

조선업 도장작업자의 유사노출군과 노출변이; 크실렌 노출을 중심으로

거제병원 산업의학연구소¹⁾, 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업의학센터²⁾, 인제대학교 산업안전보건학과³⁾,
동국대학교 의과대학 예방의학교실⁴⁾, 한국보건사회연구원 보건의료연구실⁵⁾, 건국대학교 의과대학 예방의학교실⁶⁾

고상백¹⁾ · 노영만²⁾ · 임현우²⁾ · 신용철³⁾ · 김수근⁴⁾ · 최홍열¹⁾ · 김재용⁵⁾ · 장성훈⁶⁾

— Abstract —

The Similar Exposure Group and Exposure Variation in Ship-Building Painters; Focused on Xylene Exposure

Sang Baek Koh¹⁾, Young Man Roh²⁾, Hyeon Woo Yim²⁾, Yong Chul Shin³⁾,
Soo Keun Kim⁴⁾, Hong Ryul Choi¹⁾, Jai Young Kim⁵⁾, Soung Hoon Chang⁶⁾

Institute of Occupational Medicine, Koje Hospital¹⁾, Department of Preventive medicine, Catholic Industrial Medical Center, College of Medicine, The Catholic University²⁾, Department of Occupational Health and Safety, Inje University³⁾, Department of Preventive medicine, College of Medicine, Dongguk University⁴⁾, Department of Health Research, Korea Institute for Health and Social Affairs⁵⁾, Department of Preventive medicine, College of Medicine, Konkuk University⁶⁾

Objectives : This study was conducted to assess the concentration of xylene exposure and exposure variability of a similar exposure group(SEG) in accordance with job title and confined space.

Method : The study subjects included 28 workers working in the painting process in the ship-building industry. Measurement of subjects were repeated three times. Within and between-worker exposure variance components were estimated from log-transformed exposure concentrations employing a one-way nested random effects analysis of variance model. A uniformly exposed group was defined as one where the between-worker variance(σ_B^2) was less than or equal to 0.031 or ${}_{bw}R_{95} \leq 2$, where ${}_{bw}R_{95} = \exp(3.92 {}_{bw}S_y)$, representing the ratio of the mean exposures of the 97.5th and 2.5th percentile groups of the workers sampled.

Result : The results indicated that, contrary to popular belief, similar exposed groups based on job title were heterogeneous. The between-worker variance(σ_B^2) is large(≥ 0.031) and the ratios of the 97.5th and 2.5th percentile workers of the log normally distributed exposures of each group of workers was more than 2. However dividing job title into confined space(in-block, out-block, in/out-block) decreased the between-worker exposure variability.

Conclusion : This study focused on the quantitative aspects of exposure in painters in the ship-building industry. We cannot accept the assumption that SEG are uniformly exposed, as a major component of variation in exposure relates to differences in tasks or other factors. Therefore, the observational schemes can be improved by investigating job-specific task and practice.

Key Words : Exposure variation, Xylene, Similar exposure group, Variability

<접수일 : 2001년 6월 7일, 채택일 : 2001년 10월 28일>

교신저자 : 고 상 백 (Tel : 055-680-8702) E-mail : kohhj@chollian.net

서 론

유기용제는 산업의 발달에 따라 그 사용량이 증가하고 있으며 벤젠의 독성이 알려짐에 따라 대체물질로서 톨루엔과 크실렌이 산업장에서 널리 사용되고 있다. 이에 따라 국내에서도 유기용제 중 톨루엔에 대한 연구가 집중적으로 이루어져 왔다. 그러나 크실렌에 관한 연구는 톨루엔에 비해 드물어, 조병만(1989), 배기택 등(1991) 그리고 장성훈(1995)이 톨루엔과 크실렌을 동시에 연구한 바가 있을 뿐이다. 이는 사업장에서 톨루엔을 가장 많이 사용하고, 많은 근로자가 이에 노출되는 현실적 측면의 반영이라 생각한다.

하지만 본 연구의 대상업종인 조선업의 경우, 신용철 등(1999)과 조수현 등(2000)에 의하면 톨루엔에 대한 노출은 10 % 내외에 불과하였고, 크실렌의 경우는 70 %를 초과하는 것으로 조사되었다. 따라서 조선업 도장작업자를 유기용제 혼합노출지표와 함께 크실렌의 노출을 평가하는 것은 산업보건 관리에 매우 중요하다.

조선업의 도장작업은 필수적인 공정으로 도장작업 근로자는 도장 재료에 함유된 다양한 유해물질에 노출 될 수 있다(Burgess, 1981; Cralley 등, 1989). 또한 근로자의 유해물질의 노출정도는 작업 공정, 작업장 조건 등 여러 가지 요인에 따라 변이가 크기 때문에 역학조사나 작업환경 개선대책을 수립함에 있어 이런 요인에 따른 노출 양상을 파악하는 것이 필요하다. 구체적으로 조선업체에서의 도장작업은 옥내, 옥외 및 선체 등에서 도장이 이루어진다. 선체 안과 블록 안은 밀폐된 공간이기 때문에 고농도의 유기용제에 노출될 가능성이 있다. 특히, 작업 공간 특성에 따라 근로자의 노출수준은 큰 차이가 있을 것으로 예상된다. 이러한 요인별 노출 농도에 대한 정보는 근로자의 노출을 추정하거나 관리함에 있어 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 Gerin 등(1993)이 용접자들의 동일노출군을 용접공정 노출 매트릭스(welding process exposure matrix)로 구분한 것과 같이, 도장작업자를 동일한 방법으로 세분화하여 유사하게 노출되는 작업자를 하나의 노출군으로 분류하여 노출평가를 하고자 하였다.

