

건설현장 우레탄 방수작업자의 휘발성 유기화합물 및 톨루엔 디이소시아네이트 노출평가

박현희^{1,2} · 황은송¹ · 노지원¹ · 장광명¹ · 박승현¹ · 윤충식^{2*}

¹산업안전보건연구원, ²서울대학교 보건대학원

Exposure Assessment of Solvents and Toluene Diisocyanates among Polyurethane Waterproofing Workers in the Construction industry

Hyunhee Park^{1,2} · Eunsong Hwang¹ · Jiwon Ro¹ · Kwangmyung Jang¹ · Seunghyun Park¹ · Chungsik Yoon^{2*}

¹Occupational Safety and Health Research Institute

²Graduate School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to evaluate volatile organic compounds (VOCs) and toluene diisocyanates (TDIs) exposure among polyurethane waterproofing workers in the construction industry.

Methods: Task-based personal air samplings were carried out at seven construction sites using organic vapor monitor for VOCs (n=88) and glass fiber filters coated with 1-(2-pyridyl)piperazine(1-2PP) for TDIs (n=81). The concentration of VOCs and TDIs were shown for four different work types(mixing paint, primer roller painting, urethane resin spread painting, painter assistant) at five different worksites (rooftop, ground parking lot, piloti, bathroom, and swimming pool). The two TDI sampling methods (filter vs impinger) were evaluated in parallel to compare the concentrations.

Results: The geometric mean(GM) concentration of VOCs Exposure Index (EI) was highest for primer roller painting (1.4), followed in order by, urethane resin spread painting (0.85), mixing paint (0.53), and painter assistant (0.35) by work types. The GM of VOCs EI was highest for bathroom (1.4) followed in order by, swimming pool (0.85), piloti (0.89), ground parking lot (0.82) and rooftop (0.57) by worksites. The GM of 2,4-/2,6-TDI concentration was 0.052 ppb and 0.432 ppb each. There was no statistical difference in TDIs concentrations among worksites. The concentration of 2,6-TDI was ten times higher than that of 2,4-TDI. The concentration of 2,6-TDI by impinger method was 5.7 times higher than that by filter method.

Conclusions: In this study, we found 38.6% of the VOCs samples exceeded the occupational exposure limits and 19.8% of the 2,6-TDI samples exceeded 1 ppb among polyurethane waterproofing workers. The most important determinants that increase the concentration of VOCs and TDIs was indoor environment and primer painting work.

Key words: construction workers, polyurethane waterproofing, Toluene diisocyanates(TDIs), Volatile organic compounds(VOCs)

I. 서 론


최근 건축물 옥상 및 노면 주차장 등에서 가장 많이 적용되고 있는 방수는 우레탄 도막방수로 우리나라 건


설방수에서 약 25% 이상의 점유율을 차지하고 있다 (Wang, 2015). 우레탄 도막방수는 폴리올(polyol, -OH 기)과 이소시아네이트(isocyanate, -N=C=O 기)의 반응에 의해 만들어진 폴리우레탄(우레탄 결합(-NHCOO-)을


*Corresponding author: Chungsik Yoon, Tel: 02-880-2734, E-mail: csyoon@snu.ac.kr


Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea. Gwanak-ro 1, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea


Received: May 27, 2020, Revised: June 10, 2020, Accepted: June 20, 2020


 Hyunhee Park <https://orcid.org/0000-0003-1506-9505>

 Jiwon Ro <https://orcid.org/0000-0002-5946-0429>

 Seunghyun Park <https://orcid.org/0000-0002-6515-4428>

 Eunsong Hwang <https://orcid.org/0000-0003-3487-2096>

 Kwangmyung Jang <https://orcid.org/0000-0002-6452-0537>

 Chungsik Yoon <https://orcid.org/0000-0001-7822-0079>

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.

가지는 고분자물질)이 고무와 같은 탄성을 얻게되어 일정한 방수막을 형성하는 공법이다(Toutanji et al., 2013). 폴리우레탄은 변형이나 열에 대한 내구성이 좋고, 도막외관 및 작업성이 우수한 특성이 있다(Seo et al., 2008). 우레탄 도료는 1액형과 2액형 도료로 구분되는데, 1액형은 경화제가 미리 반응되어 있어, 희석제만 섞어 도포한 후 자연 건조되면서 도막을 형성하는 반면, 2액형은 주제와 경화제를 현장에서 교반하여 화학적 반응을 통해 빠르게 경화시켜 도막을 형성하는 방법이다. 대부분의 국내 건설현장에서는 경화시간이 빠르고, 품질이 우수한 2액형의 도료를 주로 사용한다(Kim, 2014). 다만, 2액형 도료의 경화제로 사용되는 이소시아네이트가 미반응되어 교반 및 도포 작업 중 작업자에게 노출될 수 있는 우려가 있다. 이소시아네이트는 반응성이 매우 큰 저분자물질로 -NCO기의 수에 따라 모노이소시아네이트(monoisocyanates, one NCO), 디이소시아네이트(diisocyanates, two NCO) 및 폴리이소시아네이트(polyisocyanates, multi NCO)로 구분할 수 있는데, 폴리우레탄을 형성하기 위한 반응에서는 디이소시아네이트가 사용된다(Bello et al., 2004). 이소시아네이트는 호흡기 및 피부에 감작(sensitization)을 일으키고, 직업성 천식을 유발하는 대표적인 물질로(Stocks et al., 2015), 극히 낮은 농도에서도 천식을 유발하는 것으로 알려져 있다(Lemiere et al., 2002). 특히, 톨루엔 디이소시아네이트(Toluene Diisocyanate, TDI)는 반응성이 풍부하고 가격이 저렴하여 널리 사용되는데, 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 정한 발암 가능 물질(Group 2B, IARC, 1999)로도 알려져 있어 산업보건학적인 측면에서 많은 관심을 가져야 하는 물질이다(Jeong et al., 2012). 그동안 국내에 보고된 이소시아네이트 관련 논문은 대부분 분석방법과 관련된 연구(Lee et al., 1994; Byun et al., 1996; Kang & Kim, 1999; Lee et al., 2001; Yun et al., 2006, Kim et al., 2013; Park et al., 2013)가 가장 많았고, 노 중 대사산물 연구(Park et al., 2002; Park et al., 2003; Lee et al., 2016) 등이 있었다. 공기 중 노출평가연구는 우레탄 폼 제조방식에 따른 디이소시아네이트 평가(Jeong et al., 2012), 가구, 악기, 기계기구 등 도장 작업의 공기 중 TDI 평가(Kim et al., 2009; Park et al., 2002; Lee et al., 2000) 등이 있었다. 국외 연구로는 자동차 수리(Woskie et al., 2004; Liu et al., 2009; Whitaker

et al., 2012), 항공기(Bennett et al., 2016) 도장 등에서 이소시아네이트류가 평가되었으나, 건설현장 우레탄 방수작업의 노출평가 보고는 없었다.

또한, 우레탄 방수작업에서는 우레탄 수지 및 경화제를 용해 또는 분산시키는 매체로 다양한 유기용제류(solvent)가 사용되는데, 작업자가 사용직전 혼합하고, 직접 도포하는 방식으로 작업 중 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)에 고농도로 노출될 가능성이 있다. VOCs는 피부, 폐, 신장 및 중추신경 장애를 유발하는 것으로 알려져 있고(Winder & Turner, 1992), 특히 신경계 독성 영향은 2차적으로 작업자의 빈번한 넘어짐과 미끄러짐을 유발하게 되어 안전사고로 이어질 우려도 있다(Wolfford, 1996). 그동안 자동차 수리(Keer et al., 2018), 조선소(Ahn et al., 2019; Chang et al., 2002), 교량건설(Qian et al., 2010; Riala et al., 1984) 등의 도장작업자에 대한 노출평가가 보고된 바 있었으나, 건설현장 우레탄 방수작업 중 작업공간 및 작업내용에 따른 VOCs 노출평가 보고는 없었다. 이번 연구에서는 건설업 우레탄 방수작업자의 VOCs 및 2,4-/2,6-TDI 노출농도 수준을 파악하여 건설현장 근로자의 직업성 질환 발생과의 연관성 등 규명 및 작업환경개선방안 자료로 활용하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

아파트 신축현장 7개소의 옥상(rooftop), 노면 주차장(ground parking lot), 필로티(piloti) 내부, 세대안 욕실(bathroom) 및 지하 수영장(swimming pool) 바닥 우레탄 방수작업을 연구대상으로 하였다. 평가 작업은 도료 교반(mixing paint), 프라이머 도포(primer roller painting), 우레탄 수지 도포(urethane resin spread painting), 도장 보조(painter assistant), 작업장 지역시료(area)로 나누어 평가하였다. 우레탄 도막방수는 프라이머 도포 및 우레탄 수지 도포의 순서로 이루어지는데 프라이머 도포는 바닥과의 접착력을 높이기 위해 가장 먼저 도포하는 도료로 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 에틸벤젠 등 용제류를 약 50~60%, 톨루엔 2,4/2,6-디이소시아네이트를 약 10~20% 함유하고 있었고 롤러(roller)를 이용하여 작업하였다. 우레탄 수지 도포는 주제와 경화제를 혼합하여 사용하는데, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠 등 용제류가 약 30~35%, 톨루엔

2,4/2,6-다이소시아네이트가 약 10~30%, 폴리프로필렌글리콜, 탄산칼슘, 카올린(고령토) 등이 제품에 따라 다양한 성분으로 구성되어 있었고 고무판 형태의 스프레더(spreeder)를 이용하여 작업하였다. 다만 도료의 구성성분 중에는 영업비밀로 공개되지 않는 정보가 많아 작업자별 취급도료의 구성성분을 특정화하지 못하였다.

