

조선소 도장작업 노동자 유기용제 노출과 일간 변이

안진수^{1,3} · 박두용¹ · 강태선^{2*}

¹한성대학교 기계시스템공학과, ²세명대학교 보건안전공학과, ³명지안전보건연구소

Characteristics of Workers' Exposure Concentration and Daily Variations to Organic Solvents in Shipbuilding Painting Processes

Jinsoo Ahn^{1,3} · Dooyong Park¹ · Taesun Kang^{2*}

¹Department of Mechanical System Engineering, Hansung University

²Department of Health and Safety Engineering, Semyung University

³Myung-Ji Safety & Hygiene Lab. Inc.

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted to identify the characterization of organics solvent exposure among painting workers in the shipbuilding painting process, especially for their daily variations(within worker variance).

Methods: Charcoal passive dosimeters were worn throughout each work shift for 20 days for five painting workers from October 19 to November 26, 2015. A total of 100 samples were collected, analyzed and compared with statutory workplace environmental measurements.

Results: The geometric mean(GM) and geometric standard deviation(GSD) of mixed organic solvent(six substances) exposure index(EI) for the 100 samples were 0.42 and 4.42 respectively. The median and range of GSD for within worker EI representing five workers' daily EI variation is 3.72 and 2.63 ~ 5.20, respectively, which is classified as a very large variation(GSD>3). We were able to divide the painting process into two similar exposure groups(SEGs), Touch-up and Spray. Spray painting workers were much more exposed to organic solvent than Touch-up painting workers(GM=0.71 vs. 0.19), but less variably (GSD=3.64 vs. 4.10). xylene is the substance to which the workers were most exposed(GM=16.19 ppm, GSD=4.36), and the exposure characteristics of six substances including xylene is similar to those of EI.

Conclusions: The daily variation of organic solvent exposure in the shipbuilding painting process is so high that statutory Assessment of Reliability of Work Environment Monitoring needs to be conducted with statistically sufficient number of samples and evidence.

Key words: daily variation, organic solvent exposure, painting, shipbuilding, within worker variance

1. 서 론


조선소 노동자들은 많은 공정에 걸쳐서 다양한 유해 인자에 노출되고 있으며, 실제로 '선박 건조 및 수리업(이하 선박 건조업)'의 재해율은 전 산업 평균에 비해 1.7배 이상 높다. 세부 작업으로는 가장 빈도가 높은 작업은 용접과 도장 작업이다(KOSHA, 2011). 지금까지 조선소

노동자들의 용접 노출평가를 비롯한 용접 작업에 관한 많은 연구가 있었는데, 이와 비교할 때 도장 작업에 관한 연구는 상대적으로 드물었다. 1995~1999년 기간 동안 선박 건조업 18개 업체가 포함된 부산지역 제조업 927업체의 유기용제 노출 실태를 보고한 연구가 있었다. 이 연구에서는 각 제조업종의 혼합물인 유기용제 노출지수 및 그 초과율을 보고했다. 선박 건조업인 경우 도


*Corresponding author: Taesun Kang, Tel: 010-9947-7815, E-mail: kangtaesun@semyung.ac.kr

Department of Health and Safety Engineering, 65 Semyung-ro, Jecheon, Chungbuk, 27136

Received: October 14, 2019, Revised: November 26, 2019, Accepted: December 19, 2019

 Jinsoo Ahn <https://orcid.org/0000-0001-8906-346X>

 Dooyong Park <http://orcid.org/>

 Taesun Kang <http://orcid.org/0000-0002-3876-8539>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

장공정으로 추정되지만 일부 다른 유기용제 취급공정이 포함됐을 것으로 보인다. 도장작업 노동자들의 유기용제 노출로 범위를 명확하게 특정한 경우는 1996년 398명의 한 조선소 도장 노동자들을 대상으로 한 연구가 있었다(Joo et al., 2000; Moon et al., 2001). 이 연구에서는 유기용제 혼합노출지수와 xylene 등 유기용제 각 성분의 평균 노출농도와 표준편차를 보고했다. 이 연구는 90년대 조선소 도장작업의 유기용제 노출에 관한 몇 안 되는 소중한 연구라는 가치가 있지만 다양한 도장작업을 세부 작업별로 나누지 않고 하나로 묶어서 노출농도의 평균과 표준편차만 제시했다는 한계가 있다. 그 외 조선소 도장작업 노동자의 직업병 환례 연구에서 일부 유기용제 노출데이터를 제시한 경우가 있었다(Kim et al., 1999). 우리나라 조선업은 2015년까지 지속적으로 규모가 커졌고 직업병 사례도 끊이지 않고 보고되고 있지만, 2001년 이 연구 이후로 지금까지 선박조선업 도장작업 노동자의 유기용제 노출평가 연구는 거의 없었다.

이런 상태에서 2009년부터 작업환경측정 신뢰성평가 제도가 신설·시행되었는데, 작업환경측정 결과가 노출기준 미만인데도 직업병 유소견자가 발생한 경우 그리고 작업 조건의 변화가 없는데도 노출수준이 현저히 달라진 경우 평가 대상이 될 수 있다. 조선소 도장작업에서는 피도장체가 매우 크고 그 종류가 다양한 데다가, 실외 또는 공간이 매우 넓은 실내에서 작업이 수행되므로 같은 노동자를 측정하더라도 유기용제 노출농도의 변이가 크게 나타나는 경향이 있다(Koh et al., 2001). 또한 도장공의 직업적 노출에 대하여 국제암연구기구(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 인간 발암성(Group 1)이 충분한 것으로 판단하였다(Straif et al., 2007). 즉 조선소 도장작업은 신뢰성평가 대상이 되기 쉬운 조건인 것이다. 문제는 제도 시행 이후 10년이 흘렀지만 작업환경측정 신뢰성평가 대상이 될 수 있는 '노출수준이 현저히 달라진 경우'가 무엇인지에 대한 정의가 불분명하다는 것이다. 작업조건의 변화가 없거나 혹은 일상적인 범위의 변화만 있는 상태에서 도장 노동자들의 유기용제 노출변이를 알지 못하고 '노출수준이 현저히 달라진 경우'를 평가하기는 어렵다. 특히 같은 노동자를 대상으로 반복적으로 측정할 일간변이 즉 노동자내 변이 정보가 필요한데, 이에 관한 연구는 거의 없었다.

우리는 조선소 선형 도장작업 노동자들의 유기용제

노출특성을 평가하기 위해, 특히 일간변이를 파악하고자 이 연구를 수행했다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

1) 연구 대상자

2015년 10월 19일부터 11월 26일까지 전라남도에 소재한 대형조선소의 선형도장 공정 1개 팀을 임의로 선발하였다. 팀원 중 관리감독자 1명, 도장 전공 1명, 도장 조공 3명 등 총 5명의 노동자를 연구대상으로 선정하였고 이들에게 연구의 목적을 설명했고 모두 이에 동의하였다.

