

보건분야 - 연구자료
연구원 2002-5-5
H-RD-I-2002-5-5

**유해물질 노출 근로자의
생물학적 모니터링(II)**
- 브롬화메틸 노출 근로자에 대하여-
Biological Monitoring for the
Workers Exposed to Methyl Bromide

2001

한국산업안전공단
산업안전보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 연구를 2001년도 산업안전보건연구원의 연구사업중 “유해
물질 노출 근로자의 생물학적 모니터링 연구(II)”에 대한 최종
결과 보고서로 제출합니다.

2001년 12월 31일

제출자 : 산업안전보건연구원장 정 호 근

연구책임자 : 수석연구원 강 성 규

공동연구자 : 선임연구원 이 미 영

기술직 김 태 균

기술직 조 영 숙

계약직 이 혜 실

요 약 문

1. 과제명: 유해물질 노출 근로자의 생물학적 모니터링(II)

- 브롬화메틸 노출 근로자 -

2. 연구기간: 1년 (2001년 1월 - 2001년 12월)

3. 연구자: 총괄연구책임자 : 강 성 규 (수석연구원)

공동연구자 : 이 미 영 (선임연구원)

김태균, 조영숙, 이혜실 (기술직)

4. 연구목적

최근 농산물의 교역량이 증가하면서 해충을 예방하기 위한 방역작업이 증가하고 있어 방역작업에 사용되는 브롬화메틸에 의한 건강장해가 발생하고 있다. 브롬화메틸은 무색 투명한 액체 또는 기체로서 고농도에서는 클로로포름 비슷한 냄새가 나지만, 저농도에서는 아무런 냄새나 맛이 없다. 따라서, 브롬화메틸에 노출되는 정도를 근로자 스스로 인지하지 못하여 이로 인한 직업병의 발생 가능성이 높으나 근로자 건강진단에서는 적절한 관리방법을 제시하고 있지 못하다. 이 연구에서는 브롬화메틸에 노출되는 근로자의 직업병을 예방하기 위한 체내 노출지표로서 혈중 및 요중 브롬이온농도를 이용한 생물학적 모니터링 방법을 개발하고자 한다.

5. 연구내용

1) 문헌조사 및 사례 분석

우리나라에서 인정된 브롬화메틸중독질환 사례를 분석하였다.

2) 예비실험

혈중 및 요중의 브롬이온 분석 방법에 대한 실험실적 분석법을 검토하였고, 분석법을 확립하기 위해 예비실험을 실시하였다.

3) 브롬화메틸 사용실태에 대한 조사

공단이 작업환경실태조사 및 특별점검에서 확인된 브롬화메틸을 사용하는 사업장에 대한 정보를 기초로 브롬화메틸 작업장에 대한 실태를 조사하였다.

4) 사업장 조사

브롬화메틸을 사용하여 방역작업을 하는 사업장에 대한 조사를 실시하여 설문조사, 혈액검사, 생물학적모니터링, 신경행동검사 등을 실시하였다.
(노출군 약 140 명)

5) 시료 및 자료 분석

채취된 혈액 및 소변시료를 분석하였으며, 컴퓨터에 자동 저장된 신경행동검사 결과를 추출하여 분석하였다.

6) 결과자료 분석 및 보고서 정리

분석된 자료를 바탕으로 브롬화메틸의 생물학적 모니터링 방법에 대해 보고서를 정리하였다.

6. 활용계획

본 연구 결과 브롬화메틸 노출 근로자에서 혈중 및 요중 브롬이온농도가

매우 안정적으로 분석되고 노출정도를 정확히 평가할 수 있으므로 특수건강진단의 항목으로 혈중 또는 요중 브롬이온농도 추가할 수 있도록 검토함

7. 연구개요

연구목적: 이 연구에서는 브롬화메틸에 노출되는 근로자들의 노출정도를 파악하기 위한 생물학적 모니터링 방법으로 혈중 및 요중 브롬이온농도 측정을 활용할 수 있는 방법을 모색하기 위해 시도되었다.

연구방법: 최근에 우리나라에서 발생한 브롬화메틸중독 사례를 분석하였고, 브롬화메틸을 취급하는 근로자들에 대해 혈중 및 요중 브롬이온을 분석하였으며 컴퓨터 신경행동검사로 중추신경계의 장애를 평가하였다.

연구결과: 훈증방역소독업에 종사하는 근로자 147명의 혈액 및 소변 중 브롬이온농도는 각각 20.7 mg/L, 15.6 mg/L이었다. 혈액 및 소변 시료 채취를 할 때 작업시작 전과 후에 따른 차이는 없었다. 혈중 브롬이온은 요중 브롬이온과 높은 상관관계를 보였고($r=0.737$, $p<0.01$) 요중 브롬농도 10 mg/L에 해당하는 혈중 브롬농도는 15.4 mg/L이었다. 혈중 브롬이온농도와 요중 브롬이온농도가 증가함에 따라 신경행동검사에서 숫자암기와 부호숫자검사의 기능저하 소견을 보였다. 그러나, 브롬화메틸에 노출되는 근로자들의 신경행동검사 소견은 전반적으로 노출기준이상으로 톨루엔에 노출되는 근로자에 비해 우수한 소견을 보였다.

결론: 혈중 또는 요중 브롬이온은 시료채취 시기와 무관하게 일정하고 체내에 노출량을 잘 반영해 주므로 브롬화메틸의 생물학적 노출지표로 유용하게 사용

될 수 있다. 혈중 및 요중 브롬이온을 이용한 고노출군에서는 일부 신경행동검
사 결과에서 기능저하 소견을 보이고 있어 생물학적 모니터링을 통한 건강관리가
필요한 것으로 나타났다.

중심어: 훈증방역소독, 브롬화메틸, 중추 및 말초신경장해

차 례

제 1장 서 론	1
1. 연구배경 및 목적.....	1
제 2장 연구 방법 및 대상	4
1. 브롬화메틸 중독 사례에 대한 조사	4
2. 브롬화메틸 사용 사업장에 대한 조사	4
3. 생물학적 노출지표검사.....	5
4. 혈액 검사	7
5. 중추 및 말초신경계 조사.....	8
제 3 장 본 론	12
1. 우리나라 브롬중독 사례 연구.....	12
2. 브롬화메틸에 대한 생물학적 모니터링 결과.....	20
3. 증상 설문조사 결과.....	26
4. 신경행동검사 결과	28
제 4 장 고 찰 및 결론.....	36

제 1장 서 론

1 연구배경 및 목적

가 연구배경

브롬화메틸은 토양 및 저장식품의 훈증제, 메틸화 물질, 소화제 및 냉동제, 이온화(전리) 장치, 양모의 탈지, 유류 추출로 사용되거나 농산물이나 목재의 해충을 구제하기 위한 목적으로 가장 널리 사용된다. 브롬화메틸을 이용한 훈증소독은 수입되는 목재, 과실류, 종자류, 쌀 등 곡류에 묻어오는 해충에 의한 피해를 예방하기 위해 소독방법으로 또는 외국에 수출하는 농산물에 대한 소독방법으로 널리 사용되며 최근에 농산물의 교역량이 증가하면서 브롬화메틸을 이용한 훈증 방역소독이 증가하고 있다. 브롬화메틸은 무색 무취의 화학물질로서 인체에 강한 독성이 있어 각별히 취급에 주의를 기울여야 하기 때문에 국내에서는 정부에 등록된 방제업자만이 농림부의 감독하에 브롬화메틸을 취급할 수 있다. 또한 브롬이 함유된 브롬화메틸은 염소가 함유된 프레온가스류보다 더 강력한 오존파괴물질로 현재로는 그 적절한 대체물질이 없어 선진국에서도 널리 사용되고 있지만 장기적으로는 사용을 중단하려고 하고 있다.

브롬화메틸은 호흡기로 흡입되거나 피부 접촉으로 흡수되는데 급성 또는 만성 중독을 일으켜 중추신경계나 말초신경계에 이상을 초래하는 것으로 잘 알려져 있다. 미국과 프랑스의 독성관리센터의 자료에 따르면 훈증소독 작업 중 노출되는 브롬화메틸이나 에피흡에 의한 중독사고가 지속적으로 발생하고 있다. 미국 워싱턴 주에서는 5년간 훈증제관련 중독질환에서 브롬화메틸이 12건으로 에피흡에 의한 사고 다음으로 많았고¹⁾, 프랑스에서는 1973년부터 1994년까지 89건의 중독사례가 보고되었다²⁾. 브롬화메틸에 의한 중독증상은 경한 경우에는 호흡기증상과 눈과 피부의 자

극증상이 많았으며, 심한 경우에는 신경계증상과 소견이 나타나고 있다. 특히 단기간에 고농도에 노출되는 경우 심하면 사망까지 이를 수 있는 강력한 독성물질인데 우리나라에서도 간혹 부주의하여 고농도로 흡입하여 사망하는 사례가 발생하고 있다. 사망사고는 선박의 곡물창고에 훈증 후에 들어가거나 훈증소독을 하는 선박 내에 머물다가 새어나온 브롬화메틸 가스에 중독되어 발생하였다³⁾. 2000년 들어서는 농산물과 원목을 방역하던 서로 다른 방역회사의 세 명의 근로자에게 브롬화메틸에 의한 중추신경장해 및 말초신경염이 각각 발생하여 업무상질병으로 인정받는 사례가 발생하였다⁴⁾⁵⁾. 브롬화메틸에 만성적으로 노출되는 경우 신경장해가 남는다는 것이 보고⁶⁾되고 있으므로 조기에 적절한 수준에 노출될 수 있도록 하는 관리방법의 개발이 필요하다.

브롬화메틸은 특정화학물질로 취급되어 이를 취급하는 사업장은 작업환경측정을 하여야 하고 노출되는 근로자에 대해서는 특수건강진단을 실시하여야 한다. 브롬화메틸의 작업장 노출기준은 5 ppm으로 설정되어 있지만 작업이 야외에서 이루

-
- 1) Burgess JL, Morrissey B, Keifer MC, Robertson WO. Fumigant-related illnesses: Washington State's five-year experience. J Toxicol Clin Toxicol. 2000;38(1):7-14
 - 2) De Haro L, Gastaut JL, Jouglard J, Renacco E. Central and peripheral neurotoxic effects of chronic methyl bromide intoxication. J Toxicol Clin Toxicol. 1997; 35(1): 29-34
 - 3) 유재훈, 이상기, 진광호, 안상환, 유영찬 등. Methylbromide에 중독된 인체 시료 중 브롬이온의 함량. Analytical Science & Technology. 1998; 11(2): 88-91
 - 4) 박태혁, 김정일, 손지연, 김종국, 김형수, 정갑열, 김준연. 농산물 소독과정에서 브롬화메틸에 노출된 근로자에게 발생한 신경병 2례. 대한산업의학회지, 2000;12(4);547-53.
 - 5) 산업안전보건연구원. 직업병심의자료. 2000.
 - 6) Reidy TJ, Bolter JF, Cone JE. Neuropsychological sequelae of methyl bromide: a case study. Brain Inj. 1994;8(1):83-93

어지는 경우가 많아 현실적으로 작업환경측정이 어렵고 투약이나 훈증 후 개방시 집중적으로 노출되기 때문에 일년에 한두 번의 작업환경측정으로는 정확한 노출실태를 파악하기 어렵다. 특수건강진단에서도 일반적인 의학적 항목만을 조사하거나 신경계질환 같이 질병이 진행된 다음에 조사하는 항목밖에 없어 직업병을 조기에 예방하기 위한 적절한 조기진단 지표 방법이 없는 실정이다.

