

조선업 용접작업장의 공기중 입자상물질 및 구성성분에 관한 연구

강용선^{1)†} · 신중규²⁾ · 이송권²⁾ · 윤충식³⁾ · 임무혁²⁾ · 박만철⁴⁾ · 심상효⁵⁾

산재의료관리원 창원병원¹⁾, 대구한의대학교 보건학부²⁾
대구가톨릭대학교 산업보건학과³⁾, 삼성테크윈(주) 보건환경기술센터⁴⁾, 한양대학교병원 산업의학과⁵⁾

An Evaluation on Airborne Particulate and It's Components in the Welding Workplace for the Ship Construction Industry

Yong-seon Kang^{1)†} · Joong-Kyu Shin²⁾ · Song-Kwon Lee²⁾ · Chung-Sik Yoon³⁾
Moo-Hyuk Lim²⁾ · Man-Chul Park⁴⁾ · Sang-Hyo Sim⁵⁾

*Changwon General Hospital, Workers Accident Medical Corporation¹⁾
Faculty of Health Science, Daegu Hanny Universit²⁾
Dept. of Occupational Health, Catholic University of Daegu³⁾
Occupational Health & Environmental Technology Center, Samsung Techwin Co. Ltd⁴⁾
Dept of Occupational and Environmental Medicine, Hanyang University Medical Center⁵⁾*

This research was performed to evaluate the airborne personal concentration of hazardous materials during the process of ship construction and surveyed from May 23 to June 30, 2007 in Kyungnam West District, Korea. The subject was 94 ship construction workers exposed to welding fume and respirable particulate. The airborne concentrations of those were compared to Permissible Exposure Limit(PEL) from the Ministry of Labor in Korea. The airborne concentration of 23 samples(48.9%) of welding fumes was less than 5mg/m³, that of 16 (34.0%) was between 5 and 10mg/m³, and that of 8 (17.0%) was greater than 10mg/m³. The airborne concentration of 27 (57.4%) of respirable particulate masses was less than 5mg/m³ and the others are greater than 5 mg/m³. The welding fumes were identified containing the heavy metals such as Fe, Mn, Zn,

Mg, Ca, and Cu. The respirable particulates has similar tendency with welding fumes in the component of heavy metals. But the concentration of Ca, Cu, Cr, and Ni turned out to be higher in welding fumes. Twenty (42.6%) of the 47 samples of welding fumes were exceeded PEL. In the heavy metals in welding fumes, ten (21.3%) of the 47 samples of Mn were exceeded PEL. Based on the results, the higher airborne hazardous materials were still exposed to workers in ship construction process. It is suggested that the appropriate engineering control be applied to minimize the exposed concentration in ship building processes.

Key Words : Composition and concentration of welding fumes, Metals, Evaluation method

접수일 : 2006년 8월 16일, 채택일 : 2007년 9월 28일

† 교신저자 : Changwon General Hospital, Workers Accident Medical Corporation

Tel: 82-55-280-7604, Fax: 82-55-280-7664, E-mail :kys3973@hanmail.net

I. 서론

우리나라는 1960년대 경제개발계획 이후 최근 산업의 여러 분야에서 선진국 수준으로 급성장하고 있으며, 이중 조선업 부문은 일본과 더불어 세계 제1의 선박 수주국에 속한다(조선정보, 2000). 현재 우리나라의 조선업과 관련된(선박수리 및 선박건조)사업체 수는 총 500여 개소로 알려져 있으며, 근로자 수는 협력업체와 하청업체를 포함하여 대체로 약 20만 여명으로 추산되고 있다(한국산업안전공단, 1996).

조선업은 제철, 기계, 전자, 화학 등 여러 산업으로부터 기재를 가공 혹은 조립하는 종합적이고 규모가 가장 큰 조립 산업으로 복잡하여 표준화가 어려울 뿐만 아니라, 대부분의 작업 활동은 옥내뿐만 아니라 옥외에서도 이루어지고 있으므로 노출 유해인자의 종류나 노출 양상이 매우 복잡하다. 이러한 조선업종의 특성 때문에 2000년도 조선업의 재해율이 백명당 1.38 명으로 전체업종 재해율 0.73 명에 비하여 높았다(채홍재 등, 2002).

조선공정은 크게 설계, 선각공정, 의장 공정, 도장공정으로 구분된다. 선각공정은 철판이나 형강으로부터 부분품을 절단하고 성형하는 가공공정, 블록을 만드는 조립공정, 도크 내에서 블록들을 쌓아 선박의 형상을 갖추어 나가는 탑재공정으로 구성되어 있다. 설계단계에서는 선체를 슈퍼블록 또는 PE(pre-erection)블록의 크기로 나누고 이를 다시 조립능력을 고려하여 적당한 크기로 나누는데, 이것이 조립작업의 대상인 블록이 된다. 이러한 여러 공정 중에서도 그 작업장의 규모가 다른 제조업과는 달리 조립된 선박내의 밀폐된 작업장에서 용접 작업이 이루어지므로 산업안전보건상의 특별한 주의가 필요하다.

용접은 2개 이상의 금속 재료를 열이나 압력을 가해 서로 접합시키는 금속 가공방법이다. 용접방법은 크게 용접(fusion welding), 압접(pressure welding), 납땜(soldering, brazing) 등 세 종류로 구분되는데 그 중 우리가 흔히 말하는 용접은 주로 용접을 말한다(이중화 등, 2001).

