

## 미술대학 조소작업 중 발생하는 분진 및 소음에 대한 노출평가

조현우 · 윤충식<sup>†</sup> · 함승헌 · 이임규 · 박지훈 · 박동진 · 정진호\* · 염종수\* · 서규진\*

서울대학교 보건대학원 환경보건학과, 보건환경연구소, \*서울대학교 환경안전원

### Exposure Assessment to Particulates and Noise among Sculptors at a College of Fine Art

Hyunwoo Cho, Chungsik Yoon<sup>†</sup>, Seunghon Ham, Limkyu Lee, Jihoon Park,  
Dongjin Park, Jinho Chung\*, Jongsoo Yeom\*, and Kyujin Seo\*

*Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health and  
Institute of Health and Environment, Seoul National University, Seoul, Korea*

*\*Institute of Environmental Protection and Safety, Seoul National University, Seoul, Korea*

#### ABSTRACT

**Objectives:** A great number of hazardous agents can be emitted from various types of art-creation in a fine arts college, but little data on exposure assessment has been published. A variety of processes encompassing toxic or non-toxic materials, tools, and components are involved in a sculptor work at a fine art college. The aim of this study was to assess exposure levels to particulates and noise during sculpture classes in a college of fine arts.

**Methods:** Students in sculpture classes participated in this study. Mass, number, and surface area concentrations of particulates, noise level, temperature and relative humidity were monitored by both personal and area sampling during the tasks of metal, wood, and stone sculpting.

**Results:** The number and surface concentration of particulates was the highest in the task of wood sculpting, followed by metal and stone work. The mass concentration of particulates was the highest in stone sculpting (personal GM 3.0 mg/m<sup>3</sup>, GSD 3.0), followed by wood (personal GM 1.5 mg/m<sup>3</sup>, GSD 1.8) and metal work (personal GM 0.95 mg/m<sup>3</sup>, GSD 1.51) in that order. Occupational exposure limits (OEL) for particulates depends on the type of particulate. For wood dust, 86% (six subjects) of the personal samples and all area samples exceeded the Korean OEL for wood dust (1 mg/m<sup>3</sup>), while 20% (two subjects) among stone sculpting students were exposed above the Korean OEL (10 mg/m<sup>3</sup>). In contrast, metal sculpting did not exceed the OEL (5 mg/m<sup>3</sup>). For noise level, metal sculpting students (Leq 95.1 dB(A) in the morning, 85.3 dB(A) in the afternoon) were exposed the most, followed by stone sculpting (88.3 dB(A)), and wood sculpting (84.8 dB(A)) in that order. Compared with the 90 dB(A) of the Korean OEL and 85 dB(A) of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists' threshold limit value (ACGIH-TLV) for noise, 100% of the subjects (five subjects) and area samples during metal sculpting in the morning session exceeded both OELs, but only three subjects (60%) exceeded the ACGIH-TLV in the afternoon session. For stone sculpting, 50% (one subject) and 100% (two subjects) exceeded the Korean OEL and ACGIH-TLV, respectively, but the area sample did not exceed either OEL. During wood sculpting, two subjects (40%) exceeded ACGIH TLV.

**Conclusions:** This work evaluated the sculptors' exposure to particulate matter and noise in fine art college, and revealed a poor working environment for the participating students. Effective measures should be supplemented by the administration of colleges.

**Key words:** Sculptors, College of fine art, Noise, Fine particle

<sup>†</sup>**Corresponding author:** Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health and Institute of Health and Environment, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea, Tel: +82-2-880-2734, Fax: +82-2-745-9104, E-mail: csyoon@snu.ac.kr, csyoon21@yahoo.com

Received: 26 July 2011, Revised: 9 August 2011, Accepted: 19 August 2011

## I. 서 론

‘미술’이라 함은 시각적, 조형적 방법으로 사람의 감정이나 뜻을 나타내는 예술의 한 종류이다. 교육과학기술부 학술연구정책실의 통계자료에 따르면, 2010년 6월 현재 전국의 4년제 대학 중 총 110개 대학에서 미술 관련 학과를 개설하고 있다.<sup>1)</sup> 대학에서는 세부적으로 전공을 나누어 교육하고 있으며, 학교마다 전공을 나누는 기준과 명칭은 조금씩 다르나 본 연구의 대상이 되는 학교의 경우 동양학과, 서양학과, 조소과, 디자인학부(공예, 디자인)로 나뉘어 있다.

미술 작업 시 각 전공별로 다양한 도구들을 사용하는데, 재료 및 가공의 종류에 따라 건강상 유해한 화학물질, 입자상 물질, 소음 등이 발생되기도 한다.<sup>2)</sup> 본 연구의 대상인 조소과 작업의 경우, 크게 금속조, 목조, 석조 작업으로 나눌 수 있다. 금속조 작업 중 용접이 빈번히 이루어지는데, 금속을 가열함으로써 금속입자가 증발, 산화, 응축 작용을 거쳐 용접흄을 생성하게 된다.<sup>3,4)</sup> 금속에 가해지는 망치질은 소음을 유발하며, 특히 밀폐된 공간의 실내작업은 소음노출을 심화시킬 수 있다. 목조작업의 경우 기계를 사용하는 자동화 톱질 혹은 사포질 작업에서 목재먼지 및 소음이 발생한다. 석조작업은 석재를 깎고 다듬는 과정을 통해 석고먼지, 전기도구들을 통해 소음을 유발할 수 있다.<sup>5)</sup> 화학적 유해인자들은 다양한 경로를 통해 신체로 유입될 수 있는데, 예술가들에 있어 가장 흔한 경로는 피부와 호흡기를 통한 유입이며, 신체 혹은 작업복에 붙어 있는 물질이 음식섭취 과정을 통해 함께 체내로 유입될 수 있다.<sup>6,7)</sup> 물질에 따라 체외로 배출되지 못하고 체내에 축적되기도 하며, 화학물질들의 상가, 상승, 강화 작용 등 상호작용을 통해 독성이 증가하기도 한다.