유사하게 노출되는 작업자를 표현하기 위하여 동

일노출군(homogeneous exposure group)이라는 개념이 그 동안 사용되어 왔다. 동일노출군이란 단일 유해인자에 대한 동일한 노출 확률을 가진 근로자 집단, 즉 동일한 노출 양상을 가지리라 기대되는 근로자 집단을 말한다(Rappaport 등, 1993). 무작위로 추출된 적은 수의 표본은 그 동일노출 집단내의 노출 분포와 추이를 정의하는데 이용될 수 있다. 그러나 동일하다는 표현은 엄격한 통계적 정의가 있어야 하기 때문에 연구자들간에도 많은 혼란을 초래하였다(Cole, 1994; Gomez, 1994; Scheffers, 1994). 이러한 문제를 해결하기 위하여 유사노출군(similar exposure group)이라는 용어가 최근 사용되고 있다. 유사노출군은 작업의 유사성과 빈도, 사용물질과 공정, 작업 수행방식의 유사성 등 유사한 작업자 군을 의미한다(노재훈 등, 2001).

유사 노출군이 결정되면 모든 근로자는 적어도 어느 한 집단에 배치가 된다. 유사 노출군에 대한 노출 평가(exposure assesment) 결과는 유해인자의 관리와 역학조사시 노출량을 정량적으로 추정하는 근거로 활용될 수 있다. 또한, 작업자들을 유사노출군으로 나눔으로써 제한된 자원을 잘 분배할 수 있고, 특정 작업장의 노출을 평가할 수 있다. 직무노출 매트릭스를 구축하여 코호트 연구를 수행하는데 기초자료로 활용될 수 있는 장점을 지니고 있다. 특히 최근 특수건강진단체도가 바뀌면서 작업환경측정 결과 및 작업조건 등을 사전에 검토하여 특수검진 대상자의 선정과 주기단축에 활용하게 된 시점에서 유사노출군 선정에 관한 연구는 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 조선업 도장 작업자의 크실렌 노출을 평가하기 위하여, 수행직무, 밀폐특성에 따라 유사노출군으로 구분하여 노출 변이 및 동질성을 파악하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

이 연구는 조선업종을 대상으로 이미 5차례에 걸쳐 측정된 측정 자료(230건)를 토대로 동일인에 대해 3회 이상 반복측정이 이루어진 37명(111건)을 1차로 선정하였고, 이중 동일 공정에서 직무상 변동이 없는 근로자 28명을 최종 연구 대상으로 하였다.

Table 1. The component of organic solvents

| | Paint ^A (N=307) ^D | Binder ^B (N=34) | Thinner ^C (N=50) | Total (N=391) |
|-------------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Aromatic hydrocarbons | | | | |
| Xylene | 244 (79.5) | 14 (41.2) | 32 (64) | 290 (74.2) |
| Toluene | 29 (9.5) | 4 (11.8) | 11 (22) | 44 (11.3) |
| Trimethyl benzene | 16 (5.2) | 1 (2.9) | 3 (6) | 20 (5.1) |
| Ethyl benzene | 10 (3.3) | - - | 3 (6) | 13 (3.3) |
| Benzo(a)pyrene | 3 (0.98) | - - | - - | 3 (0.8) |
| Hydrocabon mixture | | | | |
| Aromatic hydrocabons | 28 (9 .1) | - - | 2 (4) | 30 (7.7) |
| Light aromatic solvent naphtha | 14 (4.6) | 2 (5.9) | 5 (10) | 21 (5.4) |
| Alkyl benzene | 8 (2.6) | - - | - - | 8 (2.0) |
| Mineral spirits | 29 (9.4) | - - | 1 (2) | 30 (7.7) |
| White sprits | 13 (4.2) | - - | 2 (4) | 15 (3.8) |
| Petroleum distillate | 9 (2.9) | - - | 1 (2) | 10 (2.6) |
| Kerosene | 7 (2.3) | - - | - - | 7 (1.8) |
| Stoddard solvent | 6 (2.0) | - - | - - | 6 (1.5) |
| Ketones | | | | |
| Methyl isobutyl ketone | 38 (12.4) | 1 (2.9) | 13 (26) | 52 (13.3) |
| Methyl ethyl ketone | 21 (6.8) | 5 (14.7) | 3 (6) | 29 (7.4) |
| Methyl iso amyl ketone | 14 (4.6) | - - | - - | 14 (3.6) |
| Cyclohexanone | 3 (1.0) | - - | - - | 3 (0.8) |
| 5-Methylhexan-2-one | 1 (0.3) | - - | - - | 1 (0.3) |
| 2-Butanone oxime | 5 (1.6) | - - | - - | 5 (1.3) |
| Di-iso butyl ketone | 1 (0.3) | - - | - - | 1 (0.3) |
| Alcohols | | | | |
| N-Butanol | 63 (20.5) | 10 (29.4) | 4 (8) | 77 (19.7) |
| Isopropyl alcohol | 24 (7.8) | 3 (8.8) | 7 (14) | 34 (8.7) |
| Isobutyl alcohol | 13 (4.2) | 7 (20.6) | 1 (2) | 21 (5.4) |
| Ethyl alcohol | 8 (2.6) | 1 (2.9) | - - | 9 (2.3) |
| 2-Methyl propanol | 5 (1.6) | - - | 1 (2) | 6 (1.5) |
| Methanol | - - | 1 (2.9) | - - | 1 (0.3) |
| Ester | | | | |
| n-Butyl acetate | 22 (7.2) | - - | 5 (10) | 27 (6.9) |
| Ethyl acetate | 4 (1.3) | 1 (2.9) | 1 (1) | 6 (1.5) |
| Ethyl hexyl acetate | 1 (0.3) | - - | - - | 1 (0.3) |
| Chlorinated hydrocarbons | | | | |
| Dichloromethane(methylene chloride) | 1 (0.3) | - - | - - | 1 (0.3) |

^ANumber of paint products containing the organic solvent^BNumber of binder products containing the organic solvent^CNumber of thinner products containing the organic solvent^DN=Number of products investigated

Requote: Shin et al (1999).