2) 공정 및 직무 분석

선형도장은 조선소 도장 작업 중 가장 일이 많은 도장작업에 속한다. 선박 도장작업은 일반적으로 방청도장, 선형도장, 외부도장, 마무리도장 등의 순으로 진행된다. 방청도장은 선박 재료를 전처리 하는 도장이고 선형도장은 블록조립이 완성된 후 시행된다. 외부도장이란 블록 탑재 후 선체의 외부를 도장하는 것을 말하며 마무리 도장은 의장 설치 후에 진행되는 최종 도장작업을 말한다(KOSHA, 2011). 선형도장 등 도장작업은 그 방법에 따라 스프레이 도장과 붓 도장으로 나눌 수 있다. 전자는 페인트를 공기와 혼합하여 분무하는 방식으로 선박 내부나 넓은 부위를 도장할 때 주로 사용한다. 붓 도장은 스프레이건(spray gun)이 닿지 않는 틈새 부분과 굴곡이 심한 부분을 붓을 써서 칠하는 작업이다. 연구대상 도장 노동자들은 2명은 붓 도장(touch-up painting), 3명은 스프레이 도장작업(spray painting)을 주로 수행했다. 때에 따라 두 종류의 도장을 번갈아 수행하는 경우도 있었다. 조사대상 선형도장 작업은 옥내 도장공장내에서 작업이 이뤄졌다. 격납고 형태의 도장공장은 선체부품이 들어올 만큼 큰 용적이었지만 전체적으로는 밀폐된 구조였다.

도장작업에 사용되는 도료는 페인트(주제), 경화제, 희석제 등의 혼합물이다. 피도장체의 종류, 도장의 목적, 색상, 제조사에 따라 다양한 종류의 제품이 사용된다. 선형도장 공정에서 사용하는 화학제품의 종류는 수백 가지에 달했는데, 조사기간 동안 주로 사용한 화학물질 제품은 약 36가지 제품이었고 함유량이 1% 이상인 성분은 xylene, ethyl benzene, toluene, styrene,

acetone, methyl isobutyl ketone, iso-propyl alcohol, n-butyl alcohol, isobutyl alcohol, n-butyl acetate, ethyl acetate 등 11가지였다.

2. 연구 방법

1) 시료 채취

20일간 시료채취임을 감안하여 착용이 편리한 공인된 시험법인 확산형 포집기(Organic Vapor Monitor # 3500, 3M, USA)를 사용했다(NIOSH 1994; HSE, 1997). 5명의 선행도장 도장작업 노동자에 대하여 조사기간 중 휴무일을 제외한 근무일인 20일간의 노출을 측정하여 총 100개의 시료를 채취했다. 측정기간 중 노동자가 휴가를 간 경우에는 대상 노동자당 시료 수를 20개까지를 확보하기 위해 추가로 측정했다. 5명 전체 노동자에 대하여 총 시료 채취일은 23일이었다. 확산형 포집기를 노동자의 호흡영역에 부착하였다. 오전 8시 작업 시작 시 포집기를 부착하고 시작 시간을 기록했고, 오후 5시경 작업 종료 후 시간을 기재한 후 뚜껑을 닫아 냉장 보관하였다. 모든 시료 채취시간은 점심시간 1시간을 제외하고 평균 8시간이었다. 측정 시간 동안에는 거의 지속적으로 작업이 있었고 측정 기간동안 종종 2~5시간 정도 초과근무를 수행해야 할 만큼 작업량은 많았다.

2) 시료 분석

채취한 시료는 미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험기준인 NIOSH Manual of Analytical Method(1994)를 준용하여 분석했다. 즉 확산형 포집기에 탈착 용매인 이황화탄소(Junsei Chemical Co., Japan)를 2 ml를 부어 30분간 탈착하였고, 바이엘에 옮겨 담은 후 불꽃 이온화 검출기(Flame Ionization Detector; FID)가 장착된 가스 크로마토그래피(GC-2010Plus, Shimazu, Japan)를 이용하여 정량 분석했다. 분석 대상 유기용제 성분은 도장에 사용되는 원료의 물질안전보건자료(MSDS)와 최근이 공정 작업환경측정보고서를 토대로, 사용량이 가장 많은 xylene, ethyl benzene, toluene, styrene, acetone, methyl isobutyl ketone 등이다. 정량한 유기용제 성분을 물질별 확산계수 등을 고려한 공기채취량으로 나누어 시간가중평균치(Time Weighted Average; TWA)를 구했다.

3) 노출 평가

먼저 도장 작업 노동자들의 혼합 유기용제(6종)에 노출의 위험성을 평가했다. 유기용제 6가지 성분은 모두 신경계에 작용하므로 고용노동부 고시에 따른 아래와 같은 수식을 이용하여 혼합물 노출지수(exposure index; EI)를 산출하여 혼합 유기용제 노출평가에 이용했다. 이 지수가 1을 초과할 경우 혼합 유기용제 노출초과로 평가했다. 분석대상 xylene, ethyl benzene, toluene, styrene, acetone, methyl isobutyl ketone (MIBK) 등 여섯 가지 유기용제 성분은 노출농도를 고용노동부 노출기준을 가지고 위험성평가를 시행했다.

$$EI = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

C : 각 유기용제 성분의 TWA

T : 각 유기용제 성분의 고용노동부 노출기준*

*Xylene 100 ppm, ethyl benzene 100 ppm, toluene 50 ppm, styrene 20 ppm, acetone 500 ppm, MIBK 50 ppm

현행 산업안전보건법에 따른 작업환경측정 노출평가는 연중 1~2회 시행한 측정결과와 노출기준 초과 여부만을 가지고 6개월 또는 1년 간의 위험성을 평가한다. 쉽다는 장점이 있지만 작업환경 유해인자 노출농도의 변이와 채취 시료의 수를 감안하지 않는 평가이므로 한계가 있다. 우리는 이 연구의 위험성 평가에 미국산업위생협회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)의 노출등급 구분을 이용했다. 일반적으로 작업환경 중 화학물질의 농도는 우측으로 기울어진 모양의 로그 정규분포를 따르는데, 우측의 길게 늘어진 꼬리 부분 즉 고농도의 분포가 얼마나 될 것인가가 관건이다. 이 고농도가 얼마만큼의 확률로 나타날 것인가? 이에 관하여 AIHA는 유사노출그룹(Similar Exposure Group; SEG)의 95 퍼센타일(percentile; P95) 점추정치가 노출기준(Occupational Exposure Limit, OEL)과 견주어 SEG 노출을 평가하는 방법을 제시했다. AIHA는 노출평가 결과를 다음과 같이 다섯 개의 등급으로 구분하였다. 즉, 0 등급($X_{P95} \leq 0.01 \times OEL$) '거의 노출되지 않음(little to no exposure)', 1등급($0.01 \times OEL < X_{P95} \leq 0.1 \times OEL$) '매우 잘 관리됨(highly controlled)', 2등급($0.1 \times OEL < X_{P95} \leq 0.5 \times OEL$) '잘 관리됨(well

controlled), 3등급 ($0.5 \times OEL < X_{P95} \leq OEL$) '관리됨 (controlled)', 4등급 ($X_{P95} > OEL$) '부실하게 관리됨 (poorly controlled)' 등 이다(Mulhausen & Damiano, 1998; Bullock et al., 2006; Hewett et al., 2006).