조소과 작업 중 발생하는 다양한 유해인자들은 건강상 악영향을 줄 수 있다. 용접흄은 주로 급성 기관지염, 폐렴 등과 같은 호흡기 계통 질환, 금속열(metal fever), 폐암 등을 유발할 가능성이 크며,<sup>8)</sup> 특히 100 nm 이하 초미세입자는 폐포를 통과해 혈관계로 유입되어 여러 조직으로 침투할 뿐 아니라, 염증반응을 유발하는 것으로 밝혀졌다.<sup>9)</sup> 소음은 불쾌감, 수면장애 등 영향을 미치지만 주된 건강장해는 청력손실이며, 노출수준, 노출횟수, 노출기간, 소음의 종류, 개인의 감수성 등 다양한 요인들의 복합적 상

호작용에 기인된다.<sup>10,11)</sup> 또한 역학적 연구 결과에 근거, 호흡을 통해 체내로 유입된 목재먼지는 천식, 급성 기관지염, 폐 기능의 손상 등을 유발할 수 있다고 보고되었다.<sup>12,13)</sup> 미국정부 산업위생 전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서는 Oak and beech 목재먼지의 경우 확정된 인체발암성 물질(A1)로, Birch, Mahogany, Walnut 목재먼지는 인체 발암성 가능성 물질(A2)로 분류하고 있다. 석재를 조각하는 과정에서 발생하는 먼지는 입자의 크기 측면에서 건강상 유해할 수 있지만, ACGIH에 의해 인체 발암성 가능성 물질(A2)로 지정된 실리카(silica)의 포함여부가 관심의 주요 대상이다. 많은 연구를 통해 실리카 노출로 인한 폐암, 폐 기능 감소가 보고되었으며, 고농도 또는 장기간 흡입 시 규폐증(silicosis)을 유발할 수 있다.<sup>14,15)</sup>

미술대학 조소과 작업의 잠재된 위험성에도 불구하고 노출평가에 관한 연구는 국내외 모두 미비한 실정이다. 조소과 작업 중 빈번하게 노출되는 유해인자인 용접흄,<sup>16-18)</sup> 목재먼지,<sup>19-21)</sup> 석재먼지,<sup>22-24)</sup> 소음<sup>10,25,26)</sup> 등의 노출평가 연구는 주로 사업장을 대상으로 진행되고 있다. 미술 작업과 관련된 연구들도 노출평가 보다는 작업 중 발생 가능한 유해인자의 예측과 건강상 영향에 초점이 맞추어져 있다.<sup>2,5,6,27,28)</sup> 미국과 캐나다의 경우 미술대학 작업자들을 위한 노출 가이드라인이 있기는 하지만,<sup>29,30)</sup> 실제 노출조사를 근거로 작성되지는 않았고, 작업의 종류, 환경, 문화 등이 다르기 때문에 그대로 국내에 적용하기에는 무리가 있다.

미술대학 작업자들은 유해인자에 대한 인식 및 지원 부족으로 다양한 경로를 통해 유해인자에 노출되고 있다. 그러나 우리나라는 아직 미술대학 작업자들의 건강보호를 위한 직접적인 법안은 마련되지 않은 상태이다. 우리나라의 법적 규제는 산업안전보건법을 통해 유해인자로부터 근로자들의 건강보호에 기여함을 목적으로 하고 있다. 또한 ‘연구실 안전 환경 조성에 관한 법률’이 2005년 3월 31일 제정되어 2006년 4월 1일부터 시행되고 있으나, 이 법은 대학이나 연구기관 등에 설치된 과학기술분야 연구실의 안전 확보 및 피해보상에 초점이 맞추어져 있으므로, 미술대학의 작업실에 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 미술대학의 작업 중 발생하는 건강상 유

해인자 노출수준을 파악하고 미비점을 보완하며, 작업자들의 건강보호를 위한 안전지침을 마련하는 과제가 필요하다.

본 연구는 미술대학의 여러 전공 중 조소과를 대상으로 금속조, 목조, 석조 작업 중 발생하는 입자상 물질과 소음 수준을 각 개인의 노출에 초점을 맞추어 평가하였다.

## II. 연구방법

### 1. 기간 및 대상

서울 소재 종합대학 내 미술대학 한 곳을 선정해 조소과 실습수업 중 학생들을 대상으로 2010년 11월 19, 22, 25일에 각각 금속조, 목조, 석조 작업을 평가하였다. 예비조사 결과를 토대로 노출량이 많은 입자상 물질과 소음에 관한 노출평가를 수행하였다. 이 두 인자가 가장 대표적인 유해인자로 조사되었으며, 이외 발생할 수 있는 유해인자로 는 진동, 인간공학 적 인자, 간헐적인 유기용제 노출이 있을 수 있으나 본 연구에서는 포함하지 않았다. 금속조 작업은 총 2회에 걸쳐 오전 수업 시 9:30~12:20, 오후 수업 시 13:40~16:30 사이에 평가하였다. 목조 작업 노출평가는 13:20~16:30 사이에 실내에서 이루어 졌으며, 석조 작업은 13:20~16:50 사이에 실외 실습장에서 이루어졌다. 노출평가에 참여한 학생 수 및 구성원은 수업에 따라 바뀌었으며 측정 장비의 개수 제한으로 입자상 물질과 소음 측정항목 중 먼지만 측정 한 대상자도 있었다. 연령은 21~30세 사이로 다양

하였으며, 대부분이 21세에 분포하였다. 작업 유형에 따른 평가 대상자와 시료의 수에 대한 구체적인 정보는 Table 1에 제시하였다.

### 2. 작업의 종류 및 환경

금속조 작업 중 주로 용접을 실시하였으며, 산소-아세틸렌 용접과 아르곤 가스를 이용한 TIG용접 (Tungsten Inert Gas Arc welding)이 실내에서 수행되었다. 가로 10 m×세로 10 m×높이 5 m 작업공간에 설치된 용접기들 앞에서 5명의 학생들이 각각 앉은 자세 혹은 선 자세로 용접을 하였다. 작업 중 10개의 창문(가로 50 cm×세로 250 cm)이 모두 개방되어 있었고, 1개의 송풍기(fan)가 있었으나 미가동된 상태에서 작업이 진행되었다. 주요 유해인자로 는 용접 중 발생하는 용접흠과 소음, 청과 동으로 이루어진 금속에 망치질을 함으로서 발생하는 소음이었다. 실습장이 밀폐공간이라 울림현상이 심했으며, 작업은 간헐적으로 진행되었다. 개인보호구로는 산소-아세틸렌 용접을 실시하는 작업자의 경우 고글을 착용하였고, TIG 용접을 실시하는 작업자의 경우 전면용 안전보호구를 착용하였다. 그러나 호흡보호구는 모두 미착용하여 용접흠에 노출되었다. 앞치미는 모두 착용하였고, 장갑 착용여부는 개인에 따라 달랐다. 망치질을 하는 작업자의 경우 귀 덮개 (Ear muff)를 착용하였으나, 그 이외의 작업자들은 모두 미착용 하였다. 작업실의 평균 온도 및 습도는 오전의 경우 각각 22.1°C, 28.4%이었고, 오후의 경우 각각 23.0°C, 23.0%이었다.