Table 2. Gas chromatography conditions for detection of organic solvent

| Descriptions | Conditions |
|------------------------------------|----------------------|
| Injection port temperature | 120 ℃ |
| Oven temperature | 32 ℃(1.6 ℃/min) |
| Detector temperature | 160 ℃) |
| N ₂ carrier gas, ml/min | 1 ml/min |
| Column | DB-624 (60 m×0.2 mm) |

2. 연구방법

1) 직무분석

이 연구의 대상 업종인 조선업 도장업무의 대표적 직무는 크게 도장, 연마, 배합 및 기타로 대별할 수 있다. 이 중 유기용제에 직접적으로 노출되는 수행 직무인 도장의 경우 세부적으로 구분하면 도장도구를 이용한 작업 형태에 따라 분무도장(스프레이), 분무도장 보조, 붓 도장(칠솔 및 롤러 도장) 등으로 나눌 수 있고, 도장순서에 따라 프라이머 도장, 중간도장, 상도도장으로 나눌 수 있으며, 도장재료 및 특성에 따라 방청도장, 방수도장, 바니쉬도장 등으로 나눈다. 그런데 조선업의 경우 도장순서나 도장재료의 경우 고정 배치되어 작업하는 것이 아니므로 작업형태에 따라 도장직무를 분무도장, 붓 도장 등으로 세부 분류하는 것이 타당하다.

따라서 이 연구에서는 유기용제에 직접 노출되는 분무도장 작업과 붓도장의 경우를 동일한 직무를 수행하는 군으로 선정하여 분석하고자 하였다. 또한 작업위치와 밀폐특성에 따라 세분하여 노출양상의 변이를 구체적으로 파악하였다. 이러한 구분은 Gerin 등(1993)이 용접자들의 동일노출군을 용접과정 노출매트릭스(welding process exposure matrix)로 구분한 것과 같이, 도장작업자를 동일한 방법으로 세분화하여 파악한 것이다. 밀폐특성은 블록을 중심으로 작업자의 위치에 따라 블록내부, 블록외부 및 블록내외부로 구분하였다.

2) 취급 물질의 유기용제 조성

이 연구의 대상업종인 조선업에서 취급하는 물질 중 유기용제 조성을 알아보기 위해, MSDS를 근거로 이들 제품에 함유되어 있는 용제 성분을 조사한

Table 3. The distribution and number of job title: focused on study subjects unit: person

| Job | number |
|-----------------------------|--------|
| performance of unique job | |
| Spray | 10 |
| Touch up | 18 |
| performance of mixed job | |
| Spray+Spray assist+Touch up | 1 |
| Spray+Touch up | 2 |
| Touch up+mixing | 3 |
| Spray assist+Touch up | 2 |
| Spray+Spray assist | 1 |

결과는 표 2와 같다.

페인트, 신너 및 경화제에는 방향족 탄화수소, 지방족탄화수소, 케톤, 알코올이 주로 함유되어 있으며 이외에도 에스테르, 글리콜 에테르 등 다양한 종류의 유기용제가 함유되어 있었다. 방향족 탄화수소 중 크실렌은 가장 많이 사용하는 용제로 244개 페인트(79.5%), 32개 신너(64%), 14개 경화제(41.2%) 제품에 함유되어 있었으며 페인트, 신너 및 경화제 제품을 합하면 290개 제품(74.2%)에 함유되어 있는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 크실렌의 노출평가를 중심으로 파악하였고, 혼합노출지수를 참고지표로 제시하였다.

3) 작업환경 측정 및 시료분석

공기중 유기용제 시료는 활성탄관(charcoal tube)에 채취하였다. 대부분의 시료는 파과(break-through)를 방지하기 위하여 오전과 오후로 나누어 시료를 채취하였다. 활성탄관에 채취된 유기용제 시료는 1 ml의 이황화탄소로 탈착한 후, 가스크로마토그래피/불꽃이온검출기(GC/FID, Varian Star 3600 cx)로 분석하였다(NIOSH, 1994). 분석조건은 표 2에 제시된 방법으로 정량하였다. 오전과 오후에 측정된 결과를 합하여 시간가중평균농도(TWA)를 산출하였다.

4) 동질성 검증

일반적으로 특정 유해인자에 대한 유사노출군은 조직, 공정(process), 직무명칭(job title), 작업내용(task) 등에 따라 정성적 또는 반정량적으로 분류

하여 왔다. 이는 유사노출군을 정의할 만큼 충분한 노출자료의 확보가 어렵고, 특히 개인에 대한 반복 측정 자료가 없는 경우에 유용한 방법으로 널리 이용되어 왔다. 하지만 무작위 선정된 연구대상에 대해 3회 이상의 정량적 반복측정 자료가 있는 경우에는 통계적 기법을 이용한 정량적 분석이 가능하며 Tongeren 등 (1997), Seixas 등 (1996), Kromhout 등(1992)의 기존 연구결과들은 일반적으로 분산분석을 이용하였다.

