

연구보고서

건설업 직종별 노출 매트릭스 구축 연구(Ⅳ)

- 우레탄 방수작업자의 톨루엔 다이소시아네이트 노출 연구 중심 -

박현희 · 황은송 · 장광명 · 노지원

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

연구기간

2018년 1월 ~ 2018년 11월

핵심 단어

건설업 보건관리, 우레탄 방수, 이소시아네이트, TDI

연구과제명

건설업 직종별 노출 매트릭스 구축 연구 (IV)
- 우레탄 방수작업자의 톨루엔 디이소시아네이트 노출 연구

1. 연구배경

- 톨루엔 디이소시아네이트(TDI)는 직업성 천식을 유발하는 대표적인 물질이며, 국제암연구소(IARC)에서 인간에 대한 발암 가능 물질(Group 2B)로 규정하고 있음.
- 건설현장 우레탄 방수작업에서 사용하는 도료에는 디이소시아네이트류가 함유되어 있으며, 작업자 직접 도포방식으로 공기 중 또는 피부를 통해 노출되고 있으나, 국내에서는 현재까지 노출수준에 대해 조사된 자료가 없음.
- 이번 연구에서는 건설업 우레탄 방수작업자에게 노출되는 톨루엔 디이소시아네이트(TDI)의 노출농도 수준을 파악하여 건설현장 근로자의 직업성 천식 등 발생과의 연관성 등 규명자료로 활용하고, 작업환경개선방안을 제시하고자 함

2. 주요 연구내용

- 국내 건설현장 방수업 및 방수공의 규모는 약 2,000여개소, 약 20,000명으로 추정되며, 전체 건설직 근로자의 연령분포와 비교하여 50, 60대 근로자 비율이 높아 고령화 되어있는 특성이 있고, 호흡기 질환(일반질병)의 요관찰자 비율이 특수건강진단 수검자의 10.4% 수준으로 높았음.

- 건설용 우레탄 방수도료에는 발암성, 생식독성물질들이 함유되어 있었으며, 발암성으로는 4,4 ‘-메칠렌비스(2-클로로아닐린), 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 톨루엔 디이소시아네이트, 메틸이소부틸케톤, 시클로헥사논, 이산화티타늄, 카본블랙, 케로젠 등이 있었고 생식독성물질로는 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 2-에톡시에틸아세테이트, 톨루엔 등이 함유되어 있었음.
- 일반건축물을 신축하는 5개 건설현장의 옥상, 1층 주차장, 건물 내부 우레탄 방수작업을 대상으로 TDI의 농도를 평가한 결과, 2,4-TDI 기하평균농도는 0.058 ppb(범위 0.01 ~ 0.5 ppb)이었고, 2,6-TDI는 0.523 ppb(0.026 ~ 22.81 ppb)로 노출기준의 1/10 미만 수준이었음. 다만, 전체 시료 중 2,6-TDI에서 네 개 시료가 노출기준을 초과하였음.
- 2,4/2,6-TDI의 공기 중 노출평가결과 2,6-TDI 농도가 2,4-TDI 농도보다 약 10배 더 높았으나, 두 물질 농도간의 상관관계는 매우 약하였음.
- 시료포집방법으로는 필터방법과 임핀저 방법을 비교한 결과, 2,4-TDI에서는 농도간 상관성이 약하였으나, 2,6-TDI는 필터와 임핀저 간의 상관성이 매우 강하였고, 임핀저법으로 평가한 농도수준이 필터법보다 약 5.7배 더 높았음. 임핀저법으로 평가한 2,6-TDI 시료의 약 26%는 노출기준을 초과하였음. 방수도료 도포작업에서 발생하는 입자 크기 및 다량체 함량 등의 차이가 원인으로 판단됨.
- 우레탄 도료를 사용한 방수작업에 대한 휘발성 유기화합물 노출평가 결과, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 에틸 아세테이트(초산 에틸), n-부탈아세테이트(노말 초산 부틸)가 검출되었으며, 휘발성 유기화합물의 혼합물질 평가결과(n=63), 기하평균이 0.743로 노출기준의 약 75%수준이었으며, 25개 시료(39.7%)는 노출기준을 초과하는 수준이었음.