**Table 1.** General description of subjects and samples by task types

Task types	Time	Total sample (No.)		Personal sample (No.)		Area sample (No.)		Sex (Male, Female)	Age range (Mean±SD)
		Dust	Noise	Dust	Noise	Dust	Noise		
Metal	Morning	8	6	5	5	3	1	(1, 4)	21-30 (23.8±3.8)
Metal	Afternoon	8	6	5	5	3	1	(1, 4)	21-23 (21.4±0.9)
Wood	Afternoon	10	6	7	5	3	1	(3, 4)	21-30 (23.0±3.9)
Stone	Afternoon	13	3	10	2	3	1	(2, 8)	21-25 (22.2±1.8)
Total		39	21	27	17	12	4	(7, 20)	21-30 (22.2±2.5)

목조 작업은 7명의 학생들이 2~3명씩 교대로 외 부강의실과 유리벽으로 구분되어 있는 가로 15 m×세로 6 m×높이 3 m의 작업실에 들어와 진행하였다. 작업 중 발생하는 주요 유해인자는 목재먼지, 소음, 진동인데, 본 연구에서는 모든 작업에서 발생하는 목재먼지와 소음을 대상으로 하였다. 수동 혹은 자동톱을 이용해 목재를 절단하는 작업이 대부분이었고, 특히 자동톱을 이용하는 경우 많은 양의 목재먼지가 공기 중으로 노출되었다. 또한 사포를 달아 자동으로 목재표면을 다듬는 오비탈 샌더(Orbital sander)는 주된 소음 원이었다. 각 자동톱 기계 위에 국소배기장치, 벽면에 두 개의 창문(가로 70 cm×세로 50 cm, 가로 160 cm×세로 130 cm)이 설치되어 있었으며, 국소배기장치는 가동, 창문은 개방된 상태에서 작업이 진행되었다. 개인보호구의 경우 고글, 귀 마개(Ear plug), 귀 덮개(Ear muff)의 착용은 개인별로 차이가 있었고, 호흡보호구는 모두 미착용 상태였다. 작업실의 평균 온도 및 습도는 각각 20.6°C, 20.5%이었다.

석조 작업은 10명의 학생들이 가로 11 m×세로 20 m의 전면 개방형 작업장에서 진행하였다. 작업의 종류는 크게 대리석 그라인딩 작업, ‘정’을 이용한 화강암 석조작업, 물과 사포를 이용한 석재 다듬기 작업으로 구분되었다. 자연환기를 통해 먼지의 농도가 희석되었으며, 바람의 세기와 방향이 일정하지 않았다. 특히 대리석 그라인딩 작업은 많은 입자상 물질과 소음의 발생원이었으며, 바람이 향하는 방향의 작업자도 먼지에 노출되었다. 개인보호구의 경우 그라인딩을 실시하는 작업자만 호흡보호구와 귀 덮개(Ear muff)를 착용하였으며, 다른 작업자들은 대부분 미착용 상태였다. 작업장의 평균 온도 및 습도는 각각 11.8°C, 21.2%이었다.

### 3. 측정 방법

#### 1) 입자상 물질

금속조, 목조, 석조 작업 시, 학생들이 대상으로 공기 중 부유하는 입자상 물질의 개인당 노출수준을 평가하기 위해 질량농도, 개수농도, 표면적농도를 동시에 측정하였다. 질량농도는 NIOSH method 0500의 중량분석법을 이용해 평가하였다. PVC (Polyvinyl chloride; 5 µm, 37 mm, SKC Inc., USA) 필터를 3 piece cassette 속에 장착한 후, 펌프(AirChek

XR5000, SKC Inc., USA)를 사용해 2 l/min으로 공기 중 입자상 물질을 채취하였다. 각 작업자의 호흡기 반경 30 cm 이내에서 공기를 채취할 수 있도록 각 개인의 신체에 펌프를 부착하였고, 펌프의 유량은 시료채취 전, 후에 측정하여 보정하였다. 개인의 노출뿐만 아니라 작업실 전체의 농도를 조사하기 위해, 작업실 중앙에 동일 장비를 설치해 지역시료를 채취하였으며, 채취 후 필터 무게의 칭량 및 농도계산을 하였다. 개수농도를 실시간으로 측정하기 위해 20~1000 nm 크기의 입자 농도를 측정할 수 있는 P-Trak(Model 8525, TSI, USA)을, 표면적농도를 실시간으로 측정하기 위해 10~1000 nm 크기의 입자 농도를 측정할 수 있는 Nanoparticle Aerosol Monitor (TSI 9000, USA)를 사용해, 작업실 중앙의 바닥으로부터 약 1 m 높이에서 측정하였다. 두 장비 모두 측정 전 zero calibration을 하였으며, 측정 후 TSI 업체의 TrakPro 소프트웨어를 사용하여 데이터를 전송 받았다. 또한 석조작업 중 그라인딩 작업을 수행한 작업자 3명의 개인 시료 내 실리카 함유율을, 미국의 분석 전문기관을 통해 NIOSH method 7500에 의한 X-ray 회절분석법(XRD, X-ray Diffraction)으로 분석하였다.

#### 2) 소음

작업 중 발생하는 소음의 노출평가를 위해 Noise dosimeter(UT84601, Larson Davis INC, USA)를 사용하였다. 사용 전 Calibrator(CAL15, Larson Davis INC, USA)를 이용해 94, 114 dB에 맞추어 Calibration을 하였다. 사용 가능한 Noise dosimeter의 수가 제한되어 있었기 때문에 개인노출평가의 경우 일부 작업자만 대상으로 하였으며, 마이크를 어깨 부위에 부착하였다. 작업실 전체의 소음수준을 조사하기 위해 입자상 물질의 지역시료 측정위치와 동일한 작업실 중앙에 설치 후 측정하였다. 측정 후 해당기기의 Blaze software를 사용하여 데이터를 받았으며, 데이터에는 등가소음수준(Leq), 최대 소음수준(Max), 순간 최대 소음수준(Peak)이 포함되었다. 등가소음수준과 최대 소음수준은 A가중-데시벨(dB(A))을, 순간 최대 소음수준은 C가중-데시벨(dB(C))을 적용하였다.

#### 3) 통계처리

SPSS Version 12.0을 이용하여 측정된 모든 자료

를 분석하였다. 금속조 작업은 오후에만 진행된 다른 작업들과 달리 오전, 오후로 나누어 진행되었기 때문에, 입자상 물질, 소음, 온도 및 습도 모두 오전과 오후로 구분하여 각각 독립적으로 분석하였다. 입자상 물질의 질량농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ )는 대수정규분포(Log normal distribution)를 하여, 기술통계를 통해 기하평균(GM)과 기하표준편차(GSD)를 구하였다. 입자상 물질의 개수농도와 표면적농도의 평균, 표준편차 등은 일반적인 기술통계를 통해 구하였고, 단위는 각각  $\#/cc$ ,  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ 으로 나타내었다. 오후에 실시된 금속조 작업의 개수농도와 표면적농도의 상관성을 보기 위해 Pearson test로 그 유의성을 검정하였다. 입자상 물질의 개인 시료와 지역 시료간의 차이는 t-test로 유의성 검정을 하였다. 소음과 온도 및 습도의 정보는 기술통계로 처리하였다.

