

대학 네일아트 실습 중 발생하는 휘발성 유기화합물의 공기 중 농도 평가

박윤경¹ · 최인자² · 최혜영² · 안재경³ · 최상준^{1*} · 김수진⁴ · 김현서⁴

¹대구가톨릭대학교 산업보건학과, ²노동환경건강연구소, ³환경안전기술원, ⁴대구공업대학교 피부&네일과

Evaluation of Airborne Volatile Organic Compounds Concentrations During Nail Art Practicing for College Students

Yunkyoung Park¹ · Inja Choi² · Hyeyoung Choi² · Jaekyoung Ahn³ · Sangjun Choi^{1*} · Sujin Kim⁴ · Hyunseo Kim⁴

¹Department of Occupational Health, Daegu Catholic University

²Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health

³Environment safety & technology Institute

⁴Department of Skin & Nail, Daegu Technical University

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to evaluate airborne concentrations of volatile organic compounds(VOCs) during nail art practice by college students.

Methods: Personal samples for students were measured using passive samplers(OVM 3500) during three kinds of practice, including polish nail, gel nail and acrylic French sculpture at two universities located in Gyeongsangbuk-do Province. We also monitored area concentrations using active samplers and real-time total VOC monitors(ppbRAE 3000). All samples were analyzed with a gas chromatography flame ionized detector. Statistical analysis for monitored data were conducted using a web-based Bayesian toolkit, EXPOSTATS(www.expostats.ca).

Results: Twenty-four personal samples and ten area samples were collected and five chemicals(acetone, butyl acetate, ethyl acetate, ethyl methacrylate(EMA) and methyl methacrylate(MMA)) were detected. Acetone was detected in all personal samples and ranged from 2.58 ppm to 50.3 ppm. EMA was detected in all personal and area samples with a maximum concentration of 9.78 ppm during acrylic French sculpture. Personal exposure levels to acetone, butyl acetate and mixtures were significantly higher with high occupant density ($p<0.05$). Geometric mean (GM) concentrations of 3.61 ppm for EMA personal samples were significantly higher than that of area samples, 1.5 ppm ($p<0.05$). Since there was no local ventilation, total VOC concentration continued to increase as the practice progressed.

Conclusions: In order to minimize VOCs exposure for trainees, it is necessary to introduce a local ventilation system and maintain adequate occupant density.

Key words: ethyl methacrylate, methyl methacrylate, nail art practicing, occupant density, volatile organic compounds

I. 서 론


1990년대 후반 우리나라의 네일 산업은 미국에서 도입되었고 한국에서 빠르게 성장하고 있으며, 2013년에


네일 산업 종사자가 약 5만 명에 이른다고 보고하였다(Choi et al., 2015). KOSTAT(2013)에 따르면, 2009년부터 2013년까지 5년간 네일샵의 사업체수가 매년 9~18%씩 증가하는 추세를 보이고 있으며, 종사자수는


*Corresponding author: Sangjun Choi, Tel: 053-850-3738, E-mail: junilane@gmail.com


Daegu Catholic University, 13-13, Hayang-ro, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do 38430


Received: November 11, 2019, Revised: November 25, 2019, Accepted: December 25, 2019


 Yunkyoung Park <https://orcid.org/0000-0002-4068-3745>

 Hyeyoung Choi <https://orcid.org/0000-0003-2979-6041>

 Sangjun Choi <http://orcid.org/0000-0001-8787-7216>

 Hyunseo Kim <http://orcid.org/0000-0002-9982-0740>

 Inja Choi <https://orcid.org/0000-0002-7847-392X>

 Jaekyoung Ahn <https://orcid.org/0000-0001-8842-9001>

 Sujin Kim <http://orcid.org/0000-0002-4847-266X>

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.

약 1만2천여 명으로 지속적으로 성장할 것으로 보인다. 전국의 피부미용, 기타미용(네일아트), 마사지업의 사업체수와 종사자수가 모두 꾸준히 증가하였으며, 실제로는 사업체수와 종사자수가 보고된 수치보다 훨씬 많을 것으로 판단하였다(Lee et al., 2015). 이처럼 미용사(네일) 국가자격증을 취득하게 될 경우 네일 미용사, 네일 미용업 창업, 화장품 관련 연구기관, 미용(네일)강사와 같은 직종을 택할 수 있게 된다.

한국산업인력공단에서 시행하는 미용사(네일) 국가자격시험 실기의 경우에는 필기시험에 합격된 응시자들에 한해서 응시가 가능하며 2014년 이후부터는 매년 2만 명 이상의 응시자가 실기시험으로 평가되고 있다(HRD Korea, 2019). 실기시험의 경우, 네 가지 과제(매니큐어 및 패디큐어, 젤매니큐어, 인조네일, 인조네일 제거)에 대해 평가가 이루어지기 때문에 응시자들은 미용사(네일) 국가자격시험에 맞는 교육 과정을 네일 전문 교육 기관 또는 학원에서 실습을 통해 교육받거나 연습이 이루어진다.

네일 제품은 미용목적으로 사용하지만 다양한 화학물질이 함유되어 있으며, 대다수의 성분들은 사용과정에서 쉽게 휘발되거나 분진형태로 공기 중으로 방출되어 증기 형태로 흡입되거나 피부 접촉 또는 혈액을 통해서 노출될 수 있다. 국외에서는 네일샵과 관련하여 유해물질에 대한 노출평가와 함께 건강영향에 대한 연구도 보고되고 있다. 네일샵 종사자의 대부분이 여성, 그리고 화학물질의 직접적 노출이라는 특성 때문에 임신 관련 건강영향, 태아기형 등 생식독성에 대한 조사연구가 활발히 진행 중이다. 1970년대 초, 미국 식품의약청(US Food and Drug Administration, US FDA)은 methyl methacrylate(MMA) 단량체를 함유한 인공 손톱 사용과 관련한 산재 접수를 받았으며 이 부상 중에는 접촉성 피부염뿐 아니라 손톱 손상과 같은 기형에 대해 보고하고 있다. 그럼에도 불구하고 MMA 사용 금지에 대

한 특별한 규정은 없지만, 적어도 30개 주에서는 MMA 사용에 대해서 엄격하게 금지하고 있다(US EPA, 2007).

국내에서는 네일 미용 작업 중 취급하는 유해물질의 종류와 주로 종사자가 일하는 동안 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 중심의 노출 수준평가가 실시된 바 있으나(Park et al., 2014; Choi et al., 2015), 국내 미용사(네일) 국가자격시험과 관련한 교육 과정을 실습하는 대학 내 실습실에서의 작업환경과 VOCs에 대한 노출평가 결과는 보고된 바가 없다. 이에 본 연구에서는 대학 내 실습실에서 네일아트 실습 중 발생하는 주요 VOCs에 대한 실습생들의 개인노출과 지역노출 수준을 평가하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상 및 환경요인 특성