- 디이소시아네이트 농도는 작업종류(배합, 도포, 보조작업 등) 및 작업 공간의 특성에 따라서는 농도수준이 통계적으로 유의하게 다르지 않음을 확인할 수 있었으나, 휘발성 유기화합물의 경우는 롤러 및 프라이머 작업, 실내작업인 세대 내부 욕실바닥과 필로티 층 우레탄 도포작업에서 농도수준이 높음을 확인할 수 있었음. 디이소시아네이트와 휘발성유기화합물간에는 상관관계가 없는 것으로 분석되었음.
- 우레탄 방수 작업도구에서 채취한 디이소시아네이트 노출농도는 믹서기 (mixer)에서 평균색도가 1.58로 가장 높았고, 롤러(roller) (0.94), 파개(opener) (0.67)순으로 높았음. 작업도구에서의 표면 평가 결과는 사업장에 따라 상이하여, 사업장별 작업도구 관리 수준에 차이가 있음을 확인할 수 있었음. 이번 연구의 피부노출평가에서는 보호의 및 보호장갑 등의 착용으로 검출이 거의 되지않았으나, 작업도구 오염 및 계절영향에 따른 노출 잠재위험을 확인하였음.
- 우레탄 방수작업자에 대한 설문조사 결과, 소규모 조사임에도 불구하고 TDI 사용자에서 상당수가 호흡기, 피부질환 증상을 겪고 있음을 유추할 수 있었으며, 그 중 1명에서는 천식, 피부증상이 동시에 나타나고 있어 TDI 노출과의 관련성이 있을 것으로 판단되었음.

- 시 사 점

- 디이소시아네이트류는 공기 중 농도가 극히 낮더라도 천식환자가 발생할 수 있으며, 발암성 등 작업자의 건강에 중대한 건강장해를 유발할 수 있는 물질로 노출을 최소화하기 위한 노력이 필요함. 공기 중 노출을 최소화 하기 위해 배합작업 등 도료를 집중적으로 취급하는 작업에 이동식 국소배기장치를 사용하거나, 실내 방수 작업에서는 전체 환기

를 위한 환기팬의 사용 등이 검토될 필요가 있음. 또한 작업 후 배합기(mixer) 및 롤러 등 작업도구에 대한 주기적인 세척 등 관리를 통해 작업자의 피부노출을 최소화할 필요가 있음.

3. 연구 활용방안

- 제 언

- 공기 중 디이소시아네이트를 평가할 때는 발생하는 입자의 크기 및 도료의 특성(단량체, 다량체 등)을 확인하여 가장 적절한 노출평가 방법을 정하여 평가하여야 하며, 향후 총 이소시아네이트(total NCO기)를 평가할 수 있는 방법 및 정량화된 피부노출평가 방안에 대한 국내 현장평가 적용 연구 등이 필요함.
- 향후, TDI 노출자에 대한 의학적인 조사를 수반한 대규모 조사를 수행하여 증상자의 규모를 정확히 측정하고, 호흡기 증상, 피부 증상 전체를 포괄하여 관리할 수 있는 체계를 구축할 필요가 있음.

- 활 용

- 건설업 보건관리자용 업무 가이드라인 개발
- 산업보건학회 학술대회 발표 및 국내외 산업보건관련 학회지 논문 발표

4. 연락처

- 산업안전보건연구원 직업환경연구실 박현희
- ☎ 052) 7030. 901
- E-mail bioaerosol@kosha.or.kr

차례

I. 서론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	3
II. 연구방법	4
1. 건설현장 우레탄 방수업체 및 작업자 현황	4
2. 건설현장 우레탄 방수 도료의 화학물질 구성성분 등 분석	5
3. 디이소시아네이트 노출평가 문헌고찰	6
4. 건설현장 우레탄 방수 작업 디이소시아네이트 노출평가	7
III. 연구결과	30
1. 건설현장 우레탄 방수업체 및 작업자 현황	30
2. 건설현장 우레탄 방수 도료의 화학물질 구성성분 등 분석	41
3. 국내외 디이소시아네이트 평가 관련 문헌고찰	53
4. 건설현장 우레탄 방수 작업 디이소시아네이트 등 노출평가 결과	75
IV. 고찰	165
V. 결론	177
VI. 참고문헌	180
VII. 부록	184
Abstract	194