2. 시료채취 및 분석

시료채취는 2014년 5월~7월(1차) 및 2018년 4월~6월(2차)에 두 차례 실시되었다. 1차 평가에서는 VOCs에 대한 평가만 이루어졌고, 2차 평가에서는 VOCs와 2,4-/2,6-TDI에 대해서 진행하였다. 시료채취는 도장작업이 진행되는 시간동안 실시하였고, 연속작업이 진행되는 경우 6시간 이상 측정을 실시하였다. 작업자 개인시료 채취방법으로 측정하면서, 일부 TDI 시료는 지역시료 채취방법으로 필터(filter)와 액체포집(impinger) 방법을 병행 평가하여 두 평가방법간의 농도 수준을 비교하였다. 평가대상 현장별 측정시기, 작업장 특성, 시료채취시간 등은 Table 1과 같다.

1) 공기 중 휘발성 유기화합물

수동식시료채취기(Organic Vapor Monitor; 3M 3500, Canada)를 사용하여 시료를 채취하고, 가스 크로마토그래피(Gas Chromatography, GC 6890 & 7890A, Agilent Tech, USA)의 불꽃이온화검출기(Flame Ionization Detector) 및 질량분석기(Mass Spectrometer Detector)를 사용하여 분석하였다. 분석조건은 Table 2와 같다. 분석 대상물질은 수동식시료채취기 사용방법으로 분석 가능한 물질과 도료의 구성

성분을 고려하여 아세톤(acetone), 메틸에틸케톤(methyl ethyl ketone), 초산 에틸(ethyl acetate), 노말헥산(n-hexane), 트리클로로에틸렌(trichloroethylene), 벤젠(benzene), 메틸이소부틸케톤(methyl isobutyl ketone), 초산 이소부틸(isobutyl acetate), 톨루엔(toluene), 초산 부틸(n-butyl acetate), 퍼클로로에틸렌(perchloroethylene), 에틸렌글리콜모노부틸에테르 아세테이트(ethylene glycol methyl ether acetate), 에틸벤젠(ethyl benzene), 자일렌(xylene), 스티렌(stylene)의 15가지 물질에 대하여 분석을 실시하였다. 각 VOCs의 혼합물질평가를 위하여 검출된 각 물질의 농도를 노출기준으로 나누어 합산하여 노출지수(Exposure Index, EI)를 산출하여 (Equation-1)과 비교하였으며, 이 지수가 1을 초과하는 경우, VOCs 농도가 기준을 초과하는 것으로 평가하였다.

$$EI = \frac{C_1}{OEL_1} + \frac{C_2}{OEL_2} + \dots + \frac{C_n}{OEL_n} \dots\dots \text{(Equation -1)}$$

여기서 C는 각 유기화합물 성분의 측정값, OEL (Occupational Exposure Limits)은 각 유기화합물의 노출기준을 의미한다.

2) 공기 중 2,4-/2,6-다이소시아네이트

(1) 개인시료 채취(OSHA-ID 42) 측정 및 분석

개인시료 채취를 위한 측정 및 분석은 OSHA-ID 42 (OSHA, 1983)에 따라 실시하였다. 채취매체는 1,2PP (1-(2-pyridyl) piperazine) 0.1 mg이 코팅된 유리섬유과지(37 mm, SKC Inc., USA)를 개방형 카세트

Table 1. Target monitoring workplace

Workplace	Sampling period	Sampling days	Sample numbers (workers)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Sampling location (worksite)	Work environment	Average sampling time (min)	Worksite area (m ²)	Average usage of paint (kg)	kg/m ²	Paint brand
A	May, 2014	2 days	5	27~30	25~30	Rooftop	Outdoor	360	590	1100	1.86	KL
B	May, 2014	1 day	10	27~30	40~48	Ground parking lot	Outdoor	120	600	1320	2.20	SC
C	May, 2014	1 day	10	21~25	80~89	Swimming pool	Indoor	186	400	1000	2.50	BK
D	April, 2018	2 days	10	17~22	40~63	Rooftop	Outdoor	201	495	1500	3.03	NR
E	May, 2018	4 days	27	14~22	45~53	Rooftop	Outdoor	212	495	1200	2.42	KC
F	May, 2018	2 days	8	21~23	40~50	Bathroom	Indoor	283	34	84	2.47	NR
G	May, 2018	2 days	12	22~24	70~80	Piloti	Semi-Indoor	407	247	800	3.24	JS
H	June, 2018	1 days	6	25~26	45~50	Ground parking lot	Outdoor	445	396	1100	2.78	NR

Table 2. Analytical instrument and conditions for volatile compounds

Classification	First measurement	Second measurement
Instrument	GC 6890 (Agilent Technologies, USA)	GC 7890A (Agilent Technologies, USA)
Detector	Flame Ionization Detector (FID)	Mass Spectrometer Detector(MSD) ; Agilent 5975C inert XL with Triple-Axis Detector
Inlet	200°C, Column flow: 1 mL/min	270°C, Column flow: 1 mL/min
Oven	40°C (5 min) 10°C/min to 130°C (1 min) 20°C/min to 230°C for (7 min)	40°C (5 min) 8°C/min to 250°C (10 min)
Detector	Temperature: 230°C H2 Flow: 40 mL/min Air Flow: 450 mL/min Make up Flow(N ₂): 29 mL/min	-
Column	DB-624 (60 m x 0.25 mm x 1.4 μm) DB-WAX (30 m x 0.25 mm x 1.0 μm)	HP-5MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 μm)

Table 3. Analytical instrument and conditions for isocyanates

Analysis device	Acquity UPLC H-Class(Waters)
Mobile phase	0.01 M ammonium acetate in 37.5/62.5 ACN/water(v/v) adjusted to pH 6.2 with acetic acid
Flow rate	0.4 ml/min
Detector	Fluorescence detector - 240 nm excitation - 370 nm emission
Column	BEH C18 (2.1x100mm, 1.7μm)

(open-face cassette)에 장착하고 고유량 시료채취기 (Escort Elf Sampling pump; MSA, USA)를 사용하여 유량을 각 2 L/min으로 설정하여 채취하였다. 채취된 시료는 카세트 마개를 막고 햇빛으로부터 차단하여 실험실로 운반하고 냉장 보관하였다. 현장 공시료 및 실험실 공시료를 분석하여 보정을 실시하였다. 시료채취기는 유량보정기(Dry cal, Defender 520-M; MesaLabs, USA)를 사용하여 시료채취 전, 후에 보정을 실시하였다. 시료의 분석은 형광검출기(fluorescence detector)가 장착된 고성능액체크로마토그래피(HPLC, Acquity UPLC H-Class; Waters USA)를 사용하였다. 상세한 분석조건은 Table 3과 같다.

(2) 지역시료 채취(NIOSH #5522) 측정·분석

지역시료 채취를 위한 측정 및 분석은 NIOSH # 5522(NIOSH, 1998)에 따라 실시하였다. 채취매체는 25 ml 임핀저(impinger)에 흡수액으로 Tryptamine/DMSO(Demethyl Sulfoxide)를 20 ml 주입하였고,

고유량 시료채취기(Escort Elf Sampling pump; MSA, USA)를 사용하여 유량을 각 1.2~1.5 L/min으로 설정하여 채취하였다. 시료는 햇빛으로부터 차단하여 실험실로 운반하고 냉장 보관하였다. 현장 공시료 및 실험실 공시료를 분석하여 공시료에 대한 보정을 실시하였다. 시료채취기는 유량보정기(Dry cal, Defender 520-M; MesaLabs, USA)를 사용하여 시료채취 전, 후에 보정을 실시하였다. 분석은 형광검출기가 장착된 고성능액체크로마토그래피(HPLC, Acquity UPLC H-Class; Waters USA)를 사용하였다. 상세한 분석조건은 Table 3과 같다.

3. 자료분석

측정자료는 정규성 검정(Shapiro-Wilk test)을 실시하여 분포 특성을 살펴보았으며, 분석물질에 따라 정규 분포 또는 대수정규분포를 따르지 않는 평가그룹이 존재하였다. 다만, 자료의 형태가 대수정규분포에 가까워, 로그 변환한 뒤 분산분석(ANOVA) 및 T-검정(T-test)

을 통해 그룹간 평균농도를 비교하였고, 비모수 검정방법인 Kruskal-Wallis rank test를 병행하여 차이를 살펴보았다.

그룹별 평균값은 산술평균(arithmetic mean, AM), 표준편차(standard deviation, SD), 기하평균(geometric mean, GM), 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD), 중위수(median) 등으로 정리하여 부록으로 제시하였다(Appendix 1-6). 검출한계 미만인 시료는 검출한계의 1/2로 변환하여 자료 처리하였으며(Cohen, 1961; Hornung & Reed, 1990), 자료 분석을 위한 통계처리

및 그래프 작성은 PASW version 18.0(SPSS Ins, Chicago, IL, USA)과 Sigma Plot version 14.0(Systat Software Inc.;San jose, CA, USA)을 이용하였다.

