

## 우리나라 특수건강진단 대상물질에 대한 6개 기관의 직업적 노출 기준 비교

이상윤<sup>1</sup> · 서춘희<sup>2</sup> · 김세영<sup>2</sup> · 예병진<sup>3</sup> · 설진곤<sup>4</sup> · 손준석<sup>5</sup> · 윤종완<sup>6</sup> · 홍석우<sup>1</sup> · 류지영<sup>1</sup> · 김대환<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>인제대 해운대백병원 · <sup>2</sup>인제대 부산백병원 · <sup>3</sup>고신대 복음병원 · <sup>4</sup>좋은삼선병원

<sup>5</sup>성균관대 삼성창원병원 · <sup>6</sup>가천대 길병원

### Comparison of Occupational Exposure Limits in Six Agencies for Hazardous Substances Related Workers' Periodic Health Examination in South Korea

Sangyoon Lee<sup>1</sup> · Chun-Hui Suh<sup>2</sup> · Se-Yeong Kim<sup>2</sup> · Byeong Jin Ye<sup>3</sup> · Jngon Sul<sup>4</sup>  
Jun-Seok Son<sup>5</sup> · Jongwan Yoon<sup>6</sup> · Sukwoo Hong<sup>1</sup> · Ji Young Ryu<sup>1</sup> · Dae-Hwan Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Haeundae Paik Hospital, Inje University · <sup>2</sup>Pusan Paik Hospital, Inje University

<sup>3</sup>Gospel Hospital, Koshin University · <sup>4</sup>Good Samsun Hospital

<sup>5</sup>Samsung Changwon Hospital, Sungkyunkwan University · <sup>6</sup>Gil Hospital, Gachon University

#### ABSTRACT

**Objectives:** This study was performed in order to compare the average levels and similarity of occupational exposure limits in South Korea, the U.S., the E.U., Germany, Japan and Finland.

**Methods:** In this study, occupational exposure limits (OELs) for one hundred and seventy seven hazardous substances which are managed in the workplace by the Occupational Safety and Health Act in South Korea were matched with those of other countries. The units for the exposure limits of the same substance (identical CAS number) were unified and the exposure limits in each country were compared with threshold limit values (TLVs) of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) using a geometric mean method. Geometric similarity was calculated to assess the association by each country.

**Results:** The exposure limits according to ACGIH TLVs in South Korea, the E.U., Germany, Japan, and Finland were 148, 37, 76, 90, and 110, respectively. When using TLVs of ACGIH as a standard, the geometric mean ratios of Germany, Finland, the E.U., South Korea, and Japan were 0.79, 0.80, 0.82, 1.19, and 1.27, respectively. Geometric similarity with TLVs of ACGIH was highest in South Korea (0.75) followed by Japan (0.56), the E.U. (0.52), Finland (0.50), and Germany (0.46).

**Conclusions:** Through the comparison of levels of OELs and similarities among South Korea, the U.S., the E.U., Germany, Japan, and Finland, we could better understand the characteristics of occupational exposure limits by country.

**Key words :** occupational exposure limits, threshold limit values

#### I. 서 론

근로자들은 작업장에서 여러 유해 물질에 노출되게 되는데, 각 나라의 여러 기관들은 노출에 따른 건강의 부정적인 위험을 줄이고, 질환 발생을 예방하기 위해 직업적 노출기준을 설정하고 있다. 이들 기관들은 각 물질의 독성과 생물학적 기전에 대한 정보가 축적됨에

따라 꾸준히 개정하며 관리하고 있다(Nielsen, 2008).

영국에서 작업과 관련하여 먼분진, 석면과 같은 몇 가지 물질의 대기 중 노출기준을 1930대에 설정하였지만, 체계적 직업적 노출기준은 American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)가 Threshold Limit Values(TLVs)을 1948년에 처음 발표하였고 계속 개정되고 있다(Topping, 2001). 많은 나라에서

\*Corresponding author: Dae-Hwan Kim, Tel: 051-797-0386, E-mail: kimdh@paik.ac.kr,

Department of Occupational and Environmental Medicine, Haeundae Paik Hospital. #1435, Jwa-Dong, Haeundae-gu, Busan 612-896

Received: April 30, 2013, Revised: June 8, 2013, Accepted: June 18, 2013

는 이를 받아들여 사용되고 있으며(Ruden, 2003), 미국의 Occupational Safety and Health Branch of Labor (OSHA)는 Permissible Exposure Limits(PELs), 미국 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)는 Recommended Exposure limits(RELs), 독일의 German Research Foundation(Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG)은 Maximum Allowable Concentrations(Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen, MAK)과 Biological Tolerance Values(Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte, BATs), 유럽연합의 Scientific Committee on Occupational Exposure Limits(SCOEL) 등 각 나라의 여러 기관들은 자체적인 직업적 노출기준을 꾸준히 개발해 오고 있다.