용접 흡과 각종 증금속 발생량은 모재금속의 종류, 용접방법, 작업장의 환기상태, 작업장의 크기, 전류의 세기 등에 따라 발생량이 변화할 수 있으며, 주로 모재금속이 연강일 때에는 철, 망간, 규소, 구리 등이 많이 발생하고, 스테인레스강 철일 때에는 철, 크롬, 니켈 등이 많이 발생한다(곽영순, 1997).

그동안 조선소의 용접작업에 관한 연구로서는 Phoon et al(1983), Karlsen et al(1994)과 김광중 등(1991), 곽영순 등(1997), 정춘화 등(2002)의 보고가 있으며, 용접흡 흡입에 의한 사고 사례로는 문희범 등(1985), 조영수 등(1992)이 있다. 하지만 우리나라의 조선소 용접공을 대상으로 시료채취 방

법 중 용접흡(welding fumes)과 호흡성분진(respirable particulate mass)의 비교분석에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

최근 파킨슨 증후군을 보이는 환자가 망간중독으로 판명되면서, 용접작업자의 증금속 중독에 관심을 높아지고 있으며(김양호 등, 1997), 또한 울산의 모 중공업의 용접작업자 6명이 크롬(Cr)에 의한 비중격천공으로 추정되는 환자가 발견되었으며, 2000년도 용접작업자 3명이 망간중독 요양 승인 판결을 받은바 있다(전찬규 등 2001). 이러한 관점으로 본다면 용접공의 호흡성 분진에 대한 산업보건학적인 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구는 선박제조업체의 용접작업에서 발생하는 분진 측정방법에 따라 용접 흡(welding fumes)과 호흡성분진(respirable particulate mass)으로 분류하여, 공기 중 분진 농도분포와 흡내 금속성분의 농도를 비교·분석하였다. 또한 현재 용접 흡에 관한 평가방법은 노동부 “화학물질 및 물리적인 자의 노출기준”에서 정하고 있으나, 호흡성분진에 관한 평가 방법은 제시되지 않아서 용접 흡과 동일하게 평가하였다. 이 연구는 향후 조선업체 근로자의 건강관리와 진폐증 예방대책에 도움을 줄 수 있는 기초 자료를 제공하는데 있다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 2005년 3월 2일부터 6월 10일까지 서부 경남지역에 위치한 대규모 조선소의 블록(block)작업장에서 용접작업을 하고 있는 근로자 94명을 대상으로 하였다.

조사대상 사업장의 작업부서 중에서 선각공장 내부의 대조립 작업장과 야외 선행탑재작업장에서 블록용접이 이루어지는 공정을 대상으로 하였으며, 이때 측정 대상이 된 블록은 사면과 아래, 윗면이 밀폐되어있고 한 측면에 작업자가 출입할 수 있는 통로가 있는 블록공정을 대상으로 하였다.

작업장에서 사용 중인 대부분의 모재는 연강이었으며, 용접 방법은 CO₂ 아크용접(CO₂ gas metal arc welding)넣고, 플럭스 코어드 와이어는 AWS 규격(E80T1-W, 대우스텐, KOREA)을 사용 하였으며, 전류 350A, 전압 40V, 가스유량은 20 l/min이었다.

선각공장의 블록 내부 용접 작업 시에는 이동식 소형 축류팬은(DTV-260, 동건 공업, KOREA) 36m³/min 2260Hz을 사용하여 블록 밖으로 용접 흡을 배기시키면 각 Bay에 있는 대형 축류팬(ELF-600, E-EHA, KOREA) 320m³/min이 용접 흡을 공장외부로 배기하였고, 야외 선행탑재장의 블록용접 작업에서는 이동식 소형 축류 팬에 의해 직접 외부로 배기하였다.

2. 연구방법

1) 시료채취 및 분석

용접 흡(welding fumes) 농도는 NIOSH Method # 0500(NIOSH, 1994)을 이용하여 측정하였으며, 시료채취 전·후 동일한 조건에서 1일 동안 50% 항습이 유지된 desiccator내에서 방치한 후 0.001mg까지 판독 가능한 천칭(Mettler, MX5, Switzerland)을 이용하여 무게를 재었으며 매회 시료수의 10% 정도의 blank 여과지로 보정하였다. 중량분석이 끝난 여과지는 흡중에 존재하는 철(Fe) 등의 금속 분석에 이용하였다. 시료여과지의 전처리에는 NIOSH의 Method # 7300(NIOSH, 1994)의 마이크로파회화기(microwave digestion system, MDS2100, CEM Corp, USA)를 이용하여 전처리방법으로 회화하였고, 회화된 시료는 유도결합플라즈마(Inductively Coupled Plasma, ICP)를 이용하여 분석하였다.

호흡성 분진은 NIOSH Method #0600(NIOSH, 1994), 37mm Polyvinyl Chloride(PVC) 여과지(SK Co. USA)가 부착된 3piece cassette holder 및 10mm nylon cyclone(Gilian Co, USA)에 고정시킨 후 개인시료채취기(personal air sampler, Gilian Co, USA) 유량 1.7 l/min로 근로자의 보안면 안쪽에 위치하도록 하여 약 360분간 시료를 채취하였다. 분석조건은 용접 흡 분석방법과 동일한 조건으로 분석하였다(Table 1).