III. 결 과

1. 휘발성 유기화합물 노출평가 결과

우레탄 도막 방수작업에서 채취한 총 88개 VOCs 시료의 분석 결과(Table 4, Appendix 1-3), 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 에틸벤젠, 초산에틸, 초산부틸 성분

Table 4. Geometric mean(GM) and geometric standard deviation(GSD) of VOCs concentration by worksite, work type and work environment

Classification	n*	Exposure index (S. Korea OEL [†])	Exposure index (ACGIH TLV [†])	Meyhyl ethyl ketones (ppm)	Ethyl acetate (ppm)	Toluene (ppm)	n Buthyl acatate (ppm)	Ethyl benzene (ppm)	Xylene (ppm)
<i>OEL (S. Korea)</i>		1	1	200	400	50	150	100	100
<i>OEL (ACGIH)</i>				200	400	20	50	20	100
Total		0.78(2.53)	1.84(2.6)	0.18(3.61)	1.23(4.07)	18.72(4.44)	0.93(2.74)	2.92(3.86)	8.27(3.58)
Worksite									
Rooftop	42	0.57(2.89)	1.38(3.03)	0.13(2.22)	0.78(3.22)	10.11(5.91)	0.78(2.18)	2.21(4.05)	5.37(3.44)
Ground floor	16	0.82(1.62)	1.98(1.63)	0.2(3.52)	0.88(2.92)	26.08(2.06)	0.97(2.39)	3.95(3.8)	9.56(3.53)
Piloti floor	12	0.89(1.48)	2.15(1.47)	< LOD [§]	7.66(3.17)	33.72(1.51)	< LOD	5.6(1.58)	11.06(1.72)
Bathroom floor	8	1.4(1.82)	2.85(1.98)	< LOD	1.24(3.83)	28.25(2.05)	7.16(3.95)	9.94(2.97)	53.55(2.14)
Swimming pool	10	1.37(2.96)	3.12(3.22)	2.04(5.02)	1.56(4.35)	52.08(3.9)	< LOD	0.99(2.59)	6.36(2.89)
<i>ANOVA analysis</i>		<i>p</i> <0.05	<i>p</i> =0.059	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p</i> <0.05	<i>p</i> =0.142	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.058	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> <0.001
Work type									
Primer roller painting	17	1.2(2.89)	3.18(2.63)	0.84(7.21)	2.3(4.52)	26.46(7.39)	0.6(1)	2.09(6.46)	5.26(3.69)
Mixing paint	10	0.53(3.35)	1.12(3.68)	0.1(1)	0.75(2.35)	11.96(5.91)	1.07(2.98)	1.62(2.38)	7.47(3.53)
Urethane resin spreader painting	34	0.85(2.05)	1.96(2.26)	0.16(2.5)	0.9(4.31)	26.49(3.16)	0.89(2.75)	2.7(3.13)	7.73(3.14)
Painter assistant	10	0.35(3.08)	0.98(3.16)	0.1(1)	1.52(4.93)	3.96(4.45)	0.6(1)	5.07(5.32)	6.37(3.51)
Area sample	17	0.83(1.65)	1.79(1.62)	0.1(1)	1.46(3.17)	21.49(1.69)	1.86(3.94)	4.88(2.65)	18.36(3.7)
<i>ANOVA analysis</i>		<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.141	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> =0.124	<i>p</i> <0.05
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p</i> =0.058	<i>p</i> =0.065	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> =0.110	<i>p</i> <0.05
Environment									
Outdoor	58	0.63 (2.58)	1.53 (2.68)	0.15 (2.6)	0.81 (3.11)	13.13 (5)	0.83 (2.23)	2.6 (4.03)	6.29 (3.52)
Semi-indoor	12	0.89 (1.48)	2.15 (1.47)	< LOD	7.66 (3.17)	33.72 (1.51)	< LOD	5.6 (1.58)	11.06 (1.72)
Indoor	18	1.38 (2.41)	3 (2.61)	0.53 (6.94)	1.41 (3.97)	39.68 (3.11)	1.81 (4.68)	2.76 (4.64)	16.39 (4.15)
<i>ANOVA analysis</i>		<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> =0.197	<i>p</i> <0.05
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p</i> =0.056	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> =0.128	<i>p</i> <0.05

* Sampling number

† Occupational exposure limits

‡ American conference of governmental industrial hygienist Threshold limit value

§ Limit of Detection

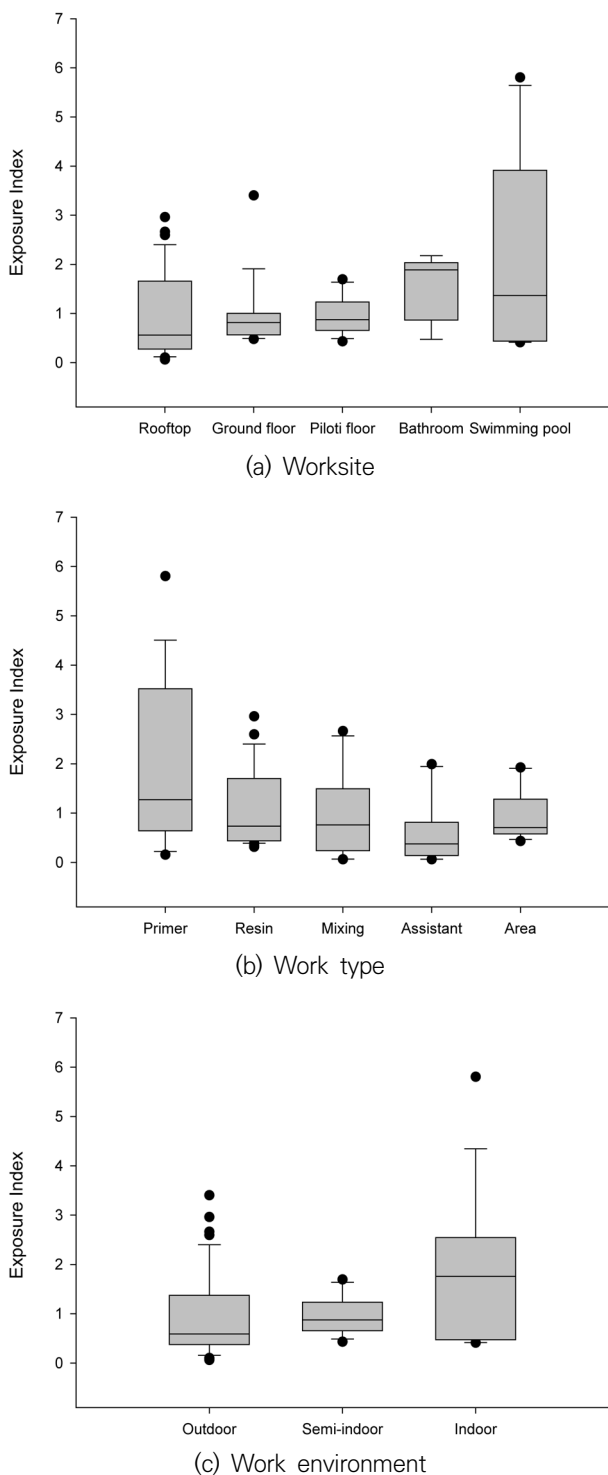


Figure 1. Exposure Index based on KOEL of VOCs by (a) worksite, (b) work type and (c) work environment conditions

※ The boxes show the 25th and 75th percentiles and whiskers indicate 10th and 90th percentiles. Median is indicated by the line inside the box.

이 검출되었으며, 각 성분별 GM(범위)은 18.72(1.5~285.5) ppm, 8.27(1.68~113.98) ppm, 0.18(0.1~12.06) ppm, 2.92(0.3~103.14) ppm, 1.23(0.11~42.21) ppm, 0.93(0.6~26.77) ppm 이었다. 이들을 국내 노출기준(Korea Occupational Exposure Limits, KOEL: MoEL, 2020)을 적용하여 EI를 평가한 결과, GM 0.78(GSD 2.53) 이었으며, EI가 1을 초과하는 시료가 34개(38.6%), 2를 초과하는 시료가 12개(13.6%) 있었다. 다만, EI를 미국 정부산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서 정한 노출기준(Threshold Limit Values, TLVs: ACGIH, 2018)에 따라 산출하면, 톨루엔(50→20 ppm), 초산부틸(150→50 ppm), 에틸벤젠(100→20 ppm)의 노출기준 차이로, EI의 GM이 1.84로 국내 OEL 적용 결과보다 2배 이상 높았다. 혼합물질 평가에 가장 큰 영향을 미치는 물질은 톨루엔으로 50 ppm을 초과하는 시료가 25개(28.4%) 있었고, 에틸벤젠과 자일렌도 각 2개 시료가 100 ppm을 초과하였다.

VOCs 평가 결과를 작업 장소, 작업내용 및 실내외 환경으로 구분하여 평가하면, Figure 1과 같다. 작업 장소에 따른 EI(KOEL 적용)의 GM(GSD)은 세대안 욕실 1.4(1.82) > 실내 수영장 1.37(2.96) > 필로티 내부 0.89(1.48) > 지상 주차장 0.82(1.62) > 옥상 0.57(2.89) 순으로 높았다. 작업 장소에 따른 EI 값은 통계적으로 유의하게 달랐는데($p < 0.05$), 옥상 작업에서 유의하게 낮았다. 작업내용에 따라 살펴보면, 프라이머 도포 1.2(2.89) > 우레탄 수지 도포 0.85(2.05) > 작업장 내 지역시료 0.83(1.65) > 도료 교반작업 0.53(3.35) > 도장 보조 작업 0.35(3.08) 순으로 높았다. 작업내용에 따른 EI 값은 통계적으로 유의하게 달랐으며($p < 0.05$), 프라이머 도포작업이 유의하게 높았다. 작업공간을 실내작업(indoor), 반실내작업(semi-indoor)과 실외작업(outdoor)으로 구분하여 살펴보면, 실내작업이 1.38(2.41) > 반 실내작업 0.89(1.48) > 실외작업 0.63(2.58) 순이었다. 실내외 환경에 따른 노출농도 수준은 통계적으로 유의하게 다른 것으로 평가되었다 ($p < 0.05$).

