

작업환경측정 자료를 이용한 CNC공정의 유해물질 노출 특성

이재환 · 박동욱¹ · 하권철*

창원대학교 보건위생학과, ¹한국방송통신대학교 환경보건학과

Exposure Characteristics of Chemical Hazards in Metalworking Operations using an Employee Exposure Assessment Database

Jaehwan Lee · Donguk Park¹ · Kwonchul Ha*

Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University

¹Department of Environmental Health, Korea National Open University

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study is to identify the kinds and exposure levels of health hazards in the metalworking process in relation to acute poisoning accidents caused by methanol in 2016.

Methods: The number of industries, workplaces, exposed workers, regional distribution, and exposure level of health hazards in metalworking process were investigated based on employee exposure assessment database provided by KOSHA (the Korea Occupational Safety and Health Agency), which was collected from workplace hazard evaluation programs in Korea. Exposure metrics for methanol were assessed by RCR (risk characterization ratio).

Results: The numbers of processes, workplaces, and exposed workers of metalworking, which include CNC (computer numerical control) were 25, 14,405, and 169,102 respectively. The numbers of samples of chemical hazards including methanol were 91,325, and it was found that workers in metalworking were exposed to 249 kinds of chemical hazards. There were 16 kinds of special controlled substances including beryllium. It is estimated that the number of workplaces involving CNC process was 2,537, and the number of exposed workers was 27,976. In CNC process, the total number of workplaces handling methanol was 36, and 298 workers were estimated to be exposed. There was no exceeded that surpassed the OEL and 49% of samples were below the limit of detection. Methanol exposure concentrations in Gyeonggido Province were statistically significantly higher than in other areas ($p < 0.0001$).

Conclusions: In the metalworking process including CNC, there is exposure to a wide variety of health hazards. There was no sample exceeding the OEL for methanol. Therefore, it is necessary to recognize the limits of the employee exposure assessment system and urgently improve measures to prevent the occurrence of events like methanol poisoning.

Key words: exposureassessment, health hazard, metal working operation, methanol

I 서 론

금속가공(metalworking) 공정은 공구를 이용하여 금속 제품을 다듬고, 깎고, 뿔고, 절단하는 등 가공하는 작업을 말한다. 공정 중 열과 부스러기(chip)가 발생하여 대부분의 금속가공 공정이 냉각, 부스러기 제


거, 윤활작용이 필수적으로 요구되며, 냉각과 윤활작용을 위해 금속가공유(metalworking fluids, MWF)가 사용된다.


MWF는 금속인 기계공구를 이용하여 금속 기계제품을 다듬거나 자르거나 깎거나 파내는 등의 작업을 부드럽게(lubricating)하고, 냉각시킨 다음, 부산물인 금속 칩


*Corresponding author: Kwonchul Ha, Tel: 055-213-3553, E-mail: kcha@changwon.ac.kr

Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongnam 51140

Received: June 2, 2018, Revised: June 15, 2018, Accepted: June 16, 2018

 Jaehwan Lee <https://orcid.org/0000-0002-9126-556X>

 Donguk Park <https://orcid.org/0000-0003-3847-7392>

 Kwonchul Ha <https://orcid.org/0000-0001-7014-9466>

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.

을 제거하는 액체 화학물질이다. MWF는 기유(base oil)에 물을 혼합한 합성(synthetic), 준합성(semi-synthetic), 수용성(soluble)과 물이 들어가지 않는 비수용성(straight) 등 2가지로 분류하는 것이 일반적이다(Park et al., 2013).

MWF를 선정할 때에는 금속가공유의 기능성뿐 아니라 여러 가지 영향(유해성, 오염 등)들을 고려하지 않으면 사용 이후의 과정에서 매우 중대한 건강상의 장해나 오염에 대한 영향을 초래할 수 있다(Park et al., 2008). MWF의 노출로 인해 발생할 수 있는 건강상의 장해는 암, 호흡기질환, 피부질환으로 알려져 있으며, 암 발생 부위는 피부와 소화기계통의 조직이며, MWF 노출과 유의한 암 발생 위험이 있는 조직은 직장, 식도, 췌장, 담낭, 방광 등이다(Park et al., 2007).

MWF 내 발암물질로는 기유 중 함유물질인 다핵방향족 탄화수소와 첨가제로 사용되는 아민류(니트로소아민 등)가 주요 물질로 추정되며, 후두암, 직장암, 췌장암, 피부/음낭암, 방광암 등의 발생과 상당한 관련성이 있다고 보고하였다. 또한 MWF를 취급하는 작업은 대부분 수작업으로 접촉성 피부염, 모낭염, 유성여드름, 색소 이상 등의 피부질환을 발생하는 것으로 보고 있다(Park et al., 2014).

본 연구는 안전보건공단의 2014년 작업환경측정 데이터베이스(DB)를 사용하였으며, ‘금속가공’ 키워드를 통해 금속가공과 관련 가능성이 높은 공정을 선택하여, 금속가공 관련 공정, 특히 메탄올의 급성중독 사고와 관련된 CNC공정에서 근로자가 노출되는 화학적 유해인자와 근로자 노출실태 등 특성을 알아보려고 한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구대상

작업환경 지정측정기관에서 사업장을 대상으로 작업환경 측정을 수행 한 후 고용노동부 장관에게 보고하면, 안전보건공단(Korea Occupational Safety & Health Agency, KOSHA)에서는 데이터베이스(DB)로 보관한다. DB 중 2014년도 자료를 근거로 ‘금속가공’ 키워드를 통해 금속가공 관련 공정을 분류하였다. 25개의 금속가공 관련 공정이 확인되었으며, 25개의 금속가공 관련 공정의 전체 시료 수는 141,167개, 사업장 수는 14,405곳, 화학적 유해인자의 노출 근로자 수는 169,102명으로 추정된다.