현재에는 브롬화메틸에 대한 생물학적 모니터링 방법에 제시되지 않고 있지만, 브롬화메틸중독으로 사망한 사람의 혈액의 브롬이온농도가 다른 원인에 의해 사망한 사람의 브롬이온농도보다 뚜렷이 증가된 소견을 보아 브롬화메틸에 노출되는 근로자의 노출수준을 파악하거나 건강장해를 파악하는 수단으로 혈중 및 요중 브롬이온농도 측정을 고려해 볼 수 있다.

나 연구목적

이 연구는 브롬화메틸에 노출되는 근로자들의 노출정도를 파악하기 위한 생물학적 모니터링 방법으로 혈중 및 요중 브롬이온농도 측정을 활용할 수 있는 방법을 모색하기 위해 시도되었다.

제 2장 연구 방법 및 대상

1 브롬화메틸 중독 사례에 대한 조사

2000년에 발생한 3례의 브롬화메틸중독에 대해 조사하여 각 사례의 특징을 요약하였다.

2 브롬화메틸 사용 사업장에 대한 조사

방역업체에서 브롬화메틸 중독 사건이 발생하기 이전에는 브롬화메틸을 사용하는 근로자에 대한 정확한 실태가 파악되지 않고 있었다.

한국산업안전공단에서 1999년에 실시한 작업환경실태조사에서는 브롬화메틸을 사용하는 사업장이 7개로 파악되었다. 이들은 도금업 3개소, 기계부속제조업 2개소, 농산물 가공업 1개소, 인쇄업 1개소이었다. 이들 사업장에서 브롬화메틸에 노출되는 작업에 종사하는 근로자 수는 15명이고 취급량은 연간 약 1,600 kg으로 조사되었다. 노동부에서도 이를 근거로 5개 사업장의 15명의 근로자가 브롬화메틸에 노출되는 것으로 파악하고 있었다.

그러나, 2000년 말 방역소독업체에서 브롬화메틸중독이 문제가 된 후 조사된 자료에서는 전국적으로 18개의 사업체에서 방역소독 작업에 브롬화메틸을 사용하는 것으로 조사되었다. 2001년 초 예비조사과정에서 2개의 사업장이 추가되었고, 2001년 7-8월 현장조사 과정에서 신규 등록 사업장 2개소가 추가되어 2001년 말 모두 22개의 사업장에서 브롬화메틸을 방역소독 작업에 사용하는 것이 확인되었다.

2001년 8월말까지 파악된 사업장의 소재지는 인천소재 8개소, 부산 7개소, 포항시 1개소, 울산시 2개소, 군산 3개소, 목포 1개소이다. 이들 22개 사업장 모두를 조사 대상으로 하여 약 150여명의 근로자 전원을 연구대상으로 하였다.

3 생물학적 노출지표검사

가 혈액 및 소변 시료채취

브롬화메틸에 노출되는 근로자들의 혈액 및 소변의 브롬이온을 측정하기 위해 생물학적 모니터링을 실시하였다. 방역작업은 주로 야외에서 이루어지므로 혈액 및 소변 시료는 작업여건을 고려하여 현장 사무실에 모이게 되는 작업 전 또는 작업 후에 채취하였다.

혈액은 5 ml EDTA 시험관에 채취하고, 소변은 60 ml HDPE 통을 이용하여 채취한 후 냉장상태로 실험실에 이송하여 분석하였다. 혈액의 브롬이온은 혈장 중에서 분석하였고, 소변 중 브롬이온은 소변의 크레아티닌을 구해 보정전과 보정후의 결과를 구하였다.

나 시약 및 장비

브롬 이온 표준용액(1,000 ppm), sodium bicarbonate, sodium carbonate는 Sigma사(미국)의 특급시약을, 아세트니트릴은 J.T.Baker사(미국)의 HPLC용을 사용하였다. 탈이온수는 Millipore사(미국)의 Milli-RO와 Milli-Q water system으로 실험실에서 제조하여 사용하였으며, 시료 전처리에 Sartorius사(미국)의 막여과시험관(6ml)을 사용하였다. 시료 전처리 장비로 Beckman사(미국)의 AVANTI J-25 원심분리기 및 JA25.15 로터를 사용하였으며, 분석에 사용한 장비는 Dionex사(미국)의 Dionex AS50 chromatography compartment,

autosampler, GP50 gradient pump, ED50 electrochemical detector였다. 시료의 분리를 위해 Dionex사(미국)의 IonPac AS4S-SC(4 x 250mm), AG4A-SC guard column(4mm) 칼럼을 사용하였고 suppressor로 ASRS-ULTRA 4mm를 사용하였다.

다 표준용액 제조

브롬 이온 1,000 ppm 표준용액 25ml를 25 mL 용량플라스크에 옮기고, 탈이온수로 표선을 채워 100 ppm 표준용액을 만들었다. 이를 희석하여 1, 5, 10, 50 ppm 표준용액을 만들어 검량선용 표준용액으로 사용하였다.

라 시료 및 표준용액 전처리

혈액을 3,000 rpm에서 10분 원심분리하고 위층의 혈장을 500 μ l 취하여 막여과시험관에 옮긴 후 5,000 rpm에서 15분 원심분리하였다. 여액 50 μ l를 취하여 탈이온수 1,000 μ l와 섞은 검액을 2 ml 자동시료주입기용 바이알에 옮기고 이를 50 μ l 주입하여 이온크로마토그래피로 분석하였다. 소변의 경우도 50 μ l를 취하여 탈이온수 1,000 μ l와 섞은 후 검액으로 하였다. 혈액과 소변 분석용 검량선 작성을 위한 표준용액은 시료와 같은 방법으로 처리를 하여 이온크로마토그래피를 이용하여 분석하였다.

마 분석조건

이온크로마토그래피 이동상으로 1.7mM sodium bicarbonate/1.8mM sodium carbonate을 제조하여 0.45 μ m의 나일론막으로 여과하고 탈기하여 크로마토그래피를 수행하였다. 시료의 검출은 전기전도도 검출기로 수행하였고, cell current는 50mA였다. 이동상의 유속은 2 ml/min였으며, 1회 분석 소요시

간은 10분이었고 브롬 이온은 2.6분에 검출되었다.

바 요중 크레아티닌 분석

요중 브롬이온을 크레아티닌으로 보정하기 위해 요중 크레아티닌을 분석하였다. 요중 크레아티닌 검사는 일회뇨를 방부제 처리없이 채취하여 사용하였으며, COBAS INTEGRA 400(Roche, Switzerland)분석장비로 COBAS INTEGRA 400 요중 크레아티닌 검사 전용시약을 사용하여 검사하였다.

4 혈액검사

가 혈액채취 및 운송

혈액검사 및 생화학검사를 하기 위해 근로자의 혈액을 채취하였다. 근로자의 주정맥에서 채취한 혈액을 EDTA 관과 일반 채혈관에 채취하여 냉장상태로 보관하여 6시간 이내로 실험실에 이송하였다. 일반 혈액검사는 혈액채취 12시간내에 분석을 실시하였으며, 간기능검사와 면역검사는 혈장을 분리하여 분석하였다. 혈액채취는 작업시간을 고려하여 작업시간 종료 후 또는 작업시간 전에 채취하였다.

나 분석방법

1) 자동혈구분석기(CBC)의 분석방법

전혈검사는 항응고제로 EDTA가 들어있는 진공채혈관(Becton Dickinson, USA)을 사용하였으며, 분석장비는 SYSMEX SF-3000(TOA Medical Electronics Co., JAPAN)을 이용하여 백혈구(WBC)는 Semiconductor Laser Flow Cytometry 방법으로, 적혈구(RBC)와 혈소판(PLT)은 DC Detection 방법으

로, 혈색소는 SLS(Sodium Lauryl Sulfate)-Hemoglobin방법으로 검사하였다. 항목별로는 적혈구에서 헤모글로빈(mg/dL), 적혈구수(백만개/cc), 헤마토크릿(%), 평균적혈구용적(mean corpuscular volume, MCV, fL), 평균적혈구혈색소량(mean corpuscular hemoglobin, MCH, pg), 평균적혈구혈색소농도(mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC, g/dL), 적혈구용적분포폭(red cell volume distribution width, RDW-CV, %)를 분석하였고, 백혈구에서는 백혈구수(개/uL), 중성백혈구수(개/uL), 림프구수(개/uL), 단핵구수(개/uL)를 분석하였으며, 혈소판에서는 혈소판수(만개/dL)를 분석하였다.

2) 간기능과 요중 크레아티닌 분석방법

간기능 검사는 Clot Activator와 Gel이 들어있는 진공채혈관(Becton Dickinson, USA)을 사용하였으며, 원심분리기를 이용하여(2500rpm, 10분) 혈청분리후 혈청을 이용하여 COBAS INTEGRA 400(Roche, Switzerland)분석장비로 COBAS INTEGRA 400전용시약을 사용하여 검사하였다.

5 중추 및 말초신경계 조사

가 신경독성질환 관련 설문조사

근로자들에 대한 설문조사를 이용하여 직업력, 폭로력, 과거 질병력을 확인하고, 근로자들의 증상과 신경학적 이상에 대한 검사를 실시하였다.

신경증상에 대한 설문조사는 노동부 용역사업에 의해 서울대학교 의과대학교수헌교수팀이 개발한 신경독성진단을 위한 자각증상설문지를 사용하였다. 근로자에게 설문지를 직접 배포하고 얻어진 결과를 급성중독증상, 전신피로감, 집중력, 인지력, 기억력, 감정변화 등으로 분류하여 양성 응답률을 구하였다.

양성 응답률은 생물학적모니터링에서 얻어진 노출군과 비노출군으로 나누어서 비교하였으며, 다른 신경독성물질 노출 근로자들의 양성응답률과 단순 비교하였다.

나 신경행동검사

신경행동검사는 미국 오레건과의과대학 직업환경독성연구소(CROET, Oregon Health Science University) 부소장 Kent Anger 박사가 고안한 컴퓨터용 신경행동검사(BARS, Behavioral Assessment Research Study)방법을 한글로 번역한 것을 사용하였다. 조사항목은 5가지로 숫자암기, 단순반응시간, 선택주의력검사, 두드리기, 부호숫자로 구성되어 있다. 컴퓨터는 메킨토시파워북 1400을 사용하였으며 컴퓨터를 사용해보지 않았던 사람을 위해 특수고안된 1-9까지 아홉 개의 숫자키만 크게 나타나는 판넬로 키보드를 가리고 사용하였다. 매 검사를 시작하기 전 컴퓨터와 판넬의 숫자키의 연결상태를 확인하기 위해 숫자키에 불이 들어오는지를 시험을 한 후 검사에 들어갔다.

숫자암기는 화면에 주어진 숫자를 기억하고 있다가 적는 것으로 3자리부터 시작하여 9자리까지 구성되어 있다. 숫자암기는 정방향과 역방향으로 두 번 실시하였다. 어느 숫자에서건 두 번 연속으로 암기에 실패하면 다음 단계로 넘어가게 되어 있다. 결과는 맞은 수로 표시하면 숫자가 높을수록 기억력이 좋은 것으로 판단하였다.



그림 1 숫자암기

단순반응시간은 화면에 네모상자가 나타나면 숫자키를 누르도록 하였다. 네모상자는 무작위적인 시간 간격으로 나타나며 6분간 모두 50번이 나타나도

록 설계되었다. 전체 반응시간 평균과 21-30번째 자극의 반응시간 평균을 분석하였다. 반응시간은 msec로 표시되면 숫자가 낮을 수록 단순반응 기능이 좋은 것으로 판단하였다.

