

망간 노출 근로자의 정신·신경행동 양상에 영향을 주는 요인

한국산업안전공단 산업안전보건연구원¹, 한동대학교 방사선과², 동아대학교 신경과³, 연세대학교 예방의학교실

김규상¹ · 김양호¹ · 진영우¹ · 김은아¹ · 양정선¹ · 권기련² · 김재우³ · 노재훈⁴ · 문영한¹

— Abstract —

Factors Associated with Psychoneurobehavioral Outcomes in Workers Exposed to Manganese

Kyoo Sang Kim¹, Yangho Kim¹, Youngwoo Jin¹, Euna Kim¹,
Jeong Sun Yang¹, Kwi-Ryun Kwon², Jae-Woo Kim³,
Jaehoon Roh⁴, Young Hahn Moon¹

Industrial Safety and Health Research Institute, KISCO¹
Department of Radiology, Handong University Sunlin Presbyterian Hospital²
Department of Neurology, Dong-A University Hospital³
Department of Preventive Medicine, Yonsei University⁴

The risk posed to human health by environmental manganese (Mn) exposure is unknown. The purpose of this study is to establish if subclinical effects related to Mn exposure and examine the factors influencing psychoneurobehavioral outcomes of Mn exposed workers.

This study involved 121 male workers of welding, alloy furnace, and manufacturing of welding stick. Study investigations include: a questionnaire covering demographic characteristics, job and exposure history and medical symptoms and conditions, monitoring workplace air for personal exposure to respirable and inhalable manganese, analysis of blood and urine samples, psychoneurobehavioral test (neurobehavioral core test battery (NCTB), signal change on magnetic resonance imaging (MRI) scans, minimal state and neurological examination).

The main results of this study were as follows:

1. Preliminary results showed that, with increasing manganese exposure, neurobehavioral performance was poorer and signal change on MRI scans increased.
2. The results of examination revealed significant relations on psychoneurobehavioral outcomes (neurobehavioral performance, signal change on MRI scans, and neurological features).
3. In multiple regression, age and educational status as demographic variables and exposure level were significantly related to neurobehavioral test. Also exposure level and

serum Mn concentrations were positively related to signal change on MRI scans and neurological features affected by Mn on the brain (signal change).

4. Psychoneurobehavioral outcomes from Mn exposure were related to neurobehavioral performance, signal change on MRI scans, neurological features and profile of mood states (POMS), and influenced positively with age, alcohol and smoking history, and duration of Mn exposure, negatively with educational status.

Serum Mn concentrations in combination with brain MRI scans, and perhaps a battery of neurobehavioral tests, appear to be the best way to monitor excessive exposure to Mn. These results are consistent with our knowledge on Mn action on the brain and are similar to the type of neurobehavioral dysfunction. They suggest that there may be age, educational status, and life style (alcohol and drinking history) differences with chronic environmental exposure. These findings suggest further evaluation, particularly on relationships between Mn exposure, aging, and susceptibility factors.

Key words : Manganese, Psychoneurobehavioral Test, Risk Factors

서 론

망간은 회백색의 부스러지기 쉬운 형태의 금속으로, 주로 자연계에 다량 존재하는 이산화망간(MnO_2) 형태의 화합물에서 추출하게 된다. 망간의 90%는 제철산업에서 사용되며, 이외에도 비철금속 합금에 사용되는 망간의 용도는 다양하나 주로 용접봉의 생산에 사용되며, 건전지 제조, 과망간산칼륨 등 망간염 제조에도 이용된다. 또한 망간은 용접봉 전극의 피막제조, 유리 및 섬유의 표백제, 염색제, 가죽의 유퍼제, 비료제조에 사용되며 망간의 유기탄산염은 중유의 첨가제, 매연제거제, 향노킹 첨가제로 이용된다 (WHO, 1986).

망간에 의한 건강장해는 주로 만성 중독에 의해 초래되는데 파킨슨병과 유사한 소견을 나타내며, 초기 증상으로는 식욕부진, 피로감, 두통, 무력감, 무관심, 수면장애, 기억력 및 집중력장애, 탈력감, 하지경련, 말초의 마비나 통증 등의 증상 및 징후가 나타나고, 중독이 진행할 경우 근육의 경직현상, 사지나 몸의 진전, 언어장애, 걸을 때 몸이 앞으로 쏠리는 현상(propulsion), 자세 불안정, 글씨가 점점 작아지는 현상(micrographia) 및 손가락의 사용에 장애가 오게 된다(Clayton과 Clayton, 1981). 증상이 나타난 근로자에서 곧바로 노출을 중지시키면 일부의 증상은 호전되지만 언어 및 보행장애는 지속되며 현성 망간중독의 장해는 영구적이다. 외국의 경우 19세기말 영국에서 최초의 중독 사례가 보고되

었으며, 망간광에 근무하는 근로자의 경우 2%에서 최고 25%에 달하는 발생률을 보고하고 있다(Whitlock, 1966; Tanaka와 Lieben, 1969; Cook 등, 1974). 우리나라에서는 1989년 망간광석 분쇄 작업장에서의 망간 노출 연구(박정일 등, 1991), 1993년 포항시의 망간제조업체의 남성 근로자와 여성 근로자를 대상으로 한 연구 등(김지용 등, 1994; 임현술 등, 1995)이 있고, 포항지역에서의 용접공에서 발생한 망간중독증 1례와 망간중독에 의한 파킨슨증후군 1례씩(홍영습 등, 1996; 홍영습 등, 1997)이 있다. 그러나 그 동안 원발성 파킨슨증후군과 망간중독의 감별은 주로 임상적 소견과 망간 노출력에 의존되어 왔으나 파킨슨증후군이 통상적으로 망간에 노출되는 상황에서 발생한 경우에는 그 감별진단은 더욱 어려워진다. 이에 김양호 등(1997)이 망간중독이 의심되었던 용접공에서의 양전자방출단층촬영(positron emission tomography, PET) 결과를 보고한 바 있다.

신경장해를 평가하기 위한 방법으로는 설문지를 이용한 증상조사방법과 신경행동검사, 그리고 신경전도속도, 유발전위, 뇌파검사와 같은 신경생리검사 및 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT)이나 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI) 등을 이용한 방사선학적 영상검사 등이 있다. 설문지를 이용한 조사는 현장에서 손쉽게 이용이 가능하고 고노출 위험군에서 유용한 선별검사 방법으로 제시되고 있으나(WHO, 1985), 다분히 주관적이며 급성과 만성중독이 겹쳐 나타나기 때문

에 구별이 어렵다는 한계가 있다. 신경행동검사는 현장에서 이용이 가능하고 비교적 객관적이며 조기 발견에 유용하다 하여 1970년대부터 유럽을 중심으로 산업화학물질의 만성노출에 의한 신경영향의 양적 평가방법으로 연구되어 오고 있다(Baker 등, 1985). 이중 다양한 검사방법을 통일하고 각국간의 일관성 있는 자료를 얻고자 1983년 세계보건기구(World Health Organization, WHO)와 미국 산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 후원하에 WHO-Neurobehavioral core test battery (WHO-NCTB)가 개발되었으며(WHO, 1985), 이후 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그러나 이러한 신경행동검사에 영향을 미치는 것으로는 연령, 학력, 사회경제적 상태, 음주, 흡연 및 약물 등 매우 많은 인자들이 있어 이들 변수의 통제없이 검사 결과만을 단순비교하는 것은 적절하지 못하고(WHO, 1985), 신경행동학적 변화를 임상적으로 의미가 있는 신경성 질환의 예비신호로 간주할 수 있는 가에 대해서는 논란이 많다. 그리고 신경생리검사나 방사선 검사는 객관적이지만 해부학적 병변이 있을 경우에만 진단이 가능하며 현장에서 쉽게 이루어질 수 없는 한계가 있으며 고비용의 문제가 있다.

체내 망간은 대부분 간담도계 및 장관을 통해 배설되나 과잉부하시는 선택적으로 뇌의 추체외로계에 축적되어 망간중독의 병소로 작용한다고 알려져 있으며(Ericksson 등, 1992), 이러한 뇌의 망간축적은 망간의 상자성 효과로 인해 뇌자기공명 촬영 소견상 T1 강조영상(T1W1)에서 고신호강도로 확인되어지며 이와 관련한 역학조사 연구결과가 보고되고 있다(Newland와 Weiss, 1992; 1997; 임현우 등, 정해관 등, 1997; 홍영섭, 1997). 그러나 이러한 소견은 망간 배설이 저하된 만성간부전 환자 및 장기적으로 정맥영양 치료를 받는 환자에서 증상과 무관하게 발견되고, 최근에 직업적으로 망간에 노출되는 근로자에 있어서 뇌자기공명 촬영 소견상 뇌기저부(basal ganglia)에 고신호강도가 관찰되나 고신호강도가 단순한 뇌의 망간축적을 의미하는 것인지 혹은 중추신경 병변의 초기 소견인지에 관하여 충분한 연구가 이루어진 바가 없다.