2. 톨루엔 디이소시아네이트 노출평가 결과

우레탄 도막 방수작업에서 채취한 총 81개 톨루엔 2,4/2,6 - 디이소시아네이트(2,4/2,6-TDI, OEL: 5 ppb) 시료의 분석결과(Table 5, Appendix 4-6), GM(범위)는 2,4-TDI 0.052(0.003~0.5) ppb 이었고, 2,6-TDI

Table 5. Geometric mean(GM) and geometric standard deviation(GSD) of isocyanates by worksite, work type and work environment (unit: ppb)

Classification	n*	2,4-TDI	2,6-TDI
<i>OEL</i> [†]		5 ppb	5 ppb
<i>Total</i>	81	0.052(2.207)	0.432 (3.534)
Worksite			
Rooftop	54	0.059(1.9)	0.388(3.741)
Ground floor	6	0.032(4.157)	0.331(7.118)
Piloti floor	12	0.034(1.987)	0.694(2.097)
Bathroom floor	9	0.062(2.214)	0.523(3.009)
<i>ANOVA analysis</i>		$p < 0.05$	$p = 0.635$
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		$p < 0.05$	$p = 0.451$
Work type			
Primer roller painting	9	0.051(1.908)	5.365(2.591)
Urethane resin spreader painting	22	0.047(2.241)	0.465(2.177)
Mixing paint	10	0.078(1.865)	0.316(2.149)
Painter assistant	11	0.072(2.16)	0.065(3.056)
Area sample	29	0.045(2.379)	0.427(2.768)
<i>ANOVA analysis</i>		$p = 0.390$	$p < 0.001$
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		$p = 0.321$	$p < 0.001$
Environment			
Outdoor	60	0.055(2.181)	0.382(3.953)
Semi-indoor	12	0.034(1.987)	0.694(2.097)
Indoor	9	0.062(2.214)	0.523(3.009)
<i>ANOVA analysis</i>		$p < 0.05$	$p = 0.700$
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		$p = 0.090$	$p = 0.276$

* Sampling number

† Occupational exposure limits

0.432(0.003~22.81) ppb이었다. 2,4-TDI 농도는 작업장소에 따라 통계적으로 유의하게 달랐으나($p < 0.05$), 작업내용에 따른 차이는 없었다. 반면, 2,6-TDI는 작업장소에 따라 통계적으로 유의하게 다르지 않았으나, 작업내용에 따라서는 통계적으로 유의하게 달랐는데, 특히 프라이머 도포작업에서 높았다($p < 0.001$)(Figure 2~3). 지역시료로 평가한 필터 및 액체포집법 분석결과를 살펴보면, 필터법으로 평가한 2,6-TDI 자료만 대수정규 분포하는 특성이 있었다. 2,6-TDI 농도는 액체포집법이 필터법보다 GM 5.7배(GSD 2.455) 더 높았다(Table 6). 평가방법간 상관관계 분석결과(spearman correlation), $r = 0.648$ ($p < 0.001$)로 강한 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다.

IV. 고 찰

아파트 신축현장의 옥상, 지상 주차장, 필로티, 세대 안 욕실 및 지하 수영장 바닥 우레탄 방수작업을 대상으로 도장작업자의 VOCs 및 2,4-/2,6-TDI 노출수준을 평가하였다. VOCs의 혼합물질 노출지수(EI)의 GM은 KOEL의 약 78%수준이었으며, OEL을 초과하는 시료가 전체시료의 약 38.6%로 작업환경관리가 요구되는 수준이다. 더욱이, EI를 미국 ACGIH TLVs에 따라 산출하면, EI의 GM이 1.84로 OEL의 약 2배 수준으로 매우 높았다. 혼합물질 평가에 가장 큰 영향을 미치는 물질은 톨루엔으로 전체시료의 GM은 18.72 ppm 수준이었으나 GSD 4.44로 농도의 범위가 매우 넓었다. 특히,

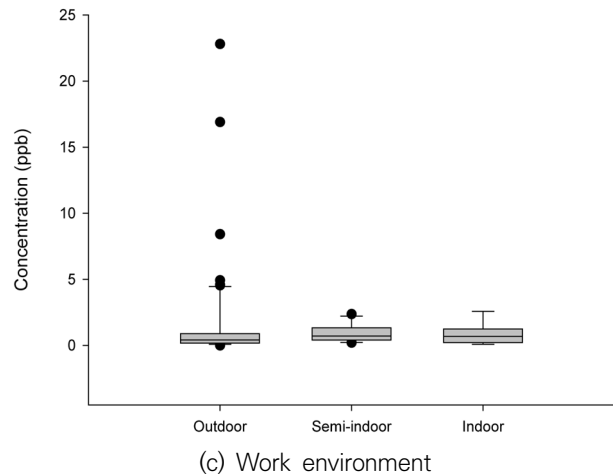
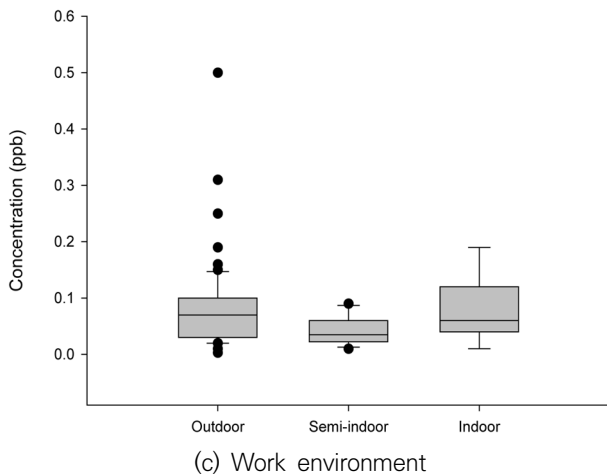
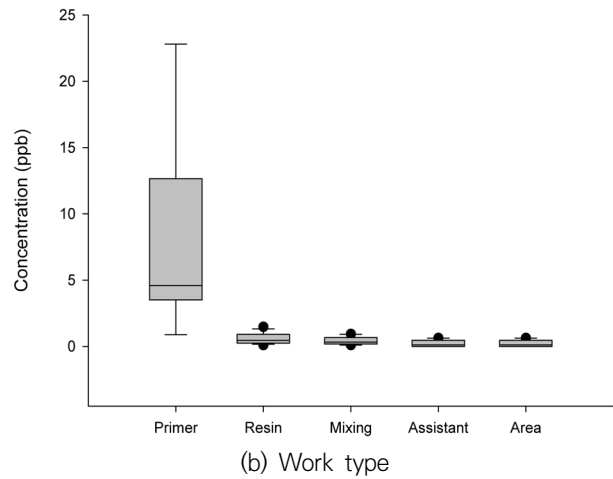
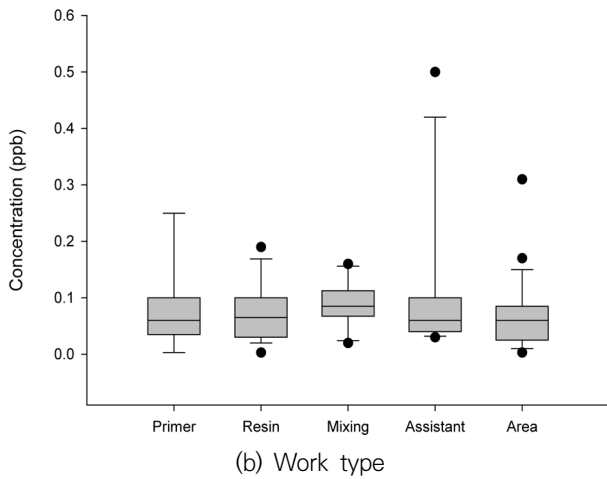
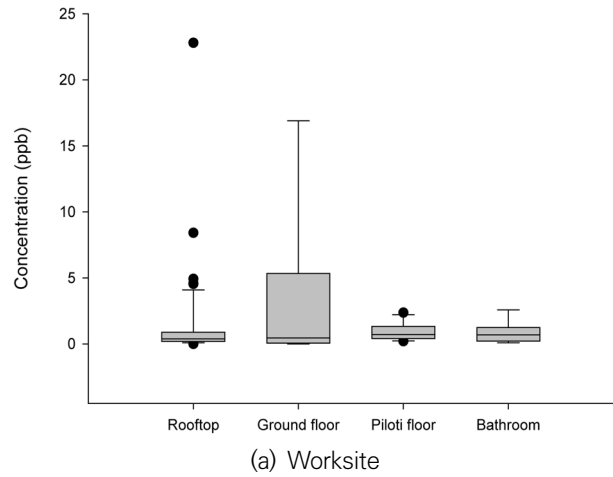
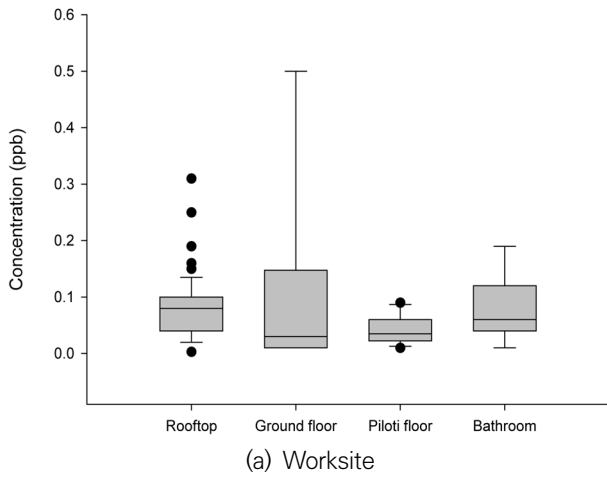


Figure 2. Concentration of 2,4-TDIs by (a) worksite, (b) work type and (c) work environment conditions

※ The boxes show the 25th and 75th percentiles and whiskers indicate 10th and 90th percentiles. Median is indicated by the line inside the box.

Figure 3. Concentration of 2,6-TDIs by (a) worksite, (b) work type and (c) work environment conditions

※ The boxes show the 25th and 75th percentiles and whiskers indicate 10th and 90th percentiles. Median is indicated by the line inside the box.