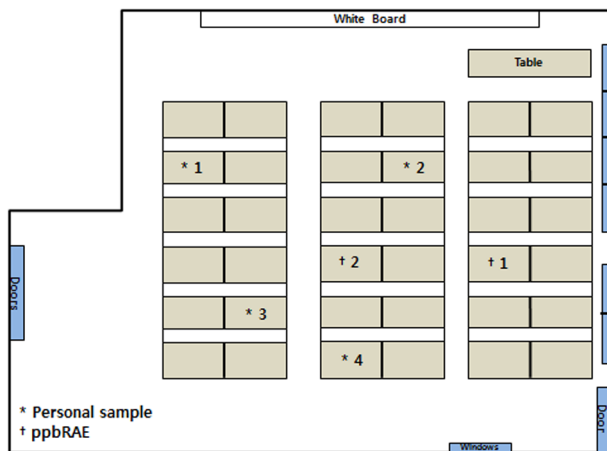
경산과 대구에 위치한 뷰티 관련 학과가 개설되어 있는 2개 대학(이하 U-1, U-2로 칭함) 실습실(Room-1, Room-2, Room-3, 이하 R-1, R-2, R-3로 칭함)에서 네일아트 실습 중 발생하는 VOCs에 대해 실습 받는 학생들의 개인노출량과 실습실 내부 지역노출량 수준을 평가하였다. 각 대학(U-1, U-2)의 실습실 층 수, 실습실 면적, 실습 학생 수, 거주밀도(occupant density), 1일 평균 실습 시간, 시술 종류, 채취 시료 수에 대해 Table 1에 요약하였다.

본 연구는 2018년 9월 6, 11, 13일 총 3회에 걸쳐 조사하였다. U-1의 R-1과 R-2는 각 해당 건물의 2층과 4층에 위치하고 U-2의 R-3는 3층에 위치하고 있었으며, 실습실 크기로는 31.7~89.9 m²이었다. 개인시료와 지역시료 그리고 실시간 총 휘발성 유기화합물(Total Volatile Organic Compounds, TVOCs) 직독기(ppbRAE 3000)의 측정 위치를 표시한 실습실 모식도를 Figure 1에 제시하였다.

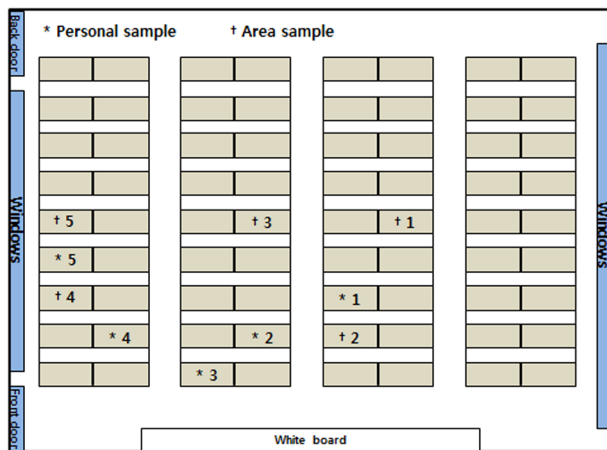
Table 1. Environmental factors of practice rooms

University	Room	Size (m ²)	No. of students	Occupant density, (#/100m ²)*	Practice time (hr)	Practices	No. of samples	
							Personal	Area
U-1	R-1	31.7	16	50.5	2	Polish nail	4	0
					2.5	Gel nail	4	0
	R-2	89.9	19	21.1	2.5	Acrylic french sculpture	10	10
U-2	R-3	66.1	23	34.8	2	Polish nail	6	0
Total							24	10

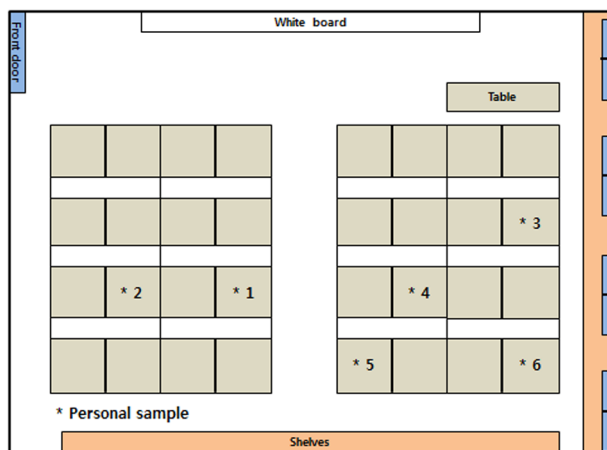
* : Occupant density(#/100m²)=No. of students/(100 × size)



(a) R-1



(b) R-2



(c) R-3

Figure 1. Sampling points for each rooms

실습생 수는 최소 16명에서 최대 23명으로 실습실 면적에서 실습 학생 수를 고려한 거주밀도(occupant

density, 거주밀도 = 실습 학생 수/(100 × 실습실 면적) = #/100m²)를 계산하였다(ASHRAE, 2007).

시술 종류는 일반 폴리쉬 도포(polish nail), 젤 폴리쉬 도포(gel nail), 아크릴 젤 연장(acrylic french sculpture) 총 3가지로 구분되며, 시술 종류에 따른 방법은 Table 2에 요약하였다.

R-1에서는 일반 폴리쉬 도포와 젤 폴리쉬 도포 시술에 대한 실습수업이 진행되었으며, R-2는 아크릴 젤 연장 시술을 약 2시간씩 실습하였다. U-2의 R-3에서 진행된 실습은 일반 폴리쉬 도포 시술이었다. 조사 당시 창문은 모두 닫고 에어컨을 가동하고 있었고, 모든 실습실은 환풍기나 배기시설 등 환기장치가 설치되어 있지 않았다.

Table 2. Procedures according to the type of nail practices

Practices	Procedures
Polish nail	① Applying nail care products ② Applying base coat ③ Applying color polish ④ Applying top coat ⑤ Removing polish nail using remover
Gel nail	① Pushing cuticle ② Shaping using buffer and etching ③ Applying nail care products ④ Using gel cleanser to remove oil from the surface of nails ⑤ Applying base gel and curing by LED lamp ⑥ Applying color gel and curing by LED lamp ⑦ Applying top gel and curing by LED lamp ⑧ Removing uncured gel from nail surface using remover ⑨ Soaking off using foil and clips
Acrylic french sculpture	① Applying nail care products and pushing cuticle ② Shaping using buffer ③ Applying nail care products ④ Applying nail form ⑤ Applying liquid monomer to brush and scoop acrylic powder onto nail surface ⑥ Curing by LED lamp ⑦ Shaping using buffer ⑧ Soaking off using foil and clips

2. 시료채취 및 분석방법

네일 실습생들에 대한 개인노출 평가는 실습에 방해되지 않기 위하여 진동과 소음이 없는 수동식 확산시료채취기(OVM 3500, 3M Science, USA)를 호흡영역(breathing zone)에 장착하여 실습이 이루어지는 약 2시간 동안 측정하였다. 실시간 VOCs 농도변화를 파악하기 위해 실시간 VOCs 측정기(ppbRAE 3000, RAE system Inc., USA)를 이용하였다. 아크릴 젤 연장(acrylic french sculpture) 시술은 R-2에서 진행되었으며, 능동식 시료인 활성탄 흡착관(#226-73, SKC, USA)을 이용하여 0.1 LPM 유량(Defender 510, Mesa Labs Inc., USA)으로 실습에 방해되지 않도록 실습실의 창문 가까이 위치하고 있는 책상과 벽에 시료채취기를 설치하여 ethyl methacrylate(EMA)와 MMA 농도를 측정하였다. 시료채취가 끝난 확산시료채취기는 캡을 닫아 밀봉하고 능동식 시료는 PTEE 패럴을 이용하여 밀봉하였다. 모든 시료는 냉장상태로 분석일까지 운반하였고 분석 전(측정으로부터 2주 이내)까지 냉장 보관하였다.