### III. 결 과

#### 1. 입자상 물질

##### 1) 질량농도

작업자들에게 노출되어 있는 입자상 물질의 질량 농도를 측정하기 위해, 수업의 종류에 따라 개인 및 지역 시료로 나누어 평가하였다. 개인노출의 경우 석조 작업 시 질량농도가 기하평균  $3.0 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 작업들 중 가장 높았고, 10명의 대상자 중 2명에게서 각각  $14.2, 14.9 \text{ mg}/\text{m}^3$ 의 높은 농도가 검출되었다. 2명 모두 입자상 물질의 주된 노출원인 대리석 그라

인딩 작업을 수행하였으며, 고용노동부(Ministry of Employment and Labor, MOEL)의 대리석 먼지 노출 허용기준인  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 을 초과하였다. 이 외 그라인딩 작업을 수행한 다른 한명의 작업자의 농도도  $9.9 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 기준 값에 근접하였다. 지역시료의 경우 바람의 영향으로 인해 개인 시료보다 농도가 낮은  $2.3 \text{ mg}/\text{m}^3$ 이었다.

금속조 작업은 오전, 오후로 나누어 진행되었는데, 개인 시료의 경우 각각  $1.1, 0.8 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 용접 흠 및 먼지에 대한 고용노동부 노출 허용기준인  $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 을 초과하지 않았다. 지역시료도  $0.4, 0.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 허용기준을 초과하지 않았다. 동일한 작업 환경임에도 오전, 오후 결과의 차이는, 오전과 달리 16:00경 약 30분 동안 지속적으로 용접을 중단함으로 인함이다.

목조 작업의 경우 개인노출 기하평균 농도는  $1.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 고용노동부의 목재먼지(적삼목 외 기타 모든 종) 노출기준인  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 을 초과하였다.

##### 2) 개수농도

입자상 물질의 개수농도는 기기를 작업실에 고정하여 평가하였으며, Fig. 1에서 시간에 따른 개수농도의 변화를 그래프로 나타내었다. 2011년 6월 기준, 개수농도에 대한 노출 기준이 없기 때문에, 측정된 작업실 농도의 비교를 위해 작업이 수행되지 않는 실내 농도를 배경농도로 그래프에 제시하였다(평균  $10,271 \#/cc$ , 표준편차  $479 \#/cc$ ). 금속조 작업의 경

**Table 2.** Mass concentrations of particles by task and sample types

Task	Sample	N	GM (GSD), $\text{mg}/\text{m}^3$	Range
Metal (Morning)	Personal	5	1.1 (1.2)	1.0 - 1.3
	Area	3	0.4 (1.2)	0.3 - 0.4
Metal (Afternoon)	Personal	5	0.8 (1.8)	0.5 - 2.1
	Area	3	0.2 (1.6)	0.1 - 0.3
Wood	Personal	7	1.5 (1.8)	0.8 - 4.5
	Area	3	2.1 (1.3)	1.6 - 2.4
Stone	Personal	10	3.0 (3.0)	0.9 - 14.9
	Area	3	2.3 (1.1)	2.1 - 2.6
Total	Personal	27	1.6 (2.5)	0.5 - 14.9
	Area	12	0.8 (3.1)	0.1 - 2.6

\*Exposure limit standards of MOEL: welding fume or dust;  $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ , wood dust (western red cedar);  $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ , wood dust (Every kinds of woods except western red cedar);  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ , marble or plaster;  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ , P-values between personal and area concentrations are  $<0.001, 0.094, 0.673, 0.476$  for metal (morning), metal (afternoon), wood, stone work, respectively.

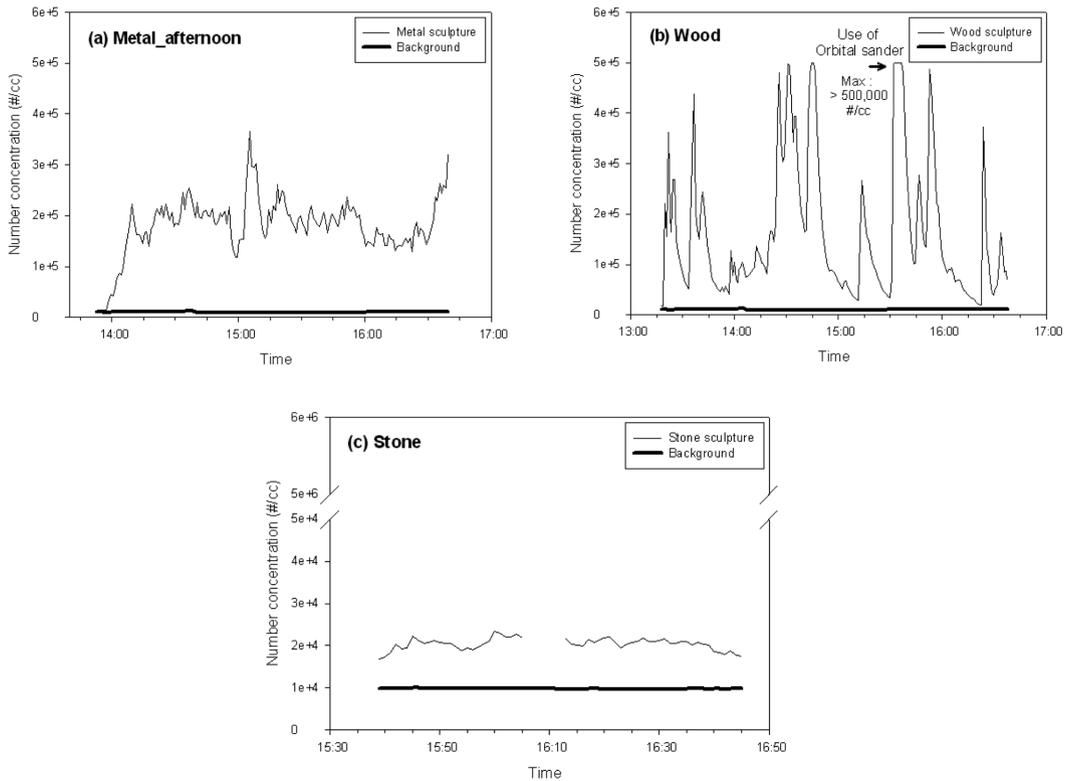


Fig. 1. Number concentrations over time by task types (metal, wood, stone) and background number concentrations.

우 오후 수업동안 측정하였으며, 평균 180,479 #/cc, 표준편차 57,894 #/cc, 중위수 186,433 #/cc이었고, 최댓값은 365,150 #/cc이었다.

목조 작업의 경우, 평균 163,710 #/cc, 표준편차 136,881 #/cc, 중위수 105,293 #/cc이었다. 그러나 최댓값은 500,000 #/cc이었으며, 오후 14:45, 15:35을 전후로 기록되었다. 개수농도를 측정된 P-Trak 장비의 해상도가 500,000 #/cc이기 때문에, 이 두 시점의 경우 기록된 농도보다 더 높은 농도에 노출되었으며, 목조작업의 평균 개수농도가 과소평가 되었다. 오후 14:45 경에는 Automatic saw 장비를, 15:35 경에는 Orbital sander를 사용해 작업이 진행되었고, 특히 후자의 경우 목재먼지의 비산 정도가 시야를 가릴 정도로 심하였다.