따라서 본 연구는 대표적인 망간 노출 업종중 용접, 제련, 망간봉 제조 사업장 근로자를 대상으로

작업환경측정과 생물학적 모니터링을 통한 망간 노출 실태 및 내부 노출량을 평가하고, 이의 노출로 인한 신경학적 증상과 징후 및 신경행동학적 검사 결과를 평가하고자 하였다. 이 연구의 구체적인 목적은 첫째, 망간 노출과 정신·신경행동검사 결과간의 관계를 밝히며, 둘째, 정신·신경행동검사 결과에 영향을 미치는 요인을 밝히는 것이다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

이 연구의 대상은 망간이 함유된 원료를 사용하여 제품을 제조하거나 제품을 취급하는 자동차 트레일러 제조업체 1개소, 자동차 제조업체 1개소, 철구조물 제조업체 3개소, 조선업체 1개소를 비롯하여 망간금속 제련업체 3개소 및 용접봉 제조업체 1개소 등 10개 업체에 근무하는 근로자를 대상으로 조사하였다. 연구 대상자는 총 121예이었다.

2. 연구방법

이 연구는 망간 노출과 관련한 제조 사업장의 근로자를 대상으로 정신·신경행동장애 평가를 위하여 근로자의 연령, 교육 등 인구학적 특성과 음주, 흡연 등 건강행태 특성, 직업력과 관련한 근무기간 및 망간 관련 작업기간, 작업환경측정 결과에 기초한 망간 노출 정도, 혈중 및 요중 망간 등의 생물학적 모니터링 결과를 조사하였으며, 정신·신경행동장애 평가 도구로는 설문지를 이용한 자각증상조사, 간이정신검사, 감정측면도를 포함한 신경행동검사(WHO-NCTB), 뇌자기공명영상 검사 및 신경과적 진단을 수행하였다.

업무형태는 망간 노출 작업 관련 유형에 따라 용접, 제련, 용접봉 제조의 망간 노출 작업자와 비망간 관련 생산직 및 사무직으로 분류하였다. 망간 노출은 근로자의 직종(사무직과 생산직), 업무형태(용접, 제련, 용접봉제조), 공정 등을 고려하여 개인 시료 결과를 직접 또는 간접적으로 평가한 후 이를 ACGIH 망간 허용농도 0.2 mg/m³의 Action level(50% 값) 이상의 노출작업공정 근로자를 고노출군, 0.1 mg/m³에서 검출한계인 0.01 mg/m³ 이상에 노출되는 작업공정 근로자를 저노출군, 검출한계 이하인 비노출군으로 분류하여 노출정도를 평가하였다.

자각증상 질문 항목은 전체 49개로 기존의 관련 문헌을 통하여 망간 관련 증상과 요인분석을 통하여 근육계, 불안, 신경계, 집중력저하 증상군으로 분류 구성하였다(진영우 등, 1999).

신경학적 진찰은 신경과 전문의 1인에 의해 파킨슨병 임상 소견인 진전, 근육강직, 운동완서(bradykinesia), 자세불안정, 팔놀림(arm swing) 등을 각각 진찰하고, 신경학적 이상 징후는 진전, 근육강직, 운동완서, 자세불안정, 팔놀림 및 보행장애 중 하나라도 있으면 양성으로, 하나도 없으면 음성으로 평가하였다.

신경행동학적 검사는 세계보건기구에서 개발한 WHO-NCTB의 7가지 항목(감정측면도, 단순반응 시간, 손가락민첩성, 숫자암기, 숫자부호화, 시각기억, 목적점찍기)과 손가락두드리기 검사를 WHO-NCTB(1986)의 지침대로 시행하여 점수화하였다. 감정측면도는 감정의 상태를 설명하는 형용사로 된 65개의 문항으로 구성되어 있는데, 이는 우리나라 말에 맞게 표현하기 위하여 동사형의 문항으로 번역되어 있다(조영숙, 1997). 65개 문항은 7개 차원(긴장-불안(tension-anxiety), 우울-실의(depression-dejection), 분노-적대(anger-hostility), 활기(vigor), 피로(fatigue), 혼돈(confusion), 친밀감(friendliness))을 측정하도록 구성되어 있다.

간이정신검사는 인지력을 살펴보기 위한 검사로 '지남력', '기억등록', '주의집중 및 계산', '기억회상' 및 '언어 및 판단력'을 의사 1인이 근로자 1명씩 면접을 통해 검사하고 그 결과를 점수화하였으며, 총점은 최종 합산하여 계산하였다.

뇌자기공명영상 검사는 1.0 Tesla(Picker Vista, USA) 초전도기종을 이용하여 횡단면과 시상면 스핀에코 T1(TR/TE, 600/16)과 T2(TR/TE, 2200/80) 강조영상을 256×256~224×256 matrix size, 22cm FOV, 6 mm slice thickness, 0.5 mm interslice gap 그리고 2NEX로 얻었으며 조영증강 영상은 얻지 않았다. 뇌자기공명영상 소견상 T1 강조영상에서 횡단면 및 시상단면의 담창구, 흑질, 미상핵, 시상, 뇌수축 및 소녀의 신호강도를 동일 단면의 전두부 백질 및 뇌량의 신호강도와 비교하여 증가한 경우 고신호강도가 있는 것으로 보았다.

3. 통계학적 분석 방법

용접작업, 망간제련 및 용접봉 제조 사업장 등 망간 관련 10개 사업장 근로자의 정신·신경행동장애 조사 결과에 대한 다차원적 분석을 하기 위해서 1단계에서는 사업장 및 근로자의 작업환경 노출을 평가하여 노출 정도에 따른 정신·신경행동 장애 조사 결과의 분산분석 및 교차분석을 실시하였다.

2단계로 정신·신경행동장애 조사 결과의 차원간의 관계를 살펴보기 위하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석을 통해 정신·신경행동장애 조사 결과의 변수간의 모형을 도출하고자 하였다.

3단계로 정신·신경행동장애 조사 결과에 영향을 미치는 변수를 찾아내기 위하여 독립변수로 근로자의 인구학적 특성, 건강행태 및 직업적 특성을 사용하였으며, 종속변수로 망간 관련 자각증상, 간이정신검사, 신경행동검사, 뇌자기공명영상 소견과 신경학적 진찰 소견을 사용하였다. 망간 노출정도는 고노출군, 저노출군, 비노출군으로 이를 더미변수로 처리하였다. 이 3단계 분석에는 노출정도에 따라 유의한 신경행동검사, 뇌자기공명영상 소견 및 신경학적 이상 징후를 종속변수로 하여 회귀분석을 실시하였고, 여러 종속변수를 한 번에 분석할 수 있는 정준상관분석을 실시하였다.

연구결과

연구 대상자의 일반적 특성을 살펴보면, 고노출군, 저노출군 및 비노출군 순으로 평균 나이는 각각 43.45세, 41.22세, 41.91세, 평균 교육기간은 9.41년, 10.96년, 12.86년, 평균 근속기간은 15.45년, 13.13년, 15.23년, 망간 관련 작업 종사기간은 13.53년, 6.35년, 0.91년, 흡연력(packyears)은 14.20, 13.57, 11.68, 음주력(소주 2홉·년/주)은 24.95, 26.39, 21.91이었다. 교육기간과 망간 관련 작업 종사기간에 있어서 군간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 세 군간의 다중 비교결과 혈중 망간과 크레아티닌 보정 요충 망간은 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다(Table 1).

노출정도에 따른 정신·신경행동검사(자각증상, 간이정신검사, 신경행동검사, 뇌자기공명영상 소

Table 1. 조사군의 일반적 특성

특성	고노출군(n=76)	저노출군(n=23)	비노출군(n=22)	p-value
나이(세)	43.45(7.23)	41.22(8.06)	41.91(8.61)	.405
교육기간(년)	9.41(2.30)	10.96(2.75)	12.86(3.27)	.000
근속기간(년)	15.45(6.20)	13.13(4.89)	15.23(8.68)	.323
망간관련 작업기간(년)	13.53(7.47)	6.35(7.12)	0.91(2.76)	.000
흡연력(packyears)	14.20(11.09)	13.57(9.99)	11.68(11.66)	.641
음주력*	24.95(34.58)	26.39(36.52)	21.91(27.22)	.900
혈중 망간($\mu\text{g}/\text{dL}$) [#]	1.43(0.56)	1.27(0.34)	1.19(0.35)	.080
크레아티닌 보정 요충 망간($\mu\text{g}/\text{g Cr}$) [#]	1.21(1.19)	1.11(1.02)	0.78(0.76)	.269

* : 단위(소주 2흡·년/주)

: 기하평균(기하표준편차)

견, 신경학적 진찰 소견)의 차이를 보였다. 전체적으로 자각증상, 간이정신검사, 신경행동검사(WHO-NCTB) 중 감정측면도, 신경학적 진찰 소견에서 세 군간의 유의한 차이가 없었다. 다만, 숫자암기, 숫자부호화, 목적점찍기(옳게 찍어진 원의 숫자), 손가락두드리기(자주 쓰는 손)에서 고노출군, 저노출군, 비노출군으로 노출정도의 감소에 따라 수행 능력이 증가하는 군간의 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 즉, 노출 증가에 따른 신경행동검사상의 수행 능력이 유의하게 감소하였다. 나이와 교육기간의 보정후의 유의성은 숫자부호화와 손가락두드리기(자주 쓰는 손)에서만 나타났다($p < .05$) (Table 2).