분산분석은 유사노출군내에서 근로자간의 변동과 근로자내의 변동을 비교하는데 사용된다. 만일 근로자간의 변동 크기가 근로자내의 변동과 구별할 수 있을 만큼 충분히 크다면 유사노출군내에 있는 각각의 근로자들 사이에 평균노출이 유의한 차이점이 있다는 것이 증명된다. 여기서 분산요인을 산출할 때에는 일반적으로 사용되어 왔던 분산분석 (Mulhausen과 Damiano, 1998; 노재훈 등, 2001)을 사용해도 무방하지만, Samuels 등(1985)과 Burdorf (1993)가 지적하듯이 근로자들의 반복 측정이 유사노출군내에서 계층적(hierarchical) 또는 포개어진(nested) 형태로 분포하고 있어 분산분석시 nested 절차를 거칠 필요가 있다.

따라서 이 연구에서는 측정된 노출농도 값을 대수전환(log transformation)하여 근로자간, 근로자내 노출 분산요소를 추정하기 위하여, Rappaport 등 (1993)과 Kromhout와 Heederik(1995)이 제시한 다음과 같은 nested random-effects ANOVA model을 활용하였다.

$$Y_{ij} = \ln(X_{ij}) = \mu_y + \beta_i + \epsilon_{ij}$$

for (i=1,2,...,k), (j=1,2,...,ni)

- X_{ij} = exposure concentration of i-th worker on the j-th day
- μ_y = mean of Y_{ij}
- β_i = random deviation of the i-th worker's true exposure from μ_y
- ε_{ij} = random deviation of the i-th worker's exposure on the j-th day from his true exposure

선정된 유사노출군 내 구성원의 측정 평균이 동일

하다고 할 수 있는지를 검정하기 위하여 앞서 제시된 분산분석을 활용하여 분산요인(σ_B²)을 산출하였고, 선행연구(Rappaport, 1991; Rappaport 등, 1993)에서 제시된 바와 같이 σ_B² ≤ 0.031일 경우 동일하다고 생각하였다.

또한 노출 값을 대수전환하여 95 %의 근로자 (_{bw}R₉₅)가 2배수 범위 내에 측정값을 가질 경우 동일하다고 생각하였다. 이 연구에서는 _{bw}R₉₅의 값을 유사노출군내의 근로자들간(between worker)의 기하표준편차(_{bw}S_y)를 구한 후 exp(3.92 _{bw}S_y)로 계산하여 산출하였고, 그 값이 2이하이면 동일하다고 생각하였다(Rappaport, 1991; Kromhout와 Heederik, 1995).

결 과

1. 도장 작업자의 단위 직무별 실제 작업 현황 분류

동일인에 대해 3회 이상 측정이 이루어진 근로자는 37명이었으며, 37명 중 9명은 직무상 변동이 있어 분석에서 제외하였다. 제외된 직무변동의 형태를 보면 붓 도장과 배합을 병행한 경우가 3명, 분무도장과 분무도장 보조가 1명, 분무도장 보조와 붓 도장은 2명, 분무도장과 붓도장은 2명, 분무도장과 분무도장 보조 및 붓 도장 모두 병행한 경우가 1명이었다(표 3). 따라서 이 연구의 최종 대상자는 일관되게 직무를 수행한 28명으로 한정하였고, 측정 당일 수행한 직무분포를 파악해 보면 10명은 분무도장만을 수행하였고, 18명은 붓 도장만을 수행하였다.

2. 수행직무에 따른 노출평가와 동질성 평가

직무에 따라 크실렌 노출농도를 비교해본 결과 분무도장 도장이 산술평균 21.74 ppm, 기하평균 12.81 ppm으로 높았고, 붓 도장은 산술평균 18.54 ppm, 기하평균 11.82 ppm이었다. 혼합노출지표를 기준으로 노출강도 또한 직무별 산술평가를 비교해 볼 때, 분무도장이 높았고, 붓 도장이 낮은 수치를 보였다(표 4). 동일한 직무에 해당하는 근로자 집단이 유사노출군인지 여부를 확인하기 위해 3번 반복 측정된 근로자를 대상으로 _{bw}R₉₅와 분산요인(σ_B²)을 산출하였다. 그 결과 두 집단 모두 _{bw}R₉₅은 2를 초과하였고, σ_B² 또한 0.031를 초과하여 변이 폭이 크고

Table 4. The concentration of xylene exposure by job title unit: ppm

| Job title | Xylene | | | EI | |
|-----------|--------|-------|------|------|------|
| | AM | GM | GSD | AM | SD |
| Spray | 21.74 | 12.81 | 3.03 | 0.67 | 0.79 |
| Touch up | 18.54 | 11.82 | 2.94 | 0.50 | 0.47 |

EI, exposure indices(C1/T1+C2/T2+ . . . +Cn/Tn)
 AM, arithmetic mean; GM, geometric mean;
 GSD, geometric standard deviation; SD, standard deviation

이질적이었다(표 5).

3. 수행직무와 밀폐특성에 따른 노출평가와 동질성 평가

직무 특성에 따른 노출의 변이를 좀 더 구체적으로 파악하기 위하여 밀폐특성에 따라 구분하여 평균 노출을 비교하고, 밀폐 특성에 따른 변이도를 알아보았다. 분무도장 경우 크실렌 노출농도가 블록내부에서 작업하는 경우 50.11 ppm으로 가장 높았고, 블록내외부 15.59 ppm, 블록외부 8.09 ppm 순이었다. 붓 도장의 경우 블록내외부가 23.08 ppm으로 가장 높았고, 블록내부 20.47 ppm, 블록외부 3.67 ppm 순이었다. 즉, 유사한 직무라 하더라도 밀폐특성에 따라 노출농도의 차이가 있었고, 블록내부 또는 내외부에서 작업하는 경우가 블록외부에서 작업하는 경우보다 노출농도의 유의한 차이를 보였다(표 6).