선택주의력검사는 화면의 좌우측에 두 개의 박스가 나타나고 그 안에 점이 나타나면 키보드를 누르도록 하였다. 점이 바깥에 나타나면 누르지 않도록 하였고 맞는 응답이 많아지면 점점 빠르게 나타나고 틀린 응답이 많아지면 점점 느리게 나타나도록 고안되었다. 모두 650번을 반응하도록 고안되었다. 결과는 양성응답률이 45-55% 사이에 들어오는 것만을 취

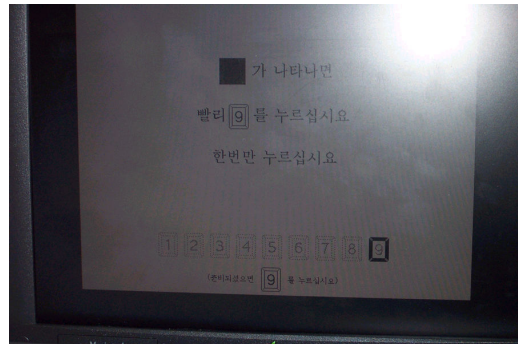


그림 2 단순반응검사

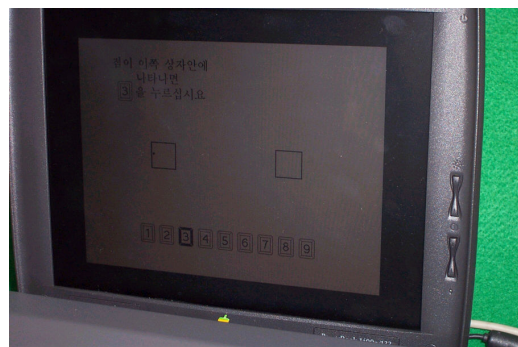


그림 3 선택주의력검사

하여 총응답수, 양성응답수, 전체자극간평균시간, 중간블럭의 자극간평균시간, 전체반응시간, 중간블럭의 반응시간을 구하였다. 총응답수, 정답 수, 오답수는 개수로 표시되며 반응시간은 msec로 표시된다. 정답수는 많을수록 반응시간은 낮을수록 인지력과 반응력이 좋은 것으로 판단하였다.

두드리기는 단순히 키보드를 두드리서 화면에 나타나는 막대모양의 네



그림 4 두드리기

모박스안을 채워나가는 것으로 정해진 시간에 최대 250번을 두드릴 수 있도록 고안되었다. 먼저 우수(잘 쓰는 손)으로 실시한 후 열수(잘 쓰지 않는 손)를 하고 다시 우수로 검사하였다. 마지막으로 우수와 열수로 교대로 두드리도록 하였다. 결과는 우수의 두 번째 시도와 열수, 교대수의 두드린 횟수를 구하였다. 숫자가 많을수록 말초신경기능이 좋은 것으로 판단하였다.

부호신호는 화면 상단에 1-9까지 9개의 숫자에 부호를 부여해 주고 화면 하단에 부호를 준다음 해당하는 숫자를 찾아서 기입하도록 하였다. 한 화면에 20개의 숫자를 주었고 화면이 바뀔 때마다 숫자에 해당하는 부호도 바뀌도록 고안되었다. 맞게 응답한 전체 횟수의 반응시간과 중간 시도의 반응시간을 구하였다. 반응시간은 msec로 표시되면 숫자가 낮을수록 인지력이 좋은 것으로 판단하였다.

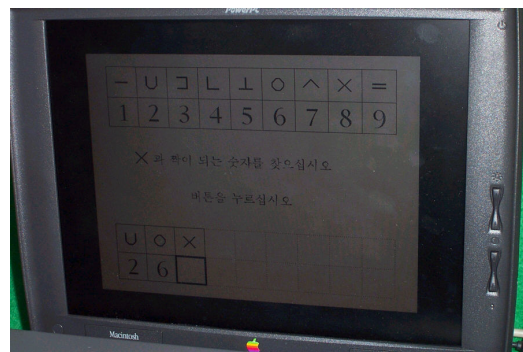


그림 5 부호숫자

모든 검사는 피검자가 스스로 이해할 때까지 연습과정을 거치었으며 제대로 반응한 경우에 다음 단계로 넘어가도록 하였다. 피검자가 이해하지 못하는 경우에는 검사를 중단하였다.

검사 결과는 컴퓨터에 자동으로 입력보관되어 신경행동검사 전문가인 Diane Rohlman 박사에게 보내 해독하였다. 조사 분석결과는 다른 신경독성물질 노출 근로자들의 양성응답률과 단순 비교하였으며 연령, 교육수준, 근무기간이 유사한 남자 근로자만을 신경독성물질에 노출되는 작업을 하는 다른 근로자군의 신경행동검사 결과와 비교하였다.

제 3 장 본 론

1 우리나라 브롬중독 사례 연구

가 천막 원목소독 근로자에서 발생한 브롬화메틸중독⁷⁾

1) 개요

이모씨(남 42세)는 1990년 5월 29일 S사에 입사하여 주로 수입되는 원목 및 식물의 방역 업무를 하였으며, 2000년 5월 손발이 저리고 상하지의 감각이 떨어져 K병원에서 말초신경병으로 진단받고 2000년 8월 5일 산재요양신청하여 브롬화메틸중독으로 인정받았다.

2) 작업환경

S사는 수입 식품이나 원목에 대한 훈증방역소독을 하고 있었다. 수입식품에 대해서는 에피흠(aluminium phosphide)을 사용하고 원목에 대해서는 브롬화메틸을 사용하였다. 원목을 수입한 경우 항구의 야적장에 원목을 쌓은 상태에서 천막으로 완전히 밀폐시킨 후 브롬화메틸을 호스를 이용하여 내부에 투입한 후 24~48시간 후에 천막을 걷어내는 작업을 하고 있었다. 천막을 걷어내는 과정에서 순간적으로 고농도의 브롬화메틸에 노출될 수 있었다.

이씨는 1990년 5월 S사에서 주로 원목에 대한 소독작업을 하였다. 작업시간은 오전 8시부터 저녁 6시까지였다. 천막을 걷어낼 때는 방독면을 착용하여야 하나 대부분 착용하지 않고 작업을 하였다.

7) 산업안전보건연구원 직업병심의자료, 2001



그림 6 천막에 싸여진 원목더미



그림 7 브롬화메틸의 주입과정



그림 8 원목소독 후 천막제거작업



그림 9 천막제거작업

3) 질병 진행 사항

이씨는 입사 15년 후인 2000년 4월부터 손발이 저린감이 있었으며 한달 후에는 상하지의 감각이 떨어졌고 K병원에서 말초신경염으로 진단을 받았다.

K병원 입원당시 양측 상지 및 하지의 통증감각 및 진동 감각의 저하와 보행실조가 있었고 혈중 브롬 농도는 0.79 mg/dL이었으나 혈액검사에서는 이상소견은 없었다. 뇌전산화단층촬영(CT)에서 이상소견은 없었다. 근전도검사와

신경전도속도검사에서 이상소견이 없었으며 경골신경과 정중신경에 대한 감각신경유발전위검사(SEP)에서도 이상 소견은 없었다.

2000년 11월 S병원에서 실시한 신경전도검사서 이상소견은 없었다. 중추신경계 이상을 확인하기 위한 자기공명영상(MRI), 시각유발전위(VEP), 청성유발전위(BAEP), 감각신경유발전위(SEP), MRI diffusion+flair 검사에서 모두 정상이었다.

이씨는 과거에 특별한 신경질환을 앓은 적이 없고, 술은 일주일에 2-3회 한 번에 소주 반병 정도를 마시는 주량이었고, 흡연량은 20 갑·년이었다.

4) 이씨의 작업관련성에 대한 평가

이씨는 15년간 브롬화메틸에 노출되었으며 다른 신경독성물질에 노출된 적이 없고 신경질환없이 중추 및 말초신경증상과 소견을 나타냈다. 이씨에 대한 중추 및 말초신경장애에 대한 검사에서 대부분 음성으로 나타났는데 이는 브롬화메틸에 노출을 중단한 다음 6개월 이상의 상당기간이 지난 후 검사가 실시되었기 때문으로 추정된다.

이씨는 2001년 7월 연구조사 당시 증상이 많이 회복되었으나 근력이 회복되지 않아 재활치료를 받고 있었으나 곧 작업에 복귀할 예정을 하고 있었다.

나 컨테이너 소독 근로자에서 발생한 브롬화메틸중독⁸⁾⁹⁾

1) 개요

임씨(남 19세)는 2000년 3월부터 2000년 5월까지 대학 재학 중 아르바이트

8) 박태혁, 김정일, 손지연, 김종국, 김형수, 정갑열, 김준연. 농산물 소독과정에서 브롬화메틸에 노출된 근로자에게 발생한 신경병 2례. 대한산업의학회지, 2000;12(4);547-53.

9) 산업안전보건연구원. 직업병심의자료. 2000.

로 컨테이너의 수입 식품에 대한 방역작업을 하였는데, 2000년 4월 중순부터 말을 더듬기 시작하였고, 5월부터는 어지러움과 기면상태에 빠졌고, 손떨림 증상으로 인해 손가락질에 장애를 받았다.

2) 작업환경

K사는 수입용 식물 특히 과일류에 대한 방역소독을 하는 사업장으로 원목이나 과실류에 대해서는 브롬화메틸을 사용하고 건조농산물에는 에피흠을 사용하여 방역작업을 하고 있었다.

컨테이너 방역작업은 과실류가 들어 있는 컨테이너 내에 송풍기와 투약관을 설치하고 밀봉한 후 브롬화메틸이나 에피흠을 투여하여 2시간 정도 훈증한 후 컨테이너를 열어 송풍기와 관을 제거한다.

임씨는 수입오렌지에 대한 컨테이너 방역을 하였는데, 하루 7-8시간씩 30-40개의 컨테이너를 처리하였다. 컨테이너는 소독 후 1시간정도 개방한 후에 송풍기와 설치관 제거작업을 하여야 하나 작업물량이 많은 때는 개방하자마자 작업을 하였고 방독면은 잘 착용하지 않았다.



그림 10 소독약 주입작업

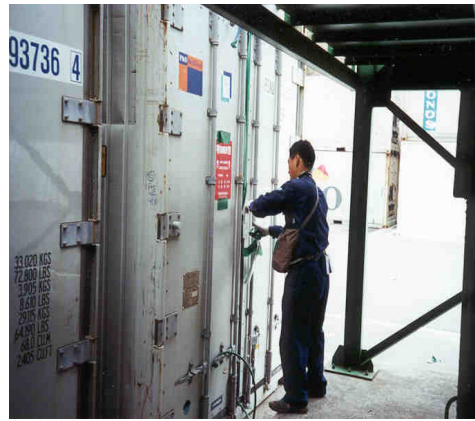


그림 11 훈증 소독제 제거작업

3) 작업환경평가

브롬화메틸중독 사건이 발생한 후 K사에 대한 작업환경측정결과 측정당일 작업량이 감소하였는데도 5명의 근로자 중 1명이 노동부 고시에 의한 기중 브롬화메틸 노출기준 5 ppm을 초과하였다. 컨테이너 개방전후 지역시료 포집에서는 기중 브롬화메틸 농도가 89 ppm 수준이었고, 개방을 하고 30분 정도 지난 후부터 지역시료에서는 약 3.7 - 4.9 ppm 수준이었다.

검지관으로 측정한 컨테이너 개방시에는 브롬화메틸농도가 150-200 ppm에 이르고 개방 1시간 후에도 컨테이너 하단부는 25 ppm으로 상당히 고농도로 잔류하고 있었다.

4) 생물학적 모니터링

K사 근로자에 대한 생물학적 모니터링 결과 혈액중 브롬이온 농도는 평균 21.0 mg/L이었고 요중 브로마이드 이온 농도는 작업전, 후 각각 55.9 mg/L와 36.3 mg/L이었다.

5) 질병경과

임씨는 음주량은 많지 않았고, 4살 때 외상으로 뇌수술을 받은 적이 있다고 하였다. 동일한 작업을 하는 3명의 동료근로자 중 2명도 말을 더듬고 행동에 부자연스러운 행동을 하거나 보행장애를 보였다.