2. 연구방법

(1) 작업환경측정 DB 활용

2014년 작업환경측정 DB를 활용하여 다음의 3단계 과정을 거쳐 금속가공 관련 공정을 확인하고 사용되는 화학물질 및 작업자의 노출특성을 파악하였다. 1 단계는 금속가공 용도(윤활 및 냉각 등)에 해당하는 공정을 종합하고, 공정을 평가하여 금속가공 관련 정도를 ‘높음’, ‘가능성 있음’, ‘가능성 없음’의 3개 그룹으로 분류하였다. 2단계는 금속가공 관련 정도가 ‘높음’ 및 ‘가능성 있음’의 2종류의 공정들을 대상으로 금속가공과 관련이 높은 절삭유, 에탄올, 메탄올 중 2개 이상 화학물질을 사용하는 것으로 조사된 공정을 추출하고 이 공정에서 사용되는 모든 화학물질을 정리하였다. 3단계는 2단계에서 확인된 화학물질 중 금속가공 관련성이 높은 화학물질 3종류와 본 연구에서 추정된 금속가공 관련 공정의 화학물질을 사용하는 사업장 수와 노출되는 근로자 수를 종합하여 비교하였다.

(2) 위험특성비

금속가공 공정과 관련한 법규 및 제도, 참고문헌 고찰을 바탕으로 금속가공 관련 25개 공정의 DB를 기초로 공정별 화학물질 분포를 확인하였으며, 그 중 CNC가공 공정 유해인자의 노출특성을 알아보고 그 위험성을 평가하기 위해서 작업환경측정 결과 DB를 통해 얻을 수 있는 노출 관련 정보를 위험특성비(Risk Characterization Ratio, RCR)로 나타내었다(Ha, 2007).

RCR은 Eq. 1.과 같이 측정값을 노출기준으로 나누어 구하며, 측정치가 검출한계(Limit of detection, LOD)미만일 때, 노출기준의 10% 미만일 때, 노출기준의 50% 미만일 때, 노출기준의 100% 미만일 때, 노출기준 초과 등 5단계로 구분하였다.

$$RCR = \left(\frac{\text{Exposure Concentration}}{\text{OEL}} \right) \times 100 \dots\dots \text{Eq. 1.}$$

작업환경측정 자료를 Microsoft Excel 2007, Sigma Plot 10.0 for Window, SPSS 17.0 for Window를 이용하여 기술통계 자료를 제시하였으며, 자료의 분포, 교차분석, ANOVA 등의 통계분석을 하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 금속가공 관련 공정의 노출특성

DB에서 ‘금속가공’과 관련한 키워드를 이용하여 25개 공정을 확인하였다. 각 공정별 작업환경측정의 결과 요약은 Table 1과 같다. 전체 시료 수는 141,167개로 파악되었으며, 사업장수는 14,405곳, 노출근로자수는 169,102명으로 추정되며, 작업환경측정 대상인 화학적 유해인자의 시료 수는 공정별 누적합계 91,325

건, 화학적 유해인자는 249종(중복)으로 나타났다. 그리고 CNC가공 공정은 전체 시료 수는 15,725개, 사업장 수는 2,537곳, 화학적 유해인자의 노출 근로자 수는 27,976명으로 추정되며, 작업환경측정 대상인 화학적 유해인자의 시료 수는 9,121개, 화학적 유해인자는 78종으로 나타났다.

25개의 공정 중 가장 많은 사업장이 포함된 공정은 기타가공(KOSHA code 19032)으로 해당 사업장은 4,960곳이고, 노출근로자는 9,099명으로 추정되며, 화

Table 1. Summary of exposure assessment results in 25 metalworking processes

| Process | Process code (KOSHA) | No. of total business places | No. of samples | Chemical hazard | | | |
|--------------------------|----------------------|------------------------------|----------------|------------------------|--------------------------|----------------|------------------|
| | | | | No. of business places | No. of exposed employees | No. of samples | No. of chemicals |
| Drawing | 15004 | 139 | 788 | 78 | 711 | 319 | 29 |
| Forming by rolling | 15008 | 78 | 438 | 70 | 476 | 204 | 9 |
| Border process | 16016 | 27 | 158 | 15 | 251 | 87 | 18 |
| Shaving | 18003 | 3 | 11 | 3 | 15 | 6 | 3 |
| Polishing | 18012 | 113 | 706 | 98 | 649 | 462 | 55 |
| Cutting | 19013 | 90 | 708 | 69 | 772 | 300 | 22 |
| Surface grinding | 19017 | 83 | 408 | 78 | 425 | 279 | 37 |
| Cylinder grinding | 19018 | 43 | 319 | 36 | 587 | 215 | 29 |
| Lathe | 19022 | 749 | 3,412 | 604 | 3,158 | 1,781 | 52 |
| Milling | 19024 | 552 | 2,557 | 445 | 3,854 | 1,645 | 73 |
| Shapping | 19026 | 1 | 7 | 1 | 10 | 2 | 1 |
| Side milling | 19028 | 18 | 74 | 10 | 59 | 40 | 15 |
| Metalworking | 19029 | 6 | 32 | 3 | 64 | 20 | 11 |
| Mechanical working | 19030 | 2,508 | 21,471 | 2,195 | *47,767 | 12,652 | 117 |
| Mechanical working & A/S | 19031 | 667 | 5,062 | 531 | *15,420 | 2,944 | 79 |
| Other processing | 19032 | 4,960 | 49,369 | 3,658 | *9,099 | 31,866 | 209 |
| Base processing | 19033 | 985 | 11,307 | 611 | *16,968 | 6,761 | 162 |
| CNC | 19037 | 2,537 | 15,725 | 2,252 | 27,976 | 9,121 | 78 |
| N/C | 19038 | 710 | 4,226 | 574 | *6,919 | 2,211 | 49 |
| MCT | 19039 | 579 | 3,303 | 525 | 4,779 | 1,823 | 43 |
| Double-sided processing | 19065 | 5 | 21 | 3 | 22 | 11 | 4 |
| Washing removerl | 28000 | 69 | 1,492 | 56 | 7,782 | 1,357 | 77 |
| Cleaning | 28045 | 1,889 | 15,605 | 1,625 | *13,975 | 13,508 | 152 |
| Methanol washing | 28051 | 44 | 153 | 43 | 249 | 127 | 12 |
| Organic solvent cleaning | 28052 | 396 | 3,815 | 385 | *7,115 | 3,584 | 102 |
| Total | | 17,251 (14,405) | 141,167 | 13,968 (12,042) | 169,102 | 91,325 | (249) |