2) 자료처리 및 통계분석

자료의 분석은 SPSS 13.0 프로그램을 이용하였으며, 용접 흡(welding fumes)과 호흡성분진(respirable particulate mass)의

정규분포 여부는 Wilk-shapiro test를 실시하고, 측정물질에 대한 자료의 대표값, 산포도는 각각 기하평균(Geometric Mean, GM)과 기하표준 편차(Geometric Standard Deviation, GSD)로 나타내었다. 용접 흡(welding fumes)과 호흡성분진(respirable particulate mass) 및 중금속의 측정농도의 평가방법(노동부, 2002)을 이용하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 용접 흡(welding fumes)과 호흡성분진(respirable particulate mass)의 농도 분포

현재까지 알려진 연구 결과에 의하면 공기 중의 용접 흡(welding fumes), 분진 등의 입자상 물질들은 대수 정규분포(lognormal distribution)를 한다고 보고되어 있으며(이권섭, 1994), 본 연구의 결과 Fig. 1은 조선소의 일부공정에서의 용접 흡과 호흡성분진에 대한 대수누적분포를 나타낸 측정값은 대수정규분포 하였다.

2. 공기 중 용접흡 농도

공기 중 용접 흡의 47개 샘플 수 중 5mg/m³이하 23(48.9%), 5~10mg/m³ 16(34.0%), 10mg/m³이상은 8(17.0%)로 조사되었으며, 호흡성분진 47개 샘플 수 중 5mg/m³이하 27(57.4%)로 나타났으며, 5~10mg/m³, 10mg/m³ 이상은 각각 10(21.3%)로 동일한 분포를 보였다(Table 2).

Table 1. Analysis lines of metal elements in the welding fumes by ICP

| Elements | Wavelength (nm) | Gas flow(lpm) | | | RF Power (Watts) | Pump Flow Rate (ml/min) | Type |
|----------|-----------------|---------------|-----------|-----------|------------------|-------------------------|-------|
| | | Plasma | Auxiliary | Nebulizer | | | |
| Fe | 238.2 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Mn | 257.6 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Zn2 | 206.2 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Cu | 327.4 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Ni | 231.6 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Pb | 220.4 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Cr | 267.7 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Cd | 228.8 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Ca | 317.9 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |
| Mg | 285.2 | 15 | 0.2 | 0.80 | 1300 | 1.5 | Axial |

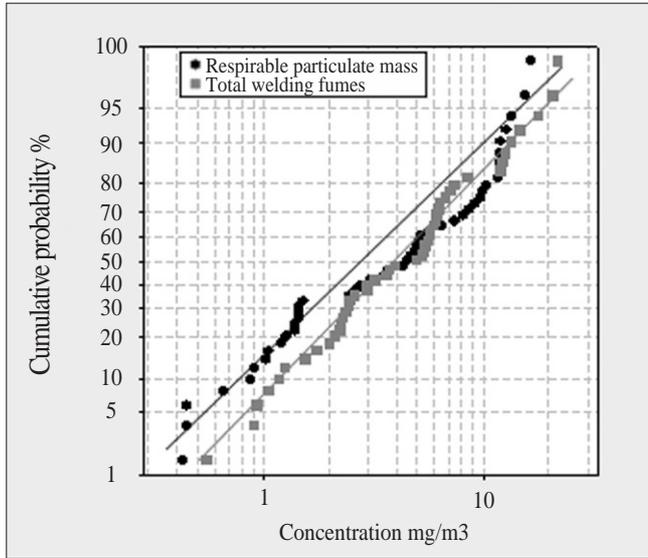


Fig. 1 Cumulative distribution of welding fumes & respirable particulate mass concentration in airborne

3. 용접 흡중 중금속 성분 농도

블록용접 공정의 용접작업자들의 공기 중 용접 흡의 기하 평균농도는 4.11mg/m³, 호흡성분진 3.53mg/m³으로 조사되었다.

공기 중 용접 흡 47개 샘플 중 여과지에 함유된 중금속 성분의 농도를 분석한 결과는 철(Fe)농도는 1.1610mg/m³로 가장 높았으며, 망간(Mn) 0.3121mg/m³, 아연(Zn) 0.2768mg/m³, 마그네슘(Mg) 0.0464mg/m³, 칼슘(Ca) 0.0240mg/m³, 구리(Cu) 0.0032mg/m³, 납(Pb) 0.0017mg/m³, 크롬(Cr) 0.0015mg/m³, 니켈(Ni) 0.0005mg/m³로 나타났으며, 호흡성분진 47개 샘플 중 여과지에 함유된 각각의 중금속 성분별 함유 비율은 철(Fe), 망간(Mn), 아연(Zn), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 구리(Cu), 등 9가지 이었으며, 금속성분 농도가 높은 순서로 보면, 철(Fe)이 가장 많고 그 다음망간(Mn)과 아연(Zn)의 순으로 나타났다. 두 측정 방법간 비교 결과 칼슘(Ca), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni)농

