기는 어려웠다. 이론적으로는 용접공이 유기용제 등에 지속적으로 폭로되는 경우 폭로되지 않는 군에 비해 신경행동기능의 저하가 나타날 가능성이 있다. 그러나 화학물질의 폭로여부 역시 용접공들이 자신들이 용접작업이외에 폭로되는 신경계에 독성을 가지는 다른 화학물질의 종류와 양에 대한 정확한 지식이 없어 정확한 결과를 도출하기가 어려웠다.

용접흡을 측정하는 방법 및 측정위치에 있어서 ACGIH에서는 용접헬멧 내부에서 측정하도록 권고하고 있으나 우리나라는 별도로 규정되어 있지는 않다. 우리나라에서는 대부분의 용접공들이 용접면을 한 손에 들고 작업을 하므로 헬멧내부에서 용접흡의 농도를 측정하기는 어려우며 용접공의 호흡영역에서 용접흡의 농도를 측정할 수밖에 없었다. 용접흡이 인체에 흡수되는 양은 방출용 마스크의 착용에 따라 달라질 수 있으므로 이에 착안하여 마스크의 착용여부에 따른 신경행동기능을 비교하였으나 마스크의 착용여부에 따라 신경행동검사 결과는 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 신경행동기능의 변화가 저농도의 망간에 장기적 폭로에 의해 발생한다고 가정한다면 비교적 최근에 착용하기 시작한 마스크의 착용여부가 신경행동기능의 변화를 설명하기는 어려울 것으로 생각된다.

망간폭로근로자의 중추신경계장애를 평가하기 위해 신경행동검사를 이용한 연구에서(Roel 등, 1987; Iregren, 1990; Roel 등, 1992; Mergler 등 1994) 이용된 신경행동검사의 종류가 다른 점을 감안하더라도 망간폭로군의 중추신경계 장애를 평가하는데 어떤 영역의 신경행동기능이 가장 민감한가에 대한 보고는 현재까지 일치되지 않고 있다. 여러 연구들에서 다양한 영역의 신경행동기능의 변화가 보

고되는 것은 연구들에서 사용된 운동능력을 검사하기 위한 도구의 종류가 매우 다양할 뿐만 아니라 같은 도구를 사용하더라도 연구자에 따라 다른 민감도를 보이기 때문으로 생각된다. 따라서 특정 검사도구가 망간에 의한 운동능력장애를 발견하는데 가장 민감하다는 결론을 얻기는 어려우나 여러 연구들에서 운동능력이 가장 영향을 많이 받는 것으로 보고되고 있으며 반응속도와 기억능력의 경우 모든 연구는 아니더라도 대부분의 연구에서 영향을 많이 받는 기능으로 평가되고 있다. 그러나 본 연구에서는 폭로군과 대조군이 유의한 차이를 보이는 신경행동검사 항목은 없었다. 따라서 어떤 종류의 신경행동검사가 망간의 폭로에 의한 중추신경계장애를 민감하게 반영하는가에 대한 추정은 어려우므로 용접공을 폭로와 관련된 지표들로 분류하고 각 군의 신경행동기능의 평가를 시도하였다.

반갑기가 특히 짧은 망간의 경우에 있어 폭로의 생물학적 지표보다 작업관련 특성 중 용접경력과 용접작업량이 신경행동기능의 변화를 설명하기에 타당한 변수가 될 수 있다. 용접경력을 5년 단위로 나누어 신경행동기능을 비교하였을 때 비록 통계적으로 유의하지는 않았으나 5년 미만의 용접공에 비해 5년 이상의 군에서 부호숫자 짝짓기와 숫자 외우기의 기능이 낮고, 손가락 두드리기의 경우 용접경력이 증가할수록 두드린 횟수가 지속적으로 감소하고(용접경력과 손가락 두드리기의 상관계수: 우수 -.536, 열수 -.387(p<0.01)), 용접작업시간에서도 시간이 길수록 두드린 횟수가 감소하는 경향을 보여 단순반응시간 등 인지기능 영역을 측정하는 검사에 비해 손가락 두드리기가 폭로수준에 민감한 것으로 평가되었다. 또한 용접공들이 비교적 고른 분포를 보이는 혈중 망간농도에 따른 분류에서도 1.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상의 군에서 미만의 폭로군에 비해 손가락 두드리기의 횟수가 적은 경향이 나타났으며, 현재의 폭로수준에 근무년수를 반영한 누적폭로지수에서도 0.04 $\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{년}$ 이하의 군에 비해 초과하는 군에서 손가락 두드리기의 횟수가 적은 경향을 보인 반면 단순반응시간, 부호숫자 짝짓기 및 숫자 외우기는 용접기간, 용접시간 등의 작업력과 혈중 망간농도 및 누적폭로지수와 일관성있는 용량반응관계를 보이지 않았다. 이러한 소견은 용접공의 운동기능이 인지기능에 비해 저농도의 망간흡에 민감하게 영향을 받기

때문으로 해석될 수 있으나 정확한 결론을 도출하기 위해서는 보다 많은 수의 대상자의 자료를 다중회귀분석을 통하여 검증해야할 필요성이 있으며 특히 다른 증금속 흡과 기타 유해가스 등의 영향을 제거한 망간흡만의 영향을 평가하기 위한 연구가 필요하다.