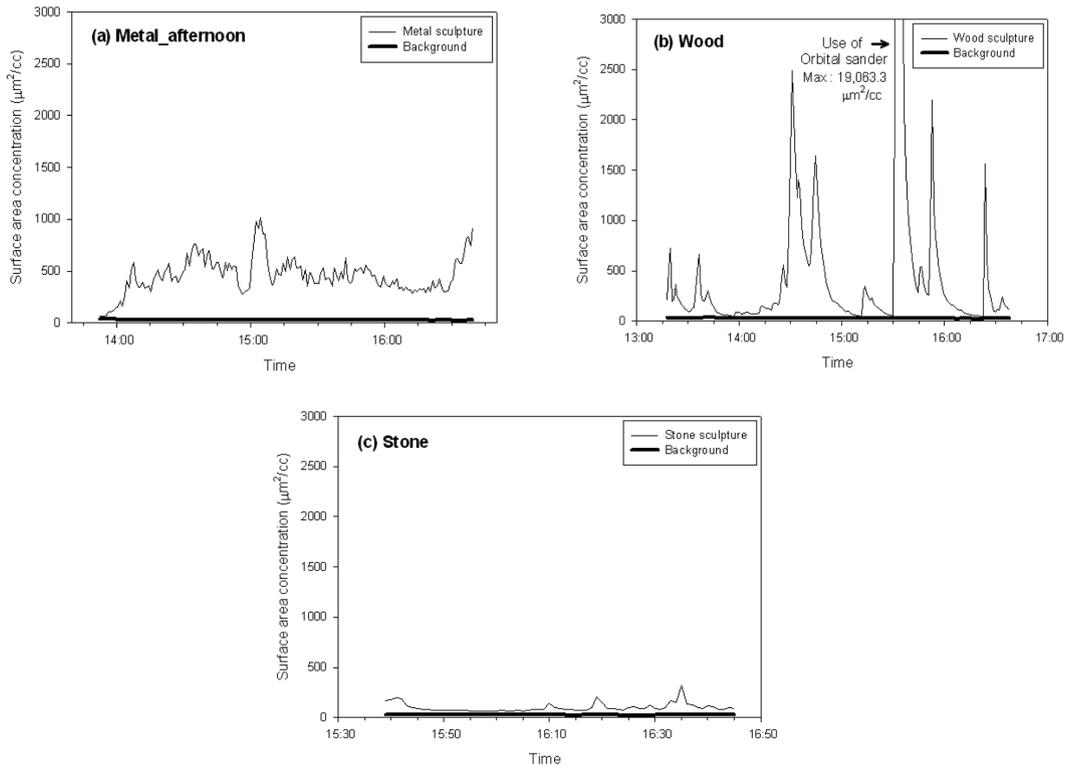
석조 작업 시 개수농도는 바람의 영향으로 다른 두 작업에 비해 낮게 측정되었으며(평균 20,391 #/cc, 표준편차 1,407 #/cc, 중위수 20,538 #/cc, 최댓값은 23,345 #/cc), 작업 중 비슷한 농도가 유지되었

다. Fig. 1(c)의 16:10 을 전후로 누락된 데이터는 측정기기의 전원 공급 문제로 인함이다.

### 3) 표면적농도

Fig. 2는 시간에 따른 입자상 물질의 표면적농도를 나타낸 그래프이다. 개수농도와 마찬가지로 기기를 작업실에 고정하여 평가하였으며, 정해진 노출기준이 없으므로 작업이 수행되지 않는 실내의 농도를 배경농도로 그래프에 제시하였다(평균 29.6  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ , 표준편차 2.8  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ ). 금속조 작업 중 평균 표면적농도와 표준편차, 중위수는 각각 458.8  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ , 180.1  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ , 433.8  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ 이었고, 최댓값은 1,085.0  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ 이었다.

목조 작업 중 표면적농도의 평균과 표준편차, 중위수는 각각 587.7  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ , 1,704.8  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ , 170.6  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ 으로 금속조 작업보다 높았다. 특히 오후 15:35을 전후로 농도가 급격히 증가하였으며, 이 때 최댓값이 19,063.3  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ 이었다. 농도가 갑자기 3배 이



**Fig. 2.** Surface area concentrations over time by task types (metal, wood, stone) and background surface area concentrations.

상 증가한 것은, 이 시간대에 사포가 장착된 orbital sander를 사용하였기 때문이다. 이 장비로 인해 많은 목재 먼지가 발생하였으며, 오후 15:35 경 P-Trak 기기의 해상도 문제로 인해 가늠할 수 없었던 개수농도를 어느 정도 예측할 수 있다.

석조 작업의 표면적농도는 바람의 영향을 받아 다른 두 작업에 비해 상대적으로 낮았다. 평균, 표준편차, 중위수는 각각 102.0  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ , 43.9  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ , 89.2  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ 이었고, 최댓값은 316.8  $\mu\text{m}^2/\text{cc}$ 이었다.

4) 개수농도와 표면적농도의 상관성

Fig. 3은 개수농도와 표면적농도의 상관관계를 보여주는 그래프이다. 시간의 흐름 따른 개수농도와 표면적농도를 작업의 유형별로 구분하여 그래프에 함께 제시하였으며, 비슷한 증가 혹은 감소 패턴을 보였다. 금속조 작업의 개수농도와 표면적농도의 상관계수는 0.76으로, 통계적으로 유의하였다 (Pearson,  $p < 0.001$ ).

2. 소음

Table 3은 작업의 유형에 따른 소음수준을 나타내었으며, 개인 시료와 지역 시료로 구분하여 제시하였다. 등가소음수준(Leq)은 오전에 실시된 금속조 작업에서 개인 및 지역 노출 평균값이 각각 95.1, 96.0 dB(A)으로 다른 작업에 비해 높았다. 개인 최대소음수준(Max)의 평균값과 지역 최대소음수준(Max)도 각각 108.2(103.5~115.8) dB, 130.8 dB으로 가장 높았으며, 순간최대소음수준(Peak) 역시 개인 및 지역 측정결과가 각각 133.2(126.8~139.9) dB, 123.5 dB으로 여러 작업 중 가장 높았다.

목조 작업의 평균 개인노출 수준은 84.8(81.0~89.1) dB(A)으로 개인편차가 있기는 하지만 지역 노출수준과 같았으며, 다른 작업들과 달리 작업자들이 한데 모여 지역 측정위치와 근접한 곳에서 작업을 진행하였기 때문으로 보인다. 특히 89.1 dB(A)을 기록한 작업자는 자동톱질을 지속적으로 수행하였다.