확산시료채취기 분석은 3M에서 출판된 Organic Vapor Monitor Sampling and Analysis Guide을 참조하였다(3M, 2018). 전처리하는 확산모니터 캡을 분리하여 이황화탄소(CS_2 , Kanto chemical, Japan) 1 mL를 넣고 30분간 방치하여 추출한 후, 유리재질의 2 mL 바이알에 분주하여 분석하였다. 시료 분석은 Auto Sampler(HP 7683 series Injector, Agilent Technologies, Inc., USA)가 장착된 가스크로마토그래프/불꽃이온화검출기(Gas Chromatograph/Flame Ionization Detector, GC/FID, HP 6890 GC Plus, Agilent Technologies, Inc., USA)로 분석하였다. 분석에 사용된 컬럼은

HP-INNOWAX($60 \text{ m} \times 0.32 \text{ mm} \times 0.5 \text{ }\mu\text{m}$)이었고, 컬럼 내 운반기체(He) 유량은 20 mL/min 이었다. 온도조건은 초기 50°C 부터 5°C/min 으로 100°C (5분)까지, 10°C/min 으로 220°C (10분)까지 승온시킨 후 50°C 까지 냉각시켜 0.5분간 유지하는 조건으로 분석하였다. 분석대상물질은 10종으로 acetone, butyl acetate, ethyl acetate, isopropanol, methyl acetate, benzene, 1-butanol, toluene, styrene, EMA이었다. Choi et al.(2015)의 선행 연구에 따르면 총 468개의 네일 케어 제품 내 125개의 화학물질 성분들이 함유되어 있었으며 각 직무군별 취급 제품에서 가장 많이 확인된 물질 일부를 특정하였고 미국 환경보건청(US Environmental Protection Agency, US EPA)의 가이드에서 네일샵 종사자들이 과도한 노출 시 건강장해를 유발할 수 있는 대표적인 유해성분 20종을 중심으로 분석대상물질을 선정하였다.

활성탄 흡착관 시료 분석은 method 94(OSHA, 1992)를 참조하였다. 전처리는 활성탄관의 앞·뒷층을 분리하여 각각 유리재질의 2 mL 바이알에 옮긴 후, 이황화탄소(CS_2 , Kanto chemical, Japan) 1 mL를 넣어 30분간 방치하여 추출하였다. 시료 분석은 Auto Injector (AOC-20i, SHIMADZU, Japan)가 장착된 가스크로마토그래프/질량분석기(Gas Chromatograph/Mass spectrometer; GC MS-QP2010 Ultra, SHIMADZU, Japan) SIM (Selected Ion Monitoring) mode로 분석하였다. 분석에 사용된 컬럼은 Rxi-5ms($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \text{ }\mu\text{m}$)이었고, 컬럼 내 운반기체(He) 유량은 1 mL/min 이었다. 온도조건은 초기 50°C (2분)부터 200°C 까지 20°C/min 승온시킨 후 10분간 유지시키는 조건으로 분석하였다. 분석대상 물질들의 검출한계(Limited of Detection, LOD)는 표준용액의 가장 낮은 농도수준의 시료를 7회 반복 분석

Table 3. Occupational exposure limits of acetone, butyl acetate, ethyl acetate, ethyl methacrylate and methyl methacrylate (Unit : ppm)

References	Acetone		Butyl acetate		Ethyl acetate		Ethyl methacrylate		Methyl methacrylate	
	TWA*	STEL [†] /CEIL(C)	TWA	STEL/CEIL(C)	TWA	STEL/CEIL(C)	TWA	STEL/CEIL(C)	TWA	STEL/CEIL(C)
KOELs [‡]	500	750	150	200	400				50	100
ACGIH-TLV [§]	250	500	50	150	400				50	100
NIOSH-RELs ^{**}	250		150	200	400				100	
OSHA-PELs	1000		150		400				100	
Swedish-OELVs ^{††}	250	500	100	150	150	300	50	75	50	150

* : Time Weighted Average, [†] : Short-Term Exposure Limit, [‡] : Korean Occupational Exposure Levels(MoEL, 2018), [§] : American Conference of Governmental Industrial Hygienists-Threshold Limit Values(ACGIH, 2019), ^{**} : National Institute for Occupational Safety and Health-Recommended Exposure Limits(NIOSH, 2018), ^{||} : Occupational Safety and Health Administration-Permissible Exposure Limits(OSHA, 2017), ^{††} : Swedish-Occupational Exposure Limit Values(SWEA, 2005)

하고 그 농도 값의 표준편차의 3배로 계산하였다(NIOSH, 1995). 최종 분석 후 일부 시료에서 검출된 물질들의 불검출 시료에 대한 통계처리를 위해 최대 공기채취량을 활용하여 공기 중 검출 한계값을 계산한 결과 butyl acetate 는 0.005 ppm, ethyl acetate 0.007 ppm, MMA 0.003 ppm이었다.

3. 자료처리 및 분석

대학 실습실 내 네일 실습 시 학생들을 대상으로 한 개인노출과 실습실 내부 지역노출 농도의 데이터들은 산술평균(arithmetic mean, AM), 표준편차(standard deviation, SD), 기하평균(geometric mean, GM), 기하 표준편차(geometric standard deviation, GSD), 범위(range), 95th percentile), 노출기준(occupational exposure limit, OEL) 초과 여부로 요약하였다. 자료처리 대상 물질 중 acetone, butyl acetate, ethyl acetate, MMA는 고용노동부 노출기준을 활용하여 평가하였고, 국내 노출기준이 없는 EMA는 스웨덴의 노출기준 값을 활용하였다. 각 물질별 국가 및 기관에 따른 노출기준은 Table 3에 요약하였다.

각 물질의 측정농도를 노출기준으로 나눈 노출지수(exposure index = 노출농도/노출기준)를 활용하여 각 물질별 분포를 비교하였다. 검출된 물질들에 대한 노출은 복합적으로 이루어지기 때문에 상가 작용을 고려하여 복합 노출지수를 (Equation 1)과 같은 방법으로 계산하였다.

$$\text{Exposure index for mixture} = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

----- (Equation 1)

C_n = the observed airborne concentration for VOCs
 T_n = the corresponding occupational exposure limit

개인노출평가 시료에서 네일아트 시술 종류, 거주밀도에 따른 농도 차이의 유의성을 5% 유의수준에서 분산분석(ANOVA) 하였고, 개인시료와 지역시료에서 모두 검출된 EMA의 경우 5% 유의수준에서 *t*-Test를 실시하여 노출시료 형태에 따른 농도 차이를 비교하였다.

각 물질별 농도 수준을 베이저안 분석기법을 토대로 95th 백분위수(95th percentile)가 노출기준 초과(>OEL), 노출기준의 50% 수준에서 기준 미만, 노출기준의 10% 수준에서 50% 수준 사이, 노출기준의 1%에서 10% 사

이, 그리고 노출기준의 1% 미만의 5개 그룹별 분포 확률로 나타내었다. 노출기준 초과 확률 30%를 과다노출 위험도를 판단하는 기준값으로 비교하였다. 모든 통계 분석은 Lavoué et al.(2018)이 개발한 베이저안 분석법(Baysian analysis)을 활용한 web-based 통계분석 도구인 EXPOSTATS(<http://www.expostats.ca/site/index.html>)과 Microsoft Office Excel 365를 활용하였다. EXPOSTATS에서 검출한계 미만 데이터는 Log-probit Regression 분석법을 활용하여 통계 처리되었고(Lavoué et al., 2018), Microsoft Office Excel 365를 활용한 통계분석을 위한 검출한계 미만 자료들은 LOD/2로 적용하였다(Hewett, 2006).