직무를 밀폐특성에 따라 세분한 후, 그 집단에 속한 근로자들의 노출 분포의 변이성을 알아보았다. 분무도장 작업자가 블록내부에서 작업한 경우 $_{bw}R_{95}$ 는 18.71이었고 σ_B^2 는 1.106으로 변이성이 컸다. 블록내외부 역시 $_{bw}R_{95}$ 는 10.60이었고, σ_B^2 는 0.061로 변이성이 큰 편이었다(표 7). 그러나 표 5의 분무도장 변이지표($_{bw}R_{95}$: 29.11, σ_B^2 : 0.357) 보다 그 수치가 낮아 밀폐특성이 직무의 변이성을 설명할 수 있는 변수임을 시사하였다. 붓 도장 작업자가 블록내부에서 작업한 경우 $_{bw}R_{95}$ 는 6.16으로 다소 높은 편이었으나, σ_B^2 는 0.024로 가장 낮은 수치를 보여 변이의 폭이 다른 그룹 보다 가장 작았고, 근로자간 변이가 비교적 유사하였다. 블록외부는 $_{bw}R_{95}$ 수치 6.83이었고 σ_B^2 는 0.063이었으며, 블록내외부는

Table 5. Between-worker exposure variability of xylene exposure by job title

| Job title | N | $_{bw}Sy$ | $_{bw}R_{95}$ | σ_B^2 |
|-----------|----|-----------|---------------|--------------|
| Spray | 30 | 0.86 | 29.11 | 0.357 |
| Touch up | 54 | 0.81 | 23.53 | 0.384 |

N, number of measurement; $_{bw}Sy$, estimated geometric standard deviation of between-worker distribution of exposure; $_{bw}R_{95}$, ratio of the 97.5th and 2.5th percentiles of between-worker distribution; σ_B^2 , variance components

$_{bw}R_{95}$ 수치 7.54 σ_B^2 는 0.142로 변이성이 큰 편이었다(표 7). 앞서 분무도장 작업에서 지적한 바와 같이 붓 도장 역시 표 5의 붓도장 변이지표보다 밀폐특성에 따른 변이지표가 낮은 수치였고, 밀폐특성이 직무의 변이성을 설명할 수 있는 변수임을 알 수 있었다.

고 찰

직업병 역학에서 가장 어려운 문제가 노출 평가이다. 노출의 일상적 정의는 “근로자의 외부환경에 물질 또는 유해인자가 존재하는 것”이며, 노출수준은 특정 유해물질의 농도 등으로 표현되는 “강도(intensity)”와 특정 유해물질에 접하게 되는 시간을 의미하는 “기간(duration)”으로 평가된다. 위해도 평가(risk assessment) 및 위해도 관리(risk management) 전반의 시각에서 볼 때, 노출평가는 문제의 발견과 평가라는 출발점에서 지속적 모니터링에 이르는 마지막 단계까지 주요 절차와 판단과정에서 가장 결정적인 과학적 정보를 제공하는 역할을 한다. 하지만, Covello 등(1993)은 위해도 평가가 서로 다른 전문분야에서 개별적으로 발전되어 왔기 때문에 전반적인 개념공유 초차 부족하다고 지적하기도 하였다.

작업장에 존재하는 유해인자에 대한 평가와 근로자 개인의 건강수준에 대한 평가가 결합되고, 그 사이에 용량-반응 관계를 확인할 수 있다면 가장 이상적일 것이다. 그러나, 기술적 제약이나 자원의 한계로 노출평가에 필요한 모든 요소들을 측정하기가 어렵고, 현실적으로 관련자료가 부족하거나 없는 경우가 많았다. 이러한 어려움들 때문에 종래의 연구들

Table 6. The concentration of xylene exposure by confined characteristics unit: ppm

| Job title | Confined | N | Xylene | | | EI | |
|-----------|--------------------|----|--------|-------|------|------|------|
| | | | AM | GM | GSD | AM | SD |
| Spray | In-block | 6 | 50.11 | 41.68 | 2.03 | 1.53 | 1.40 |
| | Out-block | 3 | 8.09 | 5.16 | 3.06 | 0.23 | 0.31 |
| | In-block/out-block | 21 | 15.59 | 10.38 | 2.64 | 0.49 | 0.44 |
| Touch up | In-block | 27 | 20.47 | 15.49 | 2.29 | 0.54 | 0.45 |
| | Out-block | 9 | 3.67 | 2.77 | 2.14 | 0.09 | 0.08 |
| | In-block/out-block | 18 | 23.08 | 16.78 | 2.69 | 0.66 | 0.53 |

EI, exposure indices($C_1/T_1+C_2/T_2+\dots+C_n/T_n$)

AM, arithmetic mean; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation;

SD, standard deviation

Table 7. Between-worker exposure variability of xylene exposure by confined characteristic

| Job title | Confined | N | $_{bw}S_y$ | $_{bw}R_{95}$ | σ_B^2 |
|-----------|--------------------|----|------------|---------------|--------------|
| Spray | In-block | 6 | 0.747 | 18.71 | 1.106 |
| | In-block/out-block | 21 | 0.602 | 10.60 | 0.061 |
| Touch up | In-block | 27 | 0.464 | 6.16 | 0.024 |
| | Out-block | 9 | 0.490 | 6.83 | 0.063 |
| | In-block/out-block | 18 | 0.513 | 7.54 | 0.142 |

N, number of measurement; $_{bw}S_y$, estimated geometric standard deviation of between-worker distribution of exposure; $_{bw}R_{95}$, ratio of the 97.5th and 2.5th percentiles of between-worker distribution; σ_B^2 , variance components

은 고용여부 또는 노출, 비노출로 단순 구분하거나, 고용기간을 조사하였다. 그러나 이러한 연구는 노출 강도와 노출형태를 고려하지 못하는 제한점을 가지고 있었다.