우리나라도 1972년 노동청에서 ‘유해물질 허용농도 및 동 측정요령’을 제정할 때 57종에 물질에 대해 최초로 규정하였고, 1983년 ‘작업환경측정방법’을 제정하면서 유기용제 16종, 특정화학물질 31종 그리고 소음, 분진, 납을 포함한 50종에 대한 허용기준을 규정하였다. 이후 1986년 ‘화학물질 및 물리적 인자의 허용기준’을 별도 규정하면서 ACGIH 등 외국 기준을 참고하여 유기용제 등 274종을 추가하여 324종의 유해물질로 확대하였다. 1988년에는 원진레이온 이황화탄소 중독 사건을 계기로 373종의 유해물질을 추가하면서 총 697종이 되었다. 1998년 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출기준’으로 용어를 변경하며, 2-브로모프로판의 1종의 노출기준을 추가하였고 2002년 2월 석면의 노출기준을  $2 \text{ f/cm}^3$ 에서  $0.1 \text{ f/cm}^3$ 로 강화하였으며, 같은 해 5월에는 벤젠의 노출기준을 10 ppm에서 1 ppm으로 개정하였다. 2007년의 경우 선진외국과 차이가 큰 물질을 대상으로 노동부 연구용역 결과를 바탕으로 9종을 제정하고, 79종을 개정하였고, 안전보건공단 연구용역 결과 2008년 11종을 제정, 29종을 개정하였다. 2011년에 발암성물질정보를 ACGIH에서 Globally Harmonized System(GHS) 분류체계로 변경하였고, 2012년에는 발암성물질정보 외에 생식독성물질에 대한 유해성 정보도 추가하여 현재까지 우리나라의 노출기준은 14회 개정되었다(Chung, 2007).

본 연구는 우리나라 특수건강진단 대상물질에 대한 한국을 비롯해 미국, 독일, 핀란드, 유럽연합, 일본의 주요 6개국의 여러 기관들의 직업적 노출기준을 비교하여 국가별 수준의 정도를 평가하고 또한 노출기준의 연관성을 살펴보고자 하였다.

## II. 연구대상 및 방법

한국의 산업안전보건법 시행규칙 제82조의 2에 따른 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출기준’(MoEL, 2012)에 해당되는 702종 중 우리나라에서 특수건강진단 등으로 관리하고 있는 유해인자 177종을 대상으로 2011년에서 2012년에 발표된 다른 나라의 최근 노출 기준 중 같은 인자들을 정리하였다. 외국의 노출기준 정보 선택은 가장 많이 인용된다고 판단되는 기준으로 미국 ACGIH, 미국 OSHA, 미국 NIOSH, 유럽연합의 SCOEL, 독일의 DFG, 그리고 비교적 독립성은 갖는다고 생각되는 스웨덴, 핀란드 기준 등의 후보 중 나라별 대표성과 유사성 그리고 접근성을 기준으로 미국에서는 ACGIH(659종), 독일에서는 DFG(1,115종), 북유럽의 핀란드(760종), 유럽연합의 SCOEL(187종), 그리고 우리나라에서 많이 참고하고 있는 일본 JSOH의 기준(216종)을 포함하였다(Table 1).

CAS(Chemical Abstracts Service)번호를 통해서 기관에 따라 다르게 사용되는 물질명을 동일 물질로 인식하도록 하였다. ppm과  $\text{mg/m}^3$ 로 서로 단위가 다른 경우 다음 식을 이용하여 변환하였다.  $\text{농도}(\text{mg/m}^3) = [\text{농도}(\text{ppm}) \times \text{물질의 분자량}] / 24.45$

### 1. 기하평균 비교법(The geometric means method)

두 기관의 노출기준의 수준을 비교하기 위한 방법으로 양쪽 기관에 모두 노출기준이 있는 물질만을 선택한 후 각각 기하평균을 구한 후 한 기관을 기준으로 다른 기관의 값을 나누었을 때 몫이 구해지고 그 값이 두 기관의 차이의 지표로 삼는다(Hansson, 1998). 예를 들

**Table 1.** The lists of occupational exposure limits selected for this study

| Country     | Agency  | Year |
|-------------|---|------|
| South Korea | Ministry of Employment and Labor                                  | 2012 |
| USA         | American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) | 2011 |
| EU          | Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL)      | 2012 |
| Germany     | German Research Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) | 2012 |
| Japan       | The Japan Society for Occupational Health (JSOH)                  | 2012 |
| Finland     | Ministry of Social Affairs and Health                             | 2011 |

**Table 2.** The geometric mean of ratios and the geometric similarity of different Agency, using the ACGIH list as a comparison list

| Country(Agency)                               | Total no. of OELs | No* | Geometric mean of ratio <sup>‡</sup> | Geometric similarity |
|---|-------------------|-----|--------------------------------------|----------------------|
| South Korea(Ministry of Employment and Labor) | 702               | 148 | 1.19 (1.99/1.67)                     | 0.75                 |
| EU(SCOEL)                                     | 187               | 37  | 0.82 (7.22/5.93)                     | 0.52                 |
| Germany(DFG)                                  | 1115              | 76  | 0.79 (4.48/3.53)                     | 0.46                 |
| Japan(JSOH)                                   | 216               | 90  | 1.27 (2.15/2.74)                     | 0.56                 |
| Filand(Ministry of Social Affairs and Health) | 760               | 110 | 0.80 (2.37/1.89)                     | 0.50                 |

\* Number of substances both on the individual list and the ACGIH list.