III. 결 과

1. 공기 중 VOCs 농도

네일아트 실습생 24명을 대상으로 한 공기 중 개인 노출 농도와 아크릴 젤 연장 시술 시 평가한 지역노출 농도 결과를 Table 4에 요약하였다. 총 24개의 개인시료에서 모두 검출된 물질은 acetone이었고, 최대 농도는 50.3 ppm 수준이었다. 아크릴 젤 연장 시술 시 평가된 EMA는 개인시료에서 최대 농도 9.78 ppm, 지역시료에서 최대 농도 3.46 ppm 수준이었으며 모든 시료에서 검출되었다.

개인노출평가 대상물질의 노출지수와 복합 노출지수(mixture)에 대한 분포를 box plot으로 비교한 결과 Figure 2와 같다. 노출지수가 가장 큰 물질은 EMA(Max 0.196)이었고, 다음으로는 mixture(Max 0.207), acetone(Max 0.101), ethyl acetate(Max 0.00325), butyl acetate(Max 0.00617) 순으로 확인되었다.

95th 백분위수(95th percentile)를 기초로 하는 개인 노출평가 대상물질의 과다노출 위험도를 의미하는 risk band를 Figure 3에 제시하였다. 각 물질별 측정농도 분포의 95th 백분위수가 노출기준 초과 확률은 ethyl acetate(1.84%), EMA(0.44%), butyl acetate(0.22%)로 확인되었다.

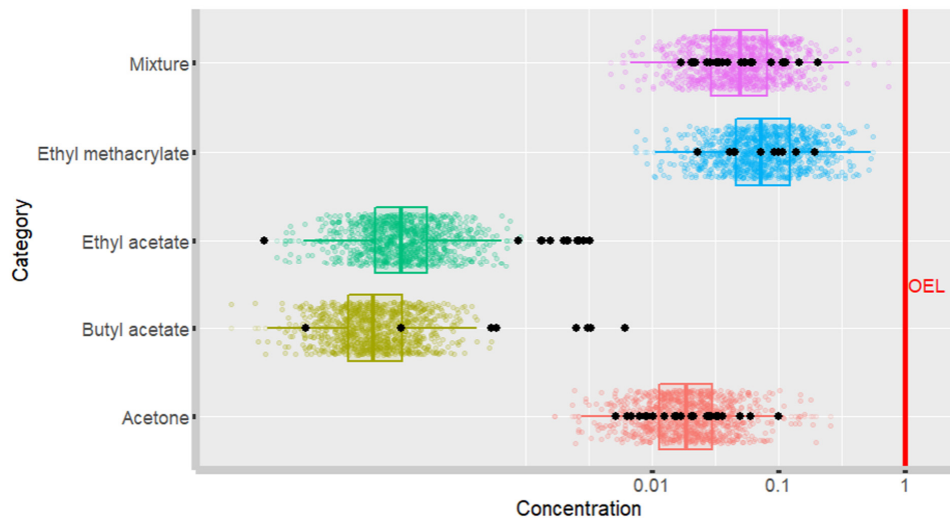
2. 네일아트 시술별 및 거주밀도별 개인노출 농도 분포

개인노출평가 시료에서 검출된 모든 물질들(acetone, butyl acetate, ethyl acetate)의 농도와 복합 노출지수의 분포를 시술 종류(Figure 4)와 거주밀도(Figure 5)에 따라 비교하였다. 시술 종류에 따라 비교한 결과 모두 통

Table 4. Summary of airborne concentrations for acetone, butyl acetate, ethyl acetate, ethyl methacrylate and methyl methacrylate

(Unit : ppm)											
Substance	Sampling type	Practices	Occupant density	No.* (LOD [†])	AM [‡]	SD [§]	GM	GSD ^{**}	Range	95 th percentile	95 th percentile/OEL ^{‡‡} (%)
Acetone	Personal	Acrylic french sculpture	High	24(0)	12.4	10.6	9.42	2.12	2.58 ~ 50.3	33	0
		Gel nail	Medium								
		Polish nail	Low								
Butyl acetate	Personal	Acrylic french sculpture	High	24(17)	0.11	0.23	0.01	19.6	< 0.005 ~ 0.93	0.57	0.22
		Gel nail	Medium								
		Polish nail	Low								
Ethyl acetate	Personal	Acrylic french sculpture	High	24(13)	0.53	0.35	0.42	2.	< 0.007 ~ 1.3	8.69	1.84
		Gel nail	Medium								
		Polish nail	Low								
Ethyl methacrylate	Personal	Acrylic french sculpture	Low	10(0)	4.31	2.63	3.61	1.91	1.16 ~ 9.78	11.2	0.44
	Area	Acrylic french sculpture	Low	10(0)	1.78	1.16	1.5	1.81	0.855 ~ 3.46	4.14	0.01
Methyl methacrylate	Area	Acrylic french sculpture	Low	10(6)	0.05	0.06	0.03	3.53	< 0.003 ~ 0.14	0.32	1.26

* : Total No. of Samples, † : Limited of Detection(butyl acetate=0.005 ppm, ethyl acetate=0.007 ppm, methyl methacrylate=0.003 ppm),
 ‡ : Arithmetic Mean, § : Standard Deviation, || : Geometric Mean, ** : Geometric Standard Deviation, ‡‡ : Occupational Exposure Level