석조 작업은 사용 가능한 기기의 수 제한으로 개

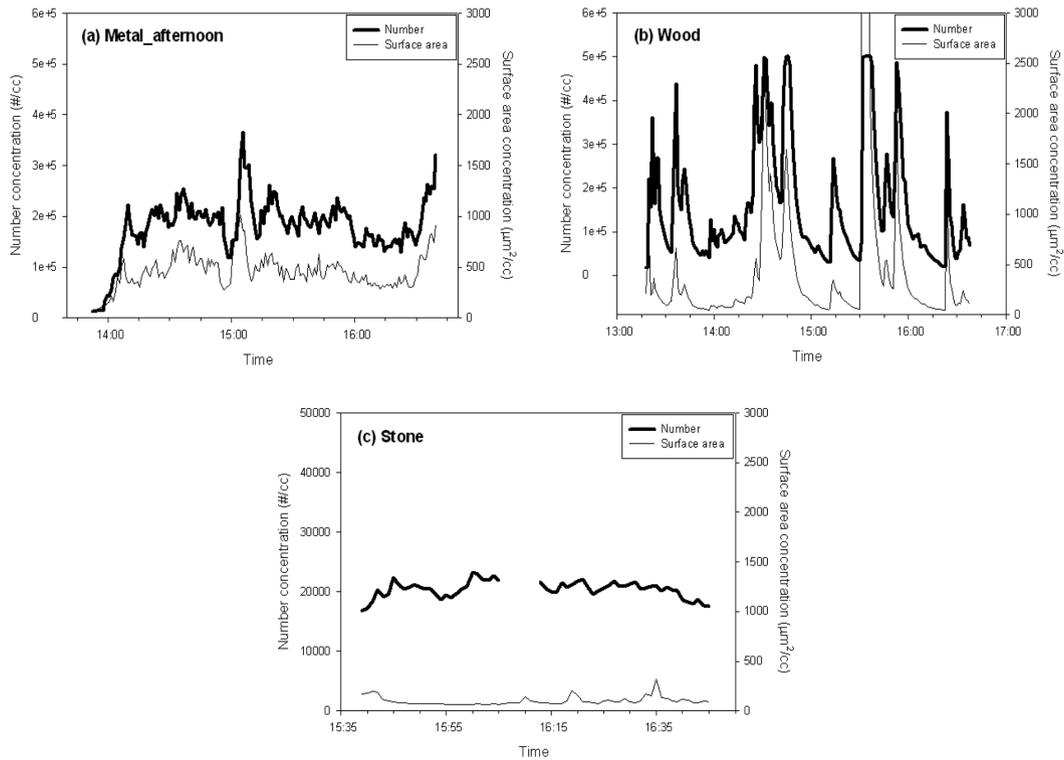


Fig. 3. Comparison of number and surface area concentrations over time by task types (metal, wood, stone).

Table 3. Noise levels by operation and subject types

Operation type	Subject type	N	Leq (dB(A))	Max (dB(A))	Peak (dB(C))
Metal (morning)	Personal	5	*95.1 (5.8)	108.2 (4.6)	133.2 (4.7)
	Area	1	96.0	130.8	123.5
Metal (afternoon)	Personal	5	83.5 (5.8)	104.1 (4.9)	128.9 (4.8)
	Area	1	79.9	97.2	117.8
Wood	Personal	5	84.8 (3.6)	102.9 (4.0)	125.9 (5.9)
	Area	1	84.8	103.8	118.2
Stone	Personal	2	88.3 (4.0)	106.7 (0.4)	125.2 (0.4)
	Area	1	80.9	93.4	119.7

\*Arithmetic mean (Standard deviation) / Criteria on 8-Hr: MOEL 90 dB(A), ACGIH 85 dB(A) P-values between personal and area noise levels are 0.521, <0.001, 0.128, <0.001 for metal (morning), metal (afternoon), wood, stone work, respectively.

인측정을 위해 2대의 기기가 사용 되었으며, 등가소음수준(Leq)이 각각 85.5, 91.9 dB(A)이었다. 두 명의 작업자 중 전자는 전기로 작동되는 ‘정’을 이용

해 작업하였으며, 후자는 소음발생이 더 심한 대리석 그라인딩 작업을 실시하였다.

Table 4는 고용노동부와 ACGIH의 소음 노출기준

**Table 4.** The compliance levels of MOEL and ACGIH noise level criteria

Subject type	Operation type	N	MOEL Criteria (90 dB(A))		ACGIH Criteria (85 dB(A))	
			No. >	% >	No. >	% >
Personal	Metal (morning)	5	5	100	5	100
	Metal (afternoon)	5	0	0	3	60
	Wood	5	0	0	2	40
	Stone	2	1	50	2	100
	Total	17	6	35	12	71
Area	Metal (morning)	1	1	100	1	100
	Metal (afternoon)	1	0	0	0	0
	Wood	1	0	0	0	0
	Stone	1	0	0	0	0
	Total	4	1	25	1	25

초과여부를 보여준다. 크게 개인과 지역노출로 나누고, 작업의 유형별로 노출기준을 넘는 수(No.)와 이것이 전체 대상 중 차지하는 비율(%)로 나타내었다.

#### IV. 고 찰

본 연구는 미술대학의 조소과에서 발생하는 분진, 소음의 노출수준을 금속조, 목조, 석조 작업별로 평가한 것으로, 각 작업별로 평가항목의 노출수준이 상이함을 보여주고 있다. 분진의 경우, 발생된 분진의 특성(화학적 성분) 차이로 인해 각 작업별 노출기준이 상이하고, 이에 따라 석조와 목조 작업에서 노출기준을 초과하였다. 소음 발생수준은 오전에 실시된 금속조와 석조 작업에서 특히 높았으며, 일부 작업자의 노출수준은 우리나라 고용노동부 노출기준인 90 dB(A)을 초과하여, 미술대학의 유해인자 노출관리 필요성을 제시하고 있다. 본 연구에서는 분진의 농도를 보기위해, 전통적으로 많이 사용하는 질량농도 뿐만 아니라 개수농도 및 표면적 농도를 함께 측정하여 상관성을 규명하려 하였고, 서로 상당히 높은 상관성이 있음을 밝혀내었다.

석조작업을 위해 화강암, 대리석, 석회암, 동석, 사암 등 다양한 석재가 사용되는데, 일부 석재는 인체 발암성 가능성 물질(A2)로 지정된 실리카(silica)를 포함하고 있을 수 있다. 고용노동부에서는 실리카의 노출 허용기준을 0.05 mg/m<sup>3</sup>, ACGIH에서는 0.025 mg/m<sup>3</sup>으로 정하고 있다. 따라서 그라인딩 작업을 수행한 3명 작업자의 실리카(Silica)에 대한 노출수준

을 보기위해 개인 시료를 분석한 결과, 실리카(Silica)의 주요 결정형태인 석영(quartz), 트리다йма이트(Tridymite), 크리스토팔라이트(Cristobalite) 3가지 모두 미 검출 되었다.

목재먼지의 노출과 관련해 고용노동부에서는 적삼목(western red cedar)과 적삼목 외 목재먼지로 구분하여 전자의 노출기준을 0.5 mg/m<sup>3</sup>, 후자의 경우 1 mg/m<sup>3</sup>으로, 일반 먼지의 노출기준인 5 mg/m<sup>3</sup> 보다 낮게 설정하고 있다. 총 7명의 작업자 중 6명이 허용기준을 초과하였으며, 나머지 한 명도 0.8 mg/m<sup>3</sup>으로 노출기준에 근접하였다. 하지만 초과한 6명 중에서도 특히 한 명이 4.5 mg/m<sup>3</sup>의 고농도에 노출되었고, 목조 작업을 수행하는 대부분의 학생이 호흡보호구를 착용하지 않는다는 점에서 심각성이 있어 보인다.

