

가

1) * 1) * 1) * 1) * 1) * 1) * 1) * 1) * 1) ‡
 2) * 3) * 4) * Karl Siber⁵⁾ * 6) * 6)
 가 - 1), 2), 3), 4), 5), 6)

Recommendation and current status in exposure assessment using monitoring data in ship building industry - focused on the similar exposure group(SEG)

Youngman Roh¹⁾ · Hyeon Woo Yim¹⁾ · Suk Il Kim¹⁾ · Hyo Man Park¹⁾ · Jae Yeol Jung¹⁾ · Sook Kyung Pak¹⁾ · Hyun-Wook Kim¹⁾
 Chee Kyung Chung¹⁾ · Won Chul Lee^{1)‡} · Jung Man Kim²⁾ · Soo Keun Kim³⁾ · Sang Baek Koh⁴⁾ · Kar Sieber⁵⁾ · Euna Kim⁶⁾ · Jung Keun Choi⁶⁾

*Industrial Medical Center, Department of Preventive Medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea¹⁾
 Department of Preventive Medicine, Dong-A University²⁾, Department of Preventive Medicine, Dongguk University³⁾
 Department of Preventive medicine, Koje Hospital⁴⁾, National Institute for Occupational Safety and Health, USA⁵⁾
 Health Research Institute, KOSHA⁶⁾*

Statistical approaches for analysis of data from the limited number of samples in ship building industry(SBI) collected by an industrial hygienist for checking compliance to an occupational standard were considered. Sampling for compliance usually has been guided by judgment selection, rather than true randomness, resulting in the creation of compliance samples which approximate a censored sample from the upper tail of the exposure distribution. Similar exposure groups(SEGs) including welding and painting process were established to assess representative values in each groups after reviewing the whole production line in SBI. For the convenient statistical approaches, the code has assigned to

each SEGs. The descriptive statistics and probability plotting were used to yield the representative values in each SEGs. In the first step, SEGs of 558 were established from 5 ship building companies. The 38 SEGs showed the uncertainty are divided into each 5 companies and assessed the representative values again. The 44 SEGs in each companies was not showed the normal and lognormal distribution was analyzed each data. And also, recommendation was suggested to resolve the uncertainty in each groups.

Key Words : Job Exposure Matrix(JEM), Ship Building Industry, Welding, Painting, Information System

I.

1981

가

1990

1992

42 () 93

(2001-20)

8

* 1997

: 2001 7 27 , : 2001 8 16

‡ : (505 가

Tel : 02-590-1233, Fax : 02-536-4048, E-mail : leewc@cmc.cukackr)

가

, 가

,

가

가

가

(worst case) 2

5

(2)
가 10

, 5 1

(Cole, 1994; Gomez, 1994; Scheffers, 1994).

. 2 (2

가

가 100

(similar exposure group, SEG)

가

)

, 5 1

가 100

20 가

(Occupational

,

가

가 100

20

Safety and Health Administration)

(가

(compliance)

, 2001).

가

, 가

가 ,

가

가(exposure assessment)

)

가

가

(Hawkins 1991, AIHA 1994, ORCI 1992, BOHS 1993).

가

가

가

1) 조선업 근로자의 유사노출군(SEG) 설정

가

가

2 ,

가

(UKHSE 1993, ANOHSC

1993, CEN 1995).

가

가

가

가

가

(, 1996).

(homogeneous

exposure group)

가

가

가

*

가

(Rappaport , 1993).

(, 2001)

6 1

가

가

외작업이라 할지라도 블록내 작업일 경우 옥내 작업보다 높은 농도에 작업자가 노출되는 양상을 보였고, 블록 내부공간의 크기 또한 노출농도에 영향을 미치는 요인으로 작용하여 공간의 크기가 작으면 작을수록 휴대용 국소배기 장치를 설치하는 것이 어려워져 노출정도가 더 심각해지고 있었다(동아대학교, 1992).

이와같이 직종에 따른 직무가 동일하다 할지라도 노출농도에 영향을 미치는 요인들로 인해 다양한 상황에 따른 노출농도를 정확히 평가하는 일이 쉽지 않았다. 즉 측정당시의 노출상황에 따른 노출치를 평가하였다 할지라도 다음날에는 전혀다른 상황하에서 작업이 이루어질 수 있어 또 다른 유사노출군에 속할 수 있으므로 측정당시의 노출상황이 작업자의 모든 노출 상황을 대표할 수 없다고 판단되었다.