Table 2. Distribution of welding fumes sample concentration in airborne

| Fume concentration level | Welding fumes | Respirable particulate mass |
|--------------------------|----------------|-----------------------------|
| | No. of Samples | No. of Samples |
| ~5.00 | 23(48.9%) | 27(57.4%) |
| 5.00~10.00 | 16(34.0%) | 10(21.3%) |
| 10.00< | 8(17.0%) | 10(21.3%) |
| Total | 47(100.0%) | 47(100.0%) |

Table 3. The concentration of metal elements in welding fumes

| Composition | No of Sample | Welding fumes | | | Respirable particulate mass | | | p-value |
|-------------|--------------|-------------------------|------|----------------|-----------------------------|------|----------------|---------|
| | | GM (mg/m ³) | GSD | Range | GM (mg/m ³) | GSD | Range | |
| Fume | 47 | 4.11 | 2.41 | 0.5521~21.8932 | 3.53 | 3.14 | 0.4317~16.8137 | 0.79 |
| Fe | 47 | 1.1610 | 2.77 | 0.0648~7.9756 | 0.6986 | 4.77 | 0.0039~4.9678 | 0.35 |
| Mn | 47 | 0.3121 | 3.66 | 0.0058~2.2500 | 0.2501 | 4.97 | 0.0010~1.9730 | 0.86 |
| Zn | 47 | 0.2768 | 2.95 | 0.0157~1.7219 | 0.1897 | 4.87 | 0.0013~1.2504 | 0.29 |
| Mg | 47 | 0.0464 | 3.24 | 0.0016~0.3176 | 0.0342 | 3.76 | 0.0013~0.2617 | 0.34 |
| Ca | 47 | 0.0240 | 3.14 | 0.0002~0.1975 | 0.0114 | 4.42 | ND~0.0629 | 0.00** |
| Cu | 47 | 0.0032 | 2.78 | 0.0003~0.0236 | 0.0019 | 3.26 | 0.0001~0.0093 | 0.00** |
| Pb | 47 | 0.0017 | 2.88 | 0.0001~0.0258 | 0.0015 | 2.24 | ND~0.0063 | 0.09 |
| Cr | 47 | 0.0015 | 2.14 | ND~0.0106 | 0.0012 | 2.56 | ND~0.0047 | 0.00** |
| Ni | 47 | 0.0005 | 3.74 | ND~0.0124 | 0.004 | 2.56 | ND~0.0038 | 0.02* |

GM : Geometric mean, GSD : Geometric Standard Deviation, ND : Non-detectable
 * p<0.05, ** p<0.01