<sup>‡</sup> Geometric mean of Individual list/Geometric mean of ACGIH list**Table 3.** Comparison of occupational exposure limits in South Korea with USA

| Substance                              | CAS no     | South Korea(Ministry of Employment and Labor, 2012) |                   |      |                   | USA(ACGIH, 2011) |                   |      |                   |
|--|------------|---|-------------------|------|-------------------|------------------|-------------------|------|-------------------|
|  |            | TWA   |                   | STEL |                   | TWA              |                   | STEL |                   |
|  |            | ppm   | mg/m <sup>3</sup> | ppm  | mg/m <sup>3</sup> | ppm              | mg/m <sup>3</sup> | ppm  | mg/m <sup>3</sup> |
| Nickel carbonyl, as Ni*                | 13463-39-3 | 0.001   | -                 | -    | -                 | 0.05             | -                 | -    | -                 |
| Dihydroxybenzene                       | 123-31-9   | -   | 2                 | -    | -                 | -                | 1                 | -    | -                 |
| Manganese & Inorganic compounds, as Mn | 7439-96-5  | -   | 1                 | -    | -                 | -                | 0.2               | -    | -                 |
| 2-Methoxyethanol                       | 109-86-4   | 5   | -                 | -    | -                 | 0.1              | -                 | -    | -                 |
| Beryllium & Compounds                  | 7440-41-7  | -   | 0.002             | -    | -                 | -                | 0.00005           | -    | -                 |
| Benzene                                | 71-43-2    | 1   | -                 | -    | -                 | 0.5              | -                 | -    | -                 |
| Fluorine*                              | 7782-41-4  | 0.1   | -                 | -    | -                 | 1                | -                 | -    | -                 |
| 1-Bromopropane                         | 106-94-5   | 25  | -                 | -    | -                 | 10               | -                 | -    | -                 |
| Cyclohexanone                          | 108-94-1   | 25  | -                 | -    | -                 | 20               | -                 | -    | -                 |
| Cyclohexane                            | 110-82-7   | 200   | -                 | -    | -                 | 100              | -                 | -    | -                 |
| Acetone                                | 67-64-1    | 500   | -                 | -    | -                 | 200              | -                 | -    | -                 |
| Ethylenimine                           | 151-56-4   | 0.5   | -                 | -    | -                 | 0.05             | -                 | -    | -                 |
| Ethyl benzene                          | 100-41-4   | 100   | -                 | -    | -                 | 20               | -                 | -    | -                 |
| Nitrogen dioxide                       | 10102-44-0 | 3   | -                 | -    | -                 | 0.2              | -                 | -    | -                 |
| Sulfur dioxide                         | 7446-09-5  | -   | -                 | 5    | -                 | -                | -                 | 0.25 | -                 |
| Carbon disulfide                       | 75-15-0    | 10  | -                 | -    | -                 | 1                | -                 | -    | -                 |
| Carbon monoxide                        | 630-08-0   | 30  | -                 | -    | -                 | 25               | -                 | -    | -                 |
| Cadmium and compounds, as Cd           | 7440-43-9  | -   | 0.03              | -    | -                 | -                | 0.01              | -    | -                 |
| Tetraethyl lead, as Pb*                | 78-00-2    | -   | 0.075             | -    | -                 | -                | 0.1               | -    | -                 |
| Toluene                                | 108-88-3   | 50  | -                 | -    | -                 | 20               | -                 | -    | -                 |
| Trichloroethylene                      | 79-01-6    | 50  | -                 | -    | -                 | 10               | -                 | -    | -                 |
| Pyridine                               | 110-86-1   | 2   | -                 | -    | -                 | 1                | -                 | -    | -                 |
| Hydrazine                              | 302-01-2   | 0.05  | -                 | -    | -                 | 0.01             | -                 | -    | -                 |
| Hexone                                 | 108-10-1   | 50  | -                 | -    | -                 | 20               | -                 | -    | -                 |
| Hydrogen sulfide                       | 7783-06-4  | 10  | -                 | -    | -                 | 1                | -                 | -    | -                 |

\*Occupational exposure limits are lower in South Korea than ACGIH

Geometric mean of ratio (Ministry of Employment and Labor/ACGIH) in this 25 substances is 2.89 (2.73/0.94)

어 A기관의 물질 I의 노출기준이 0.5 ppm이고 II의 노출기준이 8 ppm이고, B기관의 I과 II의 노출기준이 모두 1 ppm이라면 A기관의 기하평균은 2이고 B기관의 두 물질의 기하평균 1에 대해 A기관과 B기관의 전체를 비교할 때 A/B인 2가 기하평균의 비(Geometric mean ratio)가 된다. 산술평균과 기하평균을 예를 들어 비교해보면 A가 1과 1000, B가 10과 100의 값을 가지면 A와 B의 기하평균의 비는 1이지만 산술평균의 비는 5.05로 전체 수준을 비교하기 위해서는 기하평균이 유용하다.