정신·신경행동검사 결과와 관련된 변수와 이에 영향을 줄 수 있는 독립변수간의 상관성 분석을 실시한 결과, 자각증상 및 신경행동검사중 감정측면도 검사를 제외하고는 독립변수와의 유의한 상관성을 보였다. 간이정신검사는 주의집중 및 계산이 교육기간과 정상관, 업무형태와는 역상관을 보였으며, 기억회상은 나이와 역상관성을 보였다. 신경행동검사는 나이, 근속기간, 업무형태, 노출정도, 망간 관련 작업기간, 흡연력과 유의한 역상관성을 보이고 교육기간과는 정상관성을 보였다. 즉, 나이가 많을수록, 근속기간이 길수록, 생산직에 근무할수록, 망간 고노출군일수록, 망간 관련 작업기간이 길수록, 흡연력이 길수록 신경행동검사 수행 능력이 떨어지는 관계를 보였다. 뇌자기공명영상 소견은 나이, 교육기간, 업무형태, 노출정도, 망간 관련 작업기간, 혈중 망간과 유의한 상관성이 있었고, 신경학적 진찰 소

견상 이상징후는 나이, 교육기간, 흡연력과 음주력과 유의한 상관성을 보였다(Table 3).

정신·신경행동검사 결과중 신경행동검사를 종속변수로 한 회귀분석에서 단순반응시간과 손가락민첩성검사에서는 유의하게 작용하는 독립변수는 없었으나, 숫자암기중 역순암기와 총점에서 교육기간이 길수록 점수가 증가하였으며, 숫자부호화는 비노출군에 비해 저노출군에서 교육기간이 길수록, 흡연력이 짧을수록 숫자부호화의 수행 능력이 증가하였고, 시각기억검사의 수행 능력은 교육기간이 길수록, 목적점찍기 수행 능력은 나이가 젊을수록, 교육기간이 길수록 증가하였으며, 손가락두드리기는 교육기간이 길수록, 노출정도가 고노출, 저노출, 비노출군으로 노출 감소에 따라, 뇌자기공명영상 소견중 고신호강도가 나타나지 않은 정상소견을 보인 경우에서 수행 능력이 증가하였다. 독립변수의 설명력이 숫자부호화, 목적점찍기, 손가락두드리기, 숫자암기, 시각기억, 손가락민첩성, 단순반응시간의 순으로서 숫자부호화를 종속변수로 한 경우가 56.9 %로 가장 높은 설명력을 보였다(Table 4).

뇌자기공명영상 소견상 고신호강도의 유무를 종속변수로 한 다중로지스틱회귀분석을 통해 각 위험요인의 교차비를 구한 결과 노출정도 2(비노출군에 대한 고노출군)의 교차비가 20.346(95% CI=1.889-219.115), 혈중 망간의 교차비가 3.263(95% CI=1.133-9.398)으로 뇌자기공명영상 소견상 고신호강도에 대한 위험요인으로 유의한 변수였다 (Table 5).

신경학적 진찰 소견상 이상 징후의 유무를 종속변

Table 2. 노출정도에 따른 정신·신경행동검사 결과 비교

정신신경행동검사 결과	고노출군(n=76)	저노출군(n=23)	비노출군(n=22)	p-value
자각증상				
근육계	2.49(3.01)	2.48(2.87)	2.05(2.57)	.815
신경계	0.95(1.36)	0.70(1.06)	0.91(1.34)	.719
불안	1.11(1.80)	0.96(1.40)	0.82(1.53)	.763
집중력저하	1.76(1.81)	1.57(1.93)	2.05(1.89)	.681
전체증상점수	11.78(10.30)	10.91(9.07)	10.45(8.51)	.830
간이정신검사				
지남력	9.97(0.16)	9.96(0.21)	9.95(0.21)	.867
기억등록	3.00(0.00)	3.00(0.00)	2.95(0.21)	.105
주의집중 및 계산	3.66(1.18)	3.57(1.31)	3.95(1.05)	.497
기억회상	2.55(0.55)	2.52(0.67)	2.41(0.67)	.610
언어 및 판단력	8.88(0.33)	8.87(0.34)	8.95(0.21)	.582
총점	28.07(1.52)	27.91(1.83)	28.23(1.57)	.803
신경행동검사				
감정측면도				
긴장-불안	10.62(7.26)	10.35(6.79)	9.95(7.13)	.927
우울-실의	17.43(9.73)	15.00(9.15)	14.45(8.30)	.308
분노-적대	16.58(9.40)	16.87(8.24)	15.32(8.77)	.818
활기	15.55(4.28)	15.26(4.64)	17.32(4.53)	.205
피로	13.26(5.33)	14.39(4.95)	12.23(5.69)	.397
혼돈	7.12(4.70)	6.70(5.20)	5.90(4.51)	.574
친밀감	15.92(4.01)	16.52(4.15)	16.91(3.73)	.546
총점	49.46(33.58)	48.04(33.87)	40.55(33.52)	.549
단순반응시간-평균반응시간 (msec) -표준편차	293.54(49.26) 69.86(36.44)	304.26(52.00) 66.48(25.87)	282.77(44.35) 66.41(45.25)	.342 .884
손가락민첩성-잘 쓰는 손 -잘 쓰지 않는 손	41.83(7.32) 39.42(7.45)	44.17(6.28) 40.35(6.90)	44.14(5.38) 40.86(4.99)	.198 .648
숫자암기-정순암기 -역순암기 -총점	6.11(2.27) 4.28(1.73) 10.38(3.50)	7.00(2.52) 4.26(1.36) 11.26(3.31)	7.55(2.56) 5.32(2.36) 12.86(4.59)	.028 .051 .022
숫자부호화	43.32(15.48)	46.09(15.44)	60.45(15.59)	.000*
시각기억	7.43(1.70)	7.26(1.71)	8.18(1.62)	.133
목적점찍기-맞은 수 -틀린 수 -총수	158.37(41.42) 21.64(20.69) 178.70(39.86)	165.70(35.42) 14.39(16.53) 179.70(32.10)	184.59(43.33) 16.05(11.61) 200.55(44.98)	.032 .181 .072
손가락두드리기-자주 쓰는 손 -자주 쓰지 않는 손	61.30(6.35) 56.81(6.30)	61.58(7.20) 58.45(6.79)	67.39(7.35) 60.08(7.12)	.001* .104
뇌자기공명영상 소견**	38(50.0)	3(13.0)	1(4.5)	.000
신경학적 진찰 소견*				
진전	4(5.3)	2(8.7)	1(4.5)	.796
근육강직	5(6.6)	1(4.3)	1(4.5)	.888
운동완서		1(4.3)		.117
자세 불안정	1(1.3)			.742
신경학적 이상 징후§	10(13.2)	5(21.7)	2(9.1)	.444