Table 6. Comparison of filter and impinger methods of TDIs

No	Company	Day	2,6-TDI (ppb)		Ratio (Impinger/Filter)
			Impinger	Filter	
1	D	DAY 1	1.65	0.08	20.6
2		DAY 2	1.78	0.43	4.1
3		DAY 2	10.22	0.35	29.2
4		DAY 2	100.44	1.55	64.8
5		DAY 1	5.34	1.24	4.3
6		DAY 1	1.22	0.44	2.8
7		DAY 1	1.20	0.39	3.1
8		DAY 2	1.52	0.28	5.4
9	E	DAY 2	2.34	0.28	8.4
10		DAY 3	64.36	22.81	2.8
11		DAY 3	32.79	4.60	7.1
12		DAY 3	25.54	4.55	5.6
13		DAY 4	2.70	0.32	8.4
14		DAY 4	3.09	0.47	6.6
15		DAY 4	6.13	0.43	14.3
16		DAY 1	4.07	2.58	1.6
17	F	DAY 1	0.76	0.37	2.1
18		DAY 1	4.08	1.50	2.7
19		DAY 2	1.14	0.08	14.3
20		DAY 2	1.92	0.69	2.8
21		DAY 2	1.87	0.18	10.4
22	G	DAY 1	1.24	0.44	2.8
23		DAY 1	7.37	2.37	3.1
24		DAY 1	3.75	1.86	2.0
25		DAY 2	1.63	0.45	3.6
26		DAY 2	2.79	0.84	3.3
27	H	DAY 2	1.53	0.78	2.0
28		DAY 1	3.36	0.35	9.6
29		DAY 1	1.58	0.08	19.8
30		DAY 1	3.26	0.46	7.1
Geometric Mean (Geometric Standard Deviation)					5.7(2.46)
Median					4.9
Spearman correlation					0.648(p < 0.001)

지하수영장 방수작업에서 톨루엔의 최고 농도(285.5 ppm)는 ACGIH OEL(20 ppm)의 10배 이상으로 검출되었다. 건설현장 도장작업 중 환기가 불충분한 공간에서 방수작업을 시행할 경우 일반 방독마스크가 아닌 송기마스크를 지급하여 착용하도록 작업환경관리가 필요하다. Ahn et al.(2019)의 연구에서는 조선소 도장작업

자를 대상으로 VOCs 농도를 평가하였는데, 스프레이(spray) 도장작업자의 EI GM이 0.71(KOEL 적용)로 이번 연구의 우레탄 방수 작업자 노출수준과 유사하였다. 일반적으로 도료를 스프레이 방법으로 도포할 때 VOCs의 노출농도가 높은 것으로 알려져 있는데(Keer et al., 2018), 이번 연구의 우레탄 방수작업은 롤러

(roller) 및 스프레더(spreader)를 이용한 작업이었음에도 유사한 노출농도 수준을 나타내었다. Uang et al.(2006)의 연구에서는 비행기 동체의 도장작업 시 VOCs 농도를 평가하였는데, 프라이머를 바르는 작업에서 툴루엔 농도(AM±SD)가 6.55±2.44 ppm(Boeing 747-400), 10.72±8.28 ppm(Airbus A300)이었고, 표면도장작업에서는 5.93±7.23 ppm(Boeing 747-400), 5.16±2.81 ppm(Airbus A300)으로 보고하여 이번 연구보다 낮은 수준이었다.

VOCs의 농도는 작업공간 중 옥상에서 가장 낮고, 세대내부 욕실 및 지하 수영장에서 높아 작업장 환경조건이 가장 큰 환경변수임을 알 수 있었다. 작업내용에 따른 VOCs의 노출농도는 교반, 우레탄 수지 도포, 보조 작업자 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었지만, 프라이머 도포 작업 시 통계적으로 유의하게 높았는데, 이는 프라이머 도료에 유기화합물이 함량이 높고 롤러를 사용하여 작업시간이 긴 것이 원인으로 평가된다. 이번 연구를 통해 건설현장 우레탄 방수작업자의 VOCs 노출 감소를 위한 작업환경관리가 필요함을 알 수 있고, 특히 환기가 부족한 실내공간(세대내부, 지하공간 등) 및 프라이머(하도) 작업에서 적절한 환기장치의 사용, 공기정화기능이 있는 호흡보호구 등의 사용이 요구된다.

다만, 본 연구에서 VOCs 평가는 작업 중 움직임이 많은 건설현장 근로자들의 작업특성을 반영하여 시료채취 시 불편함을 최소화한 수동식시료채취기(OVM)를 사용하였으나, 활성관을 이용한 능동식 시료채취방법보다 평가결과의 정확도에는 여러 제한점이 있을 수 있다. 수동식 시료채취방법이 일반적으로 기류가 높은 옥외작업이거나 움직임이 많은 작업의 경우 채취효율이 향상되어 능동식 시료채취방법보다 높은 농도수준으로 평가된다는 보고가 있고, 또는, 고농도이거나, 일부 극성물질의 경우 활성탄관보다 낮은 농도수준을 보인다는 연구 결과도 있다(Jang & Kim 2005). 그러나, 일부 유기용제에 대해서 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서 공식적으로 사용이 인정되고, 국내에서도 고용노동부에서 작업환경측정에 수동식 시료채취기 사용을 허용하고 있다. 수동식 시료채취기의 결과를 능동식 방법의 결과와 비교할 때는 주의하여야 한다. 본 연구결과는 수동식 채취기를 일반적으로 사용하여 농도의 경향이나 직무 및 작업환경 간 차이는 확인 가능하였다.

우레탄 방수 작업자의 2,4/2,6-TDI 노출평가 결과, 전체시료 GM은 각 0.052 ppb, 0.432 ppb으로 KOEL (5 ppb)의 10% 미만으로 낮았지만, 2,6-TDI 전체시료 중 3개 시료(3.7%)가 KOEL을 초과하였다. Lemiere et al.(2002) 등의 연구에서 이소시아네이트는 1 ppb 이하의 낮은 농도에서도 호중구(neutrophilic)의 기능적 및 염증성 변화로 천식유발이 가능하다고 보고하였고, Stocks et al.(2015)은 이소시아네이트에 노출되는 모든 근로자는 위험이 매우 낮거나 없다하더라도 주기적인 건강진단을 통한 감시체계 운영이 필요하다고 하였다. ACGIH는 2,4/2,6-TDI의 TLVs를 2015년부터 1 ppb(흡입성 입자)로 낮추어 지정하였다(ACGIH, 2018). 이번 연구의 2,6-TDI GM은 1 ppb의 약 50% 수준이었으며, 16개 시료(19.8%)가 1 ppb를 초과하였다. 2,4/2,6-TDI 농도를 비교하였을 때 2,6-TDI가 2,4-TDI보다 약 10배 이상 높은 농도수준을 나타내었다. Kim et al.(2009)의 연구에서 목재가구, 선반제조, 악기 제조업, 자동차 정비업의 도장작업을 대상으로 TDI를 평가한 결과 2,6-TDI(0.12~5.89 ppb)가 2,4-TDI(0.08~0.14 ppb)보다 약 5~10배 높았다고 보고하였다. Park et al.(2003)의 연구에서도 우레탄 도료를 사용하는 도장작업에서 공기 중 2,4-TDI는 0.23±0.43 µg/m³, 2,6-TDI는 10.30±10.00 µg/m³으로 40배 이상 높은 농도수준임을 보고하였다. 2,6-TDI는 2,4-TDI와 비교하여 메틸기에 대한 이소시아네이트기의 위치 및 증기압이 더 높아 공기 중 휘발이 더 용이한 것으로 알려져 있으며(Kang & Kim, 1996; Kim et al, 2009), 실험실에서 실시한 분석방법 비교연구에서 2,6-TDI가 2,4-TDI와 비교하여 회수율이 더 높은 특성이 있다고 보고된 바 있다(Byun et al., 1996). 또한, 일반적인 중합반응에서 2,4-TDI가 2,6-TDI보다 반응성이 좋기 때문에 미반응된 2,6-TDI가 공기 중에 증발되어 농도가 더 높다는 보고도 있었다(Park et al., 2003). 그동안 국내 산업안전보건법에서 2,4-TDI만 허용기준 설정물질로 관리해왔으나, 최근 2,6-TDI가 허용기준 설정물질로 추가되어 이소시아네이트 노출 근로자에 대한 건강관리가 강화되었다(MoEL, 2019).

공기 중 이소시아네이트 측정 분석은 다양한 방법이 존재하는데, 연구자마다 서로 다른 방법과 기준을 적용하여 연구결과를 비교하는데 한계가 있다(Bello et al., 2004). 이소시아네이트는 단량체(monomer)와 최대 10개의 단량체가 결합된 중합체(oligomer)로 구분할 수 있고, 방향

족(aromatic; 2,4-/2,6-TDI, 4,4'-diphenylmethane diisocyanate(MDI))과 포화(saturated) 이소시아네이트를 지칭하는 지방족(aliphatic; 1,6-hexamethylene diisocyanate(HDI), isophorone diisocyanate (IPDI), methylenedicyclohexyl diisocyanate (HMDI)) 및 지환족(alicyclic) 등으로 다양하여, 측정, 분석방법에 따라 평가할 수 있는 성분이 달라진다. 가장 대표적으로 활용되는 방법이 미국산업안전보건청에서 사용하는 OSHA-ID 42방법이며, 이는 현재 안전보건기술지침(Kosha-guide)에 의한 국내 허용기준 설정물질인 2,4/2,6-TDI의 공정시험방법(A-76-2019, A-77-2019; KOSHA, 2019)이기도 하다. 다만, OSHA-ID 42 방법은 필터를 이용하여 채취가 간단하고 개인시료 채취가 가능한 장점은 있으나 2 μ m미만의 작은 입자와 이소시아네이트 단량체만 채취가 가능한 한계가 있다. 반면 액체포집법은 개인시료 채취는 어려우나, 2 μ m이상의 큰 입자의 채취가 가능하고 단량체 뿐 아니라 중합체의 채취도 가능한 장점이 있다. 이번 연구에서는 사업장별 각 3개씩의 지역시료채취를 별도로 실시하여 액체포집법과 필터법을 비교하였는데, 2,6-TDI의 평가결과에서 액체포집법이 필터법보다 약 5.7배가 농도가 높았다. 2,4-TDI의 경우 필터와 액체포집법간의 상관성이 약하고, 필터법에서 농도수준이 극히 낮았던 제한점이 있어 직접적인 비교는 어려웠다. Kim et al.(2009)의 연구에서도 액체포집법으로 평가한 시료가 필터법보다 약 1.5배 더 높았다고 보고하였고, Lee et al.(2000)의 연구에서도 2,6-TDI의 경우 두 방법간의 차이가 기하평균으로 약 5배정도 발생한다고 보고하였다. 최근에는 필터와 임핀저를 병렬로 두고 시료를 채취하는 NIOSH #5525 또는 두가지 종류의 필터(PTFE, Glass Fiber)를 병렬로 사용하는 ASTM D 5932 또는 ISO 17735 방법으로 시료를 채취하여 보고하는 자료가 증가하고 있다. 다만 이러한 방법은 분석과정이 매우 복잡하고, 이물질에 의한 간섭 및 회수율이 낮은 문제점을 가지고 있다고 보고된 바 있다(Roh & Streicher, 1999). 이번 연구에서 2,4-TDI 농도는 노출기준과 비교하면 낮은 수준이었으나, 2,6-TDI는 일부시료가 노출기준을 초과하였고, 천식을 유발할 수 있는 것으로 알려진 1 ppb 이상의 농도도 전체시료의 약 20%가 검출되어 우레탄 방수 작업장에 대한 관리 및 작업자의 철저한 건강검사가 필요함을 알 수 있었다. 또한, 단량체뿐 아니라 중합체 등 다양한 이소시아네이트에 대한 측정, 분석방법에 대한 연구 및 국외에서 적용하고 있는 총 이소시아네이트(-NCO)로의

노출기준($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 설정하는 방안(Bello et al., 2004) 등에 대한 추후 연구가 필요하다.