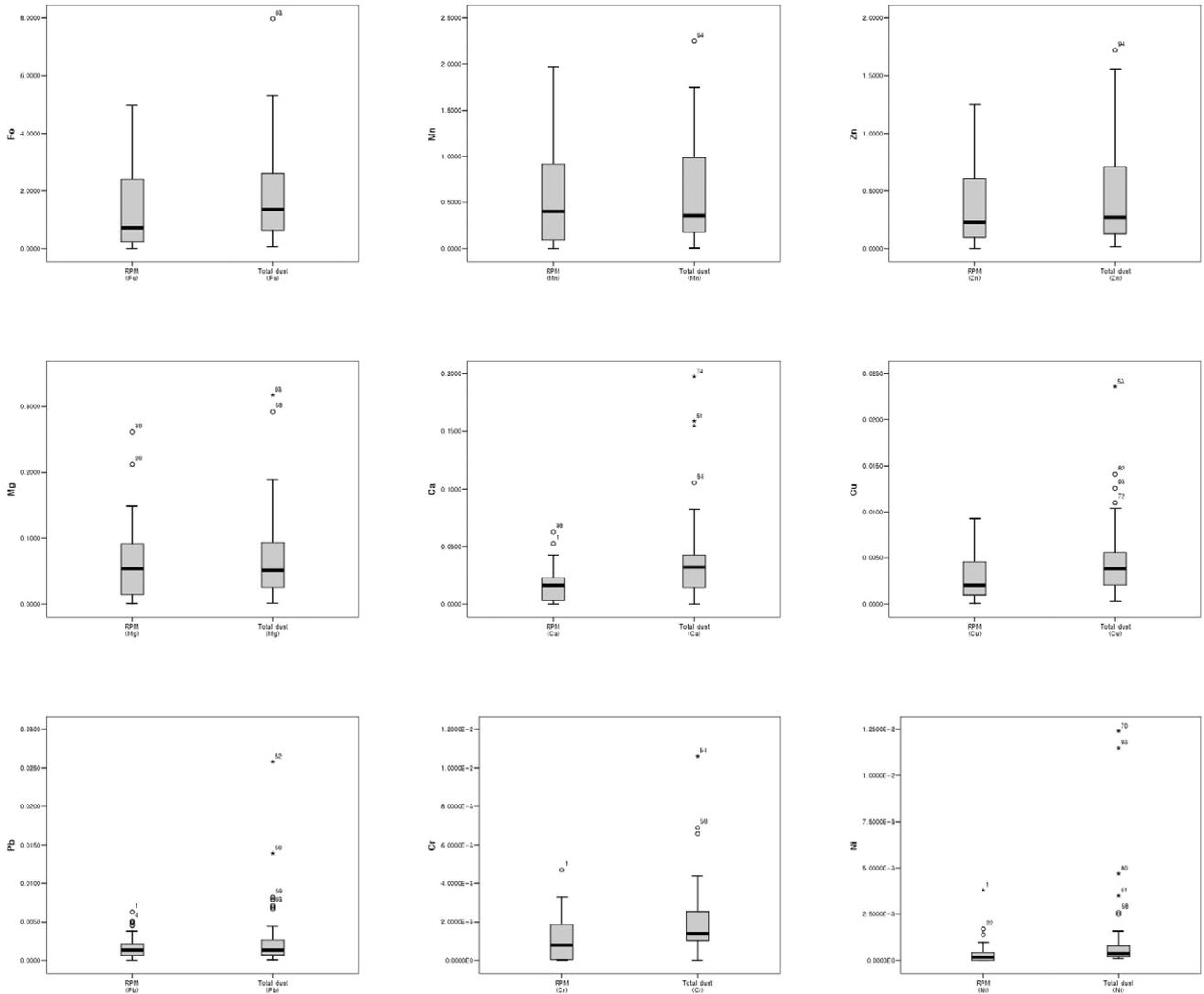


Fig. 2. Boxplots of metal contents in welding fumes and respirable particulate mass

도는 용접 흡에서 더 높게 나타났으나, 두 측정간 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$)($p < 0.05$). 하지만 다른 금속 물질들은 차이를 보이지 않았다(Table 3).

Fig. 2는 용접공정에서의 공기 중 용접 흡과 호흡성분진의 농도에 따른 철(Fe), 망간(Mn), 아연(Zn), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr), 니켈(Ni) 농도 분포를 비교한 결과이다.

4. 용접 흡과 호흡성분진의 중금속 농도의 노출 기준 평가

용접 작업근로자들의 공기 중 용접 흡 및 중금속 농도가 노출기준을 초과하는지에 대한 평가는 우리나라 노동부와 미

국산업안전보건청(OSHA)에서 채택하고 있으며(곽영순, 1997), 그러나 호흡성 분진에 관한 평가 방법은 제시되지 않아서 용접 흡과 동일하게 평가하였다.

측정농도를 노출기준으로 나눈 Y 표준값을 구하고 이 값에서 시료포집분석오차(Sampling and Analytical Error, SAE)를 더하여 95%의 신뢰도를 가진 상한치(Upper Confidence Limit, UCL)를 계산하고, Y 표준 값에서 시료포집분석오차(Sampling and Analytical Error, SAE)를 제하여 95%의 신뢰도를 가진 하한치(Lower Confidence Limit, LCL)를 구하였으며, 노출기준을 평가 하였다(노동부, 2005).

블록용접 공정에서 용접 흡과 중금속 측정농도의 평가경과는 표 4에서 보는 바와 같이 용접 흡은 47개 샘플 중 20개

Table 4. Sample Number of Exceeding TLVs : concentration of welding fumes and metals in the shipbuilding

| Composition | | Number of Samples | | | Total |
|-----------------------------|------|-------------------|-----------------|-------|-------|
| | | LCL>1 | LCL≤1 and UCL>1 | UCL≤1 | |
| Welding fume | Fume | 20 | 4 | 23 | 47 |
| | Fe | 1 | 2 | 44 | 47 |
| | Mn | 10 | 5 | 32 | 47 |
| Respirable particulate mass | Fume | 18 | 6 | 23 | 47 |
| | Fe | - | 2 | 45 | 47 |
| | Mn | 9 | 4 | 34 | 47 |

Classify the exposure according to the following classification system:
 If LCL > 1, a violation exists,
 If LCL ≤ 1 and the UCL > 1, classify as possible overexposure,
 If the UCL ≤ 1, a violation does not exist.

(42.6%)가 노출기준 ‘초과’로 나타났고, 노출기준 ‘초과가능’ 시료는 4개였으며, 노출기준 ‘미만’은 23개로 나타났으며, 흡내 중금속 물질인 망간(Mn)은 10개(21.3%)가 노출기준을 ‘초과’하였고, 노출기준 ‘초과가능’ 시료는 5개, 나머지 32개는 노출기준 ‘미만’이었으며, 철(Fe)은 1개(2.1%)가 노출기준을 ‘초과’하였고, 2개 시료가 노출기준 ‘초과가능’, 나머지 44개는 노출기준 ‘미만’으로 평가되었으나, 아연(Zn), 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)은 모두 노출기준 ‘미만’으로 조사되었다.

호흡성분진을 용접 흡과 동일한 방법으로 평가한 결과 18개(38.3%)가 노출기준을 ‘초과’하였고, 노출기준 ‘초과가능’ 시료는 6개, 노출기준 ‘미만’은 23개이었다. 흡내 중금속 성분인 망간(Mn)은 9개(19.1%)가 노출기준을 ‘초과’하였으며, 4개 시료가 노출기준 ‘초과가능’이고, 34개는 노출기준 ‘미만’이었다.

철(Fe)은 1개만 노출기준 ‘초과가능’으로 나타났으며, 아연(Zn), 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)은 모두 노출기준 ‘미만’이었다.

IV. 고찰

조선작업 과정을 정리하면 설계도 계획에 의해 우선 강재를 선별하고 운반한 후, 절단, 가공하여 소조립, 중조립, 대조립의 조립 과정을 거쳐 선체를 블록 조립하고, 다음에 선체 탑재하고 엔진설치 및 의장 공사를 거친 후 도장작업을 하여 진수시킨다(한국산업안전공단, 1996).