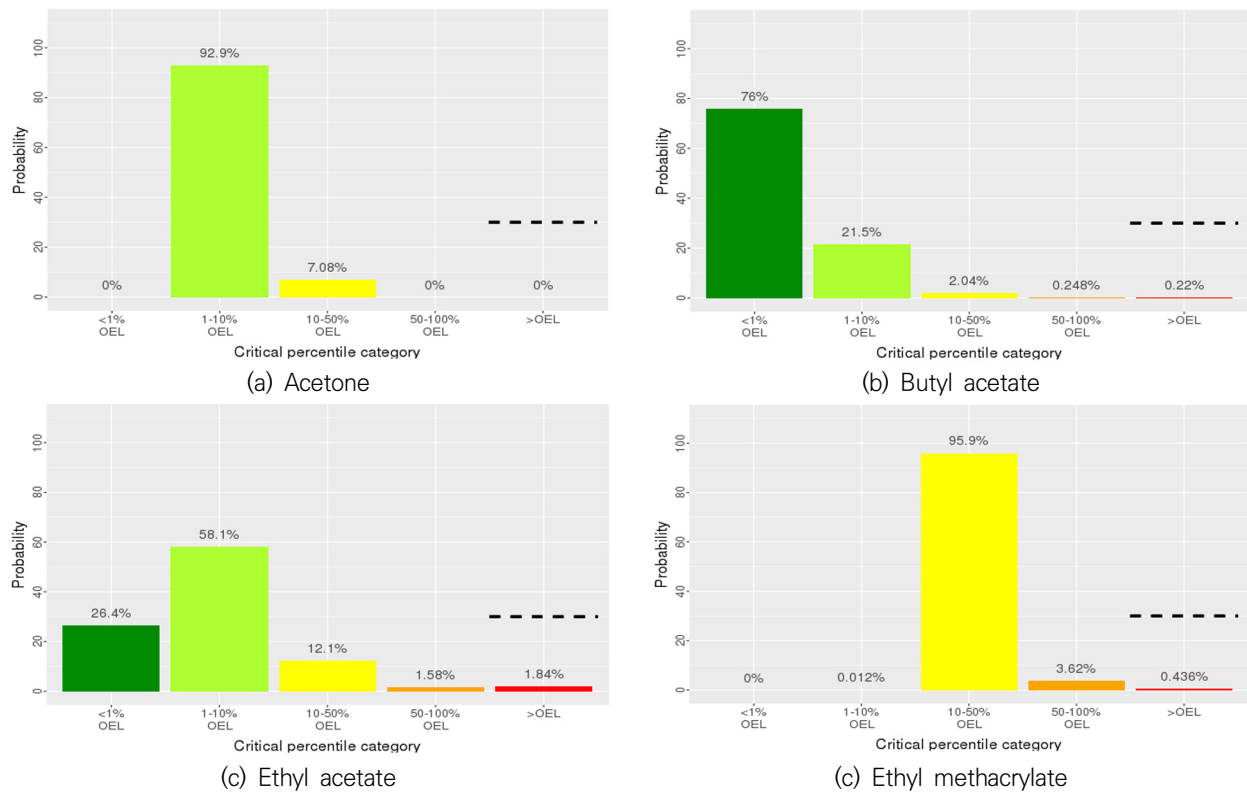
Black plot : real monitoring data, Colored plot : estimated by Bayesian analysis

Figure 2. Distribution of exposure indices(monitoring concentration/occupational exposure limit) for acetone, butyl acetate, ethyl acetate, ethyl methacrylate and mixture

계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.05$). acetone은 젤 폴리쉬 도포 기술에서 가장 높은 분포를 보였고(GM 16 ppm), butyl acetate(GM 0.044 ppm)와 mixture(GM 0.00092)는 일반 폴리쉬 도포 기술에서 높은 분포를 보였다.

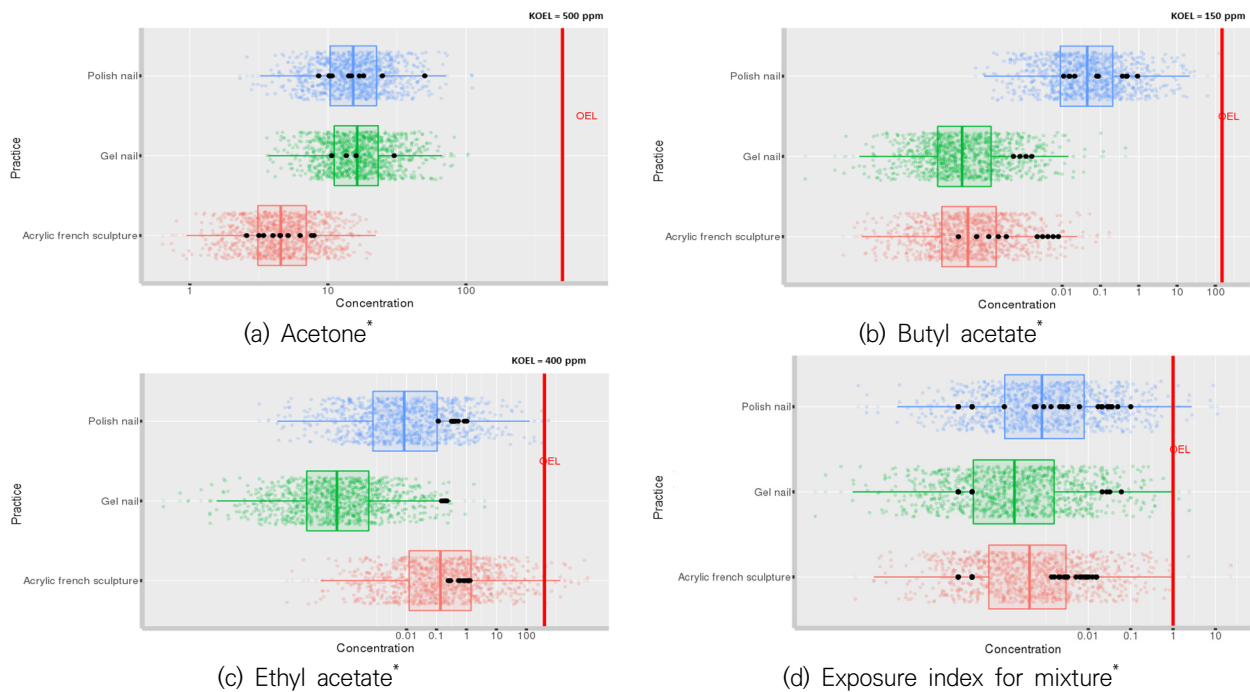
실습실의 거주밀도에 따른 비교 결과는 ethyl acetate를 제외한 acetone, butyl acetate, mixture는 통계적

으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 거주밀도가 높은 실습실(high)에서 acetone과 mixture가 높은 분포를 보였다(GM 20 ppm, GM 0.00074). Butyl acetate는 거주 밀도가 중간인 실습실(medium)에서 상대적으로 높은 분포를 보였다(GM 0.12 ppm). Ethyl acetate는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p = 0.08$).



*OEL : Occupational Exposure Limit, Dashed line : Overexposure Risk Threshold(30%)