* : 나이와 교육기간 보정후의 통계적 유의성, p<.01 # : 빈도(%) † : 교신호강도 소견

§ : 진전, 근육강직, 운동완서, 자세불안정, 팔늘림 및 보행장애 중 하나라도 있는 경우

Table 3. 정신·신경행동검사 결과에 영향을 미치는 요인과 검사 결과간의 상관성 분석

변 수	나이	교육 기간	근속 기간	업무 형태	노출 정도	망간 기간	흡연력	음주력	혈중 망간	요중 망간
자각증상										
근육계	.075	-.094	.021	.106	.052	.074	.131	.097	-.069	-.017
신경계	.010	.007	.054	.005	.031	.099	.034	.060	-.099	.072
불안	-.061	.057	-.006	.035	.068	.070	.041	.037	-.042	-.119
집중력저하	.052	-.010	.090	-.048	-.040	.135	.119	.115	-.100	-.042
전체증상점수	-.014	.000	.028	.053	.056	.105	.117	.075	-.094	-.013
간이정신검사										
지남력	-.152	.134	-.001	-.072	.046	-.019	-.079	.091	.005	.043
기억등록	-.099	.042	.140	-.036	.169	.107	-.120	.067	.047	.014
주의집중 및 계산	-.173	.291**	-.072	-.226*	-.076	-.120	-.075	-.113	.000	.007
기억회상	-.252**	.171	-.138	.055	.087	-.051	-.024	.053	-.023	.000
언어 및 판단력	-.148	.160	.006	-.135	-.075	.007	-.120	.024	.048	-.094
총점	-.276**	.331**	-.096	.185*	-.024	-.104	-.105	-.046	.004	-.008
신경행동검사										
감정측면도										
긴장-불안	-.148	.083	-.026	.004	.036	.057	-.086	-.013	-.063	.049
우울-실의	-.053	-.023	.068	.120	.135	.153	-.013	.047	-.045	-.033
분노-적대	-.168	.065	-.008	.091	.044	.076	-.087	.083	-.100	-.033
활기	-.143	.230*	-.064	-.127	-.128	-.085	-.133	.187**	.033	.066
피로	-.153	.063	-.007	.100	.043	.044	-.066	.005	-.074	-.020
혼돈	-.059	-.017	.053	.140	.096	.147	.041	.079	-.017	-.014
친밀감	-.144	.247**	-.036	-.139	-.100	-.135	-.172	.169**	.021	.041
총점	-.105	.006	.026	.111	.094	.115	-.032	.069	-.072	-.022
단순반응시간(msec)										
평균반응시간	.133	-.188*	.010	.028	.050	.158	.154	.079	-.012	.122
표준편차	.180*	-.243**	.012	.091	.042	.122	.283**	.103	-.110	-.028
손가락민첩성										
잘 쓰는 손	-.331**	.269**	-.161	-.128	-.151	-.237**	-.276**	-.145	-.058	.091
잘 쓰지 않는 손	-.282**	.234**	-.187**	-.096	-.085	-.242**	-.255**	-.151	-.024	.178
숫자암기										
정순암기	-.336**	.380**	-.274**	-.287**	-.241**	-.377**	-.225**	-.121	-.118	-.073
역순암기	-.236**	.351**	-.165	-.343**	-.192	-.269**	-.127	-.096	-.080	-.021
총점	-.330**	.414**	-.256**	-.351**	-.248**	-.378**	-.206**	-.124	-.115	-.057
숫자부호화										
시각기억	-.315**	.333**	.012	-.265**	-.137	-.113	-.187**	-.020	-.166	-.090
목적점찍기										
맞은 수	-.359**	.513**	-.280**	-.296**	-.232	-.379**	-.376**	-.176	-.110	.038
틀린 수	.240**	-.153	-.007	.069	.143	.067	.117	-.012	.027	.122
총수	-.467**	.471**	-.302**	-.283**	-.187**	-.376**	-.326**	-.164	-.071	.104
손가락두드리기										
자주 쓰는 손	-.378**	.464**	-.197**	-.388**	-.297**	-.258**	-.263**	-.133	-.035	.145
자주 쓰지 않는 손	-.336**	.332**	-.210**	-.319**	-.164	-.183	-.228**	-.076	.040	.100
뇌자기공명영상 소견†										
신경학적 진찰 소견	.262**	-.367**	.175	.285**	.406	.379**	.119	.126	.305**	-.033
신경학적 진찰 소견										
진전	.232	-.151	.160	-.008	-.006	.181*	.259**	.236**	-.012	-.019
근육강직	.162	-.151	.029	.097	.040	.054	.142	.411**	.018	-.059
운동완서	.087	-.042	.113	.036	-.052	.143	.053	.086	.008	-.020
신경학적 이상 징후‡	.214*	-.212*	.020	.088	.013	.114	.287**	.320**	-.012	-.103

* : p<.05, ** : p<.01

†, § : Table 2와 동일

Table 4. 신경행동검사(WHO-NCTB) 결과에 영향을 미치는 요인에 대한 회귀분석 결과

변수	Model	R2	절편	나이	교육기간	노출정도1*	노출정도2†	망간기간	흡연력	음주력	혈중망간	요충망간	고신호강도
단순반응시간													
평균반응시간	1.221	.100 (5.713)	325.868*** (-.536)	-.077 (-1.094)	-.144 (.523)	.067 (-.962)	-.161 (1.094)	.149 (1.341)	.158 (-.284)	-.029 (-.404)	-.041 (1.500)	.143 (.994)	.107
표준편차	1.732	.136 (3.245)	134.191** (-.888)	-.124 (-2.268)	-.293* (-.871)	-.109 (-1.051)	-.172 (.485)	.065 (2.482)	.288* (-.487)	-.048 (-.716)	-.071 (.004)	.0009 (.011)	.001
손가락민첩성													
잘 쓰는 손	2.137*	.163 (5.893)	45.423*** (-.930)	-.128 (1.327)	.169 (.427)	.053 (-.196)	-.032 (-.196)	-.026 (-1.382)	-.158 (-.197)	-.019 (-.497)	-.048 (.947)	.087 (.228)	.024
잘 쓰지 않는 손	2.199**	.167 (5.006)	38.906*** (-.224)	-.031 (.881)	.112 (.377)	.046 (.887)	.143 (-1.280)	-.168 (-1.186)	-.135 (-.211)	-.021 (.145)	.014 (1.705)	.156 (-1.482)	-.154
숫자암기													
정순암기	2.952**	.212 (2.576)	6.809* (-.389)	-.052 (1.658)	.204 (.267)	.032 (.202)	.032 (-1.544)	-.197 (-1.250)	-.138 (.195)	.018 (-.536)	-.051 (-.623)	-.056 (-.343)	-.035
역순암기	1.982*	.153 (1.632)	3.367 (-.021)	-.003 (2.086)	.267* (-.995)	-.123 (.005)	.001 (-.811)	-.107 (-.348)	-.040 (-.212)	.003 (-.212)	-.021 (.117)	.011 (-.782)	-.082
총점	3.145***	.222 (2.492)	10.176* (-.263)	-.035 (2.217)	.260* (-.329)	-.039 (.133)	.021 (-1.409)	-.178 (-.985)	-.108 (.141)	.013 (-.454)	-.043 (-.344)	-.030 (-.617)	-.062
숫자부호화	14.512***	.569 (3.311)	44.498*** (-1.805)	-.179 (5.185)	.473*** (-2.216)	-.196* (-1.195)	-.138 (-.566)	-.053 (-2.228)	-.182* (.134)	.009 (.219)	.015 (-.136)	-.009 (-.356)	-.027
시각기억	3.066**	.218 (5.018)	9.275*** (-1.715)	-.229 (2.053)	.252* (-1.633)	-.194 (-.946)	-.147 (1.952)	.248 (-1.311)	-.145 (1.101)	.104 (-1.718)	-.162 (-1.018)	-.090 (-.214)	-.021
목적점찍기													
맞은 수	7.686***	.411 (5.558)	217.634*** (-2.669)	-.309** (2.407)	.256* (-1.017)	-.105 (-.391)	-.053 (-.020)	-.002 (-1.744)	-.167 (.291)	.024 (-.440)	-.036 (.275)	.021 (-1.258)	-.110
틀린 수	1.659	.131 (-1.257)	-26.951 (2.690)	.378** (.360)	.047 (.364)	.046 (1.885)	.310 (-1.905)	-.255 (.185)	.021 (-.464)	-.046 (-.226)	-.022 (1.574)	.147 (-.250)	-.026
총수	5.702***	.341 (4.560)	182.058*** (-1.116)	-.137 (2.684)	.302** (-.781)	-.085 (.570)	.081 (-1.323)	-.154 (-1.509)	-.153 (.304)	.026 (-.189)	-.016 (1.287)	.105 (-1.067)	-.098
손가락두드리기													
자주 쓰는 손	6.112***	.357 (9.455)	65.528*** (-1.717)	-.208 (2.508)	.279* (-2.784)	-.300** (-2.081)	-.294* (1.412)	.163 (-.605)	-.060 (.047)	.004 (.567)	.048 (1.901)	.153 (-2.279)	-.208*
자주 쓰지 않는 손	2.929**	.210 (8.732)	63.012*** (-1.917)	-.257 (1.194)	.147 (-.876)	-.105 (-1.198)	-.188 (1.158)	.148 (-.454)	-.050 (.335)	.032 (1.291)	.122 (.836)	.075 (-1.885)	-.190

* : p<.05, ** : p<.01, *** : p<.001

: 노출정도 1 - 비노출군에 대한 저노출군, 노출정도 2 - 비노출군에 대한 고노출군

수로 한 다중로지스틱회귀분석을 통해 각 위험요인의 교차비를 구한 결과 뇌자기공명영상 소견상 고신호강도에 대한 교차비가 6.898 (95 % CI=1.372-34.690)로 신경학적 진찰 소견상 이상 징후에 대한 위험요인으로 유의한 변수였다(Table 6).

정신·신경행동검사 결과 변수들(종속변수)과 이에 영향을 미치는 독립변수간의 관계를 함께 분석하기 위하여 정준상관분석을 하였다. 이때 사용한 종속변수는 자각증상, 간이정신검사, 감정측면도, 단순반응시간, 손가락민첩성, 숫자암기, 숫자부호화, 시각기억, 목적점찍기, 손가락두드리기, 자기공명영상(고신호강도), 신경학적 이상징후의 12개의 변수이고, 독립변수는 회귀분석에 사용한 11개의 변수들이었다. 종속변수집단과 독립변수집단간의 정준상관계수(canonical correlation)가 0.6 이상인 단계까지의 결과를 제시하면 Table 7과 같다.

정준상관분석을 통해 나온 결과로서 유의한 첫 번째 단계에서 종속변수 집단과 독립변수집단간의 정준상관계수는 0.822이었으며 상관계수가 0.2 이상인 변수는 종속변수 집단에서 감정측면도가 -0.279, 단순반응시간이 0.257, 손가락민첩성이 -0.312, 숫자암기가 -0.333, 숫자부호화가 -0.440, 목적점찍기가 -0.527, 손가락두드리기가 -0.203, 자기공명영상(고신호강도)가 0.290, 신경학적 이상징후가 0.427이었으며, 독립변수 집단에서는 나이 0.635, 교육기간 -0.411, 망간 관련 작업기간 0.269, 흡연력 0.585, 음주력 0.464이었다.