## 2. 기하학적 유사성(Geometric similarity)

하나의 기준 기관과 다른 기관의 값들이 얼마나 유사한지 보기 위한 값으로 한 기관의 값과 다른 기관의 값의 차이의 기하평균을 의미한다. 실제로 두 리스트의 각각의 물질노출기준의 비(A/B)를 구한 후 1을 넘지 않으면 그대로 두고, 1이 넘으면 역전시킨 값(B/A)을 구하여 새로운 값인 similarity ratio를 구하여 이들의 기하평균을 구하는 방식이다. 1에 가까울수록 기준과 유사한 것을 의미하고, 0으로 가까워질수록 이질적임을 의미한다(Schenk et al., 2008). 예를 들어 A기관의 물질 I의 노출기준이 0.5 ppm이고 II의 노출기준이 8 ppm이며, B기관의 I의 기준이 80 ppm, II의 기준이 0.05 ppm이고 C기관의 I과 II의 노출기준이 모두 1 ppm이라면, A, B 기관의 물질들의 C기관에 비해 기하평균의 비는 모두 2이지만, geometric similarity는 A기관은 C기관의 물질과 비교했을 때  $0.25(\sqrt{0.5 \times 8^{-1}})$ , B기관은  $0.025(\sqrt{80^{-1} \times 0.05})$ 가 된다.

## III. 연구결과

국내에서 근로자의 건강에 영향을 줄 수 있어 특수건강진단 등으로 관리되고 있는 177개 유해인자 중 ACGIH를 기준으로 CAS번호가 일치하고 노출 기준을 비교해 볼 수 있는 물질 수는 한국이 148개, 유럽연합이 37개, 독일이 76개, 일본이 90개, 핀란드가 110개였다(Table 2).

### 1. 한국과 미국의 비교

우리나라의 '화학물질 및 물리적 인자의 노출기준'(고용노동부 고시, 제 2012-31호)이 미국(ACGIH, 2011)과 일치하는 148종 물질 중 123종은 노출기준이 동일하였고, 25종에서 차이가 있었는데 그 중 22종은 미국

의 ACGIH가 우리나라보다 낮았고, 니켈 카르보닐, 불소, 테트라알킬 연의 3종에서는 우리나라가 더 낮은 기준치를 보였다(Table 3).

### 2. 미국과 유럽연합의 비교

미국(ACGIH, 2011)와 유럽연합(SCOEL, 2012)에서는 37종의 물질이 CAS번호가 일치하였고, 노출기준이 동일한 물질은 15종, 미국의 기준이 높은 물질은 니트로글리세린, 니트로벤젠, 디메틸포름아미드, 디에틸에테르,  $\alpha$ -디클로로 벤젠, 아닐린, 아세트산 2-에톡시에틸, 2-에톡시에탄올, 크실렌, 트리클로로메탄, 페놀, 핵산, 황산, 포스핀의 14종, 유럽연합의 기준이 높은 물질은 시클로핵산, 아세톤, 에틸벤젠, 이황화탄소, 초산 2-메톡시에틸, 톨루엔, 퍼클로르에틸렌, 헵탄의 8종이었다(Table 4).

### 3. 미국과 독일, 일본, 핀란드의 비교

미국과 독일과는 동일 물질로 모두 노출기준을 가지고 있는 물질이 76종이었고, 그 중 25종은 미국기준이 더 높은 수치였고, 34종은 동일하였으며, 17종은 미국의 기준이 독일보다 더 낮은 것으로 나타났다. 미국과 일본과의 비교에서는 15종은 미국 기준값이 높은 수치였고, 44종은 동일하였으며, 31종은 일본기준이 더 높은 수치였다. 미국과 핀란드의 비교에서는 미국 노출기준이 높은 수치인 물질은 40종, 동일한 물질은 49종, 핀란드보다 미국이 노출기준이 낮은 값의 물질은 21종이었다(Table 5).

노출 수준을 비교하기 위한 기하평균의 비는 미국(1)을 기준으로 하였을 때 일본(1.27), 한국(1.19)은 더 높았고, 유럽연합(0.82), 핀란드(0.80), 독일(0.79)의 순서로 노출기준 값이 낮았다. 유사성을 비교하기 지표인 Geometric similarity는 미국과 비교하였을 때 한국(0.75), 일본(0.56), 유럽연합(0.52), 핀란드(0.50), 독일(0.46)의 순서로 가까운 유사성을 나타내었다(Table 2).