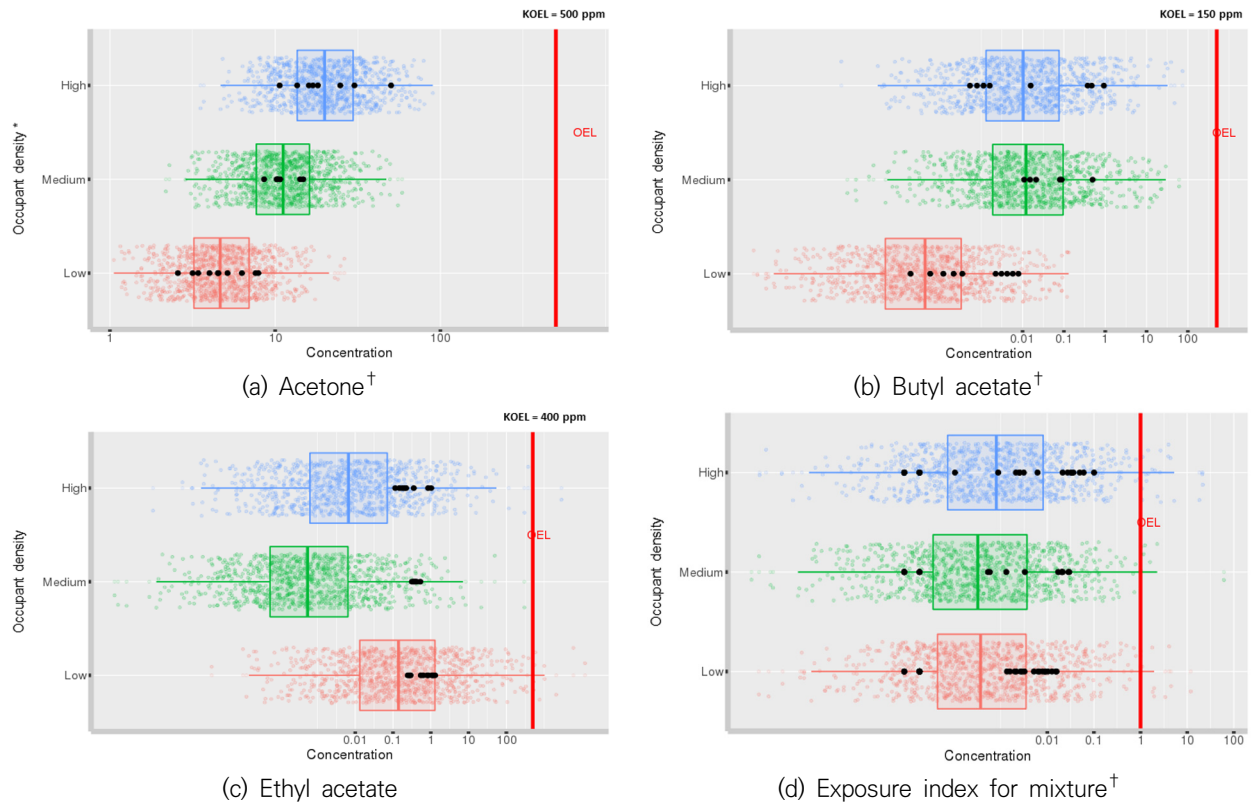
Figure 3. Risk bands of acetone, butyl acetate, ethyl acetate and ethyl methacrylate



* $p < 0.05$ (ANOVA)

Black plot : real monitoring data, Colored plot : estimated by Bayesian analysis

Figure 4. Comparison of airborne concentrations for acetone, butyl acetate, ethyl acetate and mixture by practice types



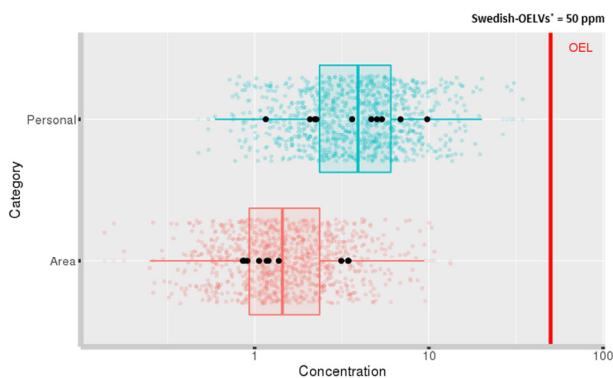
*: High=50.5명/100m²; Medium=34.8명/100m²; Low=21.1명/100m², [†]p<0.05(ANOVA)
Black plot : real monitoring data, Colored plot : estimated by Bayesian analysis

Figure 5. Comparison of airborne concentrations for acetone, butyl acetate, ethyl acetate and mixture by occupant density

3. EMA의 개인노출과 지역노출 평가 결과

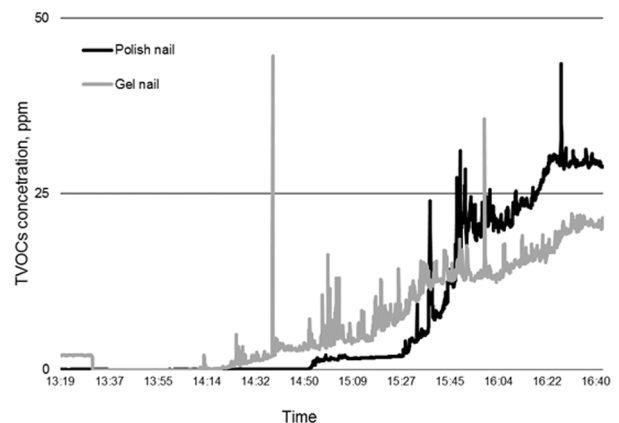
EMA는 네일아트 실습 중 아크릴 젤 연장 실습 시 평가된 모든 시료에서 검출되었다. EMA의 개인노출과 지역노출

역노출의 농도에 대한 분포를 비교하고자 Figure 6에 제시하였다. 개인노출과 지역노출 평가에 대한 EMA의 분포는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05). EMA의 개인노출 농도(GM 3.61 ppm)가 지역노출 농도(GM 1.5 ppm)보다 높은 분포를 보인 것을 확인하였다.



*Swedish-Occupational Exposure Limit Values=50 ppm,
[†]p<0.05(t-Test)
Black plot : real monitoring data, Colored plot : estimated by Bayesian analysis

Figure 6. Comparison of ethyl methacrylate concentration between personal and area samples



*TVOCs : Total Volatile Organic Compounds

Figure 7. TVOCs concentration pattern by practicing times

4. TVOCs의 실시간 농도 패턴

일반 폴리쉬 도포와 젤 폴리쉬 도포 시술 시 실시간 측정된 TVOCs 농도 수준은 시술 종류에 상관없이 Figure 7과 같이 실습이 진행될수록 점차 상승하는 패턴을 나타냈다.

IV. 고 찰

본 연구는 대학 내 실습실에서 네일아트 실습 중 발생하는 주요 VOCs의 노출 수준을 알아보고자 실시하였다. 네일 실습생들은 다양한 화학물질이 함유된 제품들을 사용하여 손과 발톱에 시술하며, 배기장치가 장착된 테이블과 환기장치 설비가 부족한 밀폐 공간에서 실습이 이루어진다. 이를 위해 본 연구에서는 24명의 네일 실습생을 대상으로 한 개인노출과 실습실 내부 지역노출에 대해 평가하였으며, 실시간 TVOCs 측정기를 활용하여 일반 폴리쉬 도포 시술과 젤 폴리쉬 도포 시술 실습에 대한 농도변화를 알아보았다.

US EPA에서는 네일 제품에 대한 노출이 건강에 악영향을 줄 수 있고 적절한 치료를 받지 않으면 과다 노출에 의한 피부 자극, 알레르기 반응 또는 심각한 눈 손상과 같은 영향을 받을 수 있다고 경고하고 있으며 네일샵 종사자들이 과다 노출을 방지할 수 있는 작업장 권장 사항과 잠재적 건강영향에 대한 가이드를 제시하고 있다(US EPA, 2007). US EPA 가이드(2007)에 의하면 두통, 어지러움, 피부·눈·목을 자극하고 중추신경계를 억제시키는 것으로 보고된 acetone이 본 연구에서 최대 50.3 ppm으로 가장 높은 농도를 보였고, 눈·피부·코·목을 자극하고 혼란과 몽롱한 증상을 보이는 것으로 보고된 butyl acetate와 ethyl acetate는 최대 0.93 ppm, 1.3 ppm 수준을 보였다. 본 연구에서는 acetone, butyl acetate, ethyl acetate 외에 아크릴 젤 연장 시술 시 지역노출 평가한 EMA와 MMA도 검출되었다. Park et al(2014)의 대구시 네일샵 종사자들에 대한 화학물질 노출과 직업적 건강영향에 대해 평가한 연구에서는 50개의 개인시료에서 총 13가지 물질이 검출되었으며 acetone(AM 787.3 ppm, Max 1986.8 ppm)이 가장 높은 농도를 보였고 butyl acetate, ethyl acetate, EMA, MMA이 검출되었다. Park et al.(2014)의 연구에서의 각 물질별 측정농도 수준이 본 연구 결과보다 높았는데, 이는 본 연구의 경우 네일 실습 시간이 2시간 정도로 짧은 반면에 Park et al(2014)

의 조사는 보다 긴 시간동안 시술이 이루어진 실제 네일샵의 측정결과이기 때문이다. 미국 캘리포니아 네일샵에서 일하는 베트남 여성들을 상대로 노출 수준을 평가한 연구에서도 acetone, butyl acetate, ethyl acetate, MMA가 검출되었으며, ethyl acetate는 작업대 흡진기가 없는 경우에서 더 높은 농도 수준으로 작업대 흡진기가 있는 경우와 비교하여 유의한 차이가 있었다(Quach et al., 2011).