* Estimated number of exposed workers: Work environment measurement DB the number of workers multiplied by the average number of workers in other processes

Table 2. 7 Classifications of labor force at business place in metalworking process

| Classification | No. of business places | No. of samples | Chemical hazard factor | | |
|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------|
| | | | No. of business places | No. of samples | No. of chemicals |
| <10 workers | 4,432 | 22,766 | 3,850 | 15,035 | 166 |
| <50 workers | 6,715 | 46,115 | 5,421 | 27,170 | 188 |
| <100 workers | 1,709 | 21,214 | 1,416 | 13,634 | 180 |
| <300 workers | 1,151 | 24,741 | 991 | 16,393 | 167 |
| <500 workers | 172 | 6,776 | 154 | 4,381 | 110 |
| <1,000 workers | 129 | 9,502 | 119 | 7,499 | 134 |
| >1,000 workers | 97 | 10,053 | 91 | 7,213 | 118 |
| Total | 14,405 | 141,167 | 12,042 | 91,325 | - |

Table 3. Classification of chemical substances in the metalworking process according to the Industrial Safety and Health Law

| Chemical | No. of samples | Authorized chemicals | Specially hazardous chemical | Substance of permissible exposure limits |
|--|----------------|----------------------|------------------------------|--|
| Beryllium & compounds | 1 | ○ | | |
| Arsenic & inorganic compounds | 62 | ○ | | |
| Vinyl chloride | 21 | ○ | | |
| Chromium(VI)compounds | 2 | | ○ | ○ |
| Lead and Inorganic compounds | 547 | | ○ | ○ |
| Nickel(Insoluble Inorganic compounds) | 347 | | ○ | ○ |
| Benzene | 183 | | ○ | ○ |
| Cadmium and compounds | 159 | | ○ | ○ |
| Chromium(VI)compounds(Water insoluble inorganic compounds) | 47 | | ○ | ○ |
| Chromium(VI)compounds(Water soluble) | 62 | | ○ | ○ |
| Lead chromate | 3 | | ○ | ○ |
| Trichloroethylene | 1026 | | ○ | ○ |
| Formaldehyde | 355 | | ○ | ○ |
| 1-Bromopropane | 315 | | ○ | |
| Carbon tetrachloride | 68 | | ○ | |
| Ethylene oxide | 77 | | ○ | |
| Antimony trioxide | 42 | | ○ | |
| Epichlorohydrin | 3 | | ○ | |
| Sulfuric acid | 504 | | ○ | |
| Dimethylformamide | 47 | | | ○ |
| Toluene-2,4-diisocyanate(TDI) | 40 | | | ○ |
| n-Hexane | 914 | | | ○ |

학적 유해인자의 시료 수는 31,866건(전체시료 49,369개의 64.5%)이었으며, 화학적 유해인자의 종류는 209종으로 확인되었다. 금속가공 공정이 있는 사업장에 대해 근로자 규모에 따른 분류는 Table 2와 같다. 10인~50인 미만의 규모에서 6,715개소 사업장, 46,115건의 시료

수로 가장 높은 빈도를 차지하고 있으며, 10인 미만의 사업장이 다음 순서로 주로 중소기업임을 알 수 있다. 또한 취급하고 있는 화학물질에 대한 산업안전보건법상 분류는 Table 3과 같다. 허가대상 유해인자 3종, 특별관리물질 16종, 허용기준 이하 유지대상 유해인자 13종

이 작업자에게 노출되고 있는 것으로 나타났으며, 그 중 트리클로로에틸렌의 시료 수가 1,026개로 가장 높게 나타났으며, 노말렉산 및 납(Pb)의 순으로 나타났다.

2. CNC공정의 화학적 유해인자 노출특성

25개의 공정 중 CNC 공정에 대한 작업환경측정 결과를 Table 4에 요약하였다. 전체 시료수는 15,725건이었으며, 이 중 소음 등 물리적 유해인자를 제외한 화학적 유해인자에 대한 시료수는 9,121건이었으며,

작업환경측정대상인 유해인자의 수는 디에탄올아민 등 총 78종으로 나타났다. CNC 공정에 종사하고 있는 근로자 수는 총 27,976명으로 추정되며, 사업장 수는 2,537곳으로 나타났다. RCR 값은 노출기준을 초과한 시료는 모두 금속가공유로 4개(0.075%)의 시료인 것으로 나타났으며, 시료의 46%가 노출기준의 10%미만으로 조사되었다.