## IV. 고 찰

여러 나라의 기관들은 직업적 노출기준이 정의 방법적인 요인부터 기술적인 요소나 사회경제적인 이유로 다르게 설정되었다. 같은 연구를 바탕으로 하여도 다른 임상 효과를 고려하여 측정되기도 하는데, 산화에틸렌의 경우, 독일에서는 발암성에 대해 우선시하는 반면 영국에서는 자연유산이나 태아사망에 대한 역

**Table 4.** Comparison of occupational exposure limits in USA with EU

| Substance              | CAS no    | USA (ACGIH, 2011) |                   |      |                   | EU (SCOEL, 2012) |                   |      |                   |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------------|------|-------------------|------------------|-------------------|------|-------------------|
|                        |           | TWA               |                   | STEL |                   | TWA              |                   | STEL |                   |
|                        |           | ppm               | mg/m <sup>3</sup> | ppm  | mg/m <sup>3</sup> | ppm              | mg/m <sup>3</sup> | ppm  | mg/m <sup>3</sup> |
| Nitroglycerin*         | 55-63-0   | 0.05              | -                 | -    | -                 | 0.01             | -                 | -    | -                 |
| Nitrobenzene*          | 98-95-3   | 1                 | -                 | -    | -                 | 0.2              | -                 | -    | -                 |
| Dimethylformamide*     | 68-12-2   | 10                | -                 | -    | -                 | 5                | -                 | -    | -                 |
| Diethyl ether*         | 60-29-7   | 400               | -                 | -    | -                 | 100              | -                 | -    | -                 |
| o-Dichlorobenzene*     | 95-50-1   | 25                | -                 | -    | -                 | 20               | -                 | -    | -                 |
| Cyclohexane            | 110-82-7  | 100               | -                 | -    | -                 | 200              | -                 | -    | -                 |
| Aniline & homologues*  | 62-53-3   | 2                 | -                 | -    | -                 | 0.5              | -                 | -    | -                 |
| Acetone                | 67-64-1   | 200               | -                 | -    | -                 | 500              | -                 | -    | -                 |
| 2-Ethoxyethyl acetate* | 111-15-9  | 5                 | -                 | -    | -                 | 2                | -                 | -    | -                 |
| 2-Ethoxyethanol*       | 110-80-5  | 5                 | -                 | -    | -                 | 2                | -                 | -    | -                 |
| Ethyl benzene          | 100-41-4  | 20                | -                 | -    | -                 | 100              | -                 | -    | -                 |
| Carbon disulfide       | 75-15-0   | 1                 | -                 | -    | -                 | 5                | -                 | -    | -                 |
| 2-Methoxyethyl acetate | 110-49-6  | 0.1               | -                 | -    | -                 | 1                | -                 | -    | -                 |
| Xylene*                | 1330-20-7 | 100               | -                 | -    | -                 | 50               | -                 | -    | -                 |
| Toluene                | 108-88-3  | 20                | -                 | -    | -                 | 50               | -                 | -    | -                 |
| Trichloromethane*      | 67-66-3   | 10                | -                 | -    | -                 | 2                | -                 | -    | -                 |
| Perchloroethylene      | 127-18-4  | 25                | -                 | -    | -                 | 20               | -                 | -    | -                 |
| Phenol†                | 108-95-2  | 5                 | -                 | -    | -                 | 2                | -                 | -    | -                 |
| Hexane*                | 110-54-3  | 50                | -                 | -    | -                 | 20               | -                 | -    | -                 |
| Heptane                | 142-82-5  | 400               | -                 | -    | -                 | 500              | -                 | -    | -                 |
| Sulfuric acid*         | 7664-93-9 | -                 | 0.2               | -    | -                 | -                | 0.05              | -    | -                 |
| Phosphine*             | 7803-51-2 | 0.3               | -                 | -    | -                 | 0.1              | -                 | -    | -                 |

\*Occupational exposure limits are lower in E.U than ACGIH  
 Geometric mean of ratio(SCOEL/ACGIH) in this 22 substances is 0.72(5.50/7.68)