용접은 금속과 금속을 서로 접합하는 방법으로 이에 필요한 열원과 용접 작업 중에 발생하는 분진, 유해가스, 고열 등의 위험성과 유해성은 오래전부터 산업안전보건상 문제가

되어 왔다.

용접 흡은 용접시 고열에 의해 금속의 응축되거나, 산화되는 등의 화학반응에 의해 형성된 고체상 미립자를 말하며(AWS, 1976), 산화철(Fe₂O₃)이 주종을 이루고 있으며, 용접봉과 피용접금속재질 및 용접흡속에 많은 유해 유독한 금속성분들이 포함될 수 있다.

공기 중에 부유하는 분진은 입경은 100 μ m이하로 알려져 있으며 입경에 따라 인체의 폐조직에 침착되는 부위가 다른 것으로 알려져 있다. 따라서 흡이 건강에 미치는 영향은 그 성분뿐만 아니라 크기도 관련이 있으며, 대개 용접 흡은 구형으로 발생되어 원래의 유지하기도 하나 흡습·응집하여 크기가 커지거나 사슬모양으로 존재하기도 한다. 흡이 생성될 때의 입자 크기는 1 μ m이하이며, 응집하면 7 μ m까지 증가한다.

흡의 입자내 금속의 분포는 균일하지 않다. 가벼운 금속(Na, K, Ca)은 주로 입자의 표면에 존재하고, 무거운 금속(Fe, Cr, Ni, Mn)은 입자의 안쪽에 위치하는데, 이를 각 금속의 증기압과 관련하여 설명하기도 하였다. 용접 흡은 보건학적으로 중요한 유해물질이다. 흡 자체가 미세하여 호흡기를 통하여 쉽게 폐까지 도달할 수 있을 뿐 아니라, 흡 중의 크롬(Cr), 니켈(Ni), 망간(Mn) 등의 구성성분은 인체에 매우 해롭기 때문이다. 따라서 용접 흡은 그 농도는 물론이고 각 구성성분의 조성도 중요하다(윤충식, 1999).

본 연구의 용접 흡과 호흡성분진 농도는 대수정규분포를 보이고 있으며, 용접 흡의 기하평균농도 4.11mg/m³, 호흡성분진 3.53mg/m³로 조사되었다.

선행 연구결과를 보면 김광중 등(1991)이 보고한 모 조선업에서의 용접 흡 농도 9.73mg/m³, Phoon et al(1983)이 보고한 조선소의 밀폐장소에서의 용접 흡 농도 12.77mg/m³보다 매우 낮았고, 김동구 등(2002)의 경남지역 소규모 선박건조업의 용접 흡 농도 2.684mg/m³ 보다는 높았다.

2000년 이전의 작업환경측정은 개인공기 시료채취시 근로자의 호흡기위치(호흡기 반경 30cm)에서 시료를 채취하였으나, 현재는 용접 흡 경우 보안면 내부에서 채취하여 평가하였기에 과거 농도와 차이가 있는 것으로 생각되며, 대부분의 블록용접 공정에서 이동식 소형 축류 팬을 사용하는 작업 환경과 비교할 경우 과거의 용접공정에는 배기시설이 미흡하였기 때문으로 추측된다.

Palmer(1986)의 연구 결과에 따르면 개인노출에 있어서 이동식 팬을 이용하면 선박 건 조업에서의 용접공 노출은 47.8%까지 감소시킬 수 있는 것으로 보고되어 국소배기시설의 설치가 조선업 특성상 쉽지 않은 것을 고려한다면 용접 흡을 최소화하기 위해 작업위치를 조절하여 얼굴부위로 용접 흡이 직접 노출되는 것을 피해야하며, 반드시 이동식 국소배기를 사용해야할 것으로 생각된다.

본 연구결과의 용접 흡(welding fumes)내에 금속 함유량을 살펴보면 철(Fe)>망간(Mn)>아연(Zn)>마그네슘(Mg)>칼슘(Ca)>구리(Cu)>납(Pb)>크롬(Cr)>니켈(Ni)>카드뮴(Cd) 순으로 함유하고 있어, 광영순 등(1996)의 조선소 밀폐된 작업장에서 모재를 연강으로 한 CO₂용접에서의 공기 중 금속 조성의 연구결과와 일치하였다.

이러한 용접 흡과 발생 유해가스를 작업근로자가 다량 흡입하므로써 철폐증(siderosis), 섬유폐증(fibrosis), 폐기종(emphysema), 기관지염(bronchitis) 등의 만성 폐질환을 유발시킬 수 있으며, 피용접물질에 피막된 도료의 성분에 따라 연(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 망간(Mn)등의 중금속에 의한 중독을 일으킬 수 있다(변상훈 등, 1995).

용접공정에서 발생하는 용접 흡에 대한 호흡성분진의 기하평균 농도 3.53mg/m³으로, 이는 이권섭 등(1994)이 CO₂용접 작업시 공기 중 호흡성분진 농도 3.37mg/m³과 유사한 수준이며, Evans et al(1979) 국소배기시설을 가동하고 있는 조건에서 측정된 호흡성분진 농도 7.3mg/m³보다는 낮았다.