표 차 례

<표 II-1> 우레탄 방수 노출평가 대상 사업장	7
<표 II-2> 우레탄 방수 노출평가 대상 사업장 도료 구성성분	8
<표 II-3> 이소시아네이트 시료분석장비 및 분석조건	17
<표 II-4> 사업장별 공기 중 이소시아네이트 검출한계	18
<표 II-5> 공기 중 이소시아네이트 노출평가 방법 비교	22
<표 II-6> 휘발성유기화합물 시료분석장비 및 분석조건	23
<표 II-7> 휘발성 유기화합물 분석대상물질 검출한계 및 노출기준	24
<표 II-8> 피부(skin) 노출평가 색도표 기준농도	26
<표 II-9> 작업도구 표면(surface) 노출평가 색도표 기준농도	28
<표 III-1> 건설전문업체 시도업종별 등록현황	30
<표 III-2> 방수공 연령별 건설근로자 공제회 신고 피공제자수	33
<표 III-3> 2015년 연령별 건설근로자 공제회 신고 피공제자수	33
<표 III-4> 건설현장 톨루엔 디이소시아네이트 작업환경측정 실시현황	35
<표 III-5> 방수공에 대한 TDI 특수건강진단 실시현황	39
<표 III-6> 건설업 세부업종에 따른 2,4/2,6-TDI 특수건강진단 실시현황	40
<표 III-7> 우레탄 도료 발암성 물질 함유 현황	43
<표 III-8> 우레탄 도료 생식독성 물질 함유 현황	45
<표 III-9> 우레탄 도료 생식변이원성 물질 함유 현황	45
<표 III-10> 우레탄 도료 관리대상물질 함유 현황	48
<표 III-11> 우레탄 도료 유해물질에 대한 기관별 구분	51
<표 III-12> 국내 이소시아네이트 관련 논문	60
<표 III-13> 국외 이소시아네이트 관련 논문	64
<표 III-14> 공기중 이소시아네이트류 국내 노출평가 자료	69

<표 III-15> 공기 중 이소시아네이트류 국외 노출평가 자료	73
<표 III-16> 사업장별 개인 및 지역시료 채취 시료수	75
<표 III-17> 사업장별 시료_정규성 검정 결과	76
<표 III-18> 개인 및 지역시료 채취시료_정규성 검정 결과	76
<표 III-19> 사업장별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과	79
<표 III-20> 사업장별 개인 vs 지역측정 이소시아네이트 노출평가 비교	85
<표 III-21> 사업장 측정일별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 비교	94
<표 III-22> 작업별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 비교	96
<표 III-23> 작업장소별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 비교	101
<표 III-24> 실내 vs 실외 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 비교	106
<표 III-25> 측정방법(필터 vs 임핀저)에 따른 2,4-TDI 노출평가 비교	110
<표 III-26> 측정방법(필터 vs 임핀저)에 따른 2,6-TDI 노출평가 비교	111
<표 III-27> 사업장별 우레탄 방수 휘발성유기화합물 노출평가 결과	118
<표 III-28> 사업장 측정일별 우레탄 방수 휘발성유기화합물 노출평가 비교	126
<표 III-29> 사업장별 개인 vs 지역측정 이소시아네이트 노출평가 비교	130
<표 III-30> 작업별 우레탄 방수 휘발성유기화합물 노출평가 비교	135
<표 III-31> 작업장소별 우레탄 방수 휘발성유기화합물 노출평가 비교	143
<표 III-32> 실내 vs 실외 우레탄 방수 휘발성유기화합물 노출평가 비교	145
<표 III-33> 표면 SWYPE 시료 채취 수	152
<표 III-34> 사업장 작업도구별 표면 SWYPE 색도 평가 결과	153
<표 III-35> 사업장별 표면 SWYPE 색도 평가 결과	154
<표 III-36> 작업도구별 표면 SWYPE 색도 평가 결과	155
<표 III-37> 설문조사 결과_응답자 정보	160
<표 III-38> 설문조사 결과_일반 호흡기 증상	161
<표 III-39> 설문조사 결과_천식증상	163
<표 III-40> 설문조사 결과_피부증상	164