치료 후 증상과 소견은 많이 회복되어 대학에 복귀하였다.

다 목재 천막 소독 근로자에서 발생한 브롬화메틸중독¹⁰⁾

1) 개요

류씨(남 41세)는 1987년부터 K사에서 방역작업을 하다가 1998년 4월에 D사로 옮겨 브롬화메틸을 이용하여 방역작업을 하던 중 2000년 2월부터 두통과 어지러운 증상, 말을 더듬고, 말을 잘 못하는 증상, 사지에 감각이 둔해지는 증상, 시력감퇴 등이 발생하였다. 정밀진단 결과 중추성 운동실조증, 다발성 말초신경염, 양측 시신경염으로 진단을 받았다.

2) 작업환경

D사는 브롬화메틸을 이용하여 목재나 한약재에 천막소독을 하고 있다. 천막소독 작업은 작업내용과 방법은 사례 1에서 하였던 것과 동일하다. 다만 D사는 수입농산물보다는 수출 공산품이나 목재 또는 컨테이너에 대한 소독을 주로 하였다. 수출컨테이너의 경우엔 수입컨테이너 방역작업과는 달리 별도로 식물검역소 직원이 확인을 하지 않고 방역업체가 식물검역소에 하루 사용량만을 보고하기 때문에 잔류농도 확인작업은 실시하지 않고 있었다.

10) 산업안전보건연구원. 직업병심의자료. 2000.

3) 작업환경측정

수출용 콘테이너 작업에 대한 작업환경측정 결과 조사 대상 3명의 근로자 중 노출기준을 초과하는 근로자는 없었다. 그러나, 오렌지 콘테이너 투약 및 개방 작업자 2명은 작업시간 동안은 5 ppm 이상을 초과하였으나, 하루 실 작업시간이 2시간 정도이므로 노동부 고시의 노출기준을 초과하지는 않았다.

4) 생물학적 모니터링

류씨에 대한 생물학적 모니터링 결과 작업을 중지한 지 20일이 지난 다음에 검사한 혈중 브롬이온이 11.2 gm/L이었으며, 요중 브롬이온은 37.1 mg/L이었다. 동료 작업자들에게서도 혈중 브롬 이온농도는 6-10 gm/L, 요중 브롬이온은 8-20 mg/L 수준이었다.

5) 질병경과

류씨는 K 사업장에서 9년간 근무하면서 피곤한 증상은 있었으나 손발의 감각이상, 떨림, 기억력의 감퇴, 성격의 변화, 불면이나 수면장애 등은 없었다고 한다. 그러나, D사에서 근무하던 2000년 2월 경부터는 양쪽 다리에 힘이 빠지는 증상이 더욱 심해지고 말이 잘 되지 않는 증상이 발생하여 주변 사람들로부터 어둔해졌다는 이야기를 들었다. 근전도, 뇌파, 컴퓨터단층촬영검사는 정상이었다. 2001년 1월부터는 팔의 운동기능이 감퇴하여 젓가락질을 잘 못하여 음식을 잡는데 어려움을 느꼈다. 시력감퇴가 심하여 시신경 손상을 의심하여 핵자기공명촬영(MRI)을 실시하였으나 이상소견은 없었다.

2001년 3월 P 대학병원에서 실시한 신경전도검사서 하퇴부와 손목의 신경전도속도가 감소된 미만성 다발성신경염으로 진단을 받았다.

입원치료를 받은 후 시력은 많이 회복되었으며, 보행 및 언어장애, 손과 다리의 저린감, 전신에 힘이 빠지는 증상 등 2001년 6월 현재 회복소견을 보이고

있었다.

라. 사례분석

이상의 세 건의 브롬화메틸 중독 사례의 발병시기, 임상경과 등을 관찰해 볼 때 심각한 신경증상은 주로 발병직전에 브롬화메틸에 고노출되어 발생한 것으로 추정된다. 이들의 혈중 및 요중 브롬농도는 질병이 발생하여 작업을 중단한지 오랜 시간이 지나서 측정된 것이므로 체내의 브롬이온이 이미 상당량 배설되어 낮게 나타난 것으로, 중독이 발생하였을 때는 이보다 더 높았을 것으로 추정된다. 같은 업무를 하였지만 중독증상을 보이지 않았던 동료들에 대한 조사에서 더 높은 결과를 보이고 있는 것이 이러한 추정을 뒷받침해주고 있다.

세 건 중 두 건은 10년 이상 같은 방역작업에 종사하였음에도 과거에는 이와 유사한 소견이 나타나지 않았으나 중독증상이 발생하기 이전에 훈증방역소독 물량이 증가하면서 단기간에 집중적으로 고농도에 노출되면서 발병한 것으로 추정된다(표 1). 따라서, 훈증방역 작업이 집중되는 시기에 고노출을 예방할 수 있는 적절한 대책이 필요하다.

표 1 브롬화메틸중독이 발생한 사례

지역	나이	경력	업종	건강장해	비고	결과
인천	42	10년(15년)	천막소독	말초신경장해	혈중브롬 7.9 mg/L	회복됨
부산	19	2월	컨테이너 소독	중추신경장해	기중농도 5 ppm 초과 동료 BBr 21 mg/L UBr 55.9 mg/L	부분 회복
부산	41	2년(11년)	천막소독	중추 및 말초 신경장해	BBr 11.2 mg/L UBr 37.1 mg/L	회복

2 브롬화메틸에 대한 생물학적 모니터링 결과

가 조사대상자에 대한 일반적 특성

우리나라에서 방역업체에 근무하는 근로자는 약 150-200명이었다. 22개 사업장의 조사를 받은 근로자는 148명이었다. 이들의 평균 연령은 36($\pm$ 8)세이었으며 근무기간은 평균 61($\pm$ 67)개월이었고 평균 교육기간은 12.6($\pm$ 3.1)년으로 고졸 이상 수준이었다(표 2).

표 2 조사대상자의 일반적 특성

항목	조사근로자수	평균(년)	편차
교육기간(연)	148	12.63	3.10
근무기간(월)	148	61.70	67.00
나이	148	35.78	8.02

나 혈중 및 요중 브롬 이온농도

혈액 및 소변을 채취한 조사 근로자 147명의 혈액 및 소변 중 브롬이온농도는 각각 20.7 mg/L, 12.7 mg/L이었다(표 3).

조사 일정에 무작위로 작업시간 전 또는 작업시간 후에 혈액 및 시료를 측정하였는데 이에 따른 변화는 없었다. 작업 전에 시료를 채취한 근로자는 70명이었고, 작업 후에 시료를 채취한 근로자는 76명이었다. 작업 전 시료 채취 근로자의 혈중 브롬의 평균농도는 20.6($\pm$ 7.27) mg/L 이었고, 요중 브롬의 평균농도는 11.80($\pm$ 7.68) mg/g creatinine이었다. 작업 후에 시료를 채취한 근로자

로자의 혈중 브롬의 평균농도는 20.1(±7.17) mg/L 이었고, 요중 브롬의 평균 농도는 13.48(±9.10) mg/g creatinine이었다. 시료채취 시간 즉 작업 시작 전 후에 따른 혈중 및 요중 브롬이온의 차이는 없었다(표 4).

혈중 브롬이온과 요중 브롬이온은 서로 높은 상관관계를 보이고 있었다. 혈중 브롬이온은 요중 브롬이온과 높은 상관관계를 보였고($r=0.737$, $p<0.01$)(그림 12), 크레아티닌으로 보정한 요중 브롬이온과도 높은 상관성을 보였다($r=0.709$, $p<0.01$)(그림 13).

표 3 브롬화메틸 노출 근로자의 혈액 및 요중 평균 브롬이온농도

항목	조사근로자수	평균(년)	편차
혈중 브롬이온(mg/L)	147	20.7	8.67
요중 브롬이온(mg/L)	147	15.6	12.76

표 4 시료 채취시기에 따른 혈중 및 요중 브롬이온농도 비교

항목	근로자수	작업전	작업후	전체 근로자	
		70	76	146	
혈중브롬 (mg/L)	평균	20.6	20.1	20.3	F=0.164 p=0.686
	표준편차	7.27	7.17	7.20	
요중브롬 (mg/g cr)	평균	11.8	13.5	12.7	F=1.452 p=0.230
	표준편차	7.68	9.10	8.46	

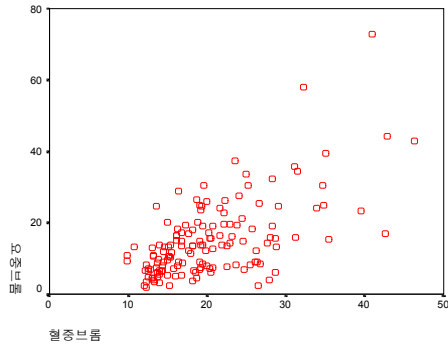


그림 12 혈중브롬이온과 요중브롬이온의 상관관계($r=0.737$, $p<0.01$)
 $y=1.090x-6.8237$)

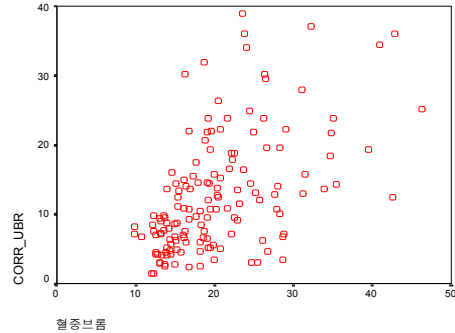


그림 13 혈중브롬이온과 크레아티닌 보정요중브롬이온의 상관관계($r=0.709$, $p<0.01$) $y=1.0559x-8.403$)

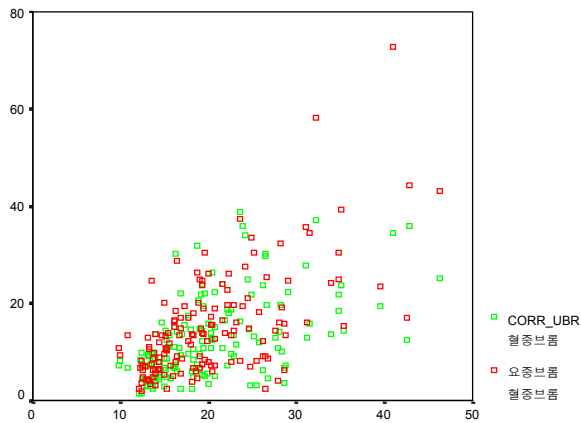


그림 14 혈중 및 요중 브롬농도의 상관관계(크레아티닌 보정 전 후)

다 사업장별 근로자 수 및 혈중 및 요중 브롬 이온농도

사업장별로 혈중 브롬이온의 평균농도는 13.9 - 40.2 mg/L까지 분포하였

다. 22개 사업장 중에서 13개 사업장은 평균 농도가 20 mg/L 이하이었으나 9개 사업장에서는 이를 초과하였고, 2개 사업장은 평균이 30 mg/L를 초과하고 있었다.