전통적으로 산업보건에서 입자상 물질은 질량농도를 사용하여 왔으나, 미세입자 및 나노입자의 건강영향에 대한 연구와 노출평가, 건강영향에 대한 지식이 축적되면서, 개수농도와 표면적농도 평가에 대한 시도가 계속되고 있다.<sup>31-33)</sup> 아직 개수농도와 표면적농도에 대한 관리기준이 제시되고 있지는 않지만, 연구결과가 축적되면 전통적인 평가방법의 대안이나 보완적 방법으로 사용될 수 있다. 예를 들어 중량법은 시간가중평균농도만을 줄 수 있지만, 직독식 기기에 의한 개수농도나 표면적 농도는 각 직무별 농도변이, 시간변화, 작업변화에 따른 농도변화를 추적할 수 있게 한다.

개수농도와 표면적농도의 상관성을 고찰한 결과

각 작업별로 차이가 있었다(Fig. 3). 목조 작업의 상관관계수는 0.56으로 유의한 관계를 보였으나( $p < 0.001$ ), 석조 작업은 유의하지 않았다( $r = -0.185$ ,  $p = 0.16$ ). 이것은 석조 작업의 농도가 다른 두 작업의 농도에 비해 매우 낮았고, 큰 변동 없이 미세한 증감이 계속되었기 때문으로 판단된다. 개수농도를 측정할 P-Trak은 20~1000 nm, 표면적농도를 측정할 Nanoparticle Aerosol Monitor는 10~1000 nm의 미세 입자상 물질 농도를 측정할 수 있다. 공통적으로 1000 nm 미만의 미세 입자상 물질을 측정할 수 있는 두 기기의 측정 결과가 상관성이 있다는 사실은, 작업장의 먼지 크기가 그만큼 작다는 것을 의미하며, 호흡기계로의 유입 가능성이 크고, 호흡기 관련 질환 유발 가능성이 높음을 암시한다.

Table 3 및 Table 4에서 볼 수 있듯이, 미술대학의 조소작업 소음수준이 상당히 높고, 일부 작업자의 경우 청력손실을 유발할 수 있는 노출수준을 넘고 있다. 소음수준은 특히 작업량에 따라 달라지는데, 오전에 실시된 금속조 작업 중 5명 전원, 그리고 지역 측정치 모두가 고용노동부의 노출기준인 90 dB(A), ACGIH의 기준인 85 dB(A)을 초과하였다. 그러나 오후에 실시된 금속조 작업에서는 개인, 지역 측정치 모두 고용노동부의 허용기준을 초과하지 않았고, ACGIH의 기준은 개인노출의 경우만 3명(60%)이 초과하였다. 오전, 오후의 결과차이는 오전 수업의 빈번한 망치질 작업으로 인함이다. 석조작업의 개인측정은 고용노동부, ACGIH의 기준 각각 1명(50%), 2명(100%)이 초과하였고, 지역 측정의 경우 두 기준 모두 초과하지 않았다. 야외의 개방된 공간에서 작업함으로 인해 소리의 울림현상이 감소하였고, 이것이 개인과 지역 측정 결과의 차이에 영향을 준 것으로 판단된다. 목조작업은 고용노동부 기준을 모두 넘지 않았으나, ACGIH의 기준은 개인노출의 경우 2명(40%)이 초과하였다(Table 4). 세부적인 작업의 종류를 고려했을 때, 가장 큰 소음유발 요소는 금속조 작업의 망치질, 석조 작업의 그라인딩 작업이었다. 목조 작업의 자동 톱질장치도 주된 소음원이며, 해당 작업의 직접적인 실시 여부가 개인의 소음노출 결과에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

국내 고용노동부 목재먼지(적삼목 외 기타 모든 종) 노출기준인  $1 \text{ mg/m}^3$ 은 흡입성(Inhalable fraction)으로 되어 있는데, 이것은 IOM 시료채취기로 채취하

여야 직접적으로 비교가능하다. 본 연구에서는 3-piece cassette를 사용하여 차이가 있으나, 두 방법을 비교한 기존문헌에 의하면 IOM 시료채취기로 채취할 때 더 많은 농도가 측정되고 그 이유도 제시되었다.<sup>34)</sup> 따라서 본 측정결과에 제시된 총분진은 흡입성 분진에 비해 다소 과소평가되었다고 볼 수 있고, 이 결과를 노출기준과 비교할 때는 보수적인 관점으로 평가된, 즉, 초과가능성이 낮게 평가 된다고 할 수 있다.

입자상 물질 및 소음 자료는 금속조, 목조, 석조 수업시간 동안 얻어졌고, 대상자가 수업의 종류에 따라 바뀌었기 때문에 8시간 가중 평균농도를 적용하기에는 무리가 있었다. 그러므로 고용노동부, ACGIH 노출기준과의 직접 비교는 힘들지만, 미술대학 작업 환경의 열악함에 대한 이해를 돕기 위해 본 연구에서는 노출기준을 간접 비교지표로 활용하였다. 또한 본 조사가 일개 대학교에서 한정된 시료를 채취했다는 점에서 한계가 있지만, 국내외적으로 관련 노출 자료가 부족하고, 접근성이 어려운 미술대학을 대상으로 노출평가를 실시한 점에서 의의가 있다고 판단된다.

일반 근로자는 노동부의 '산업안전보건법'에 의해서, 실험실 종사자는 교육과학기술부의 '연구실 안전 환경 조성'에 관한 법률'에 의해서 보호받을 수 있는 법적 장치가 구비되어 있다. 그러나 본 연구에서 보듯이 미술대학 조소과 학생의 경우 작업장 노출기준 이상으로 유해인자에 노출되어 있음에도 불구하고, 실험실이 아니고 근로자가 아니라는 이유로 실습환경이 건강에 영향을 줄 정도로 방치되는 것은 지양되어야 하며, 보건적 측면에서 제고되어야 한다.

## V. 결 론

본 연구는 미술대학 조소과 수업 중 주로 발생되는 유해인자인 먼지와 소음에 대해 노출평가를 실시한 것이다. 금속조, 목조, 석조 작업 모두 해당 입자상 물질과 소음의 노출이 많았고, 일부 작업은 고용노동부의 작업장 노출기준을 초과하고 있었다. 목조 작업자 7명 중 6명이 목재먼지 노출기준을 초과하였고(86%), 그 중 1명은 노출기준의 4.5배를 초과하였다. 석조 작업 시 가장 높은 농도의 먼지가 발생하였으며, 10명 중 2명이 노출기준을 초과하였다(20%).