또한 대규모 조선소의 경우에는 위와 같은 직무 분석을 통해 다음과 같은 문제에 직면하게 되었다. 직무노출 매트릭스 구축에 있어 가장 중요한 것은 직무분석과 노출인자에 대한 정보이다. 이중 직무요인과 관련된 것은 대다수의 연구에서 확인할 수 있듯이 동일 업종 내에도 사업장별 특성은 주요한 변수로 작용한다는 것이다. 사업장의 규모와 경영진의 운영방침 등 경영적 요소가 반영된 조직운영상의 특수성 등이 존재하기 때문일 것이다. 예컨대 주요 공정의 자동화 및 안전 정도, 기술적 수준, 주요 생산품목, 시설 및 장비, 원료 등 개량화가 쉽지 않은 여러 요인들이 근로자의 유해인자 노출량에 거시적인 영향을 미치기 때문이다.

이를 확인하기 위해 직무구조의 변천 과정을 보면, 87년 민주화 이후 노사관계의 변화에 따라 권력관계가 변화하였고, 국제적 수준의 경쟁환경변화와 새로운 생산방식의 확산에 따른 경영의 합리화가 그 예라 할 수 있다. 이는 낮은 기술을 요하는 저가의 대형 선박분야에서 생산성 우위에 기초한 고부가가치의 선박계 등 시장확대전력과 일치하는 것과 같이 공정합리화, 직무통폐합 및 다기능화, 자동화 등의 요인이 작용한 것이라 생각된다. 공정합리화는 선박을 건조하는 과정에서 비

능률을 제거하고 흐름생산체계를 확립하고, 생산방식 측면에서는 다품종 생산체계를 개편하여 전문선박들을 중심으로 소품종 대량생산체제로 전환을 추구하는 것이다. 직무통폐합 및 다기능화는 일본식 숙련형성제도의 핵심내용의 하나로서 세분화, 전문화된 직무들을 통폐합해서 기존의 직무이외에 새로운 직무의 습득을 요구하여 작업자 기능의 폭을 확대하는 것으로 표1과 같이 취부작업 근로자가 용접작업을 작업장에서 겸하는 것이다.

표 1. 직무의 통폐합에 따른 다기능화의 예

| 과거의 직무 | 통폐합된 직무 |
|--|-----------------------------|
| 배관, 철의장, 전장
기관운전, 갑판운전,
전기공사, 계장
취부, 용접, 사상 | 관 철
시 운 전
전기계장
용 접 |

실제 다기능화 이후 이루어진 작업환경 측정의 변화된 결과를 표2에 나타내었다. 1차년도는 다기능화 이전에 측정한 결과로 용접의 경우 취부보다 노출량이 높지만 다기능화 이후인 2차년도와 3차년도의 경우 노출량의 차이가 감소한 것을 확인할 수 있다.

표 2. 한 용접 부서의 연도별 측정결과 비교

| 측정년도 | 수행직무 | 범위 | 산술평균 | 기하평균 | 기하표준편차 |
|------|------|------------|------|------|--------|
| 1차년도 | 용접 | 0.63-7.88 | 2.31 | 1.72 | 2.14 |
| | 취부 | 0.32-1.23 | 0.83 | 0.74 | 1.80 |
| 2차년도 | 용접 | 1.59-20.53 | 9.08 | 6.04 | 1.40 |
| | 취부 | 1.85-14.58 | 5.45 | 4.41 | 1.24 |
| 3차년도 | 용접 | 1.80-17.64 | 7.71 | 4.88 | 2.84 |
| | 취부 | 1.70-10.50 | 4.08 | 2.95 | 2.34 |

또한 작업공정의 자동화 추진은 노동과정의 지속적인 변화를 초래하고 있다. 연구의 필요성에서 조선업의 산업보건학적인 특징에서 지적하였듯이 규모가 방대하고 복잡하여 표준화하기 어렵다는 지적에 기본적으로 동의하지만, 실제작업 현장에서는 노동구조를 이중화하는 과정에서 대규모 조선업종 중심으로 원청의 경우 표준화 및 자동화와 흐름생산

체계를 구축해나가고 있는 실정으로 전처리 공정은 완전 자동화되어 있고, 절단작업의 경우 대부분 자동화 기계가 도입되어 있는 단계이다. 용접의 경우 판넬작업시 자동용접기가 상당수 도입이 되어 있고, 공장에 따라 반자동 용접을 사용한다. 단 선수미에 해당되는 블록의 경우 곡직 작업등 공정상의 어려움으로 수동용접이 사용되고 있으며, 이 경우 노동밀도, 노동강도가 필요한 공정은 대부분 표준화하기 어렵워 이런 공정은 대부분 하청화하고, 생산흐름의 효율화를 기하고

비교적 표준화가 가능한 작업은 직무 통폐합으로 직역에 여전히 보유하는 형태를 띠고 있다.