이를 종합하면, 망간 관련 사업장 근로자의 정신·신경행동검사 결과에 있어 중요한 변수는 신경행동검사(WHO-NCTB), 신경학적 진찰 소견상 이상징후, 뇌자기공명영상 결과 고신호강도, 감정측면도 점사의 순이었으며, 신경행동검사는 목적점찍기, 숫자부호화, 숫자암기, 손가락민첩성, 단순반응시간, 손가락두드리기, 시각기억의 순이었다. 이들 신경행동검사 변수는 단순반응시간을 제외하고 음의 관계를 보였다. 정신·신경행동검사 결과에 영향을 미치는 독립 변수로는 나이, 흡연력, 음주력, 교육기간, 망간 관련 작업기간의 순이었다. 즉 나이, 흡연과 음주력, 망간 관련 작업기간이 증가하고 교육기간이 짧을수록, 감정측면도의 점수가 감소하고 신경행동검사의 수행 능력이 저하되며 뇌자기공명영상 소견상 고신호강도와 신경학적 진찰 소견에 부정

적인 영향을 미쳤다.

고 찰

노출 평가 자료를 이용하여 건강영향을 평가하고자 할 때, 지표로 이용될 수 있는 자료로는 직업력(업무형태, 작업기간 등), 작업환경측정자료, 생물학적 모니터링 자료가 있으며, 망간 노출과 관련해서는 최근에 초점이 되고 있는 뇌자기공명영상 소견(고신호강도)이 있을 수 있다. 그러나 우리나라에서 직업력은 직업에 있어서의 작업의 이직과 전직으로 인한 작업력 연속성의 결여, 임시직(일용)으로 인한 작업의 불규칙성, 업종 자체의 특성 보다는 사업장 작업환경관리 실태에 따른 영향의 크기 등으로 직업력을 주요 독립변수로 놓고 노출 평가를 하기가 어렵다고 볼 수 있으며, 생물학적 모니터링 결과는 현재 작업환경측정과의 상관성에서 일치되지 않는 연구결과가 많다(Smyth 등, 1973; Roels 등, 1987). 그리고 뇌자기공명영상 소견을 노출 평가 지표 또는 병리학적 병변으로 보아야 하는냐에 대해서는 아직 연구가 더 진행되어야 할 부분이라 볼 수 있다.

따라서 이 연구에서는 작업환경자료를 통해 노출 평가를 하였으며, 기존의 망간 노출 근로자에 대한 정신·신경행동검사로 활용되는 증상조사, 간이정신검사, 신경행동검사, 자기공명영상 및 신경학적 진찰을 다면적으로 측정 검사하였다. 현재까지 개인에 대해 측정된 노출 평가가 되어 있지 않으며, 또한 특히 망간에 대한 측정이 이루어지지 않은 상태여서 1회 측정자료로 노출 평가를 하였다. 전형적인 임상적 영향은 노출이 수년동안 지속되어야 뚜렷해지지만 어떤 사람은 1~3개월간의 노출로도 징후를 보여 주기 시작하고(Roider, 1955), 건강장해를 일으키는 범위의 변이가 큰데, 사람에서 신경학적 영향을 나타낼 수 있는 노출수준은 0.14-0.30 mg/m³ 범위이다(Whitlock, 1966; Tanaka와 Lieben, 1969; Cook 등, 1974; Saric 등, 1977; Iregren, 1990; Roels 등, 1992). 이들 연구가 용량-반응관계를 보여주는데는 충분하지 않지만 Iregren(1990)은 0.14 mg/m³의 중등도 농도에 노출된 근로자에서 망간의 조기 영향을 확인하기 위해 신경행동학적 검사를 시행하여 신경학적 이상 소견이 나타남을 알아냈다.

Table 5. 뇌자기공명영상 소견상 고신호강도에 영향을 미치는 요인에 대한 로지스틱 회귀분석 결과

변 수	회귀계수	표준오차	Odds ratio	95% 신뢰구간
나이(세)	.0716	.0450	1.0742	.9835-1.1735
망간관련 작업기간(년)	.0060	.0397	1.0060	.9307-1.0874
노출정도 1'	1.2259	1.2750	3.4072	.2800-41.4671
노출정도 2'	3.0129	1.2126	20.3459	1.8893-219.1148
흡연력(packyears)	-.0034	.0257	.9966	.9476-1.0481
음주력	.0055	.0081	1.0055	.9897-1.0216
혈중 망간($\mu\text{g}/\text{dL}$)	1.1827	.5397	3.2631	1.1330-9.3981
요중 망간($\mu\text{g}/\text{g Cr}$)	-.2223	.2216	.8007	.5186-1.2362

: Table 4와 동일

Table 6. 신경학적 이상 징후[§]에 영향을 미치는 요인에 대한 로지스틱 회귀분석 결과

변 수	회귀계수	표준오차	Odds ratio	95% 신뢰구간
나이(세)	.0198	.0588	1.0200	.9090-1.1446
망간관련 작업기간(년)	.0031	.0500	1.0031	.9095-1.1064
노출정도 1'	.8312	1.0622	2.2960	.2863-18.4140
노출정도 2'	-.7942	1.2950	.4519	3.6E-02-5.7202
흡연력(packyears)	.0427	.0363	1.0436	.9720-1.1206
음주력	.0128	.0081	1.0129	.9969-1.0291
혈중망간($\mu\text{g}/\text{dL}$)	-.3688	.7554	.6916	.1573-3.0398
요중망간($\mu\text{g}/\text{g Cr}$)	-.2783	.4040	.7571	.3460-1.6712
뇌자기공명영상(고신호강도)	1.9312	.8241	6.8980	1.3716-34.6895

§ : Table 2와 동일, # : Table 4와 동일

이에 이 연구에서는 개인 시료 결과를 직접 또는 간접적으로 평가한 후 이를 ACGIH 망간 허용기준과 검출한계 수준에 맞추어 고노출군, 저노출군, 비노출군으로 구분하였다.

생물학적 노출 지표로서 혈중 망간은 작업환경측정 결과의 망간 노출정도에 따른 군간에 차이를 보이고 있으며($p=.080$) 망간 관련 작업기간($R_s=.239$, $p<.01$), 뇌자기공명영상 소견의 고신호강도($R_s=.305$, $p<.01$, $\text{odds ratio}=3.26$)와 상관성 및 위험요인으로서 유의성은 있으나, 정신·신경행동검사 결과와는 어떠한 연관성을 찾을 수 없었다. 생물학적 노출 지표와 작업환경측정 결과 기중 망간의 상관성을 본 논문들은 연구자 및 연대별로 상반된 결과를 보이고 있다. Smyth 등(1973)은 혈중 망간 농도가 노출군과 비노출군 사이에서 큰 차이가 없었다고 보고하고 있으나 다른 연구자는 서로 다른 세군의 망간 노출 근로자의 혈액중 망간 농도가 대조군에 비하여 유의하게 높다는 것을 보고하고 있다.

이러한 모순된 결과와 함께 용량반응관계에서 혈중 망간 농도와 건강장해와는 상관성이 밝혀지지 않고 있으며, 이는 타 중금속에 비해 망간의 상대적으로 짧은 반감기(10~40일) 때문인 것으로 생각되며 오히려 누적적 만성 노출 또는 개인차에 따른 감수성이 질병 발현의 결정적인 요인일 것으로 생각된다. 개인변이와 더불어 요중, 혈중 망간 농도의 유용함을 제한하는 인체의 상대적으로 빠른 제거율은 혈액에서 초과량의 망간을 간에서 신속히 제거하여 담즙으로 분비하고 소변으로는 매우 적게 배설된다(Klaassen, 1974). 이런 이유로 혈액과 소변의 망간 수준은 특히 민감한 노출지표로 기대할 수 없고 평균 노출 이상인 집단을 찾아내는데 어느 정도 유용하나 변이가 너무 커서 상대적으로 큰 노출도 어떤 사람에서는 찾아내기 어려울 때가 있음을 나타낸다.