실시간으로 볼 수 있는 먼지의 개수농도와 표면적 농도를 분석한 결과, 각 작업의 고농도는 세부적인 작업의 종류에 따른 농도변이를 관찰할 수 있었으며, 이는 전통적인 중량법으로 평가하는 것 이외의 정보를 제공할 수 있다. 특히 용접, 톱질, 연마 작업 등이 먼지의 주요 발생원이었다. 소음의 노출은 금속조작업 시 가장 심했으며, 오전 수업의 경우 모든 학생이 고용노동부의 소음 노출기준인 90 dB(A)를 초과하였다.

본 연구는 그동안 노출평가가 거의 이루어지지 않은 미술대학 조소작업의 유해인자를 평가한 것으로, 조소과의 유해인자는 작업자의 건강에 영향을 줄 수 있는 수준이며, 효과적인 대책이 마련되어야 한다.

### 참고문헌

1. Ministry of education, science and technology. The entrance quota of all colleges in Korea, 2010. Available: <http://www.mest.go.kr/web/1114/ko/board/view.do?bbsId=153&boardSeq=15438> [accessed 25 July 2011].
2. Siedlecki JT. Potential health hazards of sculptors' materials. Pergamon Press. 1971; 4: 381-384.
3. Deam RT, Simpson SW, Haidar J. A semi-empirical model of the fume formation from gas metal arc welding. *J Phys D Appl Phys*. 2000; 33: 1393-1402.
4. Vincent JH, Clement CF. Ultrafine particles in workplace atmospheres. *Phil Trans R Soc Lond A*. 2000; 358: 2673-2682.
5. Siedlecki JT. Potential health hazards of materials used by artists and sculptors. *Art Education*. 1972; 25: 21-26.
6. Hagaman S. Art hazards: concerns of the art teacher. *Art Education*. 1986; 39(3): 44-46.
7. Niemeyer S, Rich W. Arts and crafts can be hazardous. Historical materials from university of nebraska-lincoln extension NF93-125; 1993.
8. Moroni B, Viti C. Grain size, chemistry, and structure of fine and ultrafine particles in stainless steel welding fumes. *J Aerosol Sci*. 2009; 40(11): 938-949.
9. Park K. Toxicity of nanomaterials and strategy of risk assessment. *J Environ Toxicol*. 2005; 20(4): 259-271.
10. Ahmed HO, Dennis JH, Badran O, Ismail M, Ballal SG, Ashoor A, et al. Occupational noise exposure and hearing loss of workers in two plants in eastern Saudi arabia. *Ann Occup Hyg*. 2001; 45(5): 371-380.
11. Kim WT, Kim DH, Lee CK, Ahn JH, Lee CH, Kim HD, et al. Hearing asymmetry among occupationally noise-exposed workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2007; 17(2): 153-159.
12. Shamssain MH. Pulmonary function and symptoms in workers exposed to wood dust. *Thorax*. 1992; 47: 84-87.
13. Ahman M, Soderman E, Cynkier I, Birgitta KH. Work-related respiratory problems in industrial arts teachers. *Int Arch Occup Environ Health*. 1995; 67: 111-118.
14. Parks CG, Conrad K, Cooper GS. Occupational exposure to crystalline silica and autoimmune disease. *Environmental Health Perspectives*. 1999; 107(5): 793-802.
15. Lumens MEGL, Spee T. Determinants of exposure to respirable quartz dust in the construction industry. *Ann Occup Hyg*. 2001; 45(7): 585-595.
16. Harris MK, Ewing WM, Longo W, EdPasquale C, Mount MD, Hatfield R, et al. Manganese exposures during shielded metal arc welding (SMAW) in an enclosed space. *J Occup Environ Hyg*. 2005; 2: 375-382.
17. Meeker JD, Susi P, Flynn MR. Manganese and welding fume exposure and control in construction. *J Occup Environ Hyg*. 2007; 4: 943-951.
18. Dasch J, D'Arcy J. Physical and chemical characterization of airborne particles from welding operations in automotive plants. *J Occup Environ Hyg*. 2008; 5: 444-454.
19. Schlunssen V, Vinzents PS, Mikkelsen AB, Schaumburg I. Wood dust exposure in the Danish furniture industry using conventional and passive monitors. *Ann Occup Hyg*. 2001; 45(2): 157-164.
20. Yamanaka MW, Guidotti TL, Koehncke N, Taylor FM, Taylor C, Harman L. Wood dust levels in Alberta sawmills. *Archives of Environmental & Occupational Health*. 2009; 64(4): 270-277.
21. Lee T, Harper M, Slaven JE, Lee KY, Rando RJ, Maples EH. Wood dust sampling: field evaluation of personal samplers when large particles are present. *Ann Occup Hyg*. 2011; 55(2): 180-191.
22. Junttila S, Tossavainen A, Hartikainen T, Harma P, Korhonen K, Suominen V, et al. Airborne mineral dust at nine crushed rock plants in Finland. *Appl Occup Environ Hyg*. 1997; 12(12): 882-886.
23. Fulekar MH. Occupational exposure to dust in quartz manufacturing industry. *Ann Occup Hyg*. 1999; 43(4): 269-273.

24. Flanagan ME, Seixas N, Majar M, Camp J, Morgan M. Silica dust exposures during selected construction activities. *AIHA J.* 2003; 64: 319-328.
25. Hattis D. Occupational noise sources and exposures in construction industries. *Human and Ecological Risk Assessment.* 1998; 4(6): 1417-1441.
26. Landen D, Wilkins S, Stephenson M, McWilliams L. Noise exposure and hearing loss among sand and gravel miners. *J Occup Environ Hyg.* 2004; 1: 532-541.
27. Gupta S, McCann M, Harrison J. Health hazards in the arts and crafts. *Leonardo.* 1991; 24(5): 569-572.
28. McCann MF. Occupational and environmental hazards in art. *Environmental Research.* 1992; 59: 139-144.
29. Hamilton S. Health hazards and safety tips for artists. Canadian Artists Representation/Le Front Des Artistes Canadiens (CARFAC), 2000.
30. U.S. Consumer Product Safety Commission (CPSC). Art and craft safety guide. Bethesda, MD 20814. Available from: <http://www.cpsc.gov/cpsc-pub/pubs/5015.pdf> [accessed 25 July 2011].
31. Park JY, Ramachandran G, Raynor PC, Eberly LE, Olson G Jr. Comparison exposure zones by different exposure metrics using statistical parameters: contrast and precision. *Ann Occup Hyg.* 2010; 54(7): 799-812.
32. Buonanno G, Morawska L, Stabile L. Exposure to welding particles in automotive plants. *J Aerosol Sci.* 2011; 42: 295-304.
33. Methner M, Hodson L, Dames A, Geraci C. Nanoparticle emission assessment technique (NEAT) for the identification and measurement of potential inhalation exposure to engineered nanomaterials-Part B: results from 12 field studies. *J Occup Environ Hyg.* 2010; 7: 163-176.
34. Demange M, Gormer P, Elcabache J-M, Wrobel R. Field comparison of 37-mm closed-face cassettes and IOM samplers. *Appl Occup Environ Hyg.* 2002; 17(2): 200-208.