결론적으로 특정 조선업의 직무를 가지고 전체 조선업종의 직무로 일반화하기에는 현실적 차이가 있다. 즉, 대규모와 중규모 조선업의 직무가 비슷하다하더라도

차이가 있고, 원청과 하청근로자에 있어서도 차이가 있다.

나) 도장작업자의 유사노출군 설정
조선업에서의 도장작업은 여러 가지 건강문제가 발생할 가능성이 높은 공정으로 관심의 초점이 되어왔다. 특히 도장작업자는 다양한 종류의 도료를 사용하며, 그에 함유된 유기용제등에 의한 건강문제가

가 ,) (SEG code)

가 (Nicas , 1991).

가 (quantitative assessment)

가 (exposure level)

가 가

가 1

2 , 3 , 5

가 3

가 6

(船主)가 10

가 가

6 10

2) 대표값 평가

가 (Hewett, 1995).

low, medium, high 가

가(semiqu-
antitistive assessments)

가

가가

low, medium, high

가 가가

표 3. 유사노출군(SEG)코드 설정예

| | | | SEG code |
|--|-----------------|----|----------|
| | CO ₂ | | 34706 |
| | CO ₂ | Mn | 34706 |
| | CO ₂ | Cr | 34706 |
| | CO ₂ | Ni | 34706 |
| | CO ₂ | | 34706 |
| | CO ₂ | | 44706 |
| | CO ₂ | Mn | 44706 |
| | CO ₂ | Cr | 44706 |
| | CO ₂ | Ni | 44706 |
| | CO ₂ | | 54706 |
| | CO ₂ | Fe | 54706 |
| | CO ₂ | Mn | 54706 |
| | CO ₂ | Cr | 54706 |

가

표 5 연구대상 조선소 전체를 대상으로 한 유사노출군의 대표값 산출

| | | (6) | | | | Cell |
|-----------------------|---|------|-----|-----|------|------|
| (exposure level)
가 | 가 | No | No | No | ? | 141 |
| | | No | No | Yes | ??? | 38 |
| | | No | Yes | No | ? | 41 |
| | | No | Yes | Yes | MVUE | 101 |
| | | Yes | No | No | ? | 21 |
| | | Yes | No | Yes | | 7 |
| | | Yes | Yes | No | ? | 180 |
| | | Yes | Yes | Yes | MVUE | 29 |
| | | 3 | | | | 558 |

? :

??? :

가)

(cell)

가 유사노출군의 설정 현황 및 대표값 산출

1 558 (cell)

(right-skewed)

가 6

130

(MVUE)

(4).

가

가 6

034716

7

가

가

가

: 034716

: , , CO₂

: (:mg/m³)

3.67, 0.14, 0.81, 4.55, 17.24,

0.84, 1.48, 0.98, 0.67, 20.54,

2.61

(SEG)

가

387 (5).

가

cell

가

38

6

가

(SEG)

표 4. 용접흡 측정값의 기술통계량

| | | | |
|---------|--------|----|------------|
| (n) | 11 | | |
| (max) | 20.535 | | |
| (min) | 0.14 | | |
| | 20.395 | | |
| (%>OEL) | 18.182 | | |
| | 4.866 | | 가 |
| | 1.480 | | 38 |
| (s) | 7.103 | 가 | 가 |
| (LN) | 0.660 | | |
| (LN) | 1.470 | | |
| (GM) | 1.935 | 38 | (5) |
| (GSD) | 4.350 | | 364 (cell) |

로 이루어진 유사노출군을 표6과 같이 재구성하였다. 이중 측정 시료가 6개 이상 이면서 대수 정규분포를 하는 138개의 방에 대해서는 최소분산불편추정법(MVUE)에 의해 대표값을 추정하였고, 시료의 수가 6개 이상이나 대수정규분포를 하지 않고, 정규분포를 하는 6개의 방에 대해서는 산술평균을 구하였다. 176개 방은 시료의 수가 충분치 않아 확실성을 가지고 대표값을 추정하기 불가능하였으나 방의 특징을 설명하기 위하여 각 방의 산술평균을 제시하였다.

시료의 수는 충분한데 정규분포도 하지 않고 대수정규분포도 하지 않는 방이 44개 발견되었다. 이러한 경우에는 유사노출군(SEG)이 적절히 정의되었는지, 혹은 측정 자료를 수집할 때 기존의 노출 분포에 구조적 변화가 있었는지 여부를 살펴 보았다.