최근 직무-노출 매트릭스가 개발되면서, 노출평가에 대한 한계가 보완되고 진일보하였다. Bouyer(1993) 등은 업무-노출 매트릭스 셀에 입력되는 내용은 두 가지 차원을 가져야 하며, 하나는 노출강도(intensity of the exposure) 또는 노출빈도(frequency over time of the exposure)를 반영하고 다른 하나는 노출확률(probability of the exposure)을 반영하고자 하였다. 이와 같은 조건을 만족시키기 위해 유사노출군으로 선정된 직무군에 대한 노출량 추정치를 환경농도로 대변되는 노출강도, 노출(작업) 시간, 노출확률을 함께 반영한 노출 지표로 산출하였고, 기간, 작업 조건 등 여러 가지 요인에 따라 변동이 있으므로 반정량적 평가(semi-quantitative assessments)로 몇 가지 범주(cate-

gory)로 나누어 점수화 하였다(Susi 등, 1995; Astrakianakis 등, 1998). 그러나 반 정량적 평가는 범주사이에 양적 연관성을 만족스럽게 알지 못한다는 제한점이 있었다. 따라서 최근 작업장의 노출 양상의 특성을 규명하기 위해 유사노출군으로부터 시료를 무작위로 얻어 노출값의 대표값을 넣어주는 정량적 평가(quantitative assessment)를 통해 정확한 노출 평가 추정이 이루어 질 수 있다는 개념이 정립되어 가고 있다. 이는 산업위생모니터링에서 사용하는 단위의 값으로 할당할 수 있으므로 가장 이상적인 접근법이다. 그러나, 노출수준(exposure level)을 계산하기에 충분한 모니터링 자료를 가지지 못하는 경우가 많이 발생한다.

따라서 이 연구에서는 이러한 현실적 제약에도 불구하고 정량적 평가의 기초작업으로 유사노출군을 설정하고, 과거 수년 동안의 자료를 토대로 노출평가를 시행하고자 하였다. 그러나 실제 조선업 도장 작업자의 경우 작업의 방법이 다양하고 비반복적인

작업으로 유사노출군 설정이 어렵다. 이 경우 접근하는 방법 중의 하나가 공정-직종-직무 수준으로 작업분석이 이루어지고, 이를 토대로 유사노출군을 설정하는 것이 일반적인 방법으로 사용되어지고 있다. 실제 작업환경측정에서 파악한 예를 보더라도 주로 블록내에서 도장을 하는 선행도장의 경우 유기용제 복합노출지수가 0.31에서 27.68로 매우 높은 농도에 작업자들이 노출되고, 혼합유기용제 노출기준 초과율도 21.2 %로 가장 높았으며 그 다음이 주로 선실생산부(18.8 %)라고 보고하고 있다(동아대학교, 1992). 도장작업 방법에 따른 측정결과를 보면 분무도장 작업의 30.0 %가 노출기준을 초과하여 가장 높았고 그 다음이 붓 도장 작업(7.8 %)이었다. 이러한 결과로 볼 때 조선업 유기용제 노출작업자는 공정별, 작업별, 직무별로 측정이 시행되고, 작업개선 및 관리가 이루어지고 있다. 이에 노영만 등(2000)은 작업자의 공정별, 작업별, 직무별 업무를 정확하게 파악하여 유사노출군을 선정하였고, 오분류를 최소화하고 이에 따른 유해인자의 노출실태를 파악하고자 업무-노출 매트릭스를 구축하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 유사노출군의 개념이 생소할 뿐만 아니라, 산업위생 전문가의 주관적인 판단에 의한 대표값 선정 자체를 부정하는 분위기가 팽배해 있기 때문에 유사노출군 설정의 타당성을 검정할 필요가 있다. 설정된 유사노출군의 타당성을 확인하는 방법으로는 유사노출군에 대하여 최소한 3명에 대하여 반복적으로 3회 이상 측정된 노출농도에 대하여 반복측정에 의한 분산분석을 실시하여 동질성 검정을 시행하였다.

그 결과 이 연구에서는 분무도장과 붓 도장 모두 $_{bw}R_{95}$ 은 2를 초과하였고, σ_b^2 또한 0.031를 초과하여 변이 폭이 크고 이질적이었다. 이는 이 연구의 제약점인 각 유사노출군에 속한 근로자가 무작위로 추출되거나, 반복측정 과정이 무작위로 배정되지 못한 측면일 수도 있으며, 통계적 검정력을 높이기 위하여 측정건수가 충분히 확보하지 못한 측면일 수 있다. 한편 또 다른 이유로는 작업환경 측정 과정에서 비교적 과노출될 가능성(worst-case condition)에 있는 근로자가 포함될 가능성을 배제할 수 없으며, Rappaport 등(1993)이 지적했듯이 노출변이에 가장 중요한 요소인 작업 또는 업무수행이 유사노출군 내에 이질적으로 분포하거나, Astrakianakis 등

(1998)과 같이 작업배치, 작업장소 특성, 공학적 제어 상태, peak 노출가능성 등이 노출에 경시적인 변화를 초래할 것을 예상하지 못한 결과일 수도 있다. 그러나 특수건강진단 대상자 선정시 작업환경측정 결과에 의해 건강진단 주기가 결정되는 시점에서, 이 결과는 충분한 시간을 두고 3회 이상 연속적으로 측정된 직무 중심의 유사노출군의 대표 값에 변동 차이가 있는지를 점검한 것으로 특히 임계유사노출군에 대한 관리에 매우 중요한 결과라 생각한다.