요중 브롬이온의 평균농도는 5.04-37.8 mg/L으로 5개 사업장에서는 10 mg/L 이하이었고, 6개 사업장은 20 mg/L을 초과하였으며, 11개 사업장은 10-20 mg/L의 사이이었다(표 5, 6 그림 15,16)

표 5 조사대상자의 일반적 특성

BBr		UBr	
평균농도	사업장수	평균농도	사업장수
- 20 mg/L	13	- 10 mg/L	5
20-30 mg/L	9	10-20	6
30 mg/L	2	20-	11

표 6 사업장별 혈중 및 요중 브롬이온농도

사업장	근로자수	혈중브롬		요중 브롬	
		평균	표준편차	평균	표준편차
1	8	23.1	3.72	11.0	5.74
2	8	17.5	2.98	14.8	8.21
3	7	40.2	18.42	37.8	29.20
4	9	18.4	9.12	21.7	20.52
5	9	19.6	4.39	20.5	10.51
6	6	13.9	1.57	12.4	5.93
7	8	21.9	5.10	12.9	8.34
8	6	17.3	3.10	15.4	4.94
9	10	22.8	8.83	20.4	16.40
10	3	14.1	2.05	8.40	7.18
11	10	13.7	0.78	5.04	2.75
12	4	15.1	2.33	6.93	2.49
13	7	18.7	6.11	13.91	9.59
14	8	21.8	7.13	21.34	10.32
15	4	17.3	7.16	5.68	2.09
16	6	33.6	8.22	22.07	11.60
17	6	21.2	3.32	9.62	3.92
18	9	21.7	4.07	12.43	5.77
19	5	24.8	9.37	17.92	5.75
20	8	17.8	2.82	13.28	5.30
21	4	17.6	3.37	13.98	8.35
22	2	19.1	0.14	11.40	3.39
합계	147	20.7	8.67	15.62	12.76

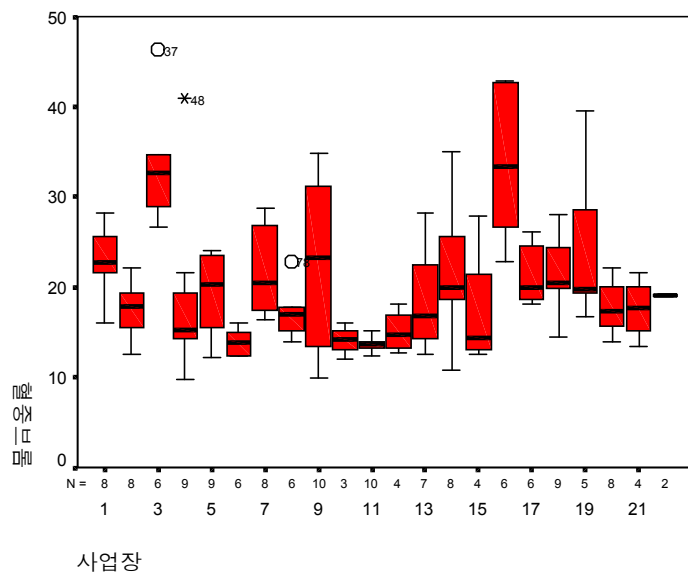


그림 15 사업장별 혈중 브롬이온농도

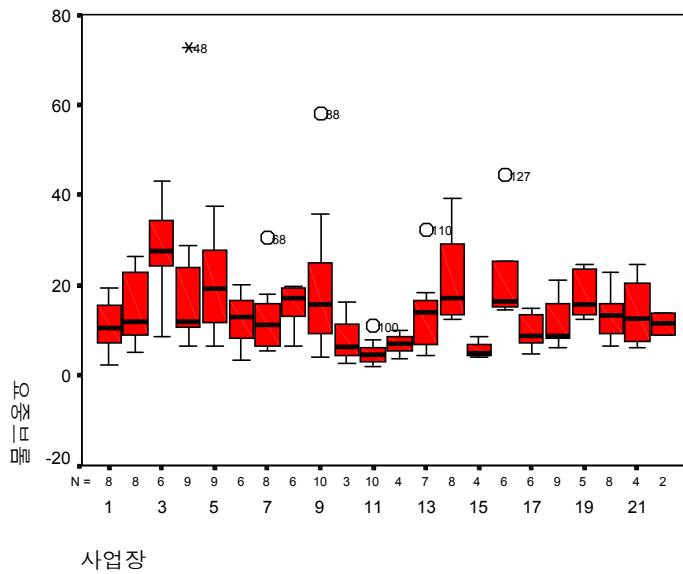


그림 16 사업장별 요중 브롬이온농도

3 증상 설문조사 결과

가 유기용제 자각증상에 대한 설문조사 결과

유기용제 자각증상에 대한 설문조사 결과 전신평로감은 비슷하게 톨루엔에 노출되는 근로자들과 비슷하게 호소하였으나, 급성중독증상, 인지력, 기억력, 말초신경증상, 감정변화 및 기타 신경증상에서는 톨루엔 노출 근로자들보다 호소율이 낮았으나 집중력에서는 저농도 톨루엔에 노출되는 근로자들보다 증상 호소율이 높았다(표 7).

표 7 브롬화메틸 노출 근로자들의 자각증상 호소율 (%)

항 목	질문 내용	브롬화 메틸	톨루엔 고노출	노출 저노출	χ^2
전신 피로감 권태감	Q1 전신이 나른할 때가 있다.	58.6	75.0	72.7	3.82
	Q24 어떠한 일을 할 때 전에 비해 쉬 피로해 진다.	42.8	69.4	45.5	6.39*
	Q17 피곤해서 퇴근 후에는 아무 일도 할 수 없다.	15.8	35.3	0.0	2.75
근육 경직 증상	Q5 아침에도 피곤하다	57.2	69.4	90.9	4.49*
	Q35 요즘에는 일이 귀찮게 느껴진다.	19.7	44.4	36.4	9.93**
중독 증상	Q2 마치 술에 취한 느낌이다	3.9	38.9	18.2	33.06**
	Q15 똥똥 떠 다니는 것 같은 느낌이 든다.	4.6	22.2	18.2	12.77**
인지력	Q33 어지럽다.	19.2	50.0	36.4	14.48**
	Q9 대화시 상대방 말을 잘 이해하지 못한다	3.9	25.0	0.0	11.90**
	Q6 신문이나 잡지를 읽어도 무슨 뜻인지 모르겠다.	5.9	19.4	0.0	3.90
집중력	Q30 새 일을 배울때 무슨 뜻인지 잘 이해가 안된다.	15.8	22.2	27.3	4.43
	Q10 하고 싶은 말을 할 때도 집중이 잘 안된다	10.5	22.2	0.0	1.42
	Q11 정신을 집중하려 해도 생각이 자꾸 흐트러진다.	13.2	8.3	0.0	16.94**
기억력	Q18 정신 집중이 잘 안될 때가 있다.	42.4	51.4	36.4	0.45
	Q13 텔레비전에서 본 것을 기억하기 어렵다	19.1	58.3	27.3	18.79*
	Q16 꼭 하고자 했던 일을 잊어 먹는 경우가 많다.	23.7	65.7	45.5	22.32**
신경 증상	Q32 기억력이 나빠졌다는 말을 듣는다.	13.8	47.2	9.1	6.20*
	Q26 전에 비해 냄새를 잘 못 맡겠다.	5.3	38.9	9.1	24.95**
말초 신경 증상	Q19 손이나 손가락이 떨린다.	13.8	16.7	27.3	0.79
	Q7 손발이 자주 저리다	25.0	47.2	36.4	6.67*
감정 변화	Q21 피부감각이 전보다 둔해진 것 같다.	15.1	37.1	18.2	6.96*
	Q31 손발이 마비될 때가 있다.	11.2	13.9	27.3	0.29
감정 변화	Q27 요즘 성격이 변했다는 말을 듣는다.	11.8	19.4	18.2	1.64
	Q34 특별한 이유없이 기분이 잘 변한다.	10.6	25.0	27.3	6.59*
	Q14 신경이 날카로워졌다.	30.9	58.3	45.5	9.20**
	Q23 전보다 신경질을 잘 낸다는 말을 들었다.	15.8	41.7	18.2	9.12**
	Q25 이유없이 짜증이 날 때가 많다.	27.8	41.7	45.5	3.62
	Q3 이유없이 우울해 질 때가 있다.	15.8	44.4	18.2	10.92**
불면증	Q20 죽고 싶은 생각이 든다.	2.6	8.6	18.2	5.47*
	Q8 늘 불면증으로 시달린다.	3.9	25.0	0.0	11.90**
기타	Q28 밤에 잠이 안와 고생하는 때가 있다.	26.3	55.6	45.5	11.79**
	Q29 조금만 부딪혀도 쉽게 피멍이 든다.	16.4	38.9	18.2	6.79*
	Q36 머리가 아플 때가 있다.	53.3			
	Q37 성기능이 떨어졌다.	34.2			

4 신경행동검사 결과

가 조사대상자에 대한 일반적 특성

브롬화메틸 노출 근로자들의 나이는 평균 $35.8(\pm 8.02)$ 세이었고, 평균 교육 연수는 12.63년으로 평균 고졸 이상이었다. 근무기간은 평균 $12.63(\pm 3.10)$ 월이었다. 신경행동검사는 암기 정순이 7.05 ± 1.58 개, 역순이 $5.39(\pm 2.16)$ 개, 부호숫자는 2021.05 ± 495.59 msec, 단순반응시간은 353.91 ± 80.10 msec, 선택 반응검사 맞은수는 276.52 ± 46.29 개, 선택반응검사 반응시간은 295.82 ± 101.53 msec, 두드리기 우수는 120.36 ± 21.63 개, 열수는 119.82 ± 22.38 개이었다(표 8).

표 8 신경행동검사결과

항목	단위	검사자수	평균	편차
BLOOD	mg/L	147	20.7463	8.6734
URINE	mg/L	147	15.6156	12.7629
교육기간(연)	년	148	12.63	3.10
근무기간(월)	월	148	61.70	67.00
나이	세	148	35.78	8.02
숫자암기 정순	개	141	7.06	1.58
숫자암기 역순	개	148	5.39	2.16
부호숫자반응시간	msec	148	2021.05	495.59
단순반응시간	msec	148	353.91	80.10
선택반응맞은수	개	148	276.52	46.29
선택반응시간	msec	148	295.82	101.53
두드리기(열수)	개	148	120.36	21.63
두드리기(우수)	개	148	119.82	22.38

컴퓨터를 사용해 본적이 있는 경우와 해 본적이 없는 경우에 모든 검사결

과에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(표 9). 교육수준을 세 단계로 나누어 비교하였을 때 단순반응시간과 두드리기는 교육 수준에 따른 차이가 없었으나 숫자암기, 부호숫자, 선택반응검사는 교육 수준에 따른 차이가 있었다(표 10).

혈중 브롬이온농도를 저농도(-17.5 mg/L), 중간농도($17.5-25.0$ mg/L), 고농도(25.0 mg/L-) 등 세 단계로 나누었을 때 숫자암기, 부호숫자는 차이가 있었으나 단순반응시간, 두드리기, 선택반응검사에서 농도간의 차이는 없었다(표 11). 요중 브롬이온농도를 저농도(-10 mg/L), 중간농도($10-20$ mg/L), 고농도(20 mg/L-) 등 세 단계로 나누었을 때 숫자암기, 부호숫자는 차이가 있었으나 단순반응시간, 두드리기, 선택반응검사에서 농도간의 차이는 없었다(표 12).

혈중 및 요중브롬이온농도와 상관관계를 보인 것은 숫자암기정순(-0.319 , -0.257), 숫자암기역순($r=-0.330$, $r=-0.272$), 부호숫자($r=0.267$, $r=0.168$)이었다. 교육수준, 근무기간이나 연령과는 무관하였다(표 13).