CNC 공정의 금속가공유로 사용되는 화학적 구성분 중 사회적으로 문제가 되었던 메탄올의 경우는 36개 사

Table 4. Exposure characteristics of chemical hazards in the CNC process

| No. | Chemical hazard | No. of total business places | No. of exposed employees | No. of Samples | Range | Average | Std. Dev. | Results of exposure assessment | | | | | % (>OEL) |
|----------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------|-------------------|-------------|--------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| | | | | | | | | ≤LOD | ≤10% | ≤50% | ≤100% | >100% | |
| 1 | Diethanolamine | 55 | 398 | 188 | 0 ~ 0.049 | 0.00 | 0.00 | 186 | 1 | 1 | - | - | 0 |
| 2 | Dichloromethane | 14 | 57 | 32 | 0 ~ 12.76 | 1.14 | 3.10 | 26 | 3 | 3 | - | - | 0 |
| 3 | 1,1-Dichloro-1-fluoro ethane | 4 | 8 | 12 | 0 | 0.00 | 0.00 | 12 | - | - | - | - | 0 |
| 4 | Methyl amine | 1 | 2 | 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 1 | - | - | - | - | 0 |
| 5 | Methanol | 36 | 298 | 104 | 0 ~ 116.74 | 8.14 | 18.32 | 51 | 39 | 13 | 1 | - | 0 |
| 6 | Methyl ethyl ketone(M.E.K) | 4 | 28 | 17 | 0 ~ 0.373 | 0.05 | 0.11 | 14 | 3 | - | - | - | 0 |
| 7 | Methyl isobutyl ketone | 8 | 37 | 23 | 0 ~ 0.339 | 0.07 | 0.11 | 14 | 9 | - | - | - | 0 |
| 8 | Methyl chloroform | 1 | 2 | 4 | 0 | 0.00 | 0.00 | 4 | - | - | - | - | 0 |
| 9 | 1-Bromopropane | 2 | 6 | 6 | 0 ~ 2.457 | 0.42 | 1.00 | 4 | 2 | - | - | - | 0 |
| 10 | Styrene | 2 | 6 | 6 | 0 | 0.00 | 0.00 | 6 | - | - | - | - | 0 |
| 11 | Acetone | 6 | 33 | 18 | 0 ~ 5.514 | 0.52 | 1.36 | 11 | 7 | - | - | - | 0 |
| 12 | Ethanolamine | 353 | 2721 | 1056 | 0 ~ 0.615 | 0.00 | 0.02 | 1,010 | 38 | 8 | - | - | 0 |
| 13 | Ethyl benzene | 7 | 33 | 19 | 0 ~ 0.350 | 0.04 | 0.09 | 14 | 5 | - | - | - | 0 |
| 14 | Ethyl acrylate | 1 | 3 | 2 | 0 | 0.00 | 0.00 | 2 | - | - | - | - | 0 |
| 15 | 2-Ethoxyethanol | 2 | 1 | 6 | 0 ~ 0.390 | 0.07 | 0.16 | 4 | 2 | - | - | - | 0 |
| 16 | 2-Ethoxyethyl acetate | 1 | 0 | 4 | 0 | 0.00 | 0.00 | 4 | - | - | - | - | 0 |
| 17 | 2-Butoxyethanol | 12 | 120 | 45 | 0 ~ 0.159 | 0.00 | 0.02 | 44 | 1 | - | - | - | 0 |
| 18 | Ethylene glycol | 23 | 206 | 90 | 0 | 0.00 | 0.00 | 90 | - | - | - | - | 0 |
| 19 | Isobutyl alcohol | 2 | 5 | 8 | 0 ~ 0.351 | 0.04 | 0.12 | 7 | 1 | - | - | - | 0 |
| 20 | Isopropyl alcohol | 13 | 183 | 42 | 0 ~ 17.480 | 0.57 | 2.73 | 35 | 7 | - | - | - | 0 |
| 21 | Methyl acetate | 2 | 50 | 11 | 0 ~ 0.378 | 0.06 | 0.14 | 9 | 2 | - | - | - | 0 |
| 22 | n-Butyl acetate | 3 | 50 | 15 | 0 ~ 0.0706 | 0.03 | 0.02 | 11 | 4 | - | - | - | 0 |
| 23 | Ethyl acetate | 1 | 4 | 2 | 0 ~ 0.067 | 0.03 | 0.05 | 1 | 1 | - | - | - | 0 |
| 24 | n-Propyl acetate | 1 | 1 | 1 | 0 | 0.39 | 0.08 | 1 | - | - | - | - | 0 |
| 25 | Isobutyl acetate | 1 | 4 | 2 | 0 | 0.00 | 0.00 | 2 | - | - | - | - | 0 |
| 26 | Xylene(o,m,p-isomers) | 8 | 83 | 31 | 0 ~ 0.577 | 0.06 | 0.13 | 19 | 12 | - | - | - | 0 |
| 27 | Toluene | 15 | 119 | 47 | 0 ~ 2.330 | 0.28 | 0.55 | 23 | 24 | - | - | - | 0 |
| 28 | Triethylamine | 3 | 44 | 10 | 0 | 0.00 | 0.00 | 10 | - | - | - | - | 0 |
| 29 | Trichloromethane | 1 | 3 | 2 | 0 | 0.00 | 0.00 | 2 | - | - | - | - | 0 |
| 30 | Trichloromethane | 15 | 74 | 46 | 0 ~ 34.91 | 2.48 | 6.28 | 16 | 24 | 5 | 1 | - | 0 |
| 31 | Stoddard solvent | 13 | 164 | 80 | 0 ~ 18.09 | 3.62 | 5.39 | 33 | 39 | 8 | - | - | 0 |
| 32 | n-Hexane | 8 | 158 | 36 | 0 ~ 20.94 | 2.00 | 3.92 | 18 | 13 | 5 | - | - | 0 |
| 33 | Heptane | 5 | 53 | 14 | 0 ~ 1.055 | 0.14 | 0.36 | 12 | 2 | - | - | - | 0 |
| 34 | Copper(Fume) | 29 | 69 | 61 | 0 ~ 0.037 | 0.01 | 0.00 | 26 | 32 | 3 | - | - | 0 |
| 35 | Copper(Dust & mist) | 23 | 168 | 65 | 0 ~ 0.743 | 0.11 | 0.18 | 14 | 27 | 20 | 4 | - | 0 |
| 36 | Lead and Inorganic compounds | 5 | 22 | 12 | 0 ~ 0.002 | 0.00 | 0.00 | 7 | 5 | - | - | - | 0 |
| 37 | Nickel(Metal) | 4 | 8 | 7 | 0 | 0.00 | 0.00 | 7 | - | - | - | - | 0 |
| 38 | Nickel(Soluble compounds) | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 1 | - | - | - | - | 0 |
| 39 | Nickel(Insoluble Inorganic compounds) | 1 | 0 | 2 | 0 ~ 0.0004 | 0.00 | 0.00 | 1 | 1 | - | - | - | 0 |