예컨대 분무도장 작업의 경우 혼합노출지수의 평균이 0.67로 직업적 노출기준 이하인데, 표 6에 제시된 바와 같이 분무도장 작업자 중에 블록 안에서 작업할 경우 혼합노출지표가 1.53으로 평균노출농도가 허용기준치를 초과하고 크실렌 노출도 가장 높은 반면, 블록외부에서 작업할 경우 평균 노출농도가 허용기준치 25 %이하인 점은 이를 반증한다. 만약 밀폐특성을 파악하지 않고 직무만으로 유사노출군을 가정한다면, 유사노출군에 할당된 근로자 중 그 유사노출군보다 유의하게 높은 노출을 갖고 있는 경우 미분류 오류에 의하여 적절한 보호를 할 수 없게 된다.

따라서 현재 일반적으로 수행하고 있는 작업환경 측정이 유사노출군을 선정하고 측정하지도 못하는 현실에서, 본 연구진이 수년간의 경험을 토대로 직무를 분석하고 그 바탕 위에 유사노출군을 선정하여 동질성을 검정한 결과가 이질적이었던 점은 유사노출군으로 구분된 근로자의 노출이 비슷할 것이라는 가정을 채택하기 어렵다는 것이다. 이 연구에서 밀폐특성에 따른 노출 분포의 변이성은 직무만으로 구분했을 때의 변이지표보다 그 수치가 낮아 밀폐특성으로 직무의 변이성을 설명할 수 있다는 점이 이를 시사하고 있다. 특히 블록내부에서의 붓 도장은 분산요인이 0.024로 비교적 동질하다는 점은 주목할 만 하다. 그러므로 향후 작업환경 측정 시 직무뿐만 아니라 특정 업무(specific task), 환경인자 그리고 세부 작업현황까지 파악할 필요성을 제시하고 있다. 만약 그렇지 않다면 작업환경측정 결과 및 작업조건 등을 사전에 검토하여 특수검진 대상자의 선정과 주기를 단축하도록 한 바뀐 특수건강진단 제도는 적용에 신중을 기할 필요가 있다.

그러나 이 연구는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 이 연구는 특정 업종의 사업장 단위(industry base)로 이루어진 노출평가와 관리 전략하에 이루어

진 유사노출군에 대한 평가이다. 따라서 일반화시키기에는 다소 무리가 따를 수 있다. 둘째, 동일 측정 기관에서 연속적으로 그리고 일관되게 측정해 왔지만, 유사노출군에 속한 근로자를 반복측정하기 위해 전향적인 방법을 동원한 것이 아니기 때문에 분석과정에서 반복 측정되지 않은 많은 근로자가 누락되어 편의(bias)가 게재될 가능성이 있다. 셋째, 실제 조선업 도장 작업자의 경우 작업의 방법이 다양하고 수시로 위치가 변동하는 등 하루에도 여러번씩 유사노출군이 바뀌는 경우 이 결과는 적용하기 어렵다는 점이다. 넷째, 유사노출군을 설정할 때 환경인자(유해인자)를 고려하는 것이 필수적인데, 이 연구에서는 고려하지 못하였다. 조선업에서는 동일한 직무를 가지고 있다 하더라도 시기, 도장대상에 따라 사용하는 페인트의 종류와 그 성분에 차이가 있어 유해물질에 대해 유사노출군으로 설정하기 어려웠기 때문이다. 이는 변이에 큰 영향을 줄 수 있는 요인이다. 이런 한계는 향후 연구에서 보완되어야 할 필요가 있다.

요 약

목적 : 조선업 도장 작업자의 크실렌 노출을 평가하기 위하여, 수행직무 및 밀폐특성에 따라 유사노출군으로 구분하여 노출 변이 및 동질성을 파악하고자 하였다.

방법 : 3회 이상 반복측정이 이루어진 근로자 중 동일공정에서 직무상 변동이 없는 근로자 총 28명을 대상으로 하였다. 노출농도 값을 대수전환(log transformation)하여 근로자간, 근로자내 노출 분산요소를 추정하기 위하여, nested random-effects ANOVA model을 활용하였다. 선정된 유사노출군 내 구성원의 측정 평균이 동일하다고 할 수 있는지를 검정하기 위하여 분산요인(σ_B^2)을 산출하였고, $\sigma_B^2 \leq 0.031$ 일 경우 동일하다고 생각하였다. 또한 노출 값을 대수전환하여 95%의 근로자(${}_{bw}R_{95}$)가 2배수 범위 내에 측정값을 가질 경우 동일하다고 생각하였다. ${}_{bw}R_{95}$ 의 값을 유사노출군내의 근로자들간(between worker)의 기하표준편차(${}_{bw}S_y$)를 구한 후 $\exp(3.92 {}_{bw}S_y)$ 로 계산하여 산출하였고, 그 값이 2이하이면 동일하다고 생각하였다.

결과 : 일반적으로 유사노출군은 노출농도가 비슷

한 것이라는 생각과는 달리, 직무에 근거한 유사노출군은 동질성 검정상 이질적이었다. 분무도장과 붓도장 모두 ${}_{bw}R_{95}$ 은 2를 초과하였고, σ_B^2 또한 0.031를 초과하여 변이 폭이 컸다. 그러나 밀폐특성에 따른 노출 분포의 변이성은 직무만으로 구분했을 때의 변이지표 보다 그 수치가 낮아 밀폐특성으로 직무의 변이성을 설명할 수 있었다.