호흡성분진 중 금속류 성분별 농도는 철(Fe) 30%, 망간(Mn) 9.4%, 아연(Zn) 8.2%, 마그네슘(Mg) 1.2% 이었으며, 철(Fe)>망간(Mn)>아연(Zn)>마그네슘(Mg)>칼슘(Ca)>구리(Cu)>납(Pb)>크롬(Cr)>니켈(Ni)>카드뮴(Cd) 순으로 용접 흡(welding fumes) 내의 금속 함유량 순과 일치하였다.

용접공정의 용접 흡 농도에 대한 호흡성분진 농도의 용접 흡 함유 비율은 86.0%로, Evans et al(1979)이 보고한 70.6% 보다는 다소 높았으나, 김광중 등(1991)이 조선업 작업장에서 용접 흡에 대한 호흡성분진 함유 비율 85.8%로 동일한 수준으로 나타났다.

호흡성분진의 금속성분 함유 비율은 망간(Mn), 납(Pb), 크롬(Cr), 니켈(Ni) 등이 80% 이상 함유하였고, 칼슘(Ca)만 47.5%로 함유 비율이 50% 미만이었다.

용접 흡과 호흡성분진 측정값 비교 시 일부가 용접 흡 농도보다 호흡성분진의 농도가 높게 조사된 것이 있으며, 이는 동일한 블록에서 작업시 작업자 개인의 숙련도, 작업물량, 용접자세, 이동식 축류 팬의 위치 등에 의하여 차이가 나타난 것으로 생각된다.

위의 결과를 살펴볼 때 조선업의 용접공정에서 발생하는 호흡성분진이 상당히 많은 부분을 차지하고 있으므로, 금속성분에 대한 평가는 공기 중의 노출농도도 중요하나 작업자 개인의 실제 노출정도를 평가할 필요성이 있다.

블록용접 공정에서 용접 흡 측정 건수 중 20개(42.6%)가 노출기준 '초과'하여 김광중 등(1991)이 모 조선소에서 측정된 용접 흡의 농도 가운데 우리나라 노출기준 5mg/m³을 초과한 시료를 헤아려 조사한 초과율 88.0%와 광영순(1996)의 조선소 밀폐된 작업장의 공기 중 용접 흡 농도 평가 시 초과율 81.2% 및 전찬규(2001)의 일부 선박 조립장내 용접 흡 농도 평가 시 초과율 73.6% 보다 낮은 수준이었다.

흡내 중금속 중 철(Fe)의 경우는 1개(2.1%)가 노출기준을 '초과'하였으며, 망간(Mn)은 10개(21.3%)가 노출기준을 '초과'하여 광영순(1996)의 조선소 밀폐된 작업장의 중금속 성분에 관한 노출기준 평가와 비교 시 철(Fe)과 망간(Mn)은 매우 낮은 수준이었다. 이는 최근 조선업종의 블록용접 작업시 소형축류팬의 적극적인 활용과 자동용접 등이 보급되었기 때문으로 생각된다.

호흡성분진 농도 중에서 18개(38.3%)가 노출기준을 '초과'하였고, 흡내 중금속인 망간(Mn)은 9개(19.1%)가 노출기준을 '초과'하였으며, 철(Fe)은 1개(2.1%)만 노출기준 '초과가능'으로 평가되었다.

본 연구결과는 용접 흡이 단순히 노출기준 초과여부만 결정한다면 흡에 의한 평가라도 충분하지만, 호흡성분진의 경우 미세한 입자와 특수한 독성물질이 존재할 가능성이 있다면 이 성분에 대한 평가를 실시하는 것이 바람직하다. 이러한 조사결과는 근로자의 직업병 예방과 후후 직업병이 발생된 경우 이의 원인을 밝히는 중요한 근거가 될 것이다. 결론적으로 용접 작업 중 근로자의 노출평가는 가능한 유해 성분 각각에 대한 평가는 물론 상가효과가 있는 물질의 경우 혼합물질 평가 방법에 따른 평가를 실시하는 것이 바람직하다.

V. 결론

이 연구는 2005년 5월 23일부터 7월 30일까지 서부경남 지역에 위치한 대규모 조선소 사업장에서 용접작업을 하는 근로자 94명을 대상으로 하여 블록용접 작업시 발생하는 공기 중 용접 흡(welding fumes), 호흡성분진(respirable particulate

mass) 농도 내에 함유된 각종 금속흡 노출에 대한 정확한 실태를 파악하기위해 작업환경측정을 실시하였으며, 그에 따른 평가 결과 다음과 같다.

1. 용접공정에서 측정된 결과 용접 흡 47개 중 5mg/m³이하는 23개(48.9%), 5~10mg/m³은 16개(34.0%), 10mg/m³이상은 8개(17.0%)로 조사되었으며, 호흡성분진 47개 중 5mg/m³이하 27개(57.4%)로 나타났으며, 5~10mg/m³, 10mg/m³이상은 각각 10개(21.3%)로 동일한 분포를 보였다.

2. 용접 흡과 호흡성분진의 여과지에 함유된 중금속 성분별 함유 비율은 철(Fe), 망간(Mn), 아연(Zn), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 구리(Cu), 등 9가지 이었으며, 금속성분을 많은 순서로 보면 철(Fe)이 가장 많고 그다음 망간(Mn)과 아연(Zn)의 순이었으며, 두 측정 방법간 비교 결과 칼슘(Ca), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni)농도는 용접 흡에서 더 높게 나타났으며, 두 측정 간에는 유의한 차이를 보였다(p<0.01)(p<0.05). 하지만 다른 금속 물질들은 차이를 보이지 않았다

3. 용접 흡 47개 시료 중 20개(42.6%)가 노출기준 '초과'로 나타났고, 노출기준 '초과가능' 시료는 4개였으며, 노출기준 '미만'은 23개로 나타났다.