V. 결 론

본 논문은 아파트 건설현장 우레탄 방수작업자의 VOCs 및 2,4-/2,6-TDI 노출수준을 평가하였으며 주요 평가내용은 다음과 같다.

1. 우레탄 방수작업에서 채취한 총 88개 VOCs 시료 분석 결과, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 에틸벤젠, 초산에틸, 초산부틸 성분이 검출되었으며, 각 성분별 GM(범위)은 18.72(1.5~285.5) ppm, 8.27(1.68~113.98) ppm, 0.18(0.1~12.06) ppm, 2.92(0.3~103.14) ppm, 1.23(0.11~42.21) ppm, 0.93(0.6~26.77) ppm 이었고, VOCs의 혼합물질 노출지수(EI) GM(GSD)은 KOEL 적용 시 0.78(2.53)이었다.

2. 톨루엔은 25개(28.4%) 시료가 50 ppm을 초과하였고, 에틸벤젠과 자일렌은 각 2개 시료가 100 ppm을 초과하였다. VOCs의 혼합물질 노출지수(EI)가 1을 초과하는 시료는 전체시료의 38.6%이었다.

3. 우레탄 방수작업에서 채취한 총 81개 2,4-/2,6-TDI 시료 분석 결과, 각 성분별 GM(범위)은 0.052(0.003~0.5) ppb, 0.432(0.003~22.81) ppb이었고, 2,6-TDI 시료 중 16개(19.8%)는 ACGIH TLV인 1 ppb를 초과하였다.

4. 작업내용에 따른 농도 비교 시, 프라이머 도포작업에서 VOCs와 TDI 농도가 가장 높게 평가되었으며, 작업공간에 따라서는 실내공간인 세대내부 욕실 및 지하수영장 작업에서 VOCs 농도가 높았으나, TDIs 농도는 작업공간에 따른 차이는 없었다.

5. 2,4-/2,6-TDI 농도를 비교하였을 때 2,6-TDI 농도가 2,4-TDI 농도보다 10배 이상 높은 수준을 나타내었고, 액체포집법으로 평가한 시료의 농도가 필터법보다 약 5.7배 더 높았다. 필터법에 의한 TDI의 평가는 2 μ m미만의 작은 입자와 이소시아네이트 단량체만 채취가 가능한 한계가 있으므로, TDI의 노출평가 시, 입자의 크기 및 특성 등을 고려한 평가방법 선정이 매우 중요하다.

이번 연구결과를 통해 건설현장 우레탄 방수작업자들의 VOCs 및 TDIs 노출수준이 작업자의 건강에 해로운 영향을 미칠 수 있는 수준임을 확인하였다. 노출농도에

영향을 미치는 주요 요인은 실내환경 등 작업공간의 특성과 도료의 구성성분 임을 알 수 있었다. 향후 건설현장 우레탄 방수작업 시, 독성이 낮은 도료 선정, 적절한 환기장치의 사용, 공기정화기능이 있는 호흡보호구 등의 사용 등이 요구된다.

References

- Ahn J, Park D, Kang T. Characteristics of workers' exposure concentration and daily variations to organic solvents in shipbuilding painting processes. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2019;29(4): 488-499, <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2019.29.4.488>
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposures indices. ACGIH, 2018, page 59
- Bello D, Woskie SR, Streicher RP, Liu Y, Stowe MH, Eisen EA, Ellenbecker MJ, Sparer J, Youngs F, Cullen MR, Redlich CA. Polyisocyanates in occupational environments: a critical review of exposure limits and metrics. *Am J Ind Med*. 2004;46(5):480-91, <https://doi.org/10.1002/ajim.20076>
- Bennett JS, Marlow DA, Nourian F, Hammond J. Hexavalent chromium and isocyanate exposures during military aircraft painting under crossflow ventilation. *J Occup Environ Hyg*, 2016;13(5): 356-371, <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1117617>
- Byun HJ, Yoon CS, Paik NW. A comparison of sampling and analytical methods for airborne isocyanates. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 1996;22(2):32-42
- Chang KS, Roh Y, Koh SB. Comparison of sampling performance of passive monitor and charcoal tubes for airborne organic solvents from the painting process in ship building industry. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2002;12(1):210-219
- Cohen AC. Tables for maximum likelihood estimates singly truncated and singly censored samples. 1961, *Technometrics* 3:535-541
- Hornung RW, Reed LD. (1990) Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values. *Appl Occup Environ Hyg*; 5: 46-51, <https://doi.org/10.1080/1047322X.1990.10389587>
- IARC. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1-125 [Accessed 2020 April 24]. Available from: URL: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications/>
- Jang SH, Kim HA. Comparison between the charcoal tube sampling methods and the diffusive sampler, and the applicability of diffusive sampler in the field. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2005: 15(3): 261-269
- Jeong JY, Park SW, Lee JE, Lee GY. Diisocyanate exposure assessment for polyurethane foam manufacturing workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2012: 22(3): 209-216
- Kang HK, Kim H. Assessment of total isocyanates by OSHA and NIOSH analytical methods: accuracy and precision and airborne concentrations by process. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 1999;9(2):1-18
- Keer S, Taptiklis P, Glass B, Mclean D, McGlothlin JD. Determinants of airborne solvent exposure in the collision repair industry. *Annals of Work Exposures and Health*, 2018;62(7):871-883, <https://doi.org/10.1093/annweh/wxy047>
- Kim CN. Comparison of working environment measurement and analysis -TDI, Research report. Occupational Safety and Health Research Institute, 2009
- Kim SH, Won JW, Kim CN, Jung WJ, Roh J. Comparison of toluene diisocyanate concentrations collected with different sampling methods by work process. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2013: 23(2): 95-102
- Kim YS, Han CG. A study on the physical property by construction condition of urethane waterproofing membrane. *Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection*, 2013;17(6):138-144
- Kim YS. KS quality criteria improvement by weathering evaluation of domestic exposure type polyurethane waterproofing materials. Thesis, 2014. Graduate School, Cheongju University
- Kosha Guide. Measurement and Analysis for Toluene 2,4-Diisocyanate(KOSHA GUIDE: A-76-2019). KOSHA, 2019
- Kosha Guide. Measurement and Analysis for Toluene 2,6-Diisocyanate(KOSHA GUIDE: A-77-2019). KOSHA, 2019
- Lemière C, Romeo P, Chabouillez S, Tremblay C, Malo J-L. Airway inflammation and functional changes after exposure to different concentrations of isocyanates. *J Allergy Clin Immunol*. 2002;110:641-646, <https://doi.org/10.1067/mai.2002.128806>
- Lee EJ, Yoo CY, Han YS, Cho YB. The determination of methyl isocyanate in the workplace by gas chromatography with flame ionization detector. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2001;11(3): 249-253

- Lee JS, Kim BW, Shin J, Baek J, Shin JH. Biological monitoring of workers exposed to diisocyanates using urinary diamines. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2016; 26(2):178-187, <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2016.26.2.178>
- Lee N. Research on specific chemical substances analytical methods-Exposure evaluation and characteristics of isocyanate compounds in wood furniture manufacturing plants. Research report. Occupational Safety and Health Research Institute, 2000
- Lee SJ, Lee KM, Roh YM. Simultaneous determination of isocyanates by high performance liquid chromatography. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 1994;4(2):137-147
- Liu H, Liang Y, Bowes S, Xu H, Zhou Y, Armstrong TW. Benzene exposure in industries using or manufacturing paint in China—a literature review, 1956-2005. *J Occup Environ Hyg*, 2009;6(11): 659-70, <https://doi.org/10.1080/15459620903249646>
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits of chemical and physical factors(notice 2020-48). The Ministry of Employment and Labor, 2020
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Occupational environment measurement and quality control regulations(notice 2020-44). The Ministry of Employment and Labor, 2020
- NIOSH. ISOCYANATES issue 2, 15 January 1998. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/5522.pdf>
- OSHA. Diisocyanates-1,6-Hexamethylene Diisocyanate (HDI), Toluene-2,6-Diisocyanate (2,6-TDI), Toluene-2,4-Diisocyanate (2,4-TDI). OSHA, 1983, <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/organic/org042/org042.html>
- Park KC, Kim CN, Kim HS, Kim HR, Roh J. Correlation between toluene diisocyanate in air and urinary toluene diamine by air sampling methods. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2003;13(1):82-89
- Park HS, Won JW, Kim CN, Roh J. A Comparison of collection concentrations based on airborne toluene diisocyanates measurement methods. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2013;23(4):341-347
- Park JH. Biological monitoring for exposure to TDI among painters using urethane paints and coatings. Thesis, 2002. Graduate School of public health, Yensei University
- Roh YM, Streicher RP. Development of a method for analyzing total isocyanate in air using 9-Anthracenylmethyl 1-Piperazinecarboxylate (PAC): Part 1 Reaction Conditions and Stability. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 1999;9(2):167-176
- Seo SH, Suh CS, Park JH. The reactivity of different polyols for paint to polyisocyanate. *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 2008;19(4):388-396
- Stocks SJ, Jones K, Piney M, Agius RM. Isocyanate exposure and asthma in the UK vehicle repair industry. *Occup Med (Lond)*. 2015 Dec;65(9):713-8, <https://doi.org/10.1093/occmed/kqv108>
- Toutanji HA, Choi H, Wong D, Gilbert JA, Alldredge DJ. Applying a polyurea coating to high-performance organic cementitious materials. *Construction and Building Materials*, Jan, 2013;38:1170-1179, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.041>
- Uang SN, Shih TS, Chang CH, Chang SM, Tsai CJ, Deshpande CG. Exposure assessment of organic solvents for aircraft paint stripping and spraying workers. *Sci Total Environ*, 2006;356(1-3):38-44, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.029>
- Qian H, Fiedler N, Moore DF, Weisel CP. Occupational exposure to organic solvents during bridge painting. *Ann Occup Hyg*. 2010 Jun;54(4):417-26, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meq021>
- Riala R, Kalliokoski P, Pyy L, Wickström G. Solvent exposure in construction and maintenance painting. *Scand J Work Environ Health*. 1984 Aug;10(4): 263-6, doi:10.5271/sjweh.2332
- Yun JS, Park JH, Lee KM, Choi HS, Cho YB. Gas chromatographic analysis of TDI, MDI and HDI using 2-chlorobenzyl alcohol and 2,4-dichlorobenzyl alcohol derivatives. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2006;16(3):222-232
- Wang KS. A study on property of non-exposure poly urethane rubber waterproof material by amount of organic solvent and curing time. Thesis, 2015. Graduate School of Industry & Engineering. Seoul National University of Science & Technology
- Wang SW, Qian H, Weisel C, Nwankwo C, Fiedler N. Development of solvent exposure index for construction painters. *J Occup Environ Hyg*. 2011 Jun;8(6):375-86
- Winder C, Turner PJ. Solvent exposure and related work practices amongst apprentice spray painters in automotive body repair workshops. *Ann Occup Hyg*. 1992 Aug;36(4):385-94, <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.583488>
- Whittaker CR, Whittaker SG, Ceballos DM, Weiland EC, Flack SL. Airborne Isocyanate Exposures in the Collision Repair Industry and a Comparison to Occupational Exposure Limits. *J Occup Environ Hyg*. 2012 ; 9(5): 329-339, <https://doi.org/10.1080/15>