자각증상 항목은 기존의 관련 문헌을 통하여 망간 관련 증상과 요인분석을 통하여 4개 증상군(근육계,

Table 7. 정신·신경행동검사 결과(종속변수)와 독립변수간의 정준상관분석 결과

종속변수	종속변수 1		종속변수 2		종속변수 3	
	정준계수	상관계수	정준계수	상관계수	정준계수	상관계수
자각증상	.172	.013	.079	-.003	.071	-.057
간이정신검사	.106	-.022	.309	.294	.097	.012
감정측면도	-.478	-.279	-.088	.086	-.084	-.029
단순반응시간	.260	.257	.290	-.087	.008	.070
손가락민첩성	.025	-.312	-.088	.096	.214	.192
숫자암기	-.458	-.333	-.331	-.120	.283	.088
숫자부호화	-.130	-.440	-.312	.046	.655	.194
시각기억	.079	-.199	.335	-.189	-.774	-.341
목적점찍기	-.416	-.527	.136	.050	-.638	-.129
손가락두드리기	.167	-.203	.665	.343	.378	.255
자기공명영상(고신호강도)	.336	.290	.562	.181	.047	-.005
신경학적 이상 징후 [§]	.358	.427	-.603	-.364	-.008	-.084

독립변수	독립변수 1		독립변수 2		독립변수 3	
	정준계수	상관계수	정준계수	상관계수	정준계수	상관계수
나이	.716	.635	-.141	-.041	.724	.096
교육기간	-.154	-.411	.136	.050	.633	.315
근속기간	-.342	.092	.174	.201	-.283	-.069
망간관련 작업기간	.184	.269	.219	.408	-.415	-.236
업무형태	-.097	.017	-.317	-.099	-.322	-.262
노출정도1 [#]	.054	-.055	-.250	-.556	-.068	-.035
노출정도2 [#]	.067	.069	.622	.565	.085	-.158
흡연력	.240	.585	-.064	-.050	-.371	-.154
음주력	.289	.464	.101	-.008	.242	-.052
혈중 망간	.090	.084	.038	.118	.332	.265
요중 망간	.100	.038	.173	.168	.299	.151

정준상관계수	0.822**	0.694	0.636
--------	---------	-------	-------

** : $p < .01$ § : Table 2와 동일, # : Table 4와 동일

신경계, 불안, 집중력저하)로 나누어 보았을 때, 노출에 따른 점수의 증가 경향을 보였으나 유의하지는 않았으며, 이는 이러한 설문에 의한 자각증상들은 비특이적이고 객관성을 지니고 있지 않아 근로자의 과다호소에 의해 교란될 수 있다(조수현 등, 1993).

간이정신검사는 지남력, 기억능력, 주의집중 및 계산, 기억회상, 언어 및 판단력을 점수화하여 평가하였으나 군간에 유의한 차이가 없었다. 이는 간이정신검사가 인지적 기능을 평가하는 것으로서 주로 대뇌의 기능을 보는 것으로 정상 근로자만을 대상으로 한 이 연구에서는 영향을 미치지 않았을 것으로 판단된다.

감정측면도검사는 정신건강상태의 전반적 상태를 측정하기 위한 자기 기입식 평정척도로, 주관적 감정상태를 평가한다. 특히 정신과 분야의 임상실험 연구, 임상적 평가 프로그램, 그리고 스포츠의학 등에서 많이 이용되어 왔으며(McNair 등, 1992), 해상도와 민감도가 우수한 것으로 평가되었고, 유기용제, 농약, 망간이나 수은, 납 등의 중금속 노출에 의한 정신과적 증상의 평가에서도 다른 신경행동학적 검사 도구들과 함께 적용되어 왔다(Liang 등, 1993; Mergler 등, 1994; Escalona 등, 1995). 감정측면도의 각 요인에 있어서 노출정도에 따른 차이는 없었으나, 위험요인과 관련한 회귀분석에서 망

간 관련 노출기간이 증가할수록 분노-적대($p < .05$), 혼돈($p < .1$)에서 유의하게 척도 점수가 증가하였다. 감정측면도는 활기와 친밀감을 제외하고 각 요인간의 상관성이 0.6~0.9로 비교적 크므로, 임상적 상황에서는 총점을 신뢰할 수 있다고 보는데(McNair 등, 1992), 총점의 경우도 이 연구에서 망간 관련 작업기간이 길수록 유의한 총점 증가를 보였으며, 이는 망간의 신경행동학적 장애에서 감정 이상이 발생할 수 있다는 사실과 일치되는 소견이다.

신경행동검사중 단순반응시간은 주의 집중 능력, 숫자암기는 청각 기억능력, 손 민첩성 검사는 손 조작의 숙달, 숫자부호는 지각과 운동속도, 시각기억 검사는 시각인지와 기억, 목적점 찍기는 운동 끈기 능력을 보는 검사이다(WHO, 1986). 노출정도에 따른 차이가 유의하게 나타난 검사는 숫자암기, 숫자부호화, 목적점찍기(맞은 수), 손가락두드리기(자주 쓰는 손)였다. 신경행동검사에 주요 영향을 미치는 변수인 나이와 교육기간을 보정한 후의 통계적 유의성은 숫자부호화와 손가락두드리기에서만 있었다. 신경행동검사 수행 능력에 영향을 미치는 주요 변수를 살펴보면, 나이는 숫자부호화, 목적점찍기, 손가락두드리기에서 유의하게 연령증가에 따른 수행 능력의 감소를 보였으며, 교육기간은 숫자암기, 숫자부호화, 시각기억, 목적점찍기(맞은 수), 손가락두드리기(자주 쓰는 손)에서 교육기간이 길수록 수행 능력이 증가함을 알 수 있다.

이는 Iregren(1990), Wennberg 등(1991), Sjogren 등(1996)의 결과와 대체적으로 일치하는 것으로 비노출군에 비해 저노출군, 저노출군에 비해 고노출군에서 이들 검사 수행 능력이 저하됨을 가리킨다. 예를 들면, Wennberg 등(1991)의 연구를 보면, 용해로 작업을 하는 제련공에서 저농도의 망간($0.19-1.39 \text{ mg/m}^3$)에 1~45년간 노출된 30명의 남자 근로자와 대조군에 대한 신경학적 검사상 뇌파 검사와 정신과적 검사에서는 차이가 없었으나, 노출 집단에서 몇가지 증상 빈도와 p-300 latency 및 단순반응시간은 증가되어 있었고 손가락두드리기와 숫자암기는 장애가 있었다. 이외에도 밧데리제조업, 망간단괴 연마, 망간합금 등에서도 망간에 의한 신경 행동학적 수행 능력의 감소가 보고된 바 있다(Brown 등, 1991; Roels 등, 1992; Chia 등, 1993; Mergler 등, 1994).

우리나라 망간 노출 근로자에 대한 신경행동검사 수행 성적에 대한 연구는 없으나 신경독성물질에 노출되지 않은 건강한 남자의 신경행동학적 검사 수행 능력을 보면, 대부분 피검자의 나이 및 교육수준의 영향을 받는 것으로 나타났다(이세훈 등, 1995). 신경독성물질 노출과 관련해서 유기용제에 노출된 근로자들은 대조군에 비해 숫자암기, 숫자부호화의 수행 능력이 저하되어 있었고(조수현 등, 1995), 연령도에 따라서는 숫자암기(역순), 숫자부호화, 시각기억에서 고농도군과 중간농도군이 저농도군에 비해 유의하게 수행 능력이 저하되었으나, 연령과 교육기간의 보정후에는 시각기억에서 여전히 유의한 감소를 보였고, 연령 및 교육기간과 상관성이 가장 큰 항목은 숫자부호화였다(박인근 등, 1995).

뇌자기공명영상 소견에서 고신호강도는 노출정도에 따른 군간의 차이가 유의하게 컸으며, 이는 강력한 노출 지표를 반영한다고 할 수 있다. 나이, 교육기간, 업무형태, 노출정도, 망간 관련 작업기간 및 혈중 망간과 유의한 상관성을 보였는데 이러한 뇌자기공명영상 소견에서의 고신호강도에 영향을 미치는 위험요인에 대한 로지스틱 회귀분석 결과에서 가장 중요한 요인이 노출정도와 혈중 망간이었다. 이러한 결과는 고신호강도의 양성률이 있어서 46.1%(정해관 등, 1997), 66.0%(홍영섭, 1997), 77.1%(임현우 등, 1997)에 이르기까지 다양하였으나 이는 주로 조사 대상군의 망간 노출 업종 및 노출정도의 차이에서 기인하는 것으로 보이나, 특히 망간 노출이 있는 용접공에서는 과반수 이상에서 뇌자기공명영상 검사시 기저부의 양성성 고신호강도를 관찰할 수 있었다. 또한 대조군에 대한 연구가 동시에 행해진 정해관 등(1997)의 보고에 의하면 대조군에서 고신호강도를 보이는 경우는 일부 부위를 제외하고는 없어 이 연구결과와 비슷하였다. 따라서 망간 노출시 나타나는 고신호강도는 망간 노출 근로자에서 매우 높은 양성률을 보이며 노출정도와 밀접한 연관성을 보임을 알 수 있다. 대부분의 연구에서 고신호강도가 주로 나타나는 기저부의 담창구 신호강도지표는 혈중 망간 농도와 유의한 상관관계를 보여주고 있는데, Krieger 등(1995)은 만성 간경변환자에서 담창구지표와 혈중 망간 농도간의 상관성이 매우 높은($R_s=0.8$, $p < 0.01$) 반면 대조군에서는 아무런 상관관계를 보이지 않음($R_s=-0.3$, $p > 0.05$)을 보고하였

다. 고신호강도와 생물학적 노출지표와의 상관관계는 보고자에 따라 차이를 보이는데 이는 조사 대상자의 망간 노출 성격에 따라 달라진다고 생각된다. 즉, 대사장애로 인한 만성간질환자의 경우 혈중 망간 농도와 뇌내 망간 측정량간의 장기간에 걸친 항상적인 평형상태로 인한 높은 상관관계를 보이는 반면, 망간 노출이 일정하지 않은 용접공의 경우 비교적 단기간의 체내 누적정도를 나타내는 혈중 망간 농도와 보다 장기간에 걸친 뇌내 망간축적 정도를 보이는 신호강도 간의 관계는 노출 정도와 노출 방법 및 기간에 따라 다른 양상으로 발현될 수 있을 것이다(정해관, 1997). 기존 보고들의 경우에도 비교적 작업방법과 강도가 유사한 용접공을 대상으로 한 연구(임현우 등, 1997)에서 높은 상관관계를 볼 수 있는 반면 여러 사업장의 용접공을 대상으로 한 연구(정해관 등, 1997)에서는 상관관계가 매우 낮게 나오는 점에서도 이를 확인할 수 있다.