영국과 네덜란드의 산업보건학회(British Occupational Hygiene Society/Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne, BOHS/NVvA)와 유럽표준화 위원회(Comite Europeen de Normalisation, CEN)에서는 P95의 70% 신뢰상한 추정치(upper confidence limit, UCL)가 OEL을 넘을 경우를 적절하지 않는 노출수준으로 본다(단, 시료 수 6개 이상). 이 기준을 넘는다는 것은 임의의 측정치의 5%가 노출기준을 초과할 가능성이 30%가 넘는다는 것과 같다. 베이지안 통계에 의한 추정으로 'P95 > OEL' 즉 초과율(exceedance fraction)이 30% 이상인 경우 '과다노출(overexposure)' 즉 고위험(high risk), 5~30% 사이인 경우 중위험(moderate risk), 5% 미만인 경우 저위험(low risk)으로 간주한다(Derby, 2011; Lavoue et al., 2019). 베이지안 통계란 기존 방법인 빈도주의적 접근법(frequentist approach)과 달리 사전확률분포(prior probability distributin)을 확률의 계산에 결합한다. 모집단의 일정한 분포를 가정하고 확률에 기초한 방법을 이용하여 노출수준을 예측한다(Kim et al., 2014). 우리는 이 연구에서 AIHA, BOHS/NVvA 등의 노출평가 기준을 모두 이용하여 평가했다.

SEG의 노출평가에 앞서 SEG가 실제 유사성을 지닌 그룹인지 적합성을 검토해야 한다. 우리는 먼저 측정대상 도장작업 노동자 5명을 하나의 SEG로 묶을 수 있는지 검토했다. 일정 노출그룹에서 반복 측정된 노출농도의 전체 분산(Total variance; GSD^2)은 같은 노동자를 반복하여 측정한 농도의 분산인 노동자내 분산(within-worker variance; $GSDw^2$)과 서로 다른 노동자의 노출농도 사이의 분산인 노동자간 분산(between-worker variance; $GSDb^2$)의 합이다. AHIA는 분산분석법(Analysis of Variance; ANOVA)을 이용하여 5% 유의수준에서 단측 검정 시 노동자간 분산이 노동자내 분산에 비해 유의하게 큰 경우 SEG를 재조정하도록 권고하고 있다(Bullock, Ignacio, AIHA, 2006). BOHS/NVvA는 시뮬레이션을 통해 ANOVA 검정을 간소화하여 $GSDb^2 / GSD^2 = GSDb^2 / (GSDb^2 + GSDw^2) < 0.2$ 조건을 충족하면 SEG 단위로 노출평가가 타당하다

고 본다(Derby; CEN, 2018). SEG 적합성 검정에 $B_{R0.95}$ 를 활용하는 방법도 있다. $B_{R0.95}$ 란 노동자간 분포의 P97.5와 P2.5의 비를 말하며, $B_{R0.95} = \exp(3.92 \text{ GSDb})$ 이다. $B_{R0.95} < 2$ 인 경우 SEG로 단위로 노출평가를 할 수 있고 그렇지 않다면 SEG로 묶기엔 변이가 큰 것으로 간주할 수 있다 (Kromhout et al., 1993).

4) 통계 분석

최근 캐나다 산업보건전문가들이 중심이 되어 이러한 노출평가를 손쉽게 하기 위한 베이지안 통계를 이용한 Expostats toolkit이라는 웹기반 위험성평가 프로그램을 개발했다. Expostats Toolkit의 Tool 1은 유사노출 그룹에서 측정된 데이터로부터 통계적 추론을 할 수 있도록 만들어졌고, Tool 2를 이용하여 한 개별 작업자가 유해인자에 과다 노출될 확률뿐만 아니라 변이에서 노동자내와 노동자간 변이의 기여 정도를 평가할 수 있다. Tool 3은 개선의 효과를 평가하는 등 그룹간 노출 데이터를 비교하는데 사용할 수 있다. 이 연구에서는 이 Toolkit을 모두 이용하여 도장 공정 노동자 유기용제 개인 노출농도의 분포를 비롯하여 Median, AM, SD, GM, GSD 등 기본적인 노출 특성을 파악함은 물론 위험성에 관한 노출평가를 수행했다. Tool 2를 이용하여 노동자간 및 노동자내 일간 변이를 분석했다(Lavoue, Joseph, Knott, Davies, Labreche, Clerc, Mater, Kirkham, 2019). 베이지안 통계법을 이용하여 연중 노출을 감안한 지표 값을 제공하는데 점추정치는 빈도주의 접근법에 따른 계산값과 대부분 일치하지만 ρ (ρ , $B_{R0.95}$ (R_b ratio)는 약간의 차이가 있는데, SEG 적합성 판정의 명확성을 기하기 위하여 직접 계산한 값을 사용하였으며, ρ 값($(GSDb^2 / (GSDb^2 + GSDw^2))$)이 0.2 미만인 경우 노동자군간 변이가 전체 변이에서 차지하는 비중이 적으므로 해당 그룹은 SEG로 구분하였다.

III. 결 과

1. 연구 대상자 특성

연구대상 작업자의 주요 직무와 연령 등 인구사회학적 특징은 Table 1과 같았다. 노동자 1·2는 경력 및 나이가 많은 내국인으로 각각 직책은 각각 관리감독자, 전공이었다. 관리감독자란 도장 작업과 함께 지휘·감독 업무를 수행하는 노동자를 말한다. 전공은 통상 숙련

Table 1. Summary of subjects' characteristics

Subject	Job title	Main task	Age(yr)	Gender	Nationality	Career (yr)
Worker 1	Supervisor	Touch-up	50	Male	Korean	27.0
Worker 2	Foreman	Touch-up	44	Male	Korean	8.0
Worker 3	Laborer	Spray	28	Male	Vietnamese	4.6
Worker 4	Laborer	Spray	28	Male	Vietnamese	3.8
Worker 5	Laborer	Spray	28	Male	Vietnamese	3.8

노동자를 미숙련 노동자는 조공이라고 칭한다. 노동자 3·4·5는 약 4년 정도의 경력을 가진 20대 외국인 노동자들이며 직책은 모두 조공이다. 작업표준에 정해진 역할은 노동자 1, 2는 주로 스프레이 도장이고 노동자 3, 4, 5는 옆에서 출잡이 등 보조이지만, 실제로 노동자 1, 2는 주로 붓 도장을 그리고 노동자 3, 4, 5는 스프레이 도장을 많이 수행했다. 당일 작업 할당된 피도장체의 종류와 형태에 따라 두 도장을 병행하는 경우도 있었다. 즉 스프레이가 용이하지 않는 경우 붓 도장을 수행했고 붓 도장 작업자도 때에 따라 스프레이 도장을 했다.

2. 혼합 유기용제 EI

1) 전체 노동자 EI의 분포

Figure 1는 Expostats Tool 1을 이용하여 도장 공정 노동자들의 혼합 유기용제 EI의 분포를 그림으로 나타낸 것이다. Figure 1은 도장 작업자들의 혼합 유기용제 EI에 로그를 취한 값의 분포를 분위수-분위수 그림(Quantile-Quantile Plot : Q-Q plot)으로 나타낸 것

이다. 도장 공정 노동자들의 혼합 유기용제 EI는 로그정규분포함을 알 수 있다.