3) 무분포를 보이는 44개 유사노출군의 분석

무분포를 보이는 44개의 노출군에 대하여 유사노출군 정의의 적절성 및 측정자료를 수집할 때 기존 노출에 구조적 변화가 있었는지를 분석하였으며, 무분포를 보이는 유사노출군중 용접흡과 유기용제 대한 자료의 문제점을 분석하여 아래와 같이 제시하였다.

(1) 유사노출군2 분석

- 유사노출군 설명 : A 조선소, 소조립

CO₂ 용접, 유해인자 : 용접흡
 - 21개의 모니터링 자료가 수집되었고, 검사치의 변동은 매우 컸다. 99년 상반기까지의 자료는 일정한 분포를 보이지 않았으며 산술평균은 8.8004 (30109 - 14.498)이었다. 그러나 후반기이후의 측정 자료는 대수 정규분포를 하였으며, 대표값은 4.854 (1.780 - 7.582)로 추정되었다.

(2) 유사노출군5 분석

- 유사노출군 설명 : A 조선소, 대조립
 CO₂ 용접, 유해인자 : 용접흡

- 44개의 모니터링 자료가 수집되었다. 44개의 자료 모두를 분석한 결과 정규분포나 대수정규분포를 하지 않았으며 산술평균은 5.833이었다. 2000년에 수집한 8개의 자료는 대수 정규분포를 하고 있었다. 점추정 값은 3.463 (1.619 - 54.771)이었다. 1999년 자료는 특정 분포를 보이지 않았으며 평균이 6.238, 범위가 4.193 - 8.283이었고, 직업적 노출기준(Occupational Exposure Level, OEL) 초과 백분율은 60%이었다. 유사노출군4도 2000년에 비하여 1999년의 측정값이 높았다. 이는 1999년에 측정 자료를 모을 때 기존 노출 분포에 구조적 변화 즉 업무의 증가, 혹은 해당 부서에 작업량의 증가가 있었을 것으로 생각된다.

(3) 유사노출군18 분석

- 유사노출군 설명 : D 조선소, 대조립
 CO₂ 용접 유해인자 : 용접흡

- 유사노출군16과 같은 단위의 노출군으로서 유해인자만 용접흡인 노출군이다. 1999년도와 2000년도로 구분하여 분석하였다. 2000년도 자료는 13개가 수집되었으며 정규분포를 하였으며, 산술평균에 의한 대표값은 5.960 (3.451-8.409)이었다. 1999년도 자료는 대수정규분포의 형태를 따랐다. 최소분산불편추정법에 의한 대표값은 8.348 (6.391-12.291)이었으며, 이 유사노출군은 1999년도와 2000년도에 노출의 값이 변화하였다. 즉 유사노출기간(SEI)이 변화한 것이다.

(4) 유사노출군25 분석

- 유사노출군 설명 : D 조선소, 탑재
 CO₂ 용접 유해인자 : 용접흡

- 유사노출군24과 같은 단위의 노출군으로서 유해인자만 용접흡이다. 1999년도와 2000년도로 구분하여 분석하였다. 망간과는 달리 2000년도 자료는 13개가 수집되었으며 대수정규분포를 하였으며, 최소분산불편추정법에 의한 대표값은 4.639 (2.489-22.528)이었다. 1999년도 자료도 대수정규분포를 하였으며, 최소분산불편추정법에 의한 대표값은 6.855 (5.467-9.347)이었다. 1999년도에 비하여 2000년도 용접흡 대표치는 낮았다.

(5) 유사노출군31 분석

- 유사노출군 설명 : E 조선소, 중조립
 CO₂ 용접 유해인자 : 용접흡

- 이 노출군은 유사노출군29와 같은 구성을 가진 노출군으로 단지 유해인자가 용접흡이다. 1998년도와 1999년도 자료를 통합하여 분석한 결과 일정한 분포형태를 보이지 않았다. 따라서 1998년도와 1999년도로 나누어 분석하였다. 1999년도는 20개의 자료가 수집되었으며, 정규분포를 하였다. 산술평균에 의한 대표치는 14.766(11.479-18.054)이었고, 1998년도 자료는 28개의 자료가 수집되었으나 일정한 정규분포 형태를 취하지 못하였다. 산술평균은 13.594이었고 영역은 0.2에서 49.34이었다.