이 연구에 이용된 SPES의 손가락 두드리기의 경우 Iregren(1990)의 연구에서는 망간폭로에 민감한 검사로 보고되었으나 Mergler 등(1994)의 연구에서는 유의성이 낮은 검사로 보고되고 있어 현재까지 그 민감도에 관한 견해가 일치하지 않으나 단순운동을 짧은 시간에 반복하게 하는 검사가 망간에 의한 신경계장애를 조기에 발견하는데 효과적이며 이는 망간이 중추신경계장애를 일으키는 경우 운동의 시작기능(initiation of movement)을 저하시킨다는 기존의 이론과 일치한다는 Iregren(1994)의 제안과 본 연구의 소견이 일치됨을 고려한다면 향후 망간의 만성적 폭로에 관한 신경행동기능의 변화를 조기에 발견하고자하는 연구에서 손가락 두드리기 등 단순반복운동검사의 유용성을 과소평가 할 수는 없을 것 같다.

국내에서 망간폭로와 중추신경계 장애의 관련성을 평가하기 위한 도구로서 신경행동검사를 이용한 연구들은 대부분 폭로군과 대조군을 대상으로한 역학적 연구에 그치고 있으며 망간의 영향에 민감한 근로자를 선별하는 도구로서 신경행동검사의 유용성은 아직 충분히 밝혀져 있지 않다. 본 연구 역시 대상자의 수가 충분하지 않아 타당성이 높은 결론을 추론하지 못한 결함을 가지면 중추신경계 장애를 선별하기 위한 신경행동검사를 보다 폭넓게 활용하기 위해서는 검사의 표준화 및 충분한 크기의 정상치에 관한 자료구축 등 해결해야할 문제가 현재까지 많이 남아있다.

요 약

목 적 : 저농도의 망간폭로가 용접작업자의 중추신경계에 미치는 영향과 망간의 폭로수준 및 생물학적 지표와 신경행동기능과의 관련성을 평가하기 위하여 자동차공장에서 하루 한시간 이상의 용접작업을 하는 용접공 49명과 연령과 교육수준을 짝짓기한 대조군 49명을 대상으로 단면조사연구를 수행하였다.

방 법 : 두 군의 인구학적 변수, 작업관련 변수를

조사하고 용접공의 용접 작업경력, 작업량, 용접의 종류, 호흡기 보호구의 착용여부, 취급하는 유해물질의 유무를 면접을 통하여 조사하고 망간흡 농도와 혈중 망간농도를 측정하고 누적폭로지수를 산출하였다. 신경행동검사로써 SPES 중 단순반응시간, 부호 숫자 짝짓기, 숫자 외우기 및 손가락 두드리기를 실시하였다.

결 과 : 단순반응시간과 부호숫자 짝짓기의 평균 반응시간과 숫자 외우기의 외운 숫자의 길이는 두 군에서 유의한 차이가 없었다. 손가락 두드리기에서 양손 모두에서 용접공의 두드린 횟수가 적었으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

손가락 두드리기의 두드린 횟수가 용접기간이 길수록, 하루에 수행하는 용접작업시간이 길수록 적었으며 피복아크용접을 주로 하는 용접공의 신경행동 기능이 다른 용접작업을 하는 군에 비해, 호흡기 개인보호구를 착용하지 않는 군이 착용하는 군에 비해 신경행동기능이 낮았다. 망간흡 농도가 0.02 mg/m³ 이상인 군에 비해 0.01 mg/m³ 이하인 군이, 혈중 망간농도 1.00 µg/dl 이상군에 비해 0.99 µg/dl 이하의 군이, 누적폭로지수 0.05 이상의 군에 비해 0.04 이하의 군에서 신경행동검사 성적이 낮았다.

결 론 : 자동차 공장 용접공은 대조군에 비하여 신경행동기능이 차이가 유의하지는 않았으며, 신경행동검사 항목 중 지속적인 빠른 속도의 운동능력을 요구하는 손가락 두드리기가 용접공의 신경행동기능의 저하를 민감하게 반영하는 것으로 추정된다.