2) 노동자간 노동자내 혼합 유기용제 EI 변이

Table 2는 5명의 노동자를 SEG로 볼 수 있는지를 확인하기 위해 Expostats Tool 2를 이용하여 노동자내, 노동자간 혼합 유기용제 EI 변이와 관련된 변수를 산출한 결과이다. 5명을 하나의 SEG로 묶는 경우와 주요 작업을 기준으로 붓 도장, 스프레이 도장 등 세분한 경우에 대하여 SEG의 적합성 관련 지표를 Table 2에서 확인할 수 있다. 먼저 공정 노동자 전체를 SEG로 묶을 수 있는지를 살펴본 결과, $B_{R_{0.95}}$ 가 7.94이고 $\rho = 0.23$ 이므로 SEG로 분류하기에 노동자간 분산이 전체 분산에서 차지하는 비중이 컸다. 주요 직무를 기준으로 SEG를 설정할 경우 $\rho < 0.2$ 이며 $B_{R_{0.95}} < 2$ 이므로, 노동자간 분산이 노동자내 분산에 비해 작아 SEG로 구분하기에 적합한 것으로 나타났다. Figure 2은 5명 노동자별 및 주요 종사 직무별 혼합 유기용제 EI의 분포를

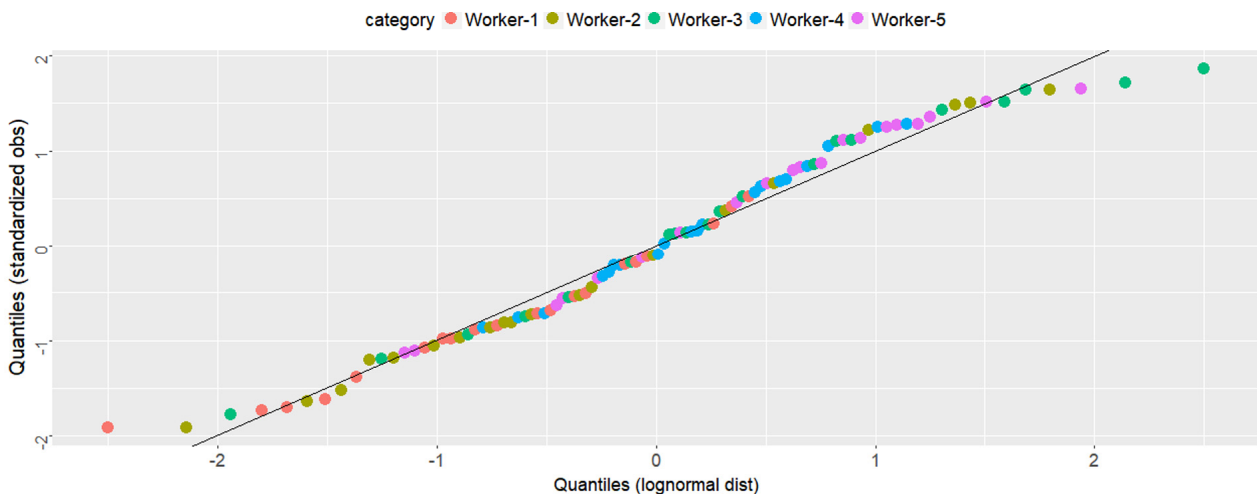


Figure 1. Quantile-Quantile Plot for logarithm of the workers' mixed organic solvent exposure concentrations (EI*) in the shipbuilding painting process drawn by Expostats Tool 1

*EIs = Exposure Indices

Table 2. Validation test for selecting SEG* of mixed organic solvent exposure (Exposure Index) in the shipbuilding painting process

Category \ SEG	All workers (worker 1,2,3,4,5)	Touch-up (worker 1,2)	Spray (worker 3,4,5)
GSDw [†]	3.80	4.00	3.67
GSDb [‡]	2.07	1.32	1.19
ρ^{\S}	0.23	0.11	0.10
${}_B R_{0.95}^{\parallel}$	7.94	1.36	1.12

*SEG : Similar Exposure Group, [†]GSDw : Within-worker geometric standard deviation, [‡]GSDb : Between-worker geometric standard deviation, [§] $\rho = GSDb^2 / (GSDb^2 + GSDw^2)$, within worker correlation coefficient, If $\rho \geq 0.2$, there is need to reconstruct a SEG or proceed to test individual compliance, not current SEG compliance. ^{||} ${}_B R_{0.95}$: the ratio of the 97.5th to 2.5th percentiles of the distribution of worker specific AMs, if ${}_B R_{0.95} \geq 2$ there is need to readjust the SEG or proceed to test individual compliance.

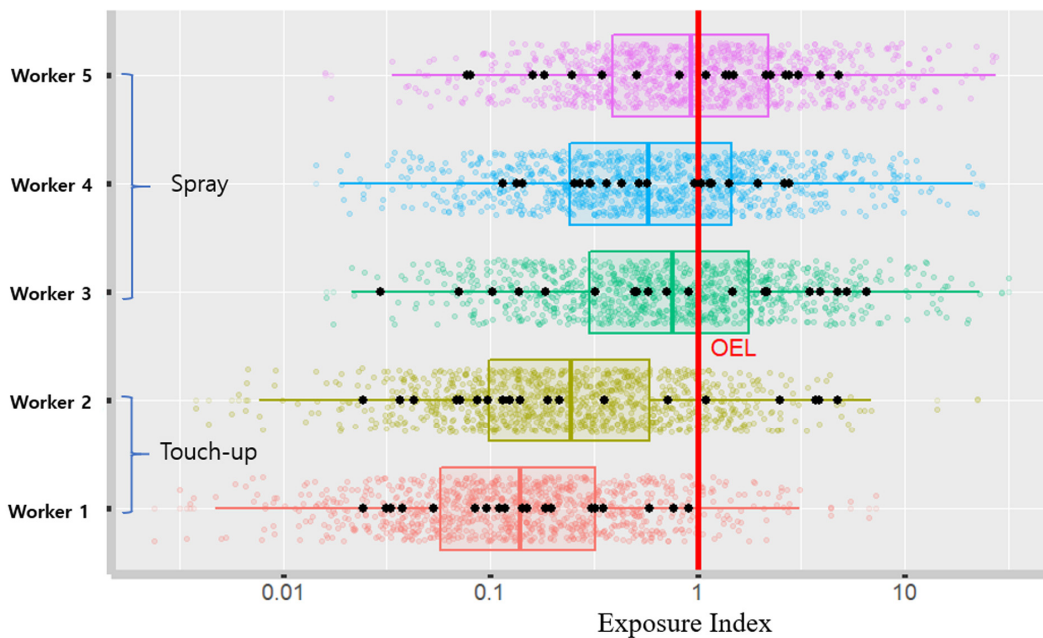


Figure 2. The box-and-whisker plot illustrating mixed organic solvent exposure concentration (EI[§]) by main task^{||} and worker in the shipbuilding painting process

*The box is defined by the 25th and 75th percentiles, [†]The whiskers is defined by the 10th and 90 percentiles. [‡]The black dots represent actual observations with the shaded points representing the idealized underlying distribution. [§]EI : Exposure index, ^{||} Spray and Touch-up are the main tasks of workers. [¶]OEL of Exposure Index for solvent mixture is 1.

보여주고 있다.