**Table 5.** Comparison of occupational exposure limits in U.S. with Germany, Japan and Finland

| Germany<USA(n=25)                    | Japan<USA(n=15)                    | Finland<USA(n=40)               |
|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Nitroglycerin (0.2)*                 | Gasoline (0.33)†                   | Nitroglycerin(0.6)‡             |
| Dimethylformamide (0.5)              | Glutaraldehyde (0.6)               | Nitrobenzene(0.2)               |
| o-Dichlorobenzene (0.4)              | 4,4'-Diamino-3,3-dichlorodipheny   | Dinitrotoluene(0.1)             |
| Methylene bisphenyl isocyanate (0.9) | Imethane (0.045)                   | Dimethylformamide (0.5)         |
| Methyl chloroform (0.57)             | 1,4-Dioxane(Diethyl dioxide) (0.5) | Diethyl ether (0.25)            |
| 2-Butoxyethanol (0.5)                | Cyclohexanol (0.5)                 | 1,4-Dioxane                     |
| 2-Butoxyethanol acetate (0.5)        | Aniline (0.5)                      | (Diethyl dioxide) (0.5)         |
| Carbon tetrachloride (0.1)           | Xylene (0.5)                       | o-Dichlorobenzene (0.4)         |
| 2-Ethoxyethyl acetate (0.4)          | Trichloromethane (0.3)             | Methyl ethyl ketone (0.4)       |
| 2-Ethoxyethanol (0.4)                | Formaldehyde (0.33)                | Methyl chloroform (0.29)        |
| Ethyleneglycol (0.25)                | Hexane (0.8)                       | 1,3-Butadiene (0.5)             |
| Chlorodiphenyls (42% chlorine) (0.1) | Heptane (0.5)                      | Carbon tetrachloride (0.2)      |
| Chlorodiphenyls (54% chlorine) (0.1) | Nickel(Metal) (0.13)               | 2-Ethoxyethyl acetate (0.4)     |
| Isoamyl alcohol (0.2)                | Antimony (0.2)                     | 2-Ethoxyethanol (0.4)           |
| Trichloromethane (0.05)              | Arsenic & Inorganic compounds,     | Ethyleneglycol (0.5)            |
| Copper(Dust & mist, as Cu) (0.1)     | as As (0.3)                        | Ethylene glycol dinitrate (0.6) |
| Nickel(Metal) (0.01)                 | Benzotrchloride (0.5)              | Biphenyl chloride               |
| Manganese & Inorganic compounds,     |                                    | (42% chlorine) (0.5)            |
| as Mn (0.1)                          |                                    | Dichloroethylene (0.1)          |
| Aluminum(Metal dust) (0.4)           |                                    | Xylen (0.5)                     |
| Zirconium compounds, as Zr (0.2)     |                                    | Chlorobenzene (0.5)             |
| Sodium cyanide (0.76)                |                                    | Trichloromethane (0.2)          |
| Sulfuric acid (0.5)                  |                                    | Phenol (0.4)                    |
| Hydrogen cyanide (0.4)               |                                    | Phthalic acid anhydride         |
| Nitrogen oxide(0.02)                 |                                    | (0.03)                          |
| Phosphine (0.33)                     |                                    | Hexane (0.4)                    |

\*Quotient Germany/U.S. † Quotient Japan/U.S. ‡ Quotient Finland/U.S

학적 연구결과에 따라 노출수준을 설정하였다. 또한 쥐를 이용한 동일한 실험을 바탕으로 영국에서는 백혈병과 고환암에 비중을 두지만 독일에서는 그 외에 뇌암까지 포함하여 양-반응관계에 따라 산화에틸렌의 기준을 결정한다. 또한 임상적인 반응의 결과의 기준에 따라 달라지기도 하는데 북유럽의 국가들은 자극증상을 일으키는 수준을 기준으로 하는 반면(Homberg 1989; Lundberg 1991), 다른 기관들은 자극반응보다 더 심한 임상증상의 수준을 반영하여 기준을 삼기도 한다. 예를 들면 트리클로로에틸렌의 경우 스웨덴이나 핀란드에서는 자극반응을 기준으로 10 ppm인 반면 영국에서는 중추신경계 반응을 유발하는 100 ppm으로 노출 기준을 설정한다. 또한 아크릴로니트릴, 벤젠과 같이 유전독성이나 감작물질로 역치를 정하기 어려운 경우 나라에 따라 기술적인 고려나 사회경제적인 요인을 포함하여 다르게 설정될 수 있다(Seeley 등, 2001).

여러 기관의 수준을 평가하는 방법으로 기하평균을 이용한 방법을 이용하였는데, 중앙값이나 산술평균에 비해 기하평균은 두 기관 A와 B의 물질들이 있다고 할 때 A/B나 B/A의 비를 통해 쉽게 비교가 되지만, 산술평균은 어느 쪽이 분자가 되느냐에 따라 높고 낮은 수준이 결정될 수 있기 때문에 만족스럽지 못하다(Hansson, 1998). Geometric similarity는 한 기관과 다른 기관의 차이의 기하평균을 의미하는 개념으로 범위는 0에서 1까지이며 값이 1이라면 한 기관과 다른 기관의 노출기준이 동일함을 의미하고 0에 가까워질수록 차이가 남을 의미한다. 기하평균의 비가 두 기관의 노출기준의 높고 낮음을 반영하는 반면, geometric similarity는 두 기관의 유사성의 정도를 평가하는 지표로 사용되었다. 이번 연구에서는 미국 ACGIH를 기준으로 비교하였는데, 기준 기관이 달라짐에 따라 매칭되는 물질의 종류 및 개수가 달라져 수치는 조금씩 변화할 가능성이 있다.

ACGIH의 TLV는 1942년 허용농도를 처음 제정하고, 1946년 144종에 대한 'Maximum Allowable Concentration'을 처음 발표한 후, 1948년 'Threshold Limit Values'로 용어를 변경하였고, 1962년 'Documentation of TLVs'의 첫 출판 후 현재에 이르고 있으며(Ziem, 1989) 전 세계적으로 많은 행정기관에서 사용되고 있다(Piney, 1998; Hansson, 1998). 하지만, 많은 사례에서 과학적 자료의 적절성이 충분치 않은 점과 자료의 질에 대한 비판이 있어왔다(Castleman & Ziem,

1988; Ziem & Castleman, 1989). 또한 경제적이고 접근성이 용이한 자료를 일차적 바탕으로 하여 건강에 부정적인 결과를 예방하기에는 불완전하다는 지적도 제기되었다(Roach, 1990; Rappaport, 1993; Hansson, 1998; Ruden 2003). 미국의 행정부처인 OSHA는 법적인 강제성을 가지는 PEL을 발표하고 있고, NIOSH도 OSHA와 긴밀히 협조하며 REL을 제시하고 있다(Perkins et al., 1979).