| No. | Chemical hazard | No. of total business places | No. of exposed employees | Results of exposure assessment | | | | | | | | | |
|-----------|---|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|---------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-------------|
| | | | | No. of Samples | Range | Average | Std. Dev. | RCR | | | | | % (>OEL) |
| | | | | | | | | ≤LOD | ≤10% | ≤50% | ≤100% | >100% | |
| 40 | Manganese & Inorganic compounds | 154 | 88 | 246 | 0 ~ 0.266 | 0.00 | 0.02 | 159 | 85 | 2 | - | - | 0 |
| 41 | Barium and soluble compounds | 1 | 14 | 5 | 0.0001 ~ 0.0002 | 0.00 | 0.00 | - | 5 | - | - | - | 0 |
| 42 | Magnesium oxide | 1 | 5 | 2 | 0.0114 ~ 0.0159 | 0.01 | 0.00 | - | 2 | - | - | - | 0 |
| 43 | Zinc oxide(Fume) | 22 | 37 | 40 | 0 ~ 0.298 | 0.01 | 0.05 | 13 | 27 | - | - | - | 0 |
| 44 | Zinc oxide(Dust) | 2 | 10 | 4 | 0.00142 ~ 0.0146 | 0.01 | 0.00 | - | 4 | - | - | - | 0 |
| 45 | Aluminum(Metal dust) | 20 | 180 | 55 | 0 ~ 0.99 | 0.17 | 0.25 | 13 | 41 | 1 | - | - | 0 |
| 46 | Aluminum(Welding fumes) | 1 | 2 | 4 | 0 | 0.00 | 0.00 | 4 | - | - | - | - | 0 |
| 47 | Titanium dioxide | 7 | 20 | 17 | 0 ~ 0.0026 | 0.00 | 0.00 | 15 | 2 | - | - | - | 0 |
| 48 | Tin(Metal) | 3 | 7 | 5 | 0 ~ 0.0024 | 0.00 | 0.00 | 3 | 2 | - | - | - | 0 |
| 49 | Iron oxide(Fume) | 219 | 334 | 404 | 0 ~ 2.632 | 0.17 | 0.38 | 55 | 298 | 50 | 1 | - | 0 |
| 50 | Cobalt and inorganic compounds | 2 | 12 | 3 | 0 ~ 0.0014 | 0.00 | 0.00 | 2 | 1 | - | - | - | 0 |
| 51 | Chromium(Metal) | 37 | 39 | 78 | 0 ~ 0.0018 | 0.00 | 0.00 | 50 | 28 | - | - | - | 0 |
| 52 | Tungsten(Soluble compounds) | 3 | 17 | 7 | 0 ~ 0.0125 | 0.00 | 0.00 | 6 | 1 | - | - | - | 0 |
| 53 | Sodium hydroxide | 1 | 1 | 2 | 0.014 ~ 0.058 | 0.04 | 0.03 | - | 2 | - | - | - | 0 |
| 54 | Potassium hydroxide | 10 | 174 | 62 | 0 ~ 0.1463 | 0.03 | 0.04 | 5 | 57 | - | - | - | 0 |
| 55 | Hydrogen chloride | 1 | 2 | 4 | 0 ~ 0.0004 | 0.00 | 0.00 | 3 | 1 | - | - | - | 0 |
| 56 | Phosphoric acid | 3 | 3 | 5 | 0 | 0.00 | 0.00 | 5 | - | - | - | - | 0 |
| 57 | Nitric acid | 3 | 1 | 7 | 0 ~ 0.0062 | 0.00 | 0.00 | 6 | 1 | - | - | - | 0 |
| 58 | Metal Working Fluids | 1896 | 20481 | 5344 | 0 ~ 1.4305 | 0.13 | 0.10 | 709 | 1,756 | 2,714 | 161 | 4 | 0.075 |
| 59 | Metal Working Fluids (code different) | 38 | 190 | 76 | 0 ~ 0.5344 | 0.16 | 0.10 | - | 14 | 56 | 6 | - | 0 |
| 60 | Particulates | 34 | 158 | 72 | 0 ~ 3.8376 | 0.30 | 0.54 | 7 | 63 | 2 | - | - | 0 |
| 61 | Particulates(no more than 30% crystalline silica) | 2 | 5 | 3 | 0.376~0.475 | 0.43 | 0.05 | - | 3 | - | - | - | 0 |
| 62 | Particulates not otherwise regulated(no more than 1% crystalline silica) | 7 | 48 | 20 | 0 ~ 1.1699 | 0.33 | 0.14 | 2 | 17 | 1 | - | - | 0 |
| 63 | Wood dust(All other species, Inhalable fraction) | 21 | 67 | 42 | 0 ~ 0.9495 | 0.38 | 0.24 | 2 | 4 | 25 | 11 | - | 0 |
| 64 | Welding fumes and dust | 162 | 349 | 282 | 0 ~ 3.66 | 0.33 | 0.36 | 16 | 207 | 58 | 1 | - | 0 |
| 65 | Fibrous glass dust | 4 | 58 | 10 | 0.381~3.401 | 1.20 | 1.07 | - | 1 | 7 | 2 | - | 0 |
| 66 | Particulates not otherwise regulated | 2 | 15 | 6 | 0 ~ 1.070 | 0.38 | 0.50 | 2 | 3 | 1 | - | - | 0 |
| 67 | Methanol(code different) | 2 | 10 | 6 | 0 ~ 25.902 | 6.86 | 11.15 | 4 | 1 | 1 | - | - | 0 |
| 68 | Gypsum | 3 | 17 | 6 | 0.23 ~ 1.363 | 0.62 | 0.49 | - | 4 | 2 | - | - | 0 |
| 69 | α-Alumina | 1 | 6 | 2 | 0.013~0.125 | 0.07 | 0.08 | - | 2 | - | - | - | 0 |
| 70 | Ethyl acetate | 1 | 3 | 6 | 0 ~ 0.314 | 0.14 | 0.15 | 3 | 3 | - | - | - | 0 |
| 71 | Oil mist | 2 | 2 | 4 | 0 ~ 0.12 | 0.06 | 0.06 | 1 | 3 | - | - | - | 0 |
| 72 | Carbon black | 2 | 9 | 3 | 0.314~0.463 | 0.00 | 0.00 | - | 1 | 2 | - | - | 0 |
| 73 | Pentane | 1 | 3 | 1 | 0.22856 | 0.23 | 0.00 | - | 1 | - | - | - | 0 |
| 74 | Talc(Containing no asbestos fibers) | 3 | 3 | 8 | 0.011~0.903 | 0.28 | 0.28 | - | 4 | 4 | - | - | 0 |
| 75 | Graphite | 2 | 3 | 3 | 0.066~0.252 | 0.19 | 0.11 | - | 1 | 2 | - | - | 0 |
| 76 | Graphite(Natural& Synthetic, Except Graphite fibers, Respirable fraction) | 5 | 12 | 10 | 0.016 ~ 0.354 | 0.10 | 0.06 | - | 8 | 2 | - | - | 0 |
| 77 | Graphite(Synthetic, Respirable fraction) | 7 | 21 | 12 | 0.045~0.914 | 0.29 | 0.29 | - | 7 | 5 | - | - | 0 |
| 78 | Mixed oranic compounds(EM) | 40 | 358 | 127 | 0 ~ 0.4188 | 0.01 | 0.03 | 79 | 39 | 9 | - | - | 0 |
| Total (%) | | 3,411 (2,537) | 27,976 | 9,121 | | | | 3,197 (32.0) | 2,725 (32.9) | 3,008 (33.0) | 187 (2.1) | 4 (0.044) | 9,121 (100) |