시술 종류에 따른 농도 분포는 개인노출 시료에서 검출된 물질들과 복합 노출지수에 대해 확인하였다. Acetone은 젤 폴리쉬 도포(GM 16 ppm)에서 가장 높은 분포를 보였고, butyl acetate와 mixture는 일반 폴리쉬 도포(GM 0.044 ppm, GM 0.00092)에서 다른 시술에 비해 높은 분포를 보였다. Choi et al.(2015) 연구에 따르면, 네일샵에서 사용되는 네일 제품에 함유되어 있는 125종의 성분들 중 각 직무군별 취급 제품에서 가장 많이 확인된 물질로 ethyl acetate(팁 도포: 82.4%, 손톱강화:82.6%)와 butyl acetate(손톱손질: 79.7%)이 있었고, butyl acetate(손톱손질:79.7%, 팁 도포:11.8%, 리퀴드:14.8%, 젤 네일:69.4%, 네일 아트: 6.3%), ethyl acetate(손톱손질:74.8%, 팁 도포:82.4%, 손톱강화:82.6%, 젤 네일:72.1% 네일 아트:86.3%), EMA(손톱손질:19.4%, 팁 도포:23.5%, 손톱강화:26.1%, 리퀴드:44.4%, 젤 네일:83.8%)가 직무군 중 5개의 직무군에서 확인되었다. 따라서 acetone, butyl acetate, ethyl acetate는 네일아트 시술 시 발생 가능하며 네일 실습생들에게 노출될 수 있다.

대학 내 네일 실습실은 특별한 국소배기설비나 밀집도에 대한 기준이 전혀 없었으며, VOCs 농도에 영향을 주는 주요한 요인은 실습생 밀도와 환기상태로 판단된다. 미국 냉동공조협회(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)에서는 실내공기질 관리를 위한 환기기준에서는 거주공간 종류별 거주자들의 밀집도와 그에 따른 거주자 호흡영역에서의 최소 환기율을 제안하고 있으며, 네일샵은 25명/100m²을 기본 거주밀도로 제안하고 있다(ASHRAE, 2003). 본 연구에서 R-1과 R-3는 실제 단위면적당 학생 수가 많았기 때문에 거주밀도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 거주밀도에 따른 물질별 농도 수준을 비교한 결과 ethyl acetate를 제외한 acetone, butyl acetate, mixture는 거주밀도가 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 그러나 측정된 각 실습실에서 모

두 동일한 실습과 제품이 사용된 것은 아니기 때문에 거주밀도만을 비교하기엔 제한점이 있다. 이에 R-1(거주밀도=50.5명/100 m²)과 R-3(거주밀도=34.8명/100 m²)에서 일반 폴리쉬 네일 실습이 동일하게 실시했을 때 모든 시료에서 검출된 acetone 결과만 추가로 비교해보면 각각 평균 27.5 ppm(R-1), 11.5 ppm(R-3)으로 t-Test 결과 통계적으로 유의하게 R-1의 아세톤 농도가 더 높았다. 따라서 적절한 거주밀도를 유지하는 것이 실습생들의 화학물질 노출 수준 감소에 도움이 된다고 할 수 있다.

아크릴 젤 연장 시술 시 EMA의 개인노출 농도는 GM 3.61 ppm으로 지역노출 농도(GM 1.5 ppm)와 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 이는 네일 아트의 작업 특성상 실습자들의 호흡기가 손톱과 가깝게 위치하여 작업하기 때문에 개인노출 수준이 지역노출수준보다 높게 나타난다고 할 수 있다. 따라서 향후 네일아트 작업에 대한 노출 평가 시 가능한 지역평가 방법이 아닌 개인노출평가 방법을 해야 과소평가하지 않을 것이다.

MMA는 인공손톱 제품의 성분으로 사용되거나 아크릴 파우더에 혼합되어 있다(US EPA, 2007). 미국 30개의 주에서는 이미 MMA가 함유된 네일 제품은 사용 금지되었기 때문에(US EPA, 2007) MMA의 인공손톱 대체 성분으로 EMA가 사용되고 있는 반면 우리나라에서는 MMA가 노출기준설정물질일 뿐이며 화장품의 원료 성분으로서 배합 제한 및 금지물질이 아닌 사용가능한 원료성분이다(Choi et al., 2018). 네덜란드 국립공중보건환경연구소(Netherlands National Institute for Public Health and the Environment, RIVM)에서는 2015년 흡입 또는 피부 노출 후 건강에 악영향을 줄 수 있는 49개의 New and Emerging risks(NERCs) 목록을 발표했다(RVIM, 2015). 이 보고서는 근로자를 위한 새로운 화학물질 위험의 우선순위와 후속 조치에 대해서 제시하고 있으며, 네덜란드에서 인공 손톱의 성분으로 사용되는 EMA와 MMA는 우선순위 1순위로 위험점수 25점 만점 중에서 20점으로 매겨져있다(RVIM, 2015). 미국 네일샵 종사자들의 EMA와 MMA 노출을 평가한 연구에서는 미국 내에서 MMA가 사용 금지가 되었기에 “NO MMA”가 표시된 액체형 모노머를 사용하였지만 분석 결과에 따르면 MMA가 검출된 것으로 보아 MMA 성분이 발생가능하다고 제시하였다(Marty,

2007). EMA와 MMA는 접촉성 피부염, 천식 그리고 눈, 코, 목, 기관지를 자극하며(NIOSH, 1999; US EPA, 2007), 네일샵 종사자들이 이들이 함유된 제품을 사용할 가능성이 높기 때문에 실습현장에서부터 실제 네일샵 종사자가 된 작업현장에서도 계속적으로 노출될 가능성이 충분할 것으로 판단된다.

본 연구에서 일반 폴리쉬 도포와 젤 폴리쉬 도포 시술 시 실시간 측정된 TVOCs 농도 수준은 시간이 갈수록 점차 상승하는 그래프를 나타냈다. 이는 날씨의 영향으로 창문을 모두 닫고 진행하였고 네일아트 시술 시 필요한 환기장치가 없었기 때문에 감소하지 않고 누적된 것으로 생각된다. 또한 리무버를 사용하지 않을 때에도 작업대 위에 용기의 뚜껑을 열어둔 채로 방치하고 있는 경우가 많았기 때문인 것으로 판단된다. 대학 실습실에는 외부로 배기되도록 하는 ‘하방형 배기장치’를 장착한 테이블을 설치하는 것을 제안하며, 환기설비 설치 시 기술적 기준은 ASHRAE의 ‘Beauty and nail salons’에 대한 기준과 미국 국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 ‘Controlling Chemical Hazards During the Application of Artificial Fingernails’에서 제시하고 있는 배기장치 장착 테이블을 참고할 수 있을 것이다(NIOSH, 1999; ASHRAE, 2003).