독일은 German Research Foundation(DFG)에서 1958에 MAK를 처음 발표하였지만 대부분 ACGIH기준에 의존했고, 1969년부터 자체적인 자료와 평가를 통해서 Health-based OELs를 만들어오고 있고, 현재는 과학적인 저술이나 보고서를 넓게 이용하고 필요하다면 발표되지 않은 내부 회사의 자료도 이용하고 있다(Stouten et al., 2008). 북유럽에서는 스웨덴이 1969년 직업적 노출기준을 발표하였고, 핀란드는 1972년 Ministry of Social Affairs and Health에서 OELs를 처음 발표하였는데, 미국, 스웨덴과 독일의 기준치 중 가장 낮은 기준을 선택하는 방식으로 정하였다(Holmberg et al., 1977).

유럽 공동체는 1978년 근로자의 건강 보호를 위한 제도와 규정을 일치시키는 Action programme을 발표한 후 1995년에 SCOEL이라는 공식적인 기구를 설립하고 직업적 노출기준을 제시해 오고 있는데 오로지 과학적 증거에 기반하여 건강에 기초한 관점과 실용주의적 직업적 노출기준의 두 가지 관점으로 기준을 설정하고 있으며(Topping, 2001), 많은 유럽 국가의 노출기준을 포함하며 점차 비슷한 수준으로 설정되고 있다(Schenk et al., 2008).

일본은 Japan Society for Occupational Health(JSOH)에서 노출기준을 제시하고 있고 또한 Ministry of Health, Labor and Welfare(MHLW)에서 Administrative Control(AC) level을 제시하고 있다. AC level은 법적인 강제성이 있고, 작업환경의 관점에서 관리되고 있는 반면, JSOH에서 제시하는 Recommended OELs은 개별적 근로자의 부정적인 영향을 예방하려는 측면의 성격을 가지는데 ACGIH의 기준을 많이 참조하지만 최근의 국내 문헌까지 고려하여 자국의 관점에서 정하려고 노력하고 있다(Takahasi et al., 2006).

우리나라의 노출기준은 일본산업위생학회의 기준도 일부 참고하였지만, 주로 미국 ACGIH의 기준을 많이 반영하였고 일부는 OSHA의 기준을 참고하였다. 2-브로모프로판의 독성을 밝혀 노출기준을 최초로 정

하기도 하였고, 2002년에 석면의 노출기준을 종류에 관계없이 2개/cm<sup>3</sup>에서 0.1개/cm<sup>3</sup>로, 벤젠의 노출기준을 10 ppm에서 1 ppm으로 강화되었고, 2012년에는 생식세포 변이원성 및 생식독성에 대한 유해정보를 추가하며 지속적으로 개정을 하며 발전하여 왔다. 또한 산업안전보건법 시행령 제 31조에 따라 납, 니켈 및 포름알데히드, 노말렉산 등 13종은 '허용기준 이하 유지 유해인자'로 설정하여 행정적인 규제가 가능하다.

직업적 노출기준은 기관 마다 정의가 다르고, 산업 분포에 따른 주요 관심 물질 및 생의학적 범위의 설정, 연구역량, 사회경제적 요소에 의한 정책적 결정 등에 따라 다르게 설정되고 있는데 실제로 위험으로부터 안전한 명확한 값이라고 단정 짓기는 어려워 꾸준한 연구와 고찰로 지속적인 개정이 필요하다. 우리나라는 일부 국가의 정보를 주로 많이 의지하고 있는데 외국의 다양한 정보를 활용하여 보완사항을 제시하는 것은 중요하다. 그리고, 노출기준의 설정뿐 아니라 실제 작업현장에서 관리와 운용이 중요하다고 할 수 있는데, 이를 위해 선진국에 비해 미미한 숫자인 '허용기준 이하 유해인자'의 범위를 늘리고 노출기준 설정 유해인자들도 적절히 관리될 수 있는 방안 및 대책에 대한 노력이 필요하다.

이번 연구의 한계점은 실제 산업장에서 많이 사용되고 우리나라에서 작업환경측정 및 근로자특수검진의 규제에 적용받는 유해물질로 한정으로 평가하였는데, 각 기관의 전체 대상물질로 한다면 더욱 세밀하고 의미 있는 해석이 가능할 것이다. 또한, 각 기관의 시간에 따른 노출기준의 살펴볼 수 있다면 변화의 경향성을 살펴볼 수 있으리라 예상된다.