Table 5. 7 Classifications of labor force at business place in CNC process

| Classification | No. of total business places | No. of total samples | Chemical hazard factor | | |
|----------------|------------------------------|----------------------|------------------------|----------------|--------------|
| | | | No. of business places | No. of samples | No. of types |
| <10 workers | 861 | 3,637 | 765 | 2,164 | 49 |
| <50 workers | 1,202 | 7,039 | 1,068 | 3,923 | 59 |
| <100 workers | 297 | 2,503 | 263 | 1,389 | 40 |
| <300 workers | 140 | 1,881 | 124 | 1,258 | 49 |
| <500 workers | 16 | 445 | 14 | 231 | 9 |
| <1,000 workers | 15 | 134 | 12 | 85 | 9 |
| >1,000 workers | 6 | 86 | 6 | 71 | 4 |
| Total | 2,537 | 15,725 | 2,252 | 9,121 | (78) |

Table 6. Classification of chemical substances in CNC process according to Occupational Safety and Health Act of Korea

| Hazard | No. of samples | Authorized chemicals | Specially hazardous chemical | Substance of permissible exposure limits |
|---------------------------------------|----------------|----------------------|------------------------------|--|
| Lead and Inorganic compounds | 12 | | ○ | ○ |
| Nickel(Insoluble Inorganic compounds) | 2 | | ○ | ○ |
| Trichloroethylene | 46 | | ○ | ○ |
| 1-Bromopropane | 6 | | ○ | |
| n-Hexane | 36 | | | ○ |

업장에서 298명이 노출되고 있는 것으로 확인되었다. 또한 작업환경측정 결과 자료 중 노출기준을 초과한 시료는 없었으며, 총 시료 104개 중 51개(49.0%) 시료가 LOD 이하로 나타났다. 메탄올에 대한 측정 결과는 노출기준(200 ppm)의 10%이하가 39개(37.5%), 50%이하인 시료가 13개(12.5%)였으며, 한 개의 시료는 노출기준에는 미치지 못하지만 노출기준의 50%를 초과한 것으로 나타났다.

CNC공정의 사업장 근로자 수에 따른 분류현황은 Table 5에 제시하였다. 10인~50인 미만의 분류에서 사업장 수 1,202개소, 시료 수 7,039종으로 가장 높게 분포하고 있었으며, 그 다음으로 10인 미만 사업장으로 나타나 중소규모 사업장이 대부분이었다. 또한 공정중 사용되는 화학물질을 산업안전보건법에 따라 분류하면 특별관리물질 4종, 허용기준 이하 유지대상 유해인자 4종으로 나타났으며, 그 중 트리클로로에틸렌의 시료 수가 46개로 가장 높았으며, 노말렉산 및 납의 순으로 나타났다(Table 6).

3. CNC 공정에서의 메탄올 취급 특성

CNC 공정 중 메탄올을 취급하여 2014년에 작업환

경측정을 수행한 사업장들의 특성을 Table 7에 표시하였다. 메탄올을 취급하는 사업장의 수는 36곳이었으며, 노출되고 있는 근로자 수는 20명을 넘는 사업장이 4개(11.1%), 10~20명이 9개(25%), 10명이하인 사업장이 23개(63.9%)로 나타났다. 총 시료 수는 104개, 가장 많이 측정된 사업장이 8개였으며, 시료수가 1개인 사업장도 5개에 달했다. 그러나 1개 사업장의 경우 노출근로자수를 32명으로 기재하였으나 측정 시료 수는 1개로 기록되어 있어 작업환경측정 및 지정측정기관평가 등에 관한 고시에서 정하고 있는 시료채취 근로자수 규정(단위작업장소에서 최고 노출근로자 2명 이상에 대하여 동시에 측정하되, 단위작업장소에 근로자가 1명인 경우에는 그러하지 아니하며, 동일 작업근로자수가 10명을 초과하는 경우에는 매 5명당 1명 또는 1개 지점 이상 추가하여 측정하여야 한다. 다만, 동일 작업근로자수가 100명을 초과하는 경우에는 최대 시료채취 근로자수를 20명으로 조정할 수 있다.)에 어긋나는 것으로 측정 시료 수가 부족하거나 단위작업장에 대한 개념을 이해하지 못하여 근로자 수를 잘 못 기록한 것으로 보인다(MoEL, 2016). 이 외에도 일부 사업장에서 노출근로자수 고려하여 측정하여야 할 시료 수

Table 7. Exposure characteristics of methanol in CNC process by province

| Province | No. of business Places | No. of exposed employees | No. of samples | Average (ppm) | Min (ppm) | Max (ppm) |
|------------------|------------------------|--------------------------|----------------|---------------|-----------|-----------|
| Seoul | 13 | 117 | 46 | 4.36 | 0.00 | 30.9 |
| Gyeonggido | 11 | 83 | 33 | 24.49 | 0.00 | 116.74 |
| Gyeongsangbukdo | 3 | 49 | 7 | 0.67 | 0.00 | 1.73 |
| Daejeon | 2 | 20 | 6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Daegu | 1 | 1 | 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Chungcheongnamdo | 2 | 18 | 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Chungcheongbukdo | 2 | 7 | 3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Busan | 1 | 1 | 1 | 38.90 | | |
| Ulsan | 1 | 2 | 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 36 | 298 | 104 | 10.19 | 0.00 | 116.74 |

대비 측정된 시료수가 부족한 것으로 나타나 범규 위반 여부를 확인할 필요가 있다. 2014년 측정대상 사업장 중 메탄올에 대한 측정 결과가 가장 높은 값을 보인 곳은 경기도에 위치하고 있으며 9명의 근로자가 노출되고 있는 A 사업장으로 2개 시료 측정값의 평균치가 91.47 ppm이었으며, 높은 값은 116.74 ppm으로 노출기준(200 ppm)의 50%를 초과한 것으로 나타났다.