결론 : 직무에 근거한 유사노출군이 동질적이지 않다는 결과는 유사노출군으로 구분된 근로자의 업무특성이 하나의 유사노출군으로 설정할 수 없다는 점을 시사한다. 따라서 향후 작업환경 측정 시 직무뿐만 아니라 특정 업무(specific task) 또는 세부 작업현황까지 파악할 필요성을 제시하고 있다.

감사의 글

자료 수집 및 현장조사에 도움을 주신 보건관리자 전문자 실장님께 감사드립니다. 또한 작업환경측정에서 자료정리에 이르기까지 많은 도움을 주신 측정팀의 허정철, 왕승호, 이동환, 김태욱 선생님께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 노영만, 김정만, 김현욱 등. 조선업종 용접 및 도장작업 근로자의 업무별 분포파악 및 업무노출 매트릭스 구축. 한국산업안전공단. 2000.
- 노재훈, 김치년, 노영만, 원정일, 이진현, 임현우, 홍윤철, 김수근, 백용준, 임종한, 하은희. 작업장 노출평가와 관리. 군자출판사. 2001.
- 동아대학교. OO조선소 보건실태조사와 그에 따른 개선 방안에 관한 연구. 1992.
- 배기택, 문덕환, 김종한, 문찬석, 이채언, 톨루엔 크실렌 및 벤젠폭로의 생화학적 지표들에 관한 연구. 대한산업의학회지 1991; 3(2): 165-176.
- 신용철, 이광용. 조선업 도장 작업시 취급하는 도료중 유해물질 성분에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1999; 9(1):156-172.
- 장성훈, 톨루엔, 크실렌 폭로량과 생물학적 지표들과의 상관성 연구. 대한산업의학회지 1995; 7(2): 295-304.
- 조병만. Toluene xylene 폭로 근로자의 요증 마노산 및 메틸마노산 배설 농도에 관한 연구. 부산의대학술지 1989; 29(2): 109-119.
- 조수현, 최홍열, 신용철 등 조선업종 근로자 건강관리체계 연구. 한국산업안전공단. 2000.

- Astrakianakis G, Anderson JTL, Band PR, Keefe AR, Bert JL, Le N, Fang R. Job-exposure matrices and retrospective exposure assessment in the pulp and paper industry. *Appl Occup Environ Hyg* 1998; 13(9): 663-670.
- Astrakianakis G, Band PR, Le N, Bert JL, Jansen B, Svirchev L, Tang C, Anderson JTL, Keefe AR. Validation of a mill-specific job-exposure matrix in the british columbia pulp and paper industry. *Appl Occup Environ Hyg* 1998; 13(9): 671-677.
- Bouyer J, Hemon D. Retrospective evaluation of occupational exposure in population-based case-control studies: general overview with special attention to job exposure matrices. *Int J Epidemiol* 1993; 22(6): S57-S64.
- Burdorf A. Bias in risk estimates from variability of exposure to postural load on the back in occupational groups. *Scand J Work Environ Health* 1993; 19:50-54.
- Burgess, WA. Recognition of Health Hazards in Industry: A Review of Materials and Process. New York, John Wiley & Sons Inc, 1981.
- Cole CJ. Letter to Editor. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 55(9): 874-875.
- Covello VT, Merkhofer MW. Risk assessment methods-approaches for assessing health and environmental risks. NY and London: Plenum Press: 1993.
- Cralley LV, Woolrich PF, Mutchler JE, Caplan KJ. In-Plant Practices for Job Related Health Hazards Control. John Wiley & Sons, New York, pp. 457-485. 1989.
- Gerin M, Fletcher A, Gray C, Winkelmann R, Boffetta P, Simonato L. Development and use of a welding process exposure matrix in historical prospective study of lung cancer risk in European welders. *Int J Epidemiol* 1993; 22(S2): S22-28.
- Gomez MR. Letter to Editor. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 55(9): 875.
- Kromhout H, Heederik D, Dalderup LM, Kromhout D. Performance of two general job-exposure matrices in a study of lung cancer morbidity in the Zutphen cohort. *Am J Epidemiol* 1992; 136: 698-711.
- Kromhout H, Heederik D. Occupational epidemiology in the rubber industry: Implications of exposure variability. *Am J Industrial Med* 1995; 27: 171-185.
- Mulhausen J, Damiano J. A strategy for assessing and managing occupational exposure. AIHA, 1998.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): NIOSH Manual of Analytical Methods. DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113. Cincinnati, OH, NIOSH, 1994. .
- Rappaport SM. Assessment of long term exposure to toxic substance in air. *Ann Occup Hyg* 1991; 35: 61-121.
- Rappaport SM, Kromhout H, Symanski E. Variation of exposure between workers in homogeneous exposure groups. *Am Ind Hyg Assoc J* 1993; 54(11): 654-662.
- Samuels SJ, Lemasters GK, Carson A. Statistical methods for describing occupational exposure measurements. *Am Ind Hyg Assoc J* 1985; 46: 427-433.
- Scheffers TML. Letter to Editor. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 55(9): 873-874.
- Seixas NS, Sheppard L. Maximizing accuracy and precision using individual and grouped exposure assessment. *Scand J Work Environ Health* 1996; 22: 94-101.
- Susi P, Schneider S. Database needs for a task-based exposure assessment model for construction. *Appl Occup Environ Hyg* 1995; 10(4): 394.
- Tongeren M van, Gadiner K, Calvert I, Kromhout H, Harrington JM. Efficiency of different grouping schemes for dust exposure in the European carbon black respiratory morbidity study. *Occup Environ Med* 1997; 54: 714-719.