표 9 컴퓨터 사용 유무에 따른 신경행동검사 결과

사용경험		숫자암기		단순반응 시간	두드리기		부호숫자	선택검사 맞은수
		정순	역순		우수	열수		
없음(49)	평균	5.96	3.92	383.00	106.76	101.20	2415.19	246.80
	표준편차	1.63	2.04	84.21	19.06	18.31	499.91	47.16
있음(92)	평균	7.43	6.03	350.30	124.83	111.85	1854.71	288.70
	표준편차	1.44	1.92	90.41	22.13	18.46	376.64	36.82
합계(141)	평균	6.92	5.30	361.67	118.55	108.15	2049.49	274.13
	표준편차	1.66	2.20	89.38	22.75	19.03	499.63	45.22
F		30.571	37.022	4.383	23.411	10.691	56.055	33.905
P		.000	.000	.038	.000	.001	.000	.000

표 10 교육기간에 따른 신경행동검사 결과

구분	숫자암기		단순반응 시간	두드리기		부호숫자	선택검사	
	정순	역순		우수	열수		맞은수	반응시간
고졸 이하 평균 (22)	5.29	3.55	383.09	109.45	115.36	2580.52	342.33	236.41
표준편차	1.59	2.09	71.55	21.66	19.42	598.33	59.99	58.86
고졸(75)	7.20	5.13	353.40	121.09	121.61	2044.40	339.16	273.65
표준편차	1.27	1.96	83.26	21.00	21.58	443.63	83.47	40.86
대 재 이상 평균 (51)	7.63	6.57	342.08	122.43	120.67	1745.38	331.75	298.04
표준편차	1.47	1.77	77.05	23.80	22.67	253.78	76.96	34.39
합계(148)	7.06	5.39	353.91	119.82	120.36	2021.05	337.08	276.52
표준편차	1.58	2.16	80.10	22.38	21.63	495.59	77.80	46.29
F	21.589	20.505	2.046	2.901	.716	30.954	16.925	5.620
P	.000	.000	.133	.058	.491	.000	.000	.004

표 11 혈중 브롬이온 농도 구분에 따른 신경행동검사 결과

구분	범위		숫자암기		단순반응 시간	두드리기		부호숫자	선택검사 맞은수
			정순	역순		우수	열수		
저농도(60)	9.80-17.30	평균	7.49	6.05	337.28	122.90	122.18	1889.62	281.36
		SD	1.38	1.97	48.68	24.60	22.85	409.40	32.50
중농도(54)	17.70-24.90	평균	7.08	5.13	372.34	119.07	121.50	2017.66	294.20
		SD	1.60	2.30	104.95	21.54	20.13	506.97	40.82
고농도(33)	25.0-79.50	평균	6.23	4.58	355.67	114.94	114.82	2259.00	325.75
		SD	1.65	1.94	75.32	19.09	21.68	548.90	203.20
합계(147)		평균	7.06	5.38	354.29	119.71	120.28	2019.58	296.04
		SD	1.59	2.16	80.25	22.41	21.68	496.96	101.84
		F	7.021	5.914	2.785	1.384	1.371	6.310	2.067
		P	.001	.003	.065	.254	.257	.002	.130

표 12 요증 브롬이온 농도 구분에 따른 신경행동검사 결과

구분	범위		숫자암기		단순반응 시간	두드리기		부호숫자	선택검사 맞은수
			정순	역순		우수	열수		
저농도(70)	0-10	평균	7.43	6.06	347.08	123.66	121.97	1905.89	284.60
		SD	1.39	2.01	76.17	24.11	23.64	388.5	40.76
중농도(50)	10-20	평균	6.91	5.14	368.07	114.80	116.88	2081.19	270.68
		SD	1.64	1.85	91.17	18.10	17.24	555.9	50.28
고농도(27)	20-	평균	6.38	4.07	347.44	118.56	122.19	2200.24	266.26
		SD	1.77	2.42	67.42	23.90	23.70	572.3	50.92
합계(147)		평균	7.06	5.38	354.29	119.71	120.28	2019.58	276.50
		SD	1.59	2.16	80.25	22.41	21.68	496.9	46.45
		F	4.585	9.729	1.120	2.364	.931	4.174	2.146
		P	.012	.000	.329	.098	.396	.017	.121

표 13 생물학적 노출지표와 신경행동검사 결과간의 상관관계

	BBr	UBr	Edu	Dur	Age	DS_F	DS_B	SD	RT	SRTC	SRT	T_N
UBr	.740**											
Edu	-.132	-.136										
Dur	.003	-.096	-.207*									
Age	.088	-.032	-.247**	.478**								
DS_F	-.319**	-.257**	.380**	-.134	-.206*							
DS-B	-.330**	-.272**	.389**	-.075	-.273**	.578**						
SD	.267**	.168*	-.475**	.161	.472**	-.565**	-.576**					
RT	.047	-.023	-.136	.147	.298**	-.220**	-.198*	.266**				
SRT_C	-.131	-.106	.388**	-.178*	-.435**	.326**	.366**	-.612**	-.453**			
SRT_	.068	.083	-.177*	.021	.154*	-.172*	-.175*	.404**	.167*	-.664**		
T_ND	-.112	-.047	.043	-.287**	-.377**	.259**	.247**	-.350**	-.332**	.321**	-.115	
T_D	-.136	-.097	.134	-.295**	-.468**	.321**	.262**	-.408**	-.338**	.355**	-.143	.882**

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함.

* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의함.

2) 타 유기용제 노출 근로자의 신경행동검사 결과와 비료

브롬화메틸에 노출되는 근로자 148명과 고농도의 톨루엔에 노출되는 근로자 9명의 신경행동검사 결과를 비교하였다. 두 군간의 성별, 연령, 교육수준은 차이가 없었다. 브롬화메틸 노출 근로자가 평균 연령은 36세로 톨루엔 노출군의 평균 32세로 조금 많았으며 교육기간의 평균은 각각 12.6년과 12년으로 비슷하였다. 해당 업무에 종사한 기간의 평균도 각각 62개월과 61개월로 유사하였다(표 6). 브롬화메틸 노출근로자들은 톨루엔의 노출기준 수준에 노출되는 근로자들에 비해 숫자암기 정순과 역순, 단순반응시간, 선택주의력검사의 반응시간, 손가락두드리기, 부호숫자 등 모든 항목에서 더 나은 수행능력을 보였다(표 7, 그림 15 - 그림 18).

표 14 브롬화메틸 노출 근로자와 톨루엔 노출 근로자간의 일반적 특성 비교

구분	근로자수		나이	교육기간(연)	근무기간(월)
브롬화메틸	148	평균	35.78	12.63	61.70
		표준편차	8.02	3.10	67.00
톨루엔	9	평균	31.56	12.00	60.78
		표준편차	8.03	.00	43.39
합계	157	평균	35.54	12.59	61.64
		표준편차	8.06	3.01	65.78

표 15 브롬화메틸과 톨루엔 노출 근로자 간의 신경행동검사 결과비교

대상	항목	숫자암기(개)		단순반응 시간 (msec)	선택주의력검사		부호숫자 반응시간 (msec)	두드리기 (개) 우수
		정순	역순		맞은수(개)	반응시간(msec)		
브롬화메틸	평균	7.06	5.39	353.91	276.52	295.82	2021.05	120.36
	표준편차	1.58	2.16	80.10	46.29	101.53	495.59	21.63
톨루엔	평균	6.44	4.56	459.22	250.78	327.00	2265.22	102.78
	표준편차	1.67	1.59	142.19	30.67	48.16	469.15	16.20
합계	평균	7.03	5.34	359.95	275.04	297.61	2035.05	119.35
	표준편차	1.59	2.13	87.67	45.87	99.42	495.95	21.70

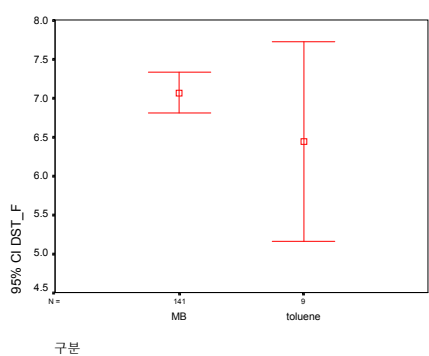


그림 17 숫자암기(정순) 결과 비교

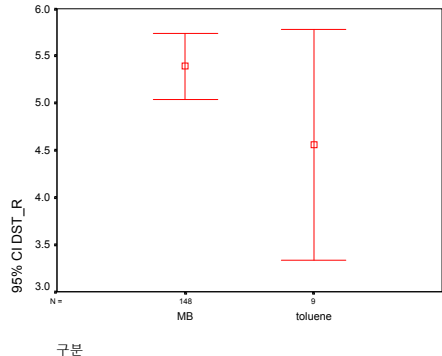


그림 18 숫자부호(역순) 결과 비교

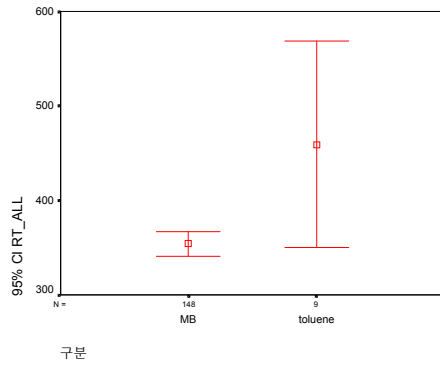


그림 19 단순반응시간 결과 비교

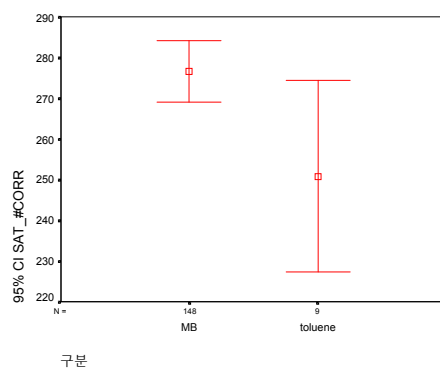


그림 20 선택주의력검사 맞은 수 비교

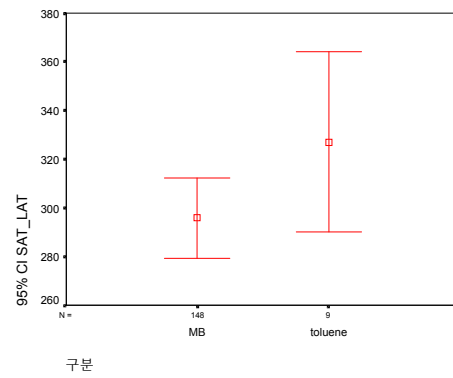


그림 21 선택주의력검사 반응시간 비교

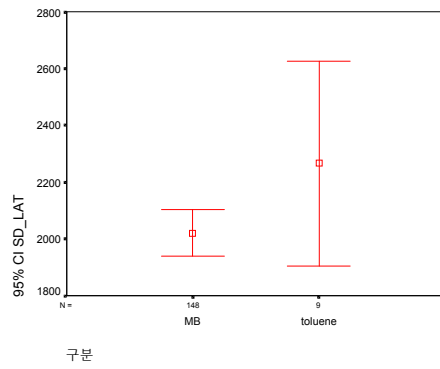


그림 22 부호숫자 검사 결과 비교

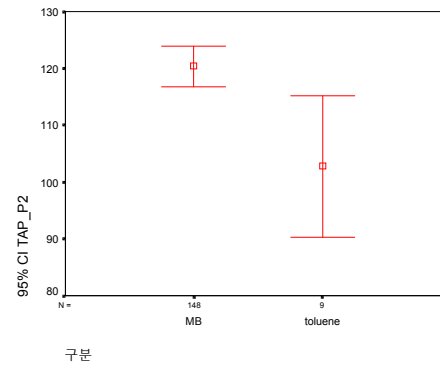


그림 23 두드리기(우수 2차) 결과 비교

제 4 장 고찰 및 결론

브롬화메틸은 무색 투명한 액체 또는 기체, 저농도에서는 아무런 냄새나 맛이 없으나, 고농도인 때는 클로로포름 비슷한 냄새가 나는 물질로 취화메틸(methyl bromide), 브로모메탄(bromomethane), 엠바훔(embaume), 이소코브롬(isocobrome), 모노브로로메탄(monobromomethane) 등의 이름으로도 불린다. 브롬화메틸의 CAS No는 74-83-9이며 분자식은 CH_3Br 이고 분자량은 94.95 ($1 \text{ ppm} = 3.95 \text{ mg/m}^3$: 20°C)이며 비중은 3.973 (20°C)이다. 녹는 점은 -93.66°C 이고 끓는 점은 3.56°C 이므로 상온에서 쉽게 기화된다. 증기밀도는 3.3 증기압 1,420 mmHg (20°C)이고 인화점 537°C 이다. 공기중의 폭발한계는 13.5~14.5%(vol %)이며 용해도는 0.75 g/100ml, (물, 20°C)이다. 기타 알루미늄 또는 강한 산화제와 접촉하면 불이 나고 폭발한다. 연소할 때는 브롬화수소와 일산화탄소 같은 유독가스와 증기가 발생한다¹¹⁾.