망간(Mn)은 전체시료 47개 중에서 10개(21.3%)가 노출기준을 '초과' 하였고, 노출기준 '초과가능' 시료는 5개, 나머지 32개는 노출기준 '미만'이었으며, 철(Fe)의 경우는 전체 47개 시료 중에서 1개(2.1%)가 노출기준을 '초과' 하였고, 2개의 시료가 노출기준 '초과가능', 나머지 44개는 노출기준 '미만'으로 평가되었으나, 아연(Zn), 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)은 모두 노출기준 '미만'으로 조사되었다.

호흡성분진을 용접 흡과 동일한 방법으로 평가한 결과 47개 시료 중에서 18개(38.3%)가 노출기준을 '초과' 하였고, 노출기준 '초과가능' 시료는 6개, 나머지 노출기준 '미만'은 23개이었다. 망간(Mn)은 47개 중에서 9개(19.1%)가 노출기준을 '초과' 하였으며, 4개 시료가 노출기준 '초과가능'이고, 나머지 34개는 노출기준 '미만'이었다.

이상의 결과로 보아 조선업 용접작업장의 용접 흡 중에서 호흡성 입자상물질이 대부분을 차지하고 있어 호흡성분진에 대한 정확한 평가와 연구가 이루어져야 하며, 그에 따른 연구가 지속적으로 이루어져야한다.

REFERENCES

곽영순, 백남원. 모조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기 중 용접 흡 및 중금속 농도에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1997;7(1):113-131

김광중, 송기창. 모 조선업 작업장의 공기 중 용접 흡농도에 관한 조사. 한국산업위생학회지 1991;1(1): 68-72

김동구. 소규모사업장 용접근로자들의 소음·망간 노출에 관한 연구. 인제대학교 보건대학원 석사학위논문 2002

김양호, 김재우, 이토켄고, 임현술, 신용철, 김규상. 망간중독이 의심되었던 용접공에서의 양전자방출단층촬영(PET) 결과. 제19차 추계학술대회연제집 대한산업의학회 1997

노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부 고시 2002-8호. 2002.5.6) 2002; p4

노동부. 작업환경측정 및 정도관리규정(노동부 고시 2005-49호. 2005.12.30) 2005; p28-30

문희범, 김유영, 강석영. 용접용제에 의한 직업성 천식 1예. 알레르기 1985;190-192

변상훈, 박승현, 김창일, 박인정, 양정선, 오세민, 문영한. 일부 업종의 용접 흡 분석 및 폭로농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1995;5(2):172-174

이종화, 장지선, 박종안, 장봉기. 충청지역 일부 공업고등학교 실습생의 용접 흡 및 망간에 대한 노출 평가. 한국산업위생학회지 2001;27(4):51-62

이권섭, 백남원. 용접작업 형태별 공기 중 용접 흡 농도와 금속성분에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1994;4(1):71-80

윤충식. 용접공정의 흡 발생량과 공기 중 6가 크롬에 관한 연구. 서울대학교 보건대학원 박사학위논문 1999;4-52

조영수, 서해숙, 박해심. 금속 아크 용접공에서 발생한 직업성 천식 1예. 알레르기 1992;218-221

조선정보. 세계조선지표. 2000; 76-79

전찬규. 일부 선박조립 작업장내 용접 흡 농도분포와 작업자들의 용접 흡 노출에 관한 연구. 서울대학교 보건대학원 석사학위논문 2001

정춘화, 임현우, 구정완, 박정일. 조선업 용접공의 용접 흡 생애누적노출량을 이용한 환기기능 평가. 대한산업의학회지 2002;14(4):364-376

채홍재, 이성관, 이강진, 문재동. 조선소 근로자들의 근골격계 질환 양상과 중재적 보건관리 효과. 대한산업의학회지 2002;14(4):468-477

한국산업안전공단. 조선업 근로자 건강관리(분진작업편) 1996;9-35

Phoon, WH & Tan, KT. Welding Fumes in Shipyards. Occupational Health and Safety 1983;2:19-25

American Welding Society. Methods for sampling airborne particulate generated by welding and allied process. Miami FI 1976;1-78

American Welding Society. Methods for sampling airborne

- particulate generated by welding and allied process
1976;AWS8 ANSI/AWS F1:1-78
- National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH
Manual of Analytical Methods, 4th ed. NIOSH, Cincinnati,
OH, 1994;94-113
- Palmer WG. Effects of welding on health IV. Miami, Fl, American
Welding Society 1983;1-10
- Evans MJ, Ingle J, Molyneux MK, Sharp GTH. An Occupational
Hygiene Study of A Controlled Welding Task Using A General
Purpose Rutile Electrode. Ann. Occup. Hyg. 1979;22:117
- Karlsen JT, Torgrimser T, Langard S. Exposure to Solid Aerosols
during Regular MMA Welding and Grinding Operations on
Stainless Steel, Am. Ind. Hyg. Assoc 1994;55(12):1149-1153