(6) 유사노출군36 분석

표 6. 조선소 회사별로 나누어 분석한 유사노출군의 대표값 산출

| 정규분포 | 대수정규분포 | 시료의수
(6개이상) | 대표값 추정 방법 | 불확실성 | Cell의 수 |
|------|--------|----------------|-----------|------|---------|
| No | No | No | 표본평균 | ? | 75 |
| No | No | Yes | 표본평균 | ??? | 44 |
| No | Yes | No | 표본평균 | ? | 18 |
| No | Yes | Yes | MVUE | | 96 |
| Yes | No | No | 표본평균 | ? | 7 |
| Yes | No | Yes | 표본평균 | | 6 |
| Yes | Yes | No | 표본평균 | ? | 76 |
| Yes | Yes | Yes | MVUE | | 42 |
| 전체 | | | | | 364 |

? : 정규분포 또는 대수정규분포를 하지않는 군
 ??? : 정규분포도 대수정규분포도 하지 않는 군

CO₂ : E , 가
 : 33 가
 가 . 1998 1999 가
 . 1998 1999
 . 1999
 30 가 , 가
 . 13.413
 (10.715-16.110) , 1998
 28 가
 .
 17.131(14.361-24.163)

(7) 43 (;)
 - : E ,
 :
 - 가 42 가 가 가 가
 . 1998 1999 (exposure measurement)
 . 1998 1999 가 ,
 . 1999 ,
 11 가 ,
 . 가 ,
 1.279(0.789-3.628) . 1998 -
 5 가
 . 가
 0.211 123.145 low, medium, high
 17.816 가(semiquantitative assess-
 ments)가

REFERENCES

(8) 44
 - : E ,
 : o-
 - 가 42 가 titative assessment)가 가
 o- . 1999 가
 , . 1999 14 가 , (exposure level)
 , 5.712 가
 0.342 21.665 가 , 1992
 , 가 6 () , , 1996
 가 가 AIHA; American Industrial Hygiene Association: White Paper-A Generic

- Exposure Assessment Standard. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1994; 55(11):1009-1012
- ANOHSC; Australia National Occupational Health and Safety Commission: Control of Workplace Hazardous Substances. Canberra, Australia: Australian Government Publishing Service, 1993.
- BOHS; British Occupational Hygiene Society: Sampling Strategies for Airborne Contaminants in the Workplace (Technical Guide No. 11) by I.G. Guest, J.W. Chessie, R.J. Gardner, and C.D. Money. Leeds, United Kingdom: H & H Scientific Consultants Ltd., 1993.
- CEN; Comite Europeen de Normalisation: Workplace Atmospheres-Guidance for the Assessment of Exposure by Inhalation of Chemical Agents for Comparison with Limit Values and Measurement Strategy (EN 689). Brussels, Belgium: Comite Europeen de Normalisation, February 1995.
- Cole CJ. Letter to Editor. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 55(9): 874-875
- Corn, M., and N.Esmen, Workplace Exposure Zones for Classification of Employee Exposures to Physical and Chemical Agents. *Am Ind Hyg Assoc J* 1979; 40(1), 47-54
- Daminano, J., A Guideline for Managing the Industrial Hygiene Sampling Function, *Am Ind Hyg Assoc J* 1989; 50(7), 366-371
- Daminano, J., Quantitative Exposure Assessment Strategies and Data in the Aluminum Company of America. *Appl Occup Environ Hyg* 1995; 10(4); 289-298
- Gomez MR. Letter to Editor. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 55(9): 875
- Hawkins, N.C., S.K. Norwood, and J.C. Rock: A Strategy for Occupational Exposure Assessment. Akron, Ohio: American Industrial Hygiene Association, 1991.
- Hewett, O., Sample Size Formulae for Estimating the True Arithmetic or Geometric Mean of Lognormal Exposure Distributions. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1995; 56(3): 219-225
- Nicas, M., B.P. Simmons, and R.C. Spear: Environmental Versus Analytical Variability in Exposure Measurements. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1991; 52(12): 553-557
- ORCI; Organization Resources Counselors, Inc.: A Proposed Generic Workplace Exposure Assessment Standard. Washington, D.C.: Organization Resources Counselors, Inc., 1992.
- Rappaport SM., Assessment of Long-Term Exposures to Toxic Substances in Air, *Ann Occup Hyg* 1991; 35(1), 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
- Rappaport SM, RH Lyles, LL Kupper, An Exposure Assessment Strategy Accounting for Within- and Between-Worker Sources of Variability. *Ann Occup Hyg* 1995; 39, 469-495,
- Scheffers TML. Letter to Editor. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 55(9): 873-874
- UKHSE; United Kingdom Health and Safety Executive: The Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Regulations and Approved Codes of Practice. London: Her Majesty's Stationery Office Publications Centre, 1988.