망간 노출 근로자의 뇌자기공명영상에서 관찰되는 고신호강도는 일차적으로 조직의 손상 및 병리적 변화인지 혹은 단순한 국소적 망간침착 소견에 불과한지에 대해 논란이 있었다. 그러나 첫째로 고신호강도 소견은 가역적이다. 즉, 노출이 중단되면 6개월~1년에 걸쳐 고신호강도 소견이 소실된다. 이는 실험적 연구를 통해 밝혀진 망간의 중추신경에서의 반감기가 50~200일이라는 점과도 부합된다. 둘째로, 역학적 연구에서 고신호강도 소견과 신경학적 임상 검사와의 불일치로 인하여 이를 신경손상의 직접적인 증거로 보기보다는 노출정도를 나타내는 것으로 보는 것이 더 합리적으로 받아들여지고 있다. 그러나 이를 원인-결과 관계로 보기는 어렵다 하더라도 이 연구에서처럼($R_s=0.255$, $p<0.01$, $odds\ ratio=6.90$) 임현우 등(1997)의 연구에서 현직 망간 노출 근로자중 고신호강도 소견을 보이는 자에서 신경학적 검사결과와 상관성이 높으며($R_s=0.422$, $p<0.05$, $odds\ ratio=2.42$), 고신호강도 소견이 신경행동검사의 손가락민첩성(잘 쓰지 않는 손), 숫자암기(역순암기), 숫자부호화, 목적점찍기, 손가락 두드리기와 상관성이 있으며, 고신호강도 여부에 따른 나이와 교육기간의 보정후의 신경행동검사(손가락민첩성, 손가락두드리기)가 유의한 차이를 보여(김규상, 1997) 단순한 망간 침착 소견만으로 보기는 어렵다고 생각된다. 최근의 환자-대조군연구에서

도 조기 파킨슨병에 대한 신경행동검사상 손가락두드리기(4 bars tapping) 결과가 특히 유의하였다(Anger 등, 1997). 그렇지만 파킨슨증후군을 의심할 수 있는 명확한 신경학적 이상을 나타내는 경우는 매우 드물고, 오히려 고신호강도 양성률이 용접공 보다 낮은 비용접공으로서 망간 노출 근로자(제련공)에서만 보이는 것(김규상, 1997)은 고신호강도 소견이 직접적인 연관관계를 갖기 보다, 일정하게 누적적으로 장기간 노출되는 만성 노출이 더 큰 영향을 주었을 것으로 생각된다.

정준상관분석을 통해 이상의 결과를 종합하면, 망간 관련 사업장 근로자의 정신·신경행동검사 결과를 특이하게 표현한 변수는 신경행동검사, 신경학적 진찰 소견상 이상징후, 뇌자기공명영상 결과 고신호강도, 감정측면도 검사의 순이었으며, 신경행동검사의 영향력의 크기는 목적점찍기, 숫자부호화, 숫자암기, 손가락민첩성, 단순반응시간, 손가락두드리기, 시각기억의 순이었다. 정신·신경행동검사 결과에는 나이, 흡연력, 음주력, 교육기간, 망간 관련 작업기간이 영향을 미쳤다. 즉 나이, 흡연과 음주력, 망간 관련 작업기간이 증가하고 교육기간이 짧을수록, 감정측면도의 점수가 감소하고 신경행동검사의 수행 능력을 저하시키며 뇌자기공명영상 소견의 고신호강도와 신경학적 진찰 소견의 이상 징후에 나쁜 영향을 미친다. 이를 모형화하여 살펴보면 Fig. 1과 같다.

망간 관련 사업장의 근로자를 대상으로 한 정신·신경행동검사 결과를 다차원적으로 평가한 이 논문에서는 인구학적 특성인 나이, 교육기간, 흡연 및 음주 등의 건강행태가 작업 노출력 보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 보이는데, 이는 첫째 정상 근로자를 무작위 추출하여 조사를 하였으며, 특히 내부 대조군의 비노출군으로서의 제한점과 둘째로 표본수가 적었으며, 셋째로는 망간에 대한 지속적인 장기간의 노출을 누적 노출량으로서 평가하지 못했기 때문으로 생각된다. 그러나 부분적으로 환경노출 - 생물학적 내부노출 - 뇌내 노출로 인한 망간 뇌침착 - 초기(subclinical and preclinical) 신경행동장애(신경행동검사, 신경학적 진찰 소견상의 이상 징후)와의 관련성 및 영향을 볼 수 있었다. 다만 이 연구 결과는 노출로 인한 파킨슨병 또는 정신신경장애의 결과(health outcome)로 보기보다는 정신·신경행

결론

동검사 및 신경학적 진찰 등 측정가능한 검사를 통한 변화(measurable change) 양상과의 관련으로 보아야 할 것이다.

그리고 실제 망간중독으로 완전히 진행된 병은 특이한 증상과 신경학적 징후만으로 진단될 수 있지만 조기증상 및 징후는 망간중독에 특징적이지 않다. 또한 최근의 연구에서 알고 있는 망간 농도와 관련하여 주의깊은 신경학적, 정신과적 검사를 하여 건강해 보이는 근로자에서 신경학적 효과의 임상전 징후가 증가되어 있음을 알 수 있으나(Roels 등, 1987; Iregren, 1990), 이들 징후는 망간 노출 근로자에서 망간의 임상전 영향을 쉽게 확인할 수 있는 충분히 특이한 것은 아니다. 따라서 앞으로 망간 작업자의 파킨슨증후군의 발현 과정에서의 노출의 영향을 평가하기 위해서는 보다 정확한 망간의 누적 노출량의 평가와 더불어 노출 근로자에 대한 코호트 연구와 파킨슨병 환자에서의 위험요인을 규명하기 위한 환자-대조군 연구가 향후 활발하게 이루어져야 할 것이다.

대표적인 망간 노출 업종중 용접, 제련, 망간봉 제조 사업장 근로자를 대상으로 작업환경측정을 통한 망간 노출 실태 및 노출량을 평가하고 이에 따른 정신·신경행동검사를 한 결과 상호 관련성 및 위험요인은 다음과 같다.

1. 망간 노출이 클수록 신경행동 수행 능력이 통계적으로 유의하게 감소하였다.
2. 이 연구에서 조사된 정신·신경행동검사인 자각증상, 간이정신검사, 신경행동검사, 신경학적 진찰 소견 등의 검사내 상관성은 높았으나 검사간의 상관성은 주관적인 자각증상 또는 인지적 기능을 평가하는 정신과적 검사보다 신경행동검사상의 수행능력, 뇌자기공명영상 소견과 신경학적 진찰 등 보다 객관적인 검사간 상관성이 높았다.
3. 환경노출 - 생물학적 내부노출 - 뇌내 노출로 인한 망간 뇌침착 - 초기(subclinical and pre-clinical) 신경행동장애(신경행동검사, 신경학적 진

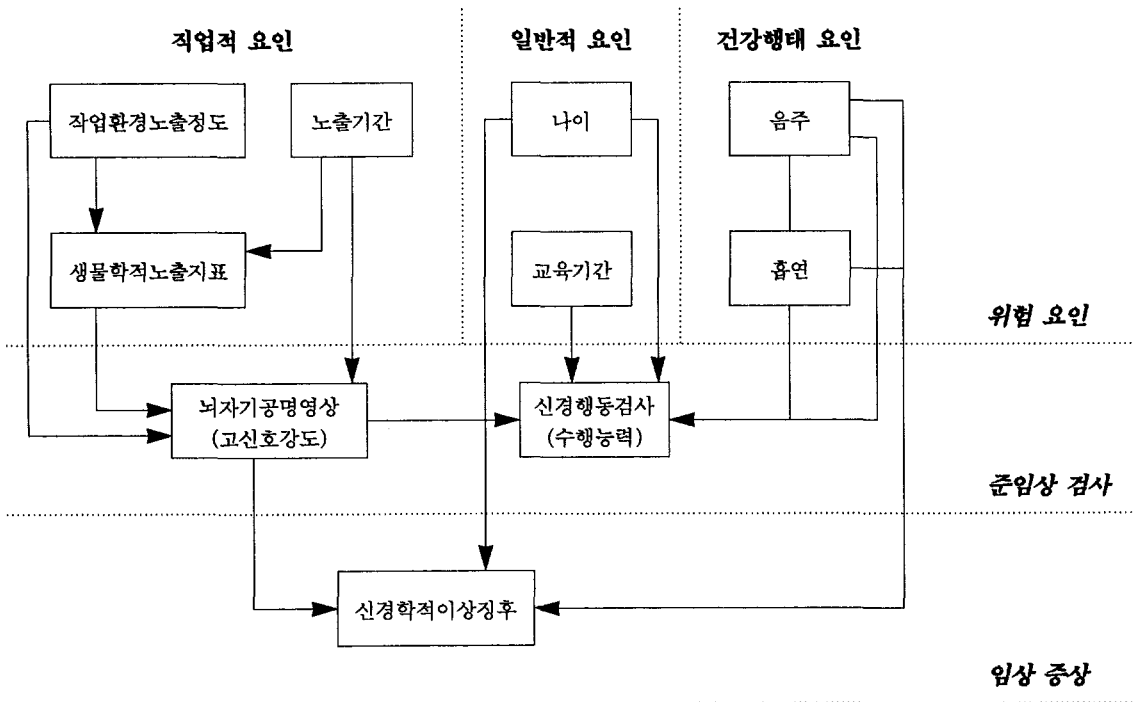


Fig. 1. 망간 노출 환자에서의 정신·신경행동검사 결과와 관련 요인과의 관계

찰 소견상의 이상징후)와의 관련성 및 영향을 볼 수 있었다.