CNC공정 중 메탄올 취급사업장의 지역별 특성의 사업장 분포를 보면 서울과 경기권이 24곳으로 전체 사업장 중 66.7%를 차지하고 있었으며, 근로자수도 서울, 경기 순으로 분포하고 있었다. 사업장별 메탄올 측정치의 평균값을 지역별로 비교하면 부산 38.9 ppm, 경기 24.49 ppm, 서울 4.36 ppm, 경북 순으로 분포하였으나 부산의 경우는 한 개 사업장에서 측정된 한 개의

시료에 대한 자료이기 때문에 지역별 특성을 파악할 때 부산지역을 대표한다고는 볼 수 없다. 지역적으로 고려해 볼 때 Figure 1에서 보는 바와 같이 경기도의 경우는 메탄올에 대한 2014년 작업환경측정 결과 최대값이 측정된 사업장이 있을 뿐만 아니라 다른 지역보다 메탄올 노출 평균 농도에 있어서 통계적으로 유의하게 높은 값을 보였다(p<0.0001).

4. 금속가공공정에서 사용될 것으로 추정되는 화학물질

작업환경 측정 자료 DB에서 확인된 78종의 화학물질은 실제로 CNC 공정에 사용하는 금속가공유 성분도 있는 반면에 측정이 근로자 중심으로 이루어지고 있으므로 금속가공 공정 외에도 세척 등 인근 공정에서 사용하는 화학물질도 측정될 수 있다. 따라서 기존의 금속가공유 관련 연구 문헌, 제조업체 및 해외 자료 등을 통해서 실제로 금속가공 공정에 금속가공유의 구성성분으로 사용될 수 있는 화학물질은 Table 8와 같이 디에탄올아민, 디클로로메탄, 1,1-디클로로-1-플루오로에탄, 메틸클로로포름, 1-브로모프로판, 에탄올아민, 2-부톡시에탄올, 에틸렌글리콜, 트리클로로에틸렌, 스토다드솔벤트 등 총 10종으로 파악되었다.

이 중 금속가공유에서 pH 유지제(pH 향상제) 역할을 하는 것으로 알려진 디에탄올아민(CAS No. 111-42-2, 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) A3, 간과 신장독성)과 에탄올아민(CAS No. 141-43-5, ACGIH 눈과 피부 염증)은 금속노조(Korean Metal Workers' Union,

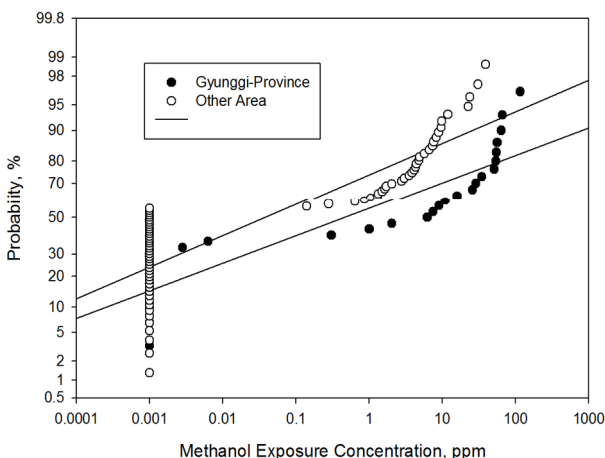


Figure 1. Cumulative probability plot of methanol exposure concentrations in Gyeonggido province and other regions.

Table 8. Chemical hazards of metalworking fluids in CNC process

| CAS No. | Chemical hazard | MWF Component possibility | MWF Source | | | Classification |
|-----------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------|---|-------------------------------|
| | | | Manufacturing Plant | Product DB | KMWU Germany VKIS-VSI-IGM | |
| 111-42-2 | Diethanolamine | ○ | Manufacturing Plant | Product DB | prohibitive manufacture substance VKIS-VSI-IGM_Proh ibited substances* | pH Adjusters (pH Improver) |
| 75-09-2 | Dichloromethane | ○ | | Product DB | | Tapping Oil |
| 1717-00-6 | 1,1-Dichloro-1- fluoro ethane | ○ | | Product DB | | Tapping Oil |
| 71-55-6 | Methyl chloroform | ○ | | Product DB | | Tapping Oil |
| 106-94-5 | 1-Bromopropane | ○ | | Product DB | | Tapping Oil |
| 141-43-5 | Ethanolamine | ○ | Manufacturing Plant | Product DB | prohibitive manufacture substance VKIS-VSI-IGM_Sub stances with limit values** | pH Adjusters (pH Improver) |
| 111-76-2 | 2-Butoxyethanol | ○ | Manufacturing Plant | Product DB | VKIS-VSI-IGM_Sub stances with limit values** | Coupling agent |
| 107-21-1 | Ethylene glycol | ○ | | Product DB | | |
| 78-83-1 | Isobutyl alcohol | | | | | Coupling agent |
| 67-63-0 | Isopropyl alcohol | | | | | Coupling agent |
| 79-01-6 | Trichloroethylene | ○ | | Product DB | | Tapping Oil |
| 8052-41-3 | Stoddard solvent | ○ | Manufacturing Plant | | | Base Oil |

* VKIS-VSI-IGM_Prohibited substances (MWF acc. to DIN 51393 for Metal working fluids)

** VKIS-VSI-IGM_Substances with limit values / concentration limits(MWF acc. to DIN 51385 for Metal working fluids)

KMWU)에서 금지물질로 제안하고 있는 화학물질이다. 디에탄올아민을 취급하는 사업장은 55곳이며, 398명의 근로자가 노출되는 것으로 추정되며, Table 4의 작업환경측정 결과 자료 중 노출기준을 초과한 시료는 없었으며, 총 시료 188개 중 186개(91%) 시료가 LOD이하로 나타났으며 노출기준의 10% 이하와 기준의 50% 이하인 시료가 각각 1개인 것으로 파악되었다. 에탄올아민은 353개의 사업장에서 2,721명이 노출되고 있으며, 총 시료 1,056개 중 1,010개(95.6%)가 LOD 이하였으며, 노출기준의 10% 이하가 38개(3.6%), 50% 이하가 8개(0.7%)로 나타났다.