브롬화메틸은 공기중이나 물에서 낮은 농도로 검출된다. 자연적으로는 해양에서 생성되므로¹²⁾ 해조류를 섭취하는 주민에서 혈중 브롬이온이 높게 나온다는 보고도 있다¹³⁾. 일본인의 요중 브롬이온을 측정한 결과 남자는 $7.7 \pm$

11) 산업안전보건연구원. 근로자건강진단 실무지침. 한국산업안전공단. 1999

12) Sannolo N, Mamone G, Ferranti P, Basile A, Malorni A. Biomonitoring of human exposure to methyl bromide by isotope dilution mass spectrometry of peptide adducts. J Mass Spectrom. 1999;34(10):1028-32

13) Zhang ZW, Kawai T, Takeuchi A, Miyama Y, Sakamoto K, et al. Urinary bromide levels probably dependent to intake of foods such as sea algae. Osaka Occupational Health Service Center, Japan.

2.5 mg/L이고 여자에서는 8.1 ± 2.9 mg/L 이었다. 이는 중국인 여자의 2.3 ± 0.8 mg/L 보다 높았는데 이것은 미역을 먹는 것과 관련이 있는 것으로 해석하였다.

브롬화메틸은 토양 소독이나 농산물 방역소독에 많이 쓰이는데, 곤충, 곰팡이, 선충류 구제에 가장 효과적인 살충제 중의 하나이다. 브롬화메틸은 생산과정, 구충과정 및 훈증작업에 사용되며 이 과정에서 농부나 작업자가 노출될 수 있고 잔류물질에 의해 주변 사람들이 노출될 수 있다. 브롬화메틸에 중독되면 각종 자극증상과 신경계증상을 유발하나, 발암성은 없는 것으로 국제암연구학회(IARC)에서는 분류하고 있다.

토양소독으로 온실내 브롬화메틸을 사용한 후 4-11일이 지난 후 조사한 결과 농부 개인 시료포집에서는 $89 - 92$ mg/m³(22.3-23 ppm) 이었고, 온실내에서는 $4 - 142$ mg/m³(1-37.3 ppm) 수준이었다¹⁴⁾.

브롬화메틸이 온실등 제한된 공간내에서 사용될 때는 일정한 농도를 유지하지만 대부분 방역작업은 개방된 장소에서 이루어지므로 작업환경측정 결과는 노출정도를 정확히 반영하기 어렵다. Koga 등(1991)은 브롬화메틸을 훈증소독에 사용하는 경우 작업장의 기중농도와 생물학적 노출지표인 요중 브롬이온 농도와는 서로 상관성이 없었다¹⁵⁾고 하였다. 이는 브롬이온의 생체내 반감

14) Dimitriou A, Tsoukali H. Personal and environmental air sampling of methyl bromide during experimental greenhouse fumigation. J Environ Sci Health B. 1998;33(3):267-77

15) Koga M, Hara K, Hori H, Kodama Y, Okubo T. Determination of bromide ion concentration in urine using a head-space gas chromatography and an ion chromatography--biological monitoring for methyl bromide exposure. J UOEH. 1991;13(1):19-24

기가 5-6.5일이고¹⁶⁾, 훈증방역작업이 비연속적이어서 불규칙적으로 브롬화메틸에 노출되므로 기중농도와 생물학적 노출지표와는 관련이 없게 나타난 것으로 추정된다. 따라서, 훈증방역작업자의 브롬화메틸 노출수준을 평가하기 위해서는 결과가 일정치 않은 작업환경측정보다는 생물학적 모니터링이 효과적이다.

브롬화메틸에 노출되는 정도를 평가하는 방법으로 혈장중 또는 요중 브롬이온농도 측정이 제시되어 왔다. 브롬화메틸에 대한 혈장 중의 브롬농도 측정 대신 단백질부가물(S-methylcysteine)을 측정하는 방법도 연구되고 있는데¹⁷⁾, 이는 보다 정확하게 노출정도를 반영하는 반면에 분석방법이 아직은 일반화되지 않아 많은 근로자들을 조사하는 방법으로는 아직 적절하지 못하다.

일반적으로 미국에서 직업적 노출이 없는 사람들의 혈중 브롬이온농도는 0.5-2 mg/L 정도를 나타내며 11 mg/L 이하에서는 건강영향을 나타내지 않으며 50 mg/L를 초과하면 임상증상이 나타나는 것으로 알려져 있다¹⁸⁾. Muller 등(1999)은 건강한 여성과 남성 자원자 64명에서 혈장 중 브롬이온농도는 4.13 ± 1.05 mg/L인 반면 브롬화메틸을 살포하는 시기 끝에 조사한 농부 30명에서는 15.33 ± 1.90 mg/L 이라고 하였다¹⁹⁾. 사망자의 혈액 중 브롬이온을 조사

-
- 16) Yamamoto O, Hori H, Tanaka I, Asahi M, Koga M. Experimental exposure of rat skin to methyl bromide: a toxicokinetic and histopathological study. Arch Toxicol. 2000;73(12):641-8
- 17) Buchwald AL, Muller M. Late confirmation of acute methyl bromide poisoning using S-methylcysteine adduct testing. Vet Hum Toxicol. 2001;43(4): 208-11
- 18) Ladou J. Occupational & environmental medicine. Connecticut: Appleton & Lange, 1997.
- 19) Muller M, Reinhold P, Lange M, Zeise M, Jurgens U, Hallier E. Photometric determination of human serum bromide levels--a convenient biomonitoring parameter for methyl bromide exposure. Toxicol Lett. 1999;107(1-3):155-9

한 박성우 등은 혈중 브롬이온이 비노출군에서는 4.5~5.8 ug/g이었으나 중독 사망자는 74.2~127 ppm, 입원후 사망한 경우는 91.1~139 ppm, 입원후 생존자는 32.8 ppm이라고²⁰⁾ 하였다. 유재훈 등은 비노출군에서 2.5~5.8 ppm, 중독 사망자에서는 74.2~139 ppm이라고 보고하였다²¹⁾.

Koga 등(1991)은 훈증방역 소독자에서 요중 브롬이온 농도는 13.3 ± 7.7 mg/L이었고, 브롬화메틸에 노출력이 없는 대조군에서는 7.1 ± 2.1 mg/L 이라고 보고하였다. Tanaka 등(1991)은 일본의 식물검역소에 브롬화메틸 노출실태에 대해 조사한 결과 3개의 검역소에서 미국산업위생가협회(ACGIG)의 노출기준 5 ppm을 초과하였고, 251명의 근로자 중 44.6% 는 일반인의 요중 브롬이온의 상한치인 10 mg/L를 초과하였다²²⁾. Tanaka 등(1991)은 브롬화메틸 비노출 근로자 379명에 대해 조사한 결과 요중 브롬농도는 6.3 ± 2.5 mg/L 이고 95% 신뢰구간의 범위는 10 mg/L이라고 하였다.

이상의 연구결과를 볼 때 브롬화메틸에 노출되지 않은 일반인들의 요중 브롬이온 농도 수준은 대체적으로 6-7 mg/L 이하로 10 mg/L를 넘지 않는다. 훈증방역작업자의 요중 브롬이온농도의 평균은 12.7 mg/L로 일본에서 조사한 방역소독자의 평균 13.3 mg/L와 유사한 결과를 보였다. 개별적으로는 브롬화메틸에 노출되는 근로자 147명 중 77명(52.4%)이 일반인의 95% 신뢰구간에서

20) 박성우, 김영운, 유재훈, 김동환, 진광호. Ion chromatography에 의한 혈액중 음이온 및 양이온의 분석에 관하여. Annual report of N.I.S.I., 1994;26:207-213

21) 유재훈, 이상기, 진광호, 인상환. Methylbormide에 중독된 인체시료중 브롬이온의 함량. Analytical science & technology. 1998; 11(2):88-91

22) Tanaka S, Abuku S, Seki Y, Imamiya S. Evaluation of methyl bromide exposure on the plant quarantine fumigators by environmental and biological monitoring. Ind Health 1991;29(1):11-21

상한 수치인 요중 브롬이온농도 10 mg/L을 초과하고 있었고 이 중 27명 (18.4%)은 20 mg/L를 초과하고 있어 우리나라 훈증 방역소독 작업자들이 비교적 높은 농도의 브롬화메틸에 노출되고 있음을 알 수 있다. 이 연구에서 혈중 및 요중 브롬이온은 서로 좋은 상관관계($r=0.737$, $p<0.01$)를 보여주고 있다. 이 관계식에 의하면 요중 브롬이온농도 10 mg/L에 해당하는 혈중 브롬이온농도는 15.4 mg/L 이다. 혈중 브롬이온농도에서도 147명중 87명(59.2%)이 17.5 mg/L를 초과하고 있고 33명(22.4%)은 25 mg/L(요중브롬이온 20 mg/L에 해당하는 혈중 브롬이온농도는 24.6 mg/L)를 초과하고 있었다.

브롬화메틸에 노출되는 경우 혈청 및 소변에 브롬이온이 증가하여 중추성 운동실조증²³⁾과 다발성 말초신경염²⁴⁾, 시신경염²⁵⁾, 정신장애를 일으키는 것으로 알려져 있다. 브롬화메틸에 노출되면 신경에 독성작용을 유발하여 경련을 일으키고 고농도에서는 폐수종을 일으키고 만성적으로는 중추 및 말초신경장해를 일으키며 아주 고농도에 노출되면 사망한다. 급성중독이 일어나면 두통, 시력장애, 구역질, 구토가 생긴다. 더 심하면 손떨림증상이 나타나고 심한 경련으로 발전한다. 중증 중독증에서 회복되더라도 현기증, 우울증, 환각증, 근심, 주의력 상실 등

-
- 23) Hustinx WN, van Laar RT, van Huffelen AC, Verwey JC, Meulenbelt J, et al. Systemic effects of inhalational methyl bromide poisoning: a study of nine cases occupationally exposed due to inadvertent spread during fumigation. Br J Ind Med 1993 Feb;50(2): 155-9
 - 24) De Haro L, Gastaut JL, Jouglard J, Renacco e. Central and peripheral neurotoxic effects of chronic methyl bromide intoxication. J Toxicol Clin Toxicol 1997;35(1):29-34.
 - 25) Chavez CT, Hepler RS, Straatsma BR. Methyl bromide optic atrophy. Am J Ophthalmol 1985 Jun 15;99(6):715-9

의 중추신경장해가 오랫동안 지속된다. 말초신경장해도 6개월 이상 남아있을 수 있다.

브롬화메틸과 관련된 신경학적 증상은 혈중 브롬의 농도가 28 mg/L 이상 일 때 나타날 수 있다고 알려져 있다. 이 연구에서 혈중 브롬 28 mg/L에 해당하는 요중 브롬농도는 24 mg/L이었다. Horowitz (1998)는 브롬화메틸 급성 중독으로 경련, 간헐적인 발열, 다장기부전의 소견을 보이고 사망한 젊은 여자의 혈액 중 브롬이온농도가 초기에는 270 mg/L으로 매우 높았고, 사후에도 29 mg/L으로 높았다고 하였다²⁶⁾.

브롬화메틸에 노출되는 훈증소독작업자들에 대해 Kishi 등(1991)²⁷⁾은 증상설문이 매우 유효하다고 하였으나 이 연구에서는 집중력의 장애만을 호소하고 Kishi 등의 연구에서 나타난 자극증상이나 피부의 발적같은 증상은 보이지 않았다.