3) EI의 노출 특성 및 노출 평가

Table 3은 도장 공정 주요 직무에 따른 혼합 유기용제 EI의 특성과 노출평가 결과를 정리한 표이다. Table 4에서는 개별 노동자의 혼합 유기용제 노출특성과 평가 결과를 세부적으로 볼 수 있다. 전체 노동자들의 혼합 유기용제 EI의 Median, AM, GM은 각각 0.36, 1.07,

0.42로 나타났다. 붓 도장을 주요 직무로 수행한 2명의 노동자는 각각 관리감독과 전공 역할을 병행하고 있었는데 스프레이 도장을 위주로 수행한 노동자들보다 평균 혼합 유기용제 노출수준이 훨씬 낮았다(GM : 0.19 vs. 0.71). 변이계수(Coefficient of variation; CV), GSD는 붓 도장이 높았다(GSD : 4.10 vs. 3.64). 혼합 유기용제 EI의 위험성평가 결과는 전체적으로는 AIHA 노출평가 구분기준에 따르면 4등급(poorly controlled)

이고 BOHS/NvA 기준으로는 고위험(high risk)로 나타났다. 2)에서 노동자간 변이가 노동자내 변이 보다 커서 SEG로 보기 어렵다는 결과가 있으므로 주요 직무별로 SEG를 세분화하여 위험성을 평가한 결과, 두 그룹은 AIHA의 기준에 따르면 $X_{P95} > OEL$ 에 해당하므로 모두 4등급에 해당했다. 베이지안 통계 추정법에 따른 'P95 > OEL' 확률 30%를 기준으로 보는 BOHS/NVvA에 따르면, 붓 도장은 30% 미만(11%)이므로 중위험(moderate risk), 스프레이 도장은 고위험으로 구분됐다.

개별 노동자 별로도 위험성을 평가한 결과, AIHA에 기준에 따르면 노동자 1만 3등급(Controlled)이고 나머지 4명은 모두 4등급으로 분류됐다. BOHS/NVvA 기준으로 보면 노동자 1은 저위험(low risk), 노동자 2는 중위험, 노동자 3, 4, 5는 고위험으로 평가됐다.

노동자 별로 평균 지표인 Median, AM, GM의 순위를 보면, 노동자 5가 가장 높았고 노동자 3이 뒤를 이었고 노동자 1이 가장 낮았는데, 세 번째 순위를 놓고 있는 AM은 노동자 2가 Median과 GM은 노동자 4가 차지했다. 전체 도장 노동자들의 SD, CV, GSD는 각각

1.42, 133%, 4.42로 나타났다. 노동자 별로 CV, GSD의 범위가 각각 86~164%, 2.63~5.20 수준이었다. GSD는 전공인 노동자 2가 5.2로 가장 컸고 노동자 4가 2.6으로 가장 작았다. 혼합 유기용제 EI 노출기준인 1을 넘는 경우는 GM 값의 순위와 같았는데, 노동자 5가 노출기준 초과비율(Proportion above Occupational Exposure Limit; Proportion > OEL, 초과비율)이 60%였고 관리감독자인 노동자 1은 한 건도 없었다. Expostats Tool 2은 혼합 유기용제를 연중 임의로 측정할 경우 EI의 5%가 노출기준을 초과할 확률인 초과율(exceedance fraction)을 베이지안 통계 추정을 통해 산출한다. 전체적 도장공정 노동자들의 초과확률은 46%였고 노동자 5 (47%), 노동자 3 (41%), 노동자 4 (27%)의 순이었고 전공 도장공 노동자 2가 19%, 관리감독자인 노동자 1이 3.1%로 가장 낮았다. 가장 노출농도가 높은 노동자 5의 혼합 유기용제 EI를 100%로 보고 상대 지수화한 노출상대지수(Relative index of exposure; RIE)의 초과확률의 순위와 같았다. P95, P95 UCL의 순위는 AM와 같은 노동자 3, 노동자 5, 노

Table 3. Exposure characteristics and assessment of mixed organic solvent Exposure Index by main task in the shipbuilding painting

Parameter	Touch-up	Spray	Total
N*	40	60	100
Median (Range)	0.13 [0.02 - 4.77]	0.13 [0.02 - 6.59]	0.36 [0.02 - 6.59]
Proportion > OEL [†]	12%	45%	32%
AM [‡]	0.57	1.39	1.07
SD [§]	1.12	1.51	1.42
CV	195%	108%	133%
GM [¶]	0.19 [†]	0.71	0.42
GSD ^{**}	4.10	3.64	4.42
RIE ⁺⁺	26%	100%	58%
Percentile 95	1.8	5.9	4.74
Percentile 95 UCL ^{††}	2.9	8.4	6.4
Exceedance fraction ^{***}	11%	46%	28%
Consequence of ⁺⁺⁺ exposure assessment	Poorly controlled (Moderate risk)	Poorly controlled (High risk)	Poorly controlled (High risk)

*N : Number of samples, [†]OEL : Occupational Exposure Limit, The OEL of exposure Index for solvent mixture is 1, [‡]AM : Arithmetic Mean, [§]SD : Standard Deviation, ^{||}CV : Coefficient of variation, [¶]GM : Geometric Mean, ^{**}GSD : Geometric Standard Deviation, ⁺⁺RIE : RIE stands for relative index of exposure. The category with the highest GM is considered associated with 100% exposure, and the value for other categories are expressed relative to this reference category. ^{††}UCL : Upper confidence limit, ^{***}Exceedance fraction : Estimated probability that point estimated P95 of worker's exposures would be above the OEL. ⁺⁺⁺ Criterion defining according to the AIHA exposure control rating categories(Poorly/Adequately controlled) and the guideline of the British and Dutch occupational hygiene societies(Low/Moderate/High risk).

Table 4. Exposure characteristics and assessment of mixed organic solvent Exposure Index by worker in the shipbuilding painting

Parameter	Worker-1	Worker-2	Worker-3	Worker-4	Worker-5
N*	20	20	20	20	20
Median (Range)	0.13 [0.02-0.90]	0.13 [0.02-4.77]	0.65 [0.03 - 6.59]	0.52 [0.11 - 2.79]	1.39 [0.08 - 4.83]
Proportion > OEL [†]	0%	25%	40%	35%	60%
AM [‡]	0.24	0.91	1.71	0.85	1.61
SD [§]	0.25	1.50	2.00	0.81	1.39
CV	109%	164%	117%	94%	86%
GM [¶]	0.14†	0.25	0.72	0.56	0.90
GSD ^{**}	2.90	5.20	4.72	2.63	3.72
RIE ⁺⁺	15%	28%	79%	62%	100%
Percentile 95	0.79	3.5	8.6	2.8	7.6
Percentile 95 UCL ^{††}	1.4	7.7	18.0	4.5	15.0
Exceedance fraction ^{***}	3.1%	19%	41%	27%	47%
Consequence of ⁺⁺⁺ exposure assessment	Controlled (Moderate risk)	Poorly controlled (High risk)	Poorly controlled (High risk)	Poorly controlled (High risk)	Poorly controlled (High risk)

*N : Number of samples, [†]OEL : Occupational Exposure Limit, The OEL of exposure Index for solvent mixture is 1, [‡]AM : Arithmetic Mean, [§]SD : Standard Deviation, ^{||}CV : Coefficient of variation, [¶]GM : Geometric Mean, ^{**}GSD : Geometric Standard Deviation, ⁺⁺RIE : RIE stands for relative index of exposure. The category with the highest GM is considered associated with 100% exposure, and the value for other categories are expressed relative to this reference category. ^{††}UCL : Upper confidence limit, ^{***}Exceedance fraction : Estimated probability that point estimated P95 of worker's exposures would be above the OEL. ⁺⁺⁺ Criterion defining according to the AIHA exposure control rating categories(Poorly/Adequately controlled) and the guideline of the British and Dutch occupational hygiene societies(Low/Moderate/High risk).