참고문헌

김규상, 김양호, 진영우, 김은아, 양정선 등. 망간 노출 근로자의 정신·신경행동 양상에 영향을 주는 요인. 대한산업의학회지 1999;11(2):213-228.

김지용, 임현술, 정해관, 백남원. 일부 망간취급 근로자의 망간폭로 및 건강장해에 관한 연구. 대한산업의학회지 1994;6(1):98-112.

박정일, 노영만, 구정완, 이승한. 원광분쇄작업장에서의 망간폭로. 대한산업의학회지 1991;3(1):111-118.

사공준, 정중학. 자동차 페인트 도장공에 있어서 컴퓨터를 이용한 신경행동검사 수행기능의 평가. 예방의학회지 1994;27(3):487-504.

신용철. 일부 망간취급 근로자의 망간 노출실태 및 개선대책. 한국산업안전공단 산업보건연 구원 세미나자료센터 97-8-11 1997:17-52.

이세훈, 김형아, 이원철, 장성실, 이경재 등. 신경독성 물질에 폭로되지 않은 건강한 남자의 신경행동학적 검사 수행 능력. 대한산업의학회지 1995;7(1):139-151.

임현술, 김지용, 정해관, 정회경. 망간취급 여성근로자의 망간폭로 및 건강위해에 관한 연구. 예방의학회지 1995;28(2):406-420.

정중학, 김창윤, 사공준. 컴퓨터를 이용한 유기용제 폭로근로자의 신경행동학적 장애 검사. 대한산업의학회지 1994;6(2):219-241.

정중학, 김창윤, 사공준, 전만중, 박홍진. 한국형 신경행동검사 배터리의 개발-면접과 컴퓨터 신경행동검사의 타당성 평가. 예방의학회지 1998;31(4):692-707.

정해관. 직업적 망간폭로에 있어서 자기공명활영의 의의. 한국산업안전공단 산업보건연 구원 세미나자료센터 97-8-11 1997:117-131.

진영우, 김양호, 김규상, 김은아, 조영숙 등. 망간에 폭로된 용접작업자들의 신경행동검사 수행능력. 대한산업의학회지 1999;11(1):1-12.

최호춘, 김창윤, 안선희, 현대우. 용접근로자의 혈액 및 요중 망간 농도. 대한산업의학회지 1998; 10(4):534-547.

홍영습, 임명아, 이용희, 정해관, 김지용 등. 용접공에서 발생한 망간중독증. 대한산업의학회 1996년도 제17차 추계학술대회초록집 1996:53-54.

홍영습, 김정일, 장갑열, 김준연. 연강/아크용접 근로자들의 뇌자기공명영상에서 관찰된 고신 호강도의 임상적 의의. 대한산업의학회지 1999;11(3):415-429.

Gamberale F. The use of behavioral performance tests in the assesment of solvent toxicity. Scan J Work Environ Health 1985;11(suppl 1):65-74

Hine CH, Pasi A. Manganese intoxication. West J Med. 1975 Aug;123(2):101-107.

Iregren A. Psychological test performance in foundry workers exposed to low levels of manganese. Neurotoxicol Teratol 1990;12:67-675.

Iregren A. Using psychological tests for the early detection of neurotoxic effects of low level manganese exposure. Neurotoxicology 1994;15(3): 671-678.

Iregren A, Letz R. Computerized testing in neurobehavioral toxicology. Applied psychology 1992;41(3):247-255.

Letz R. Covariate of Computerized neurobehavioral test performance in epidemiologic investigations. Environmental research 1993;61(1):124-132.

Mergler D, Huel G, Bowler R, Iregren A, Belanger S et al. Nervous system dysfunction among workers with long-term exposure to manganese. Environ Res 1994;64:151-180.

Nelson K, Golnick J, Korn T, Angle C.

- Manganese encephalopathy: utility of early magnetic resonance imaging. *Br J Ind Med* 1993;50:510-513.
- Roels HA, Ghyselen P, Buchet JP, Ceulemans E, Lauwerys RR. Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust. *Br J Ind Med* 1992;49:25-34.
- Roels HA, Lauwerys RR, Buchet JP. Epidemiology survey among workers exposed to manganese: effect on lung, central nervous system, and some biological indices. *An J Ind Med* 1987;11:307-329.
- Wennberg A, Iregren A, Struwe G, Cizinsky G, Hagman M, Johansson L. Manganese exposure in steel smelters a health hazard to the nervous system. *Scand J Work Environ Health* 1991;17:255-262.
- Whitlock CM Jr, Amuso SJ, Bittenbender JB. Chronic neurological disease in two manganese steel workers. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1966;27(5):454-459.