본 연구결과에서 몇 가지 제한점이 고려되어야 한다. 첫째, 일부 네일아트 실습실에 한정되어 샘플수가 적은 제한점이 있다. 따라서 측정결과를 분석함에 있어 변수에 따라서는 불검출율이 50%를 넘었지만 검출한계 미만 자료들을 포함한 통계분포를 추정한 결과도 제시하였다. 본 연구에서는 미용사(네일) 국가자격증시험 실기와 관련한 교육 과정을 실시하는 대학 실습실에 대해서 평가하였기 때문에 네일아트 실습 중 발생 가능한 모든 VOCs에 대한 대푯값이라고 하긴 힘들다는 점이 있다. 둘째, 실습 중 사용한 제품 종류와 물질 성분에 대한 확인을 하지 못한 점이다. 이는 실습 중 사용한 제품이 네일 실습생들의 개인 소지품인 관계로 협조가 다소 어려웠기 때문이다. 그러나 이러한 제한점을 고려하더라도 네일 실습생들은 미성년자를 포함한 가임 가능성이 있는 10~20대 여성이라는 점을 고려하여 유해화학물질 노출에 대한 영향을 최소화하도록 적절한 제품 사용과 환기설비 설치, 필요에 따라 안전보호구 착용 등이 시급하며, 전문화된 교육과정 및 관리대책이 필요하다고 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 경산과 대구 소재의 2개 대학 내 네일 실습실을 선정하여 VOCs에 대한 공기 중 수준 평가를 실시하였다. 폴리쉬 네일, 젤 네일, 아크릴 젤 연장 실습 동안 검출된 주요 VOCs는 acetone, butyl acetate, ethyl acetate, EMA, MMA였다. 특히 미국에서는 사용이 금지된 MMA가 국내에서는 여전히 검출되고 있음을 확인할 수 있었다.

개인노출 평가 결과 acetone의 농도가 최대 50.3 ppm으로 가장 높았고, EMA, ethyl acetate, butyl acetate순으로 나타났다. 시술 종류에 따른 비교 결과 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, acetone은 젤 폴리쉬 도포 시술 시 가장 높은 분포를 보였고, butyl acetate과 mixture는 일반 폴리쉬 도포 시술 시 가장 높은 분포를 보였다. 거주밀도에 따른 비교 결과 거주밀도가 높을수록 VOCs 노출이 통계적으로 유의하게 높았다. 따라서 본 연구 결과를 바탕으로 실습생 수를 고려한 적절한 실습실 거주밀도를 유지하고 국소환기 장치 설치 등 실습생의 VOCs 노출을 최소화 할 수 있는 조치가 필요하다고 판단되었다. 본 연구는 2시간 정도의 짧은 실습 시간과 3가지 시술에 대한 실습에 대한 VOCs 수준을 측정한 것으로 향후 보다 다양한 실습 조건에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- 3M. Organic vapor monitor sampling and analysis guide. 2018. [cited 2018 Jul]. Available from:URL: multimedia.3m.com/mws/media/1107310/organic-vapor-monitorsampling-and-analysis.pdf
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Guide to occupational exposure values. ISBN 978-1-60726-06-3. 2019
- American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers(ASHRAE) & American National Standards Institute. Ventilation for acceptable indoor air quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers(ASHRAE). ISSN 1041-2336. 2003
- Choi H, Choi S, Park Y, Choi I. Hazard Investigation of Cosmetic Ingredients in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2018;28(4):406-415 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2018.28.4.406>)
- Choi S, Park SA, Yoon C, Kim S. Task-specific hazardous chemicals used by nail shop technicians. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2015;25(4):446-464 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2015.25.4.446>)
- Estill CF, Flesch JP, Johnston OE et al. Controlling chemical hazards during the application of artificial fingernails. DHHS Publication; 1999. National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH) 99-1132
- Human Resources Development Service of Korea(HRD Korea). Vocational competency assessment - Nail technician Basic information. [cited 2019 Sep 19]. Available from: URL:[http://www.q-net.or.kr/crf005.do?id=crf00505&gSite=Q&gId=&jmCd=7957&examInstiCd=1\(Korean\)](http://www.q-net.or.kr/crf005.do?id=crf00505&gSite=Q&gId=&jmCd=7957&examInstiCd=1(Korean))
- Lavoué J, Joseph L, Knott P, Davies H, Labrèche F, Clerc F et al. Expostats: a Bayesian toolkit to aid the interpretation of occupational exposure measurements. Annals of work exposures and health 2018;63(3): 267-279 (<http://doi.org/10.1093/annweh/wxy100>)
- Lee Y, Park Y, Jo E. A study on labor of beauty service industry workers. 2015(Korean)
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). A NIOSH technical report: guidelines for air sampling and analytical method development and evaluation, NIOSH Pub. No. 95-117, Cincinnati, OH: NIOSH;1995
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: Search the NIOSH Pocket Guide. 2018. [cite 2019 Dec]. Available from:URL:<https://www.cdc.gov/niosh/npg/search.html>
- Marty A. Ethyl methacrylate and methyl methacrylate exposure among fingernail sculptors. Graduate Thesis and Dissertations. University of South Florida, Florida, USA. 2007
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents (MoEL Public Notice No. 2018-62).: 2018
- Occupational Safety & Health Administration(OSHA). Occupational Safety and Health Standards, Toxic and Hazardous Substances, Limits for Air Contaminants. Specified in Tables Z-1, Z-2 and Z-3. Title 29 CFR 1910.1000-1910.1200. 2017. [cited 2019 Dec]. Available from:URL:<http://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/index.html>
- Occupational Safety & Health Administration(OSHA). Sampling and analytical methods - Methyl methacrylate. 1992. [cited 2018 Jul]. Available from:URL:<https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/organic/org094/org094.html>
- Palme, NGM, & Verbist KJM. Prioritization of new and

emerging chemical risks for workers and follow-up actions: Prioritering en follow-up acties voor nieuwe en toenemende arborisico's van stoffen. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). 2015

- Park SA, Gwak S, Choi S. Assessment of occupational symptoms and chemical exposures for nail salon technicians in Daegu City, Korea. Journal of Preventive Medicine and Public Health 2014;47(3): 169 (<http://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.3.169>)
- Quach T, Gunier R, Tran A, Von Behren J, Doan-Billings PA, Nguye KD et al. Characterizing workplace exposures in Vietnamese women working in

California nail salons. Am J Public Health 2011;101: S271-6 (<http://doi.org/10.2105/AJPH.2010.300099>)

Swedish Work Environment Authority(SWEA). Occupational exposure limit values and measures against air contaminants. 2005

US Environmental Protection Agency(US EPA). Protecting the health of nail salon workers. 2007.

<저자정보>

박윤경(대학원생), 최인자(연구원), 최혜영(연구원), 안재경(책임연구원), 최상준(교수), 김수진(교수), 김현서(교수)