동자 2, 노동자 4, 노동자 1의 순이었다.

4) EI 일간 변이와 일별 위험성평가

Figure 3, 4는 일별 5명 노동자의 혼합 유기용제 EI

의 분포이다. Figure 3에서 노동자 3, 4, 5의 노출이 피크(peak)를 이루는 지점은 주로 스프레이 도장작업이 대부분인 경우였고 반대로 저점을 찍은 경우는 스프레이 도장이 상대적으로 적고 그 시간동안 붓 도장을 수

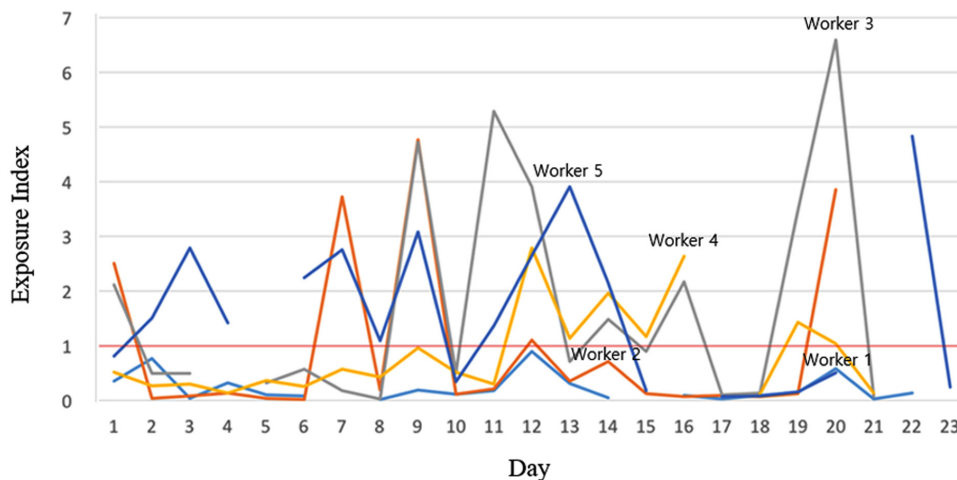


Figure 3. Variation of each worker's daily EI*

*EI : exposure index, broken lines represent workers' leave.

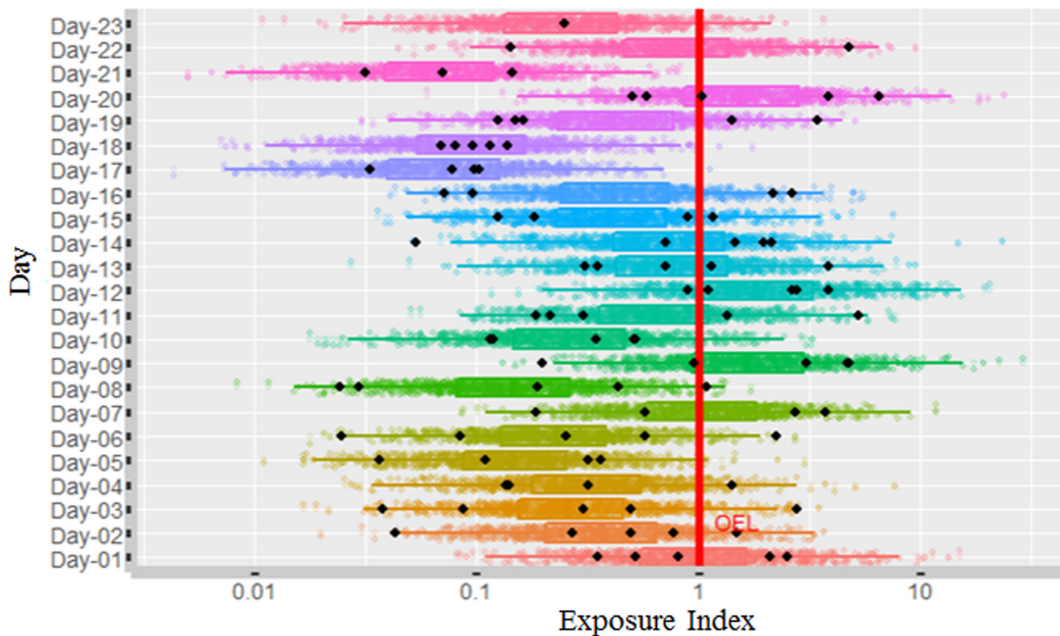


Figure 4. Variation of each workers' daily EIs*

*EI : exposure index, the shaded points represent the idealized underlying distribution, and the bold points actual observations. The box is defined by the 25th and 75th percentiles, and the whiskers by the 10th and 90 percentiles. OEL: Occupational Exposure Limit, The OEL of Exposure Index for solvent mixture is 1.

행한 날에 해당했다.

3. 유기용제 6개 물질 노출 특성

1) 물질별 평균과 표준편차

Table 5는 여섯 가지 유기용제에 대한 도장 노동자 노출 농도의 AM, SD, GM, GSD이다. 평균 노출농도는 xylene 이 가장 높았고 ethyl-benzene, toluene, MIBK, styrene, Acetone 등의 순으로 나타났다. xylene, ethyl-benzene, toluene, MIBK 등 농도가 비교적 높은 노동자별 노출농도의 AM, GM 값의 순위는 혼합 유기용제 EI의 그것과 같았다. 성분 별로 공정 노동자 전체 노출농도의 GSD가 가장 높게 나타난 물질은 toluene이었고 이어서 ethyl-benzene, Xylene, MIBK, styrene, acetone 등의 순이었다. styrene, acetone 등 평균 노출농도가 낮은 물질은 전체 GSD가 2미만이었고 나머지 물질들은 3을 넘었다.

2) 물질간 상관관계

노출농도가 높은 xylene, ethyl-benzene, toluene 사이의 상관계수(R)는 각각 xylene vs. ethyl-benzene 0.9493, xylene vs. toluene 0.4237, ethyl-benzene

vs. toluene 0.4772 등, 노동자들의 6종의 유기용제 성분 노출농도 사이의 상관성은 강한 양의 상관성을 보였다. 물질별 상관성 정도의 차이는 이 공정에서는 xylene과 ethyl-benzene이 동시에 혼합된 제품이 가장 많이 사용됐고 toluene 함유 제품 중엔 xylene이 포함되지 않는 경우도 있었기 때문이다.