4. 망간 관련 사업장 근로자의 정신·신경행동검사 결과와 이에 영향을 미치는 요인간의 관계를 분석한 결과, 정신·신경행동검사 결과를 특이하게 표현한 변수는 신경행동검사, 신경학적 진찰 소견상 이상징후, 뇌자기공명영상 결과 고신호강도, 감정측면도 검사의 순이었으며, 정신·신경행동검사 결과에 영향을 미치는 독립 변수로는 나이, 흡연력, 음주력, 교육기간, 망간 관련 작업기간의 순이었다. 나이, 흡연과 음주력, 망간 관련 작업기간이 증가하고 교육기간이 짧을수록, 감정측면도의 점수가 감소하고 신경행동검사상의 수행 능력이 저하되며 뇌자기공명영상 소견의 고신호강도와 신경학적 진찰 소견상 이상 징후에 부정적으로 영향을 주었다.

결론적으로, 망간 관련 사업장의 망간 노출 농도는 작업의 특성에 따라 차이를 보이며, 이에 생물학적 내부 노출량과 뇌내 망간 침착에 영향을 미칠 것으로 생각되나 정신·신경행동검사에는 인구학적 특성인 나이, 교육기간, 흡연 및 음주 등의 건강상태와 작업 노출력이 복합적으로 영향을 미치는 것으로 판단된다.

향후 망간 노출 작업자에서 보다 정확한 망간의 누적 노출량 평가에 따른 신경학적 징후 및 파킨슨 증후군의 발현 과정에서의 노출 영향을 평가하기 위해 근로자에 대한 추적 연구가 필요하다.

인용문헌

김규상. 우리나라 망간 폭로 근로자의 자기공명영상 소견 분석. 망간에 의한 근로자의 건강장해. 산업보건연구원, 1997.

김양호, 김재우, 이도건고, 임현술, 신용철, 김규상, 문영한. 망간중독이 의심되었던 용접공에서의 양전자방출단층촬영(PET) 결과. 대한산업의학회 1997.

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

박인근, 이덕희, 이용환, 김진하, 장세한. 연 폭로근로자의 신경행동학적 변화. 예방의학회지 1995;4:175-185.

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

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

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

임현우, 김지홍, 구정완, 이강숙, 박정일, 이정옥, 한시영, 장혜숙, 이재문. 망간흡에 노출된 용접공에서의 뇌자기공명영상 및 신경학적 소견. 대한산업의학회, 1997.

정해관. 직업적 망간폭로에 있어서 자기공명촬영의 의의. 망간에 의한 건강장해. 산업보건연구원, 1997.

정해관, 임현술, 임명아. 뇌자기공명 신호강도지표를 이용한 용접공의 직업적 망간폭로 평가. 대한산업의학회 1997.

조수현, 김선민, 권호장, 임용현, 임현술. 만성유기용제 폭로에 의한 정신신경학적 이상소견의 현장진단방법 개발에 관한 연구. 예방의학회지 1993;26:147-164.

조수현, 한상환, 하미나, 윤덕로, 권호장, 유기용제 사용 소규모사업장의 체계적 건강관리 프로그램 개발에 관한 연구1-신경행동학적 검사법의 적용 가능성. 대한산업의학회지 1995;7:258-268.

조영숙. 만성적 유기용제 폭로로 인한 조선업 도장공들의 신경행동학적 영향에 관한 연구. 산업간호학회지 1997; 6:53-71.

진영우, 김양호, 김규상, 김은아, 조영숙, 신용철, 채창호, 최용휴, 이세훈, 문영한. 망간에 폭로된 용접작업자들의 신경행동검사 수행능력. 대한산업의학회지 1999;11:1-12.

홍영습, 이용희, 권귀련, 김준연. 용접공에서 발생한 망간 중독에 의한 파킨슨증후군 1례. 대한산업의학회 1997.

홍영습, 임명아, 이용희, 정해관, 김지용, 임현술, 김병권, 김정만, 정갑열, 김준연, 이증정, 사공준. 용접공에서 발생한 망간중독증. 대한산업의학회 1996.

홍영습. 연강/아크 용접 근로자들의 뇌자기공명영상에서 관찰된 고신호강도의 망간폭로지표 및 임상적 의의에 관한 연구. 망간에 의한 근로자의 건강장해. 산업보건연구원 1997.

Anger WK, Camicioli RC, Rohlman DS, Grossmann SJ, Glasser J, Hudnell K. Behavioral measures predictive of early Parkinson disease. 망간에 의한 근로자의 건강장해. 산업보건연구원, 1997.

Baker EL, Letz RE, Filder A. A computer administered neurobehavioral evaluation system for occupational and environmental epidemiology. J Occup Med 1985;27(3):206-212.

Brown DS, Wills CE, Yousefi V, Nell V. Neurotoxic effects of chronic exposure to manganese dust. Neuropsychiatr Neurophysiol Behav

- Neurol 1991;4:238-250.
- Chia SE, Foo SC, Gan SL, Jeyaratnam J, Tian CS. Neurobehavioral functions among workers exposed to manganese ore. *Scand J Work Environ Health* 1993;19:264-270.
- Clayton GD, Clayton FE. *Patty's industrial hygiene and toxicology*, New York, A Wiley-Interscience Publication 1981:1749-1769.
- Cook DG, Fahn S, Brait KA. Chronic manganese intoxication. *Arch Neurol* 1974;30:59.
- Ericksson H, Tedroff J, Thoumas KA, Aquilinius AM, Hartvig P, Fasth KJ, Bjurling P, Langstorm B, Headstrom KG, Heilbronn E. Manganese induced brain lesion in *Macaca fascicularis* as revealed by positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Arch Toxicol* 1992;66:03-407.
- Escalona E, Yanes L, Feo O, Maizlish N. Neurobehavioral evaluation of Venezuelan workers exposed to organic solvent mixtures. *Am J Ind Med* 1995;27:15-27.
- Iregren A. Psychological test performance in foundry workers exposed to low levels of manganese. *Neurotoxicol Teratol* 1990;12:673-675.
- Klaassen CD. Biliary excretion of manganese in rats, rabbits, and dogs. *Toxicol Appl Pharmacol* 1974;29:458-468.
- Krieger D, Krieger S, Jansen O, Gass P, Thellman L, Lichtnecker H. Manganese and chronic hepatic encephalopathy. *Lancet* 1995;346:270-274.
- Liang YX, Sun RK, Sun Y, Chen WQ, Li LH. Psychological effects of low exposure to mercury vapor: application of computer-administered neurobehavioral evaluation system. *Environ Res* 1993;60:320-327.
- McNair DM, Lorr M, Droppelman LF. *Edits manual for the profile of mood states*. San Diego, Educational & Industrial Testing Service, 1992.
- Mergler D, Huel G, Bowler R, Iregren A, Belanger S, Baldwin M, Tardif R, Smargiassi A, Martin L. Nervous system dysfunction among workers with long-term exposure to manganese. *Environ Res* 1994;64:151-180.
- Newland MC, Weiss B. Persistent effect of Manganese on effortful responding and their relationship to manganese accumulation in the primate globus pallidus. *Toxicol Appl Pharmacol* 1992;113:87-97.
- 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.
- Saric M, Markiceric A, Hrustic O. Occupational exposure to manganese. *Br J Ind Med* 1977;34:114-118.
- Sjogren B, Iregren A, Freech W, Hagman M, Johansson L, Tesarz M, Wennberg A. Effects on the nervous system among welders exposed to aluminium and manganese. *Occup Environ Med* 1996;53:32-40.
- Smyth LT, Ruhf RC, Whitman NE, Dugan T. *Clinical manganism and exposure to manganese in the production and processing of ferromanganese alloy*. *J Occup Med* 1973;15: 101-109.
- Tanaka S, Lieben J. Manganese poisoning and exposure in Pennsylvania. *Arch Environ Health* 1969;19:674.
- 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. Chronic neurological disease in two manganese steel workers. *Am Ind Hyg Assoc J* 1966;27:454.
- World Health Organization. *Environmental health 5. Organic solvents and central nerve system*. Copenhagen, 1985, WHO Regional Office for Europe.
- World Health Organization. *Operational guide for WHO neurobehavioral core test battery*. Geneva, 1986, WHO Office of Occupational Health.