459624.2012.672871

Wolford R. Intervention research in construction: a hypothetical case study of painters. Am J Ind Med. 1996 Apr;29(4):431-4, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199604\)29:4<431::AID-AJIM32>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199604)29:4<431::AID-AJIM32>3.0.CO;2-0)

Woekie SR, Sparer J, Gore RJ, Stowe M, Bello D. Determinants of isocyanate exposure in auto body

repair and refinishing shops. Ann. occup. Hyg, 2004;48(5):393-403, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh021>

<저자정보>

박현희(연구위원), 황은송(연구원), 노지원(연구원), 장광명(연구원), 박승현(실장), 윤충식(교수)

Appendix 1. Concentration of VOCs by type of worksite

Type of Worksite	Classification	Exposure Index (S. Korea OEL)	Exposure Index (ACGIH TLV)	Methyl ethyl ketone (ppm)	Ethyl acetate (ppm)	Toluene (ppm)	n Buthyl acetate (ppm)	Ethyl benzene (ppm)	Xylene (ppm)
<i>OEL* (S. Korea)</i>		1	1	200	400	50	150	100	100
<i>OEL (ACGIH†)</i>				200	400	20	50	20	100
	n‡	42	42	42	42	42	42	42	42
Rooftop	AM§±SD**	0.92±0.85	2.33±2.24	0.25±0.6	2.99±8.58	34.52±44.84	1.38±2.68	8.9±22.46	12.64±19.81
	GM††(GSD)	0.57(2.89)	1.38(3.03)	0.13(2.22)	0.78(3.22)	10.11(5.91)	0.78(2.18)	2.21(4.05)	5.37(3.44)
	Median	0.56	1.34	0.1	0.5	11.68	0.6	1	2.36
	Range	0.07~2.96	0.16~7.4	0.1~3.85	0.5~39.63	1.5~146.41	0.6~13.99	0.52~103.14	1.93~82.79
	n	16*	16*	16	16	16*	16	16	16*
Ground floor	AM±SD	0.95±0.7	2.27±1.56	0.51±0.83	2.18±4.97	33.66±27.71	1.52±1.77	7.21±6.28	18.46±21.51
	GM(GSD)	0.82(1.62)	1.98(1.63)	0.2(3.52)	0.88(2.92)	26.08(2.06)	0.97(2.39)	3.95(3.8)	9.56(3.53)
	Median	0.82	1.78	0.1	0.5	25.13	0.6	5.66	10.15
	Range	0.48~3.4	1.06~7.64	0.1~3.03	0.5~20.42	7.74~118.21	0.6~6.05	0.47~19.68	2~81.44
	n	12*	12*	12	12*	12*	12	12*	12
Piloti floor	AM±SD	0.95±0.38	2.3±0.9	< LOD††	13.45±14.11	36.49±15.71	< LOD	6.07±2.27	12.27±4.84
	GM(GSD)	0.89(1.48)	2.15(1.47)	< LOD	7.66(3.17)	33.72(1.51)	< LOD	5.6(1.58)	11.06(1.72)
	Median	0.88	2.14	< LOD	6.76	31.65	< LOD	5.95	12.23
	Range	0.43~1.7	1.07~4.08	< LOD	1.32~42.21	18.45~69.56	< LOD	1.78~10.42	2.56~21.16
	n	8*	8*	8	8	8*	8*	8	8*
Bathroom floor	AM±SD	1.59±0.66	3.34±1.56	< LOD	3.14±5.3	34.65±22.86	12.36±9.78	13.72±7.65	66.46±39.59
	GM(GSD)	1.4(1.82)	2.85(1.98)	< LOD	1.24(3.83)	28.25(2.05)	7.16(3.95)	9.94(2.97)	53.55(2.14)
	Median	1.89	3.63	< LOD	0.5	32.77	11.8	16.09	71.4
	Range	0.48~2.18	0.77~5.32	< LOD	0.5~15.85	8.08~80.64	0.6~26.77	1~21.2	17.11~113.98
	n	10	10	10	10*	10	10	10	10
Swimming pool	AM±SD	2.19±1.99	5.33±4.99	5.04±5.36	3.19±3.08	102.4±101.4	< LOD	1.39±0.98	9.53±7.06
	GM(GSD)	1.37(2.96)	3.12(3.22)	2.04(5.02)	1.56(4.35)	52.08(3.9)	< LOD	0.99(2.59)	6.36(2.89)
	Median	1.37	3.28	2.13	1.74	61.61	< LOD	1.48	10.31
	Range	0.41~5.81	0.85~14.39	0.35~12.06	0.11~7.05	10.92~285.5	< LOD.	0.3~2.66	1.68~18.73
<i>ANOVA analysis</i>		<i>p<0.05</i>	<i>p=0.059</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.001</i>
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p<0.05</i>	<i>p=0.142</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p=0.058</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.01</i>	<i>p<0.001</i>

* Occupational exposure limits

† American conference of governmental industrial hygienist

‡ Sample number,

§ Arithmetic mean

** Standard deviation

†† Geometraic mean

†† Limit of detection

Appendix 2. Concentration of VOCs by work type

Work type	Classification	Exposure Index (S. Korea OEL)	Exposure Index (ACGIH TLV)	Methyl ethyl ketone (ppm)	Ethyl acetate (ppm)	Toluene (ppm)	n Buthyl acetate (ppm)	Ethyl benzene (ppm)	Xylene (ppm)
<i>OEL (S. Korea)</i>				200	400	50	150	100	100
<i>OEL (ACGIH)</i>		1	1	200	400	20	50	20	100
Primer roller painting	n	17	17	17	17	17	17	17	17
	AM±SD	1.87±1.67	4.7±4.05	3.33±4.59	6.35±10.04	78.95±85.44	< LOD	11.3±25.12	14.36±26.01
	GM(GSD)	1.2(2.89)	3.18(2.63)	0.84(7.21)	2.3(4.52)	26.46(7.39)	< LOD	2.09(6.46)	5.26(3.69)
	Median	1.27	3.14	1.32	1.74	52.18	< LOD	1	2.33
	Range	0.16~5.81	0.53~14.39	0.1~12.06	0.5~39.63	1.5~285.5	< LOD	0.3~103.14	1.68~82.79
Urethane resin spreader painting	n	34	34	34	34	34	34	34	34
	AM±SD	1.1±0.79	2.65±2	0.32±0.66	4.4±10.32	43.93±40.64	2.22±5.12	5.08±5.87	14.01±17.56
	GM(GSD)	0.85(2.05)	1.96(2.26)	0.16(2.5)	0.9(4.31)	26.49(3.16)	0.89(2.75)	2.7(3.13)	7.73(3.14)
	Median	0.74	1.74	0.1	0.5	25.1	0.6	2.29	10.51
	Range	0.32~2.96	0.41~7.4	0.1~3.85	0.11~42.21	1.5~146.41	0.6~26.77	0.52~21.2	1.93~96.1
Mixing paint	n	10	10	10	10	10	10	10	10
	AM±SD	0.9±0.83	2.09±2.13	< LOD	1.16±1.4	35.43±44.67	2.35±4.23	2.5±2.94	14.25±16.35
	GM(GSD)	0.53(3.35)	1.12(3.68)	< LOD	0.75(2.35)	11.96(5.91)	1.07(2.98)	1.62(2.38)	7.47(3.53)
	Median	0.76	1.5	< LOD	0.5	15.79	0.6	1	10.51
	Range	0.07~2.66	0.16~6.66	< LOD	0.5~4.18	1.5~131.43	0.6~13.99	1~8.58	2~54.17
Painter assistant	n	10	10	10	10	10	10	10	10
	AM±SD	0.6±0.65	1.69±1.89	< LOD	5.96±12.24	12.84±23.01	< LOD	17.41±31.54	14.61±24.76
	GM(GSD)	0.35(3.08)	0.98(3.16)	< LOD	1.52(4.93)	3.96(4.45)	< LOD	5.07(5.32)	6.37(3.51)
	Median	0.38	0.97	< LOD	0.5	1.5	< LOD	5.34	6.25
	Range	0.07~1.99	0.16~6.17	< LOD	0.5~39.63	1.5~73.38	< LOD	1~103.14	2~82.79
Area sample	n	17	17	17	17	17	17	17	17
	AM±SD	0.94±0.53	2.01±1.03	< LOD	2.96±4.44	24.06±10.72	4.66±6.75	7.17±6.11	34.8±36.29
	GM(GSD)	0.83(1.65)	1.79(1.62)	< LOD	1.46(3.17)	21.49(1.69)	1.86(3.94)	4.88(2.65)	18.36(3.7)
	Median	0.71	1.71	< LOD	1.23	24.4	0.6	5.35	21.82
	Range	0.43~1.93	0.77~3.99	< LOD	0.5~18.24	7.74~43.86	0.6~20.9	1~19.95	2~113.98
<i>ANOVA analysis</i>		<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.141	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> =0.124	<i>p</i> <0.05
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p</i> =0.058	<i>p</i> =0.065	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> =0.110	<i>p</i> <0.05