IV. 고 찰

조선소 도장작업 노동자의 유기용제 노출 일간변이를 중심으로 노출특성을 파악하고 위험성을 평가하기 위해 선행도장 1개 팀을 무작위로 선정하여 5명의 노동자들을 대상으로 20일간 혼합 유기용제 (xylene 등 6개 성분, N=100)의 EI를 측정했다. 전체 혼합 유기용제 EI는 로그 정규분포 하였고 GM=0.42, GSD=4.42로 나타났다. 5명의 혼합 유기용제 EI의 개인별 일간변이 즉, 노동자내 GSD의 median은 3.72 (2.63~5.20)로 매우 높은 변이(GSD > 3)를 보였다. 5명 노동자를 하나의 SEG로 보기엔 유사성이 적었고 주요 직무인 붓 도장, 스프레이 도장으로 구분할 경우 노동자간 변이의 비중이 기준 미만($\rho < 0.2$)에 해당하였으므로 적절했다. 스프

Table 5. Mean and Standard Deviation of workers' solvent exposure in the shipbuilding painting process

Worker	Parameter	Solvent exposure concentration (ppm)						EI [†]
		Xylene	Ethyl-Benzene	Toluene	Styrene	Acetone	MIBK*	
Worker 1	AM	9.68	4.71	1.90	0.42	0.56	0.58	0.24
	SD	13.06	7.04	4.06	0.34	0.98	0.99	0.25
	GM	5.34	2.28	1.04	0.58	0.87	1.00	0.14
	GSD	2.80	3.19	2.47	1.36	1.94	2.02	2.90
Worker 2	AM	35.64	19.98	9.19	0.80	0.45	4.58	0.91
	SD	56.40	31.43	20.57	0.76	0.47	9.12	1.50
	GM	10.20	5.03	1.52	0.74	0.78	2.28	0.25
	GSD	4.97	5.66	5.31	1.92	1.39	4.75	5.20
Worker 3	AM	70.03	42.03	12.43	1.71	0.71	8.17	1.71
	SD	75.57	46.80	23.82	1.43	0.42	12.42	2.00
	GM	29.43	15.98	2.24	1.33	0.78	4.26	0.72
	GSD	4.97	5.67	6.20	2.26	1.46	4.90	4.72
Worker 4	AM	36.18	23.74	2.92	1.18	0.57	4.25	0.85
	SD	37.72	26.12	3.93	0.99	0.40	4.62	0.81
	GM	21.67	13.43	1.83	0.95	0.73	2.58	0.56
	GSD	2.91	3.09	2.48	1.86	1.33	3.11	2.63
Worker 5	AM	59.08	38.77	15.00	1.42	0.75	8.63	1.61
	SD	55.96	34.86	16.87	0.88	0.63	7.93	1.39
	GM	32.20	19.86	6.40	1.17	0.99	7.28	0.90
	GSD	3.61	4.24	4.92	1.93	1.49	2.54	3.72
Total	AM	42.12	25.85	8.37	1.11	0.62	5.24	1.07
	SD	55.29	34.18	16.73	1.04	0.61	8.41	1.42
	GM	16.19	8.66	2.13	0.94	0.82	3.17	0.42
	GSD	4.36	5.22	4.64	2.00	1.51	3.89	4.42

*MIBK : Methyl Isobutyl Ketone, †EI : exposure index

레이 도장을 주로 수행한 노동자들이 붓 도장을 위주로 작업한 노동자들에 비해 평균 노출농도가 높았으나 (GM=0.71 vs. 0.19) 변이는 더 작았다(GSD = 3.64 vs. 4.10). 혼합 유기용제 노출에 따른 위험성은 스프레이 도장 작업 노동자는 고위험, 붓 도장 노동자는 중위험으로 평가됐다. 연구대상 노동자들은 유기용제 성분 중에는 xylene에 가장 많이 노출됐다(GM=16.19 ppm, GSD=4.36). 유기용제 각 성분에 대한 노동자 노출 특성은 EI의 그것과 유사했다.

연구 대상 선형도장 작업에서 노동자들의 유기용제 노출의 일간변이는 주로 도장 작업의 종류에 따른 것으로 보인다. 노동자 2는 혼합 유기용제 EI의 일간변이가 가장 높았는데(GSD=5.20), 주로 유기용제 노출수준이

낮은 붓 도장을 수행하다가 숙련을 요구하는 피도장체인 경우 스프레이 도장을 직접 수행하면서 상대적으로 높은 농도에 노출됐다. 노동자 3과 노동자 5가 높은 변이(GSD = 4.72, 3.72)를 보인 이유는 주로 스프레이 도장일을 하다가 붓 도장을 주로 해야 하는 피도장체가 할당되는 날에는 상대적으로 낮은 농도에 노출됐기 때문으로 보인다. 이에 비해 노동자 1과 노동자 4의 변이(GSD = 2.90, 2.63)가 작았던 이유는, 노동자 1은 노출농도가 낮은 붓 도장과 관리감독 업무를 병행했고 매우 제한적으로만 스프레이 도장에 종사했고 노동자 4는 주로 스프레이 도장을 수행했지만 노동자 3, 5에 비해 붓 도장을 평상시에도 많이 참여했기 때문으로 판단된다.

Table 6. Comparison of xylene exposure and EI between previous study(Koh et al, 2001) and this study.

Category	Main task*	N [†]	Xylene (ppm)			EI**	
			GM [§]	GSD	AM [¶]	AM	SD ⁺⁺
Previous study*	Touch-up	54	11.82	2.94	18.54	0.5	0.47
	Spray	30	12.81	3.03	21.74	0.67	0.79
This study	Touch-up	40	7.37	3.94	22.7	0.57	1.12
	Spray	60	27.4	3.76	55.10	1.39	1.51

*Study result of Koh et al, in reference. [†]SEG or grouping by researcher, [‡]N : Number of sample, [§]GM : Geometric Mean, ^{||}GSD : Geometric Standard Deviation, [¶]AM : Arithmetic Mean, ^{**}EI : Exposure index, ⁺⁺Standard deviation

지금까지 조선소 노동자를 대상으로 20일간 연속으로 유해인자를 측정하는 연구는 국내·외 통틀어 거의 없었다. 이 연구는 무엇보다 조선소 선형도장 공정의 유기용제 노출특성을 가장 자세하게 규명했다는 의의가 있다. 국내 조선소 도장공정 유기용제 노출 특성에 관한 연구는 매우 드물어서 20년 전으로 거슬러 올라가야 만날 수 있다. 고상백 등은 조선소 도장공정 법정 작업환경측정 결과 중 같은 작업자 28명의 3회 반복 측정결과를 분석하였다(Koh et al, 2001). 도장 공정에서 붓 도장, 스프레이 도장 작업 그룹을 나눠서 노출평가를 시행했는데, Table 6은 우리의 연구와 당시 연구 결과의 비교이다. 스프레이 도장 노동자들의 혼합 유기용제 EI 및 xylene 노출 농도는 이번 연구결과가 월등하게 높았고 붓 도장은 AM은 비슷했고 우리 연구가 GM은 더 낮았다. GSD는 우리 연구결과가 붓 도장은 1, 스프레이 도장은 0.73 높았다. 고상백 등의 선행연구는 직무뿐만 아니라 작업장의 밀폐 정도(블록내부 vs. 블록 밖 vs. 혼합)를 가지고 5개의 그룹으로 분류하여 SEG로 묶을 수 있는지를 각각 검토했는데, 붓 도장, 스프레이 도장 분류를 포함하여 대부분 $B_{R0.95}$ 가 6.16~18.71 범위로 SEG로 보기에는 어려운 것으로 나타났다. 이에 비해 우리 연구에서는 직무별 SEG 선정은 타당한 것으로 나타났다.