5. 작업환경측정 결과 자료 활용 시 제한점

메탄올에 의한 급성중독이 발생했음에도 불구하고 작업환경측정자료를 통해서 기준을 초과하는 사업장이 없었다는 점은 작업환경측정 제도의 문제점을 극단적으로 보여주는 사례가 될 수 있다. 그 동안 노출기준 추정 연구 등 많은 연구에서 지적되었던 바와 같이 작

업환경측정 결과 자료를 활용하여 노출근로자나 건강 유해인자특성을 확인하는 연구를 할 때의 제한점으로 는 작업환경측정 대상 사업장 범위, 사업 시작 시기와 측정 시기, 측정 자료의 신뢰도 등을 들 수 있다. 자료의 낮은 신뢰도의 원인은 DB에서 발견되는 많은 빈칸들, 검출한계의 불명확, 유해인자 및 공정 등에 대한 코드 오류, 근로자 수의 중복 산정, 단위의 불명확 등이 제시되고 있다. 본 연구를 통해 이러한 작업환경측정 제도의 한계점을 명확하게 인식하고, 메탄올 중독과 같은 사건이 재발하지 않도록 개선방안을 시급히 마련해야 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 2016년 사회적으로 문제가 되었던 메탄올의 급성중독 사고와 관련하여 금속가공 공정의 건강 유해인자의 종류와 그 노출수준 등 특성을 파악하는 것이 목적이다. 이를 위해서 안전보건공단에서 제

공한 CNC를 포함한 금속가공 공정 중 작업환경측정 자료 DB를 활용하여 업종, 사업장수, 노출근로자수, 지역적 분포, 노출 근로자수, 화학적 유해인자 공기 중 농도 등 노출 특성을 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 금속가공 관련 가능성이 높은 25개의 공정이었으며 사업장 수는 14,405곳, 노출근로자수는 169,102명으로 추정되었다. 화학적 유해인자의 시료 수는 91,325건으로 조사되었으며, 총 249종의 작업환경측정 유해인자에 노출되는 것으로 나타났으며, 그 중 허가대상 유해인자는 베릴륨 등 3종, 특별관리물질은 16종, 허용기준 이하 유지대상 유해인자는 13종이었다.

둘째, CNC 공정의 사업장 수는 2,537곳, 노출근로자수는 27,976명으로 추정하였다. 화학적 유해인자의 시료 수는 9,121건으로 조사되었으며 총 78종의 작업환경측정 유해인자에 노출되는 것으로 나타났으며, 그 중 특별관리물질은 트리클로로에틸렌 등 4종, 허용기준 이하 유지대상 유해인자의 4종이 근로자에게 노출되고 있는 것으로 조사되었다. CNC 공정의 작업환경측정 DB에서 노출기준을 초과한 시료는 모두 금속가공유이었으며, 4개(0.075%)의 시료가 조사되었다.

셋째, CNC 공정에서 메탄올을 취급하는 사업장은 총 36곳이었으며, 298명의 근로자가 노출되는 것으로 추정되었다. 노출기준을 초과한 시료는 없었으며, 총 시료 104개 중 51개(49.0%) 시료가 LOD이하로 나타났으며, 기준의 10%이하가 39개(37.5%), 기준의 50%이하가 13개(12.5%), 기준의 50%초과한 시료가 1개로 조사되었다. 메탄올 취급사업장은 지역별로는 서울과 경기에서 전체사업장 중 66.7%를 차지하고 있으며, 특히 경기도에서의 메탄올 노출 농도가 다른 지역보다 통계적으로 유의하게 높은 값을 보였다.

넷째, 기존의 금속가공유 관련 연구 문헌, 제조업체 및 해외 자료 등을 통해서 실제로 금속가공 공정에 금속가공유의 구성성분으로 사용될 수 있는 화학물질은 디에탄올아민, 디클로로메탄, 1,1-디클로로-1-플루오로에탄, 메틸클로로포름, 1-브로모프로판, 에탄올아민, 2-부톡시에탄올, 에틸렌글리콜, 트리클로로에틸렌, 스토다

드솔벤트 등 총 10종으로 파악되었으며, 그 중 디에탄올아민 및 에탄올아민 2종은 금속노조(KMWU) 금지물질, 1-브로모프로판 및 트리클로로에틸렌 2종은 특별관리물질로 분류되고 있었다.

감사의 글

“이 논문은 2017~2018년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음”

References

- Brinksmeier E, Meyer D, Huesmann-Cordes AG, Herrmann C. Metalworking fluids – mechanisms and performance. *Ann CIRP* 2015;64:605-628
- Ha KC. Application of matrices and risk assessment of industries and processes. Korean Occupational Safety & Health Agency Report. 2007. p. 22
- Meyer D, Wagner A. Influence of metalworking fluid additives on the thermal conditions in grinding. *CIRP Ann Manufac Technol* 2016;65:313-316
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Working environmental measurement and evaluation of working environmental measurement agency(MoEL Public Notice No. 2016-39).; 2016. p. 17
- Park DW, Ko YJ, Yoon CS. Review of respiratory disease and hazardous agents caused by the use of biocide in metalworking operations. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2007;23(3):169-175
- Park DW, Ryu KN, Yoon CS, Ha KC, Choi SJ et al. Practical guideline for the management of soluble metalworking fluids. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2008;18(1): T1-T7
- Park DW, Ko YJ, Yoon CS. Review of respiratory disease and hazardous agents caused by the use of biocide in metalworking operations. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2013;23(3):160-175
- Park HH, Park DJ, Park HD. Microbial assessment in metal-working fluids handling industry. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2014;24(3):300-309