브롬화메틸에 노출되면 중추신경계의 장애를 유발하여 신경행동기능의 이상을 초래하는 것으로 알려져 있다. Anger 등(1986)은 훈증소독에 노출되는 근로자에 대한 신경행동검사를 실시한 결과 브롬화메틸의 기중 농도 2.3 ppm 에 노출된 근로자가 비교군에 비해 증상에서 유의한 증가를 보였고 27개의 신경행동검사 항목 중 23개의 항목에서 기능저하소견을 보였고 특히 손가락감수성 검사와 인지기능의 저하소견을 보였다고 하였다²⁸⁾고 하였다. Calvert 등(1998)은 브롬화

26) Horowitz BZ, Albertson TE, O'Malley M, Swenson EJ. An unusual exposure to methyl bromide leading to fatality. J Toxicol Clin Toxicol 1998;36(4):353-7

27) Kishi R, Itoh I, Ishizu S, Harabuchi I, Miyake H. Symptoms among workers with long-term exposure to methyl bromide. An epidemiological study. Sangyo Igaku 1991 Jul;33(4):241-50

28) Anger WK, Moody L, Burg J, Brightwell WS, Taylor BJ, et al. Neurobehavioral evaluation of soil and structural fumigators using

메틸을 사용하는 120명의 훈증소독 작업자에게 WHO-NCTB를 시행해 본 결과 비교군에 비해 산타아나민첩성검사에서 유의한 감소 소견을 보였으나 광범위한 인지기능의 장애는 없었다고 하였다²⁹⁾. Lifshitz 등(2000)은 사고로 훈증제에 노출된 피부 화상을 입은 근로자에서 일주일 후에 하지의 약화, 보행실조, 양측 다리와 팔의 감각이상, 하지의 심부건반사 증가하고 신경전도속도검사에서 축삭돌기형 신경염 소견을 보였다고 하였다. 중추신경계증상은 3개월 후에 회복되었다³⁰⁾.

이 연구에서 브롬화메틸에 노출되는 근로자에 대해 컴퓨터를 이용한 신경행동검사를 실시한 결과 단기 기억력을 측정하는 숫자암기와 인지력을 측정하는 숫자부호검사의 저하 소견을 보이고 있다. 그러나, 숫자암기와 인지력은 학력수준과도 관련성을 보이고 있었으나 학력을 통제한 후에도 유의한 상관관계가 있었다.

나 브롬화메틸 (Methyl Bromide)의 근로자 건강진단 기준

현재 브롬화메틸은 특정화학물질로 규정되어 특수건강진단을 실시하도록 되어있는데 혈중 및 요중 브롬농도를 측정하는 생물학적 노출지표는 제시되고 있지 않다. 그러나, 본 연구에 의하면 혈중 또는 요중 브롬이온농도가 브롬화

-
- methyl bromide and sulfuryl fluoride. Neurotoxicology. 1986;7(3):137-56
- 29) Calvert GM, Mueller CA, Fajen JM, Chrislip DW, Russo J, Briggles T, et al. Health effects associated with sulfuryl fluoride and methyl bromide exposure among structural fumigation workers. Am J Public Health 1998 Dec;88(12):1774-80
- 30) Lifshitz M, Gavrilov V. Central nervous system toxicity and early peripheral neuropathy following dermal exposure to methyl bromide. J Toxicol Clin Toxicol. 2000;38(7):799-801

메틸에 노출되는 정도를 잘 파악할 수 있는 생물학적 노출지표로 확인되고 있으므로 이에 노출되는 근로자들의 특수건강진단 항목으로 활용이 가능하다.

현재의 특수건강진단 실무지침에서 브롬화메틸에 대한 건강진단 항목은 다음과 같이 바뀌어져야 한다.

1. 건강진단 주기

1-1. 기본주기 및 대상자

브롬화메틸에 노출되는 작업부서 전체 근로자에 대한 특수건강진단 주기는 1년에 1회 이상으로 한다.

1-2. 집단적 주기 단축 조건

다음의 어느 하나에 해당하는 경우 당해 공정에서 당해 유해인자에 노출되는 모든 근로자에 대하여 특수건강진단 기본주기를 다음회에 한하여 1/2로 단축하여야 한다.

(1) 당해 건강진단 직전의 작업환경 측정결과 브롬화메틸 농도가 노출기준 이상인 경우

(2) 당해 건강진단 직전의 건강진단에서 혈중 및 요중 브롬농도가 28 mg/L 이상을 초과하는 근로자가 나온 경우

(2) 브롬화메틸에 의한 직업병유소견자가 발견된 경우

1-3. 배치전건강진단후 첫 번째 특수건강진단

6개월 이내에 근로자 개별적으로 실시하되, 배치전건강진단 실시후 6개월 이내에 사업장의 특수건강진단이 실시될 예정이면 그것으로 대신할 수 있다.

2. 건강진단항목

2-1. 필수항목

(1) 직업력 및 폭로력 조사

(2) 과거병력 조사 : 주요표적장기와 관련된 질병력 조사

(3) 자각증상 조사 : 문진표 작성내용 확인

(4) 임상진찰 : 호흡기, 피부, 신경계에 유의하여 진찰

(5) 임상검사

- ① 혈액학적 검사 : 혈색소량, 혈구용적치
- ② 요검사 : 단백뇨
- ③ 간기능검사 : 혈청지오티, 혈청지피티, 감마지티피
- ④ **혈중 또는 요중 브롬이온농도**

2-2. 선택항목

(1) 흉부방사선검사

(2) 폐활량검사 (폐활량, 노력성 폐활량, 1초율, 1초량)

(3) 신경행동검사

(4) 근전도 또는 신경전도속도검사

3. 산업의학적 평가

3-1. 건강관리구분 : 1,2-디클로로에탄과 동일

※ C₁판정기준

(1) 피부, 호흡기, 중추신경계 등의 증상을 호소하며, (2) 작업장 기중농도 및 혈중 및 요중 브롬농도를 고려할 때, 브롬화메틸에 고농도로 노출되고 있으나 (3) 즉각적인 작업전환(또는 중단)이나 요양이 필요하지 않은 경우

※ D₁판정기준

(1) 임상검사 또는 임상 진찰결과, 피부장해, 호흡기장해, 중추 및 말초신경계장해 등이 있어 즉각적인 작업전환(또는 중단)이나 요양이 필요하고
(2) 작업장 기중농도, 노출기간(삭제), 취급방법(작업방법으로 변경) 등을 고려할 때, 브롬화메틸 노출에 의한 것으로 추정되는 경우

3-2. 업무수행 적합 여부 평가 : 1,2-디클로로에탄과 동일

※ 업무수행 적합 여부 평가시 고려해야 될 건강상태

(개인의 건강상태 및 노출정도에 따라 네가지 범주 중 어느 하나로 판정)

- 중추신경장해가 있는 자
- 말초신경장해가 있는 자
- 만성호흡기질환
- 만성피부질환

3-3. 사후관리내용 : 1,2-디클로로에탄과 동일

※ 배치전 건강진단에서는 업무수행 적합 여부 평가만을 실시한다.

4. 수시건강진단을 위한 참고사항

근로자가 피부 자극, 호흡기계, 신경계 등의 증상 및 증세를 보여, 사업주가 수시건강진단의 필요성에 대하여 자문을 요청한 경우 건강진단기관의 의사는 자문에 응하여야 하며, 수시건강진단의 필요성 여부에 대하여 사업주에게 자문결과서를 통보하여야 한다.

다. 결론

농산물의 교역이 늘어나면서 브롬화메틸을 이용한 훈증소독이 증가하고 있고 이에 노출되는 근로자들도 증가하고 있다. 이들은 신경독성을 일으킬 수 있는 비교적 높은 농도의 브롬화메틸에 노출되고 있음이 혈중 또는 요중 브롬이온농도 측정을 이용한 생물학적 모니터링에서 확인되고 있고 고노출군에서는 일부 신경행동 검사 결과에서 기능저하 소견을 보이고 있다. 그러나, 근로자 특수건강진단에서는 질병이 발생하였을 때 나타날 수 있는 항목만을 검사하고 있어 브롬화메틸 중독을 조기에 진단하여 예방하고자 하는 목적에 부합되지 않고 있다. 따라서 브롬화메틸에 노출되는 근로자들의 노출정도를 평가하고 중독질환을 예방하기 위해 특수건강진단의 생물학적 노출검사 지표항목 혈중 또는 요중 브롬이온농도 측정을 추가하여야 한다.

요 약 문

연구목적: 최근 농산물의 교역량이 증가하면서 해충을 예방하기 위한 방역작업이 증가하고 있어 방역작업에 사용되는 브롬화 메틸에 의한 건강장해가 발생하고 있다. 브롬화메틸은 무색 투명한 액체 또는 기체로서 고농도에서는 클로로포름 비슷한 냄새가 나지만, 저농도에서는 아무런 냄새나 맛이 없다. 따라서, 브롬화메틸에 노출되는 정도를 근로자 스스로 인지하지 못하여 이로 인한 직업병의 발생 가능성이 높으나 근로자 건강진단에서는 적절한 관리방법을 제시하고 있지 못하다. 이 연구에서는 브롬화메틸에 노출되는 근로자의 직업병을 예방하기 위한 체내 노출지표로서 혈중 및 요중 브롬이온농도를 이용한 생물학적 모니터링 방법을 개발하고자 한다.

연구방법: 산업안전보건연구원의 직업병 심의를 통한 브롬화메틸중독 사례를 분석하였다. 훈증방역작업에서 브롬화메틸에 노출되는 근로자들은 조사하여 혈중 및 요중 브롬이온농도를 측정하였고, 컴퓨터를 이용한 신경행동검사를 실시하였다.

연구결과: 훈증방역소독업에 종사하는 근로자 147명의 혈액 및 소변 중 브롬이온농도는 각각 20.7 mg/L, 15.6 mg/L이었다. 혈액 및 소변 시료 채취를 할 때 작업시작 전과 후에 따른 차이는 없었다. 혈중 브롬이온은 요중 브롬이온과 높은 상관관계를 보였고($r=0.737$, $p<0.01$) 요중 브롬농도 10 mg/L에 해당하는 혈중 브롬농도는 15.4 mg/L이었다. 혈중 브롬이온농도와 요중 브롬이온농도가 증가함에 따라 신경행동검사에서 숫자암기와 부호숫자검사의 기능저하

소견을 보였다. 그러나, 브롬화메틸에 노출되는 근로자들의 신경행동검사 소견은 전반적으로 노출기준이상으로 톨루엔에 노출되는 근로자에 비해 우수한 소견을 보였다.

결론: 우리나라의 훈증 방역 소독작업자들은 비교적 높은 농도의 브롬화메틸에 노출되고 있었고, 혈중 브롬이온과 요중 브롬이온은 높은 상관관계를 보이고 있었다. 혈중 및 요중 브롬이온을 이용한 고노출군에서는 일부 신경행동검사 결과에서 기능저하 소견을 보이고 있으나 다른 신경독성물질에 노출되는 근로자에 비해서는 좋은 수행력을 보였다. 따라서 브롬화메틸에 노출되는 근로자들의 노출정도를 평가하고 중독질환을 예방하기 위해 특수건강진단의 생물학적 노출검사 지표항목 혈중 또는 요중 브롬이온농도 측정을 추가하여야 한다.

■ 판권표

연구과제명 : 유해물질 노출 근로자의 생물학적 모니터링 연구(II)

연구자료 : 연구원 2002-5-5

발 행 일 : 2001.12.31.

발 행 인 : 정 호 근

연구책임자 : 강 성 규

발 행 처 : 산업안전보건연구원

전 화 : 032-5100-915

F A X : 032-518-0862