김양호 등(Kim et al, 1999)은 국내 선박 도장작업 노동자의 직업병 환례 보고 논문 중에 xylene 노출농도를 보고했다. 선박 도장 노동자의 ethylene glycol monoethyl ether acetate 노출로 인한 혈액학적 건강영향 사례 연구였는데 탱크내 도장 노동자는 GM=28.23 ppm (1.07~249.81 ppm, N=18), 테크 도장 노동자 GM=8.50 ppm (1.19~74.04 ppm, N=12)에 각각 노출된 것으로 나타났다. 우리 연구의 xylene 노출농도와 비슷하고(27.4 vs. 28.23 ppm), GSD는 언급

되지 않았지만 농도 범위(1.5~226 ppm vs. 1.07~249.81 ppm)가 유사한 점으로 미루어 역시 비슷할 것으로 추정된다. 위의 두 선행 연구와 우리의 연구를 비교할 때, 20년 동안 조선소 도장공정의 유기용제 노출은 개선되지 않았고 변이는 더 증가되었다.

제한된 숫자의 선행연구 외 우리나라에는 조선업 도장작업을 포함하여 업종별 또는 작업별 유해인자 노출 수준과 노출 특성을 정리한 데이터베이스가 없어서 연구의 의의를 더 도출하기는 어렵다. 다만 물질은 다르지만 한 달간 화학물질 노출을 연속 반복 측정하는 사례가 있으므로 이 연구결과와 변이를 비교할 만하다. 최근 도금업체에서 트리클로로에틸렌(trichloroethylene) 세척작업에 종사한 2명의 노동자를 대상으로 한 달 이상 연속으로 반복하여 측정하는 연구에 따르면, GSD는 각각 2.29, 2.19였다(Kim & Park, 2016). 우리 연구의 혼합 유기용제 EI의 GSD는 평균 4.42 이므로 조선소 도장작업이 상대적으로 TCE 세척작업에 비해 변이가 크다고 볼 수 있다.

노동자 3의 혼합 유기용제 EI 범위는 작업조건의 큰 변화가 없었는데 불과 20일내의 기간 동안 최대 0.03 ~ 6.59 (GSD = 4.72)의 범위를 오르락내리락 했다. 같은 노동자를 불과 한 달 이내에 측정하는 값이 정량한계를 갓 넘는 농도로부터 노출기준의 6배를 초과하는 농도수준까지 정상적으로 측정된 것이다. 작업환경 신뢰성평가 제도는 이 점을 감안한 평가가 되어야 한다. 즉, 단위작업장소, 노출수준 변화 등과 같은 개념의 정의가 통계적으로 명확해야 합리적인 평가가 가능할 것이다. 앞으로 우리나라의 주요 산업의 업종이나 작업별로 노출특성을 규명하기 위한 더 많은 연구가 필요하다. 무엇보다 이미 당국이 확보하고 있는 작업환경측정 결과를 이용하여 수년간에 걸친 단위작업장소 측정결과와 변이 등 통계학적 분석이 시도될 수 있어야 한다.

V. 결 론

조선소 도장작업 노동자의 유기용제 노출 일간변이를 포함한 노출특성을 파악하기 위해 5명의 노동자들을 대상으로 20일간 유기용제를 측정된 결과, 혼합 유기용제 EI의 노동자별 일간변이(노동자내 변이 ;GSD)의 Median과 범위는 각각 3.72, 2.63~5.20로 나타났다. 주요 직무별로는 스프레이 도장 종사 노동자가 붓 도장 노동자에 비해 높은 농도에 노출됐고 변이는 더 작았다. 이 연구는 조선소 도장작업처럼 노출 변이가 큰 공정에 대한 과학적인 노출평가의 한 사례이다. 향후 작업환경 신뢰성평가 제도의 합리적인 정착을 위해 더 많은 관련 연구가 필요하다.

References

- Bullock WH, Ignacio JS. A strategy for assessing and managing occupational exposures. 3rd ed. Fairfax, VA: AIHA Press, American Industrial Hygiene Association; 2006
- CEN. Bs-en 689:2018 workplace exposure. Measurement of exposure by inhalation to chemical agents. Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values. Brussels, Belgium: British Standards Institution; 2018
- Moon DH, Kim JH, Kim PJ, Park MH, Hwang YS et al. A study on exposure of organic solvents in manufacturing industry. *Ann Occup Environ Med* 2001;11(3):219-228
- Derby PP. Testing compliance with occupational exposure limits for airborne substances. BOHS & NVvA; 2011
- Hewett P, Logan P, Mulhausen J, Ramachandran G, Banerjee S. Rating exposure control using bayesian decision analysis. *J Occup Environ Hyg* 2006;3(10):568-581(<https://doi.org/10.1080/15459620600914641>)
- HSE. Methods for the Determination of Hazardous Substances (88 Volatile Organic Compound). 1997
- Joo IS, Kim JS, Huh KH, Kim JI, Lee KJ, et al. Cognitive impairment and peripheral neuropathy by mixed organic solvents in spray painters working in a shipbuilding industry. *J Korean Neurol Assoc* 2000; 18(3):311-318
- Kim HJ, Park DY. Daily variations of worker's personal exposures to trichloroethylene in cleaning and degreasing process. *Monthly Industrial Health* 2016(3):44-55
- Kim SW, Jang J, Kim GB. Development and validation of exposure models for construction industry: Tier 2 model. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2014;24(2):219-228(<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2014.24.2.219>)
- Kim Y, Lee N, Sakai T, Kim KS, Yang JS, et al. Evaluation of exposure to ethylene glycol monoethyl ether acetates and their possible haematological effects on shipyard painters. *Ann Occup Environ Med* 1999; 56(6):378-382(<http://dx.doi.org/10.1136/oem.56.6.378>)
- KOSHA. Health and safety practice guide – shipbuilding and repair. Incheon: KOSHA; 2011.
- Kromhout H, Symanski E, Rappaport SM. A comprehensive evaluation of within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. *Ann Occup Hyg* 1993;37(3):253-270(<https://doi.org/10.1093/annhyg/37.3.253>)
- Lavoue J, Joseph L, Knott P, Davies H, Labreche F, et al. Expostats: A bayesian toolkit to aid the interpretation of occupational exposure measurements. *Ann Work Expo Health* 2019;63(3):267-279(<https://doi.org/10.1093/annweh/wxy100>)
- Mulhausen J, Damiano J. Exposure assessment: Establishing similar exposure groups. American industrial hygiene association (eds.), a strategy for assessing and managing occupational exposures, va: USA: AIHA Press; 1998
- NIOSH. Manual of Analytical Method (4th ed). US Government Printing Office. 1994
- Koh SB, Roh YM, Yim HW, Shin YC, Kim SK, et al. The similar exposure group and exposure variation in ship-building painters: focused on xylene exposure. *Ann Occup Environ Med* 2001;13(4):413-422 (<https://doi.org/10.35371/kjoem.2001.13.4.413>)
- Straif K, Baan R, Grosse Y, Secretan B, Ghissassi FE, et al. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *The Lancet Oncology* 2007;8(12):1065-1066

<저자정보>

안진수(연구원), 박두용(교수), 강태선(교수)