Appendix 3. Concentration of VOCs by work environment

Work environment	Classification	Exposure Index (S. Korea OEL)	Exposure Index (ACGIH TLV)	Methyl ethyl ketone (ppm)	Ethyl acetate (ppm)	Toluene (ppm)	n Buthyl acatate (ppm)	Ethyl benzene (ppm)	Xylene (ppm)
	<i>OEL (S. Korea)</i>			200	400	50	150	100	100
	<i>OEL (ACGIH)</i>	1	1	200	400	20	50	20	100
	<i>n</i>	88	88	88	88	88	88	88	88
<i>Total</i>	<i>AM±SD</i>	1.14±1.03	2.75±2.57	0.81±2.37	4.3±8.99	42.36±51.82	2.21±4.71	7.79±16.09	18.19±25.33
	<i>GM(GSD)</i>	0.78(2.53)	1.84(2.6)	0.18(3.61)	1.23(4.07)	18.72(4.44)	0.93(2.74)	2.92(3.86)	8.27(3.58)
	<i>Median</i>	0.74	1.78	0.1	0.5	24.31	0.6	2.29	9.27
	<i>Range</i>	0.07~5.81	0.16~14.39	0.1~12.06	0.11~42.21	1.5~285.5	0.6~26.77	0.3~103.14	1.68~113.98
	<i>n</i>	58	58	58	58	58	58	58	58
<i>Outdoor</i>	<i>AM±SD</i>	0.93±0.81	2.32±2.06	0.32±0.67	2.77±7.72	34.29±40.6	1.42±2.45	8.44±19.33	14.25±20.27
	<i>GM(GSD)</i>	0.63(2.58)	1.53(2.68)	0.15(2.6)	0.81(3.11)	13.13(5)	0.83(2.23)	2.6(4.03)	6.29(3.52)
	<i>Median</i>	0.59	1.46	0.1	0.5	17.9	0.6	1	4.46
	<i>Range</i>	0.07~3.4	0.16~7.64	0.1~3.85	0.5~39.63	1.5~146.41	0.6~13.99	0.47~103.14	1.93~82.79
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12	12
<i>Semi_Indoor</i>	<i>AM±SD</i>	0.95±0.38	2.3±0.9	< LOD.	13.45±14.11	36.49±15.71	< LOD	6.07±2.27	12.27±4.84
	<i>GM(GSD)</i>	0.89(1.48)	2.15(1.47)	< LOD	7.66(3.17)	33.72(1.51)	< LOD	5.6(1.58)	11.06(1.72)
	<i>Median</i>	0.88	2.14	< LOD	6.76	31.65	< LOD	5.95	12.23
	<i>Range</i>	0.43~1.7	1.07~4.08	< LOD	1.32~42.21	18.45~69.56	< LOD	1.78~10.42	2.56~21.16
	<i>n</i>	18	18	18	18	18	18	18	18
<i>Indoor</i>	<i>AM±SD</i>	1.92±1.54	4.45±3.9	2.85±4.64	3.17±4.07	72.29±82.82	5.83±8.69	6.87±8.02	34.84±38.98
	<i>GM(GSD)</i>	1.38(2.41)	3(2.61)	0.53(6.94)	1.41(3.97)	39.68(3.11)	1.81(4.68)	2.76(4.64)	16.39(4.15)
	<i>Median</i>	1.76	3.49	0.36	1.12	41.9	0.6	2.35	16.88
	<i>Range</i>	0.41~5.81	0.77~14.39	0.1~12.06	0.11~15.85	8.08~285.5	0.6~26.77	0.3~21.2	1.68~113.98
<i>ANOVA anaiysis</i>		<i>p<0.05</i>	<i>p<0.05</i>	<i>p<0.01</i>	<i>p<0.01</i>	<i>p<0.01</i>	<i>p<0.01</i>	<i>p=0.197</i>	<i>p<0.05</i>
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p=0.056</i>	<i>p<0.05</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.001</i>	<i>p<0.05</i>	<i>p<0.05</i>	<i>p=0.128</i>	<i>p<0.05</i>

Appendix 4. Concentration of isocyanates by worksite_personal sampling (ppb)

Type of Worksite	Classification	2,4-TDI	2,6-TDI
<i>Korea Occupational Exposure Limits</i>		<i>5 ppb</i>	<i>5 ppb</i>
Total	n	81	81
	AM±SD	0.076±0.072	1.351±3.282
	GM(GSD)	0.052(2.207)	0.432(3.534)
	Median	0.063	0.437
	Range	0.003~0.5	0.003~22.81
Rooftop	n	54	54
	AM±SD	0.08±0.056	1.332±3.364
	GM(GSD)	0.059(1.9)	0.388(3.741)
	Median	0.079	0.384
	Range	0.003~0.305	0.003~22.81
Ground floor	n	6	6
	AM±SD	0.1±0.196	3.232±6.717
	GM(GSD)	0.032(4.157)	0.331(7.118)
	Median	0.026	0.461
	Range	0.01~0.5	0.003~16.9
Piloti floor	n	12	12
	AM±SD	0.042±0.026	0.89±0.674
	GM(GSD)	0.034(1.987)	0.694(2.097)
	Median	0.034	0.717
	Range	0.012~0.087	0.209~2.37
Bathroom floor	n	9	9
	AM±SD	0.08±0.061	0.83±0.796
	GM(GSD)	0.062(2.214)	0.523(3.009)
	Median	0.063	0.694
	Range	0.014~0.193	0.08~2.576
<i>ANOVA analysis</i>		<i>p<0.05</i>	<i>p=0.635</i>
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p<0.05</i>	<i>p=0.451</i>

Appendix 5. Concentration of isocyanates by work type_personal sampling (ppb)

Work type	Classification	2,4-TDI	2,6-TDI*
<i>Korea Occupational Exposure Limits</i>		<i>5 ppb</i>	<i>5 ppb</i>
Primer roller painting	n	9	9
	AM±SD	0.079±0.072	7.792±7.263
	GM(GSD)	0.051(1.908)	5.365(2.591)
	Median	0.063	4.595
	Range	0.003~0.252	0.893~22.81
Urethane resin spreader painting	n	22	22
	AM±SD	0.067±0.053	0.603±0.416
	GM(GSD)	0.047(2.241)	0.465(2.177)
	Median	0.065	0.453
	Range	0.003~0.193	0.096~1.481
Mixing paint	n	10	10
	AM±SD	0.089±0.039	0.403±0.28
	GM(GSD)	0.078(1.865)	0.316(2.149)
	Median	0.085	0.324
	Range	0.016~0.161	0.1~0.937
Painter assistant	n	11	11
	AM±SD	0.104±0.134	0.225±0.239
	GM(GSD)	0.072(2.16)	0.065(3.056)
	Median	0.06	0.115
	Range	0.025~0.5	0.003~0.64
Area sample	n	29	29
	AM±SD	0.067±0.061	0.675±0.677
	GM(GSD)	0.045(2.379)	0.427(2.768)
	Median	0.061	0.437
	Range	0.003~0.305	0.076~2.576
<i>ANOVA analysis</i>		<i>p=0.390</i>	<i>p<0.001</i>
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p=0.321</i>	<i>p<0.001</i>

* All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Dunn's Method)
 - primer painting vs mixing paint (p<0.01)
 - primer painting vs urethane resin roller painting (p<0.001)
 - primer painting vs assistant (p<0.001)
 - primer painting vs area sample (p<0.001)

Appendix 6. Concentration of isocyanates by work environment_personal sampling (ppb)

Work environment	Classification	2,4-TDI	2,6-TDI
<i>Korea Occupational Exposure Limits</i>		<i>5 ppb</i>	<i>5 ppb</i>
Total	n	60	60
	AM±SD	0.082±0.078	1.522±3.784
	GM(GSD)	0.055(2.181)	0.382(3.953)
	Median	0.072	0.411
	Range	0.003~0.5	0.003~22.81
Outdoor	n	60	60
	AM±SD	0.082±0.078	1.522±3.784
	GM(GSD)	0.055(2.181)	0.382(3.953)
	Median	0.072	0.411
	Range	0.003~0.5	0.003~22.81
Semi-Indoor	n	12	12
	AM±SD	0.042±0.026	0.89±0.674
	GM(GSD)	0.034(1.987)	0.694(2.097)
	Median	0.034	0.717
	Range	0.012~0.087	0.209~2.37
Indoor	n	9	9
	AM±SD	0.08±0.061	0.83±0.796
	GM(GSD)	0.062(2.214)	0.523(3.009)
	Median	0.063	0.694
	Range	0.014~0.193	0.08~2.576
<i>ANOVA analysis</i>		<i>p<0.05</i>	<i>p=0.700</i>
<i>Kruskal-Wallis rank test</i>		<i>p=0.090</i>	<i>p=0.276</i>