지금까지 우리나라의 직업적 노출기준을 개별적으로 비교 평가한 사례는 많이 있었지만, 전체적인 수준으로 평가해 본 연구는 없었다는 측면에서 이번 연구는 의의가 있고, 또한 유럽의 각국들은 미국의 자료를 바탕으로 자체적인 자료와 관점으로 발전해 가는 것을 알 수 있었다.

## V. 결 론

본 연구는 근로자들의 건강에 영향을 미치는 우리나라의 유해인자의 노출기준이 다른 나라와 비교하여 어느 정도 수준인지 평가하고, 서로 얼마나 유사한지 살펴보기 위해 진행하였다.

우리나라의 직업적 관리하의 177개 유해인자 중

ACGIH(미국)를 기준으로 일치하는 물질 수는 한국이 148개, 유럽연합이 37개, 독일이 76개, 일본이 90개, 핀란드가 110개였으며, 노출 수준을 비교하기 위한 기하평균의 비는 미국(1)을 기준으로 하였을 때 일본(1.27), 한국(1.19)은 더 높았고, 유럽연합(0.82), 독일(0.79), 핀란드(0.80), 의 순서로 노출 기준값이 낮았다. 유사성을 비교하기 지표인 Geometric similarity는 미국과 비교하였을 때 한국(0.75), 일본(0.56), 유럽연합(0.52), 핀란드(0.50), 독일(0.46)의 순서로 가까운 유사성을 나타내었다.

우리나라와 유럽의 여러 나라들의 직업적 노출기준은 미국 ACGIH의 기준을 많이 참고하여 발전하여 왔지만, 유럽의 나라들은 자체의 설정 기준을 설정하고 미국보다 더 엄격한 기준을 설정하며 발전하고 있다. 따라서, 유럽의 직업적 노출기준도 더욱 관심을 가지고 평가해 볼 필요가 있으며, 우리나라도 노출기준에 대한 정의 설정과 자체적인 연구결과와 노력으로 여러 기술적인 접근에 대한 모색, 그리고, 사회경제적인 요인의 고려까지 포함하여 직업적 노출기준의 발전의 고민이 필요하다.

## 감사의 말씀

본 논문은 2011년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임(This work was supported by Grant from Inje University, 2011)

## 참고문헌

- Castleman BI, Ziem GE. Corporate influence on threshold limit values. *Am J Ind Med.* 1988;13(5):531-559
- Chung EK, A Review on chemical occupational exposure limits in Korea, *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2007;17(2):160-165
- Hansson SO. Setting the limit: Occupational health standards and the limits of science. Oxford University Press, USA; 1998. p. 123-124
- Holmberg B, Lundberg P. Assessment and management of occupational risks in the nordic (scandinavian) countries. *Am J Ind Med.* 1989;15(6):615-626
- Holmberg B, Winell M. Occupational health standards: An international comparison. *Scand J Work Environ Health.* 1977:1-15
- Lundberg P. The nordic expert group, an inter-nordic project

- for assessment of occupational risks. *Sci Total Environ.* 1991;101(1):17-24
- Ministry of Employment and Labor. Exposure limits for Chemical Substances and Physical Agents(MoEL Public Notice No. 2012-31); 2012. p. 6-33
- Nielsen GD, Øvrebø S. Background, approaches and recent trends for setting health-based occupational exposure limits: A minireview. *Regulatory Toxicology and Pharmacology.* 2008;51(3):253-269
- Perkins JL, Rose VE. Occupational health priorities for health standards: The current NIOSH approach. *Am J Public Health.* 1979 May;69(5):444-448
- Rappaport S. Threshold limit values, permissible exposure limits, and feasibility: The bases for exposure limits in the united states. *Am J Ind Med.* 1993;23(5):683-694
- Roach S, Rappaport S. But they are not thresholds: A critical analysis of the documentation of threshold limit values. *Am J Ind Med.* 1990;17(6):727-753
- Rudén C. Scrutinizing ACGIH risk assessments: The trichloroethylene case. *Am J Ind Med.* 2003;44(2): 207-213
- Schenk L, Hansson SO, Rudén C, Gilek M. Are occupational exposure limits becoming more alike within the european union? *Journal of Applied Toxicology.* 2008;28(7):858-866
- Seeley M, Tonner-Navarro L, Beck B, Deskin R, Feron V, Johanson G, et al. Procedures for health risk assessment in europe. *Regulatory Toxicology and Pharmacology.* 2001;34(2):153-169
- Stouten H, Ott H, Bouwman C, Wardenbach P. Reassessment of occupational exposure limits. *Am J Ind Med.* 2008;51(6):407-418
- Takahashi K, Higashi T. The development and regulation of occupational exposure limits in japan. *Regulatory Toxicology and Pharmacology.* 2006;46(2):120-125
- Topping M. Occupational exposure limits for chemicals. *Occup Environ Med.* 2001;58(2):138-144
- Ziem GE, Castleman BI. Threshold limit values: Historical perspectives and current practice. *Journal of Occupational and Environmental Medicine.* 1989;31(11): 910-918