그 림 차 례

[그림 II-1] 디이소시아네이트 피부시료 색도표	26
[그림 II-2] 피부패드 현상액 흡수 과정	26
[그림 II-3] 디이소시아네이트 표면(surface) 시료 색도표	28
[그림 III-1] 건설 세부업종별 2,4-TDI 작업환경측정결과	36
[그림 III-2] 건설 세부업종별 2,6-TDI 작업환경측정결과	37
[그림 III-3] 2,4/2,6-TDI 작업환경측정결과 비교	38
[그림 III-4] 우레탄 도료 발암성 물질 함유현황	44
[그림 III-5] 우레탄 도료 생식독성 물질 함유현황	46
[그림 III-6] 우레탄 도료 생식변이원성 물질 함유현황	47
[그림 III-7] 우레탄 도료 관리대상물질 함유현황	50
[그림 III-8] 사업장별 우레탄 방수 2,4-TDI 농도수준	80
[그림 III-9] 사업장별 우레탄 방수 2,6-TDI 농도수준	81
[그림 III-10] 사업장별 우레탄 방수 2,4-TDI 기하평균(95% 신뢰구간)	83
[그림 III-11] 사업장별 우레탄 방수 2,6-TDI 기하평균(95% 신뢰구간)	84
[그림 III-12] 우레탄 방수작업 TDI 농도수준_전체시료_log scale	87
[그림 III-13] 우레탄 방수작업 TDI 농도수준_전체시료_linear scale	88
[그림 III-14] 사업장별 2,4-TDI 농도수준_개인시료	89
[그림 III-15] 사업장별 2,6-TDI 농도수준_개인시료	90
[그림 III-16] 사업장별 2,4-TDI 농도수준_지역시료	91
[그림 III-17] 사업장별 2,6-TDI 농도수준_지역시료	92
[그림 III-18] 우레탄 방수 작업별 2,4-TDI 농도수준	97
[그림 III-19] 우레탄 방수 작업별 2,6-TDI 농도수준	98

[그림 III-20] 우레탄 방수 작업별 2,4-TDI 기하평균(95% 신뢰구간)	99
[그림 III-21] 우레탄 방수 작업별 2,6-TDI 기하평균(95% 신뢰구간)	100
[그림 III-22] 작업장소별 2,4-TDI 농도수준	102
[그림 III-23] 작업장소별 2,4-TDI 농도수준	103
[그림 III-24] 작업장소별 2,4-TDI 기하평균(95% 신뢰구간)	104
[그림 III-25] 작업장소별 2,6-TDI 기하평균(95% 신뢰구간)	105
[그림 III-26] 우레탄 방수작업 실내/외 2,4-TDI 농도비교	107
[그림 III-27] 우레탄 방수작업 실내/외 2,6-TDI 농도비교	108
[그림 III-28] 우레탄 방수작업 필터/임핀저 2,4-TDI 농도비교	112
[그림 III-29] 우레탄 방수작업 필터/임핀저 2,4-TDI 농도비교_이상치 제거	112
[그림 III-30] 우레탄 방수작업 필터/임핀저 2,4-TDI 농도비교	113
[그림 III-31] 우레탄 방수작업 필터/임핀저 2,4-TDI 농도비교_이상치 제거	113
[그림 III-32] 사업장별 휘발성 유기화합물 혼합물질 평가(EI) 결과 비교	120
[그림 III-33] 사업장별 초산에틸(Ethyl Acetate) 결과 비교	121
[그림 III-34] 사업장별 톨루엔(Toluene) 결과 비교	122
[그림 III-35] 사업장별 노말초산부틸(n-Butyl Acetate) 결과 비교	123
[그림 III-36] 사업장별 에틸벤젠(Ethyl Benzene) 결과 비교	124
[그림 III-37] 사업장별 크실렌(Xylene) 결과 비교	125
[그림 III-38] 작업종류별 휘발성 유기화합물 혼합물질 평가(EI) 결과 비교	137
[그림 III-39] 작업종류별 초산에틸(Ethyl Acetate) 결과 비교	138
[그림 III-40] 작업종류별 톨루엔(Toluene) 결과 비교	139
[그림 III-41] 작업종류별 노말초산부틸(n-Butyl Acetate) 결과 비교	140
[그림 III-42] 작업종류별 에틸벤젠(Ethyl Benzene) 결과 비교	141
[그림 III-43] 작업종류별 크실렌(Xylene) 결과 비교	142
[그림 III-44] 장소별 휘발성 유기화합물 혼합물질 평가(EI) 결과 비교	146
[그림 III-45] 장소별 초산에틸(Ethyl Acetate) 결과 비교	147

[그림 III-46] 장소별 톨루엔(Toluene) 결과 비교	148
[그림 III-47] 장소별 노말초산부틸(n-Butyl Acetate) 결과 비교	149
[그림 III-48] 장소별 에틸벤젠(Ethyl Benzene) 결과 비교	150
[그림 III-49] 장소별 크실렌(Xylene) 결과 비교	151
[그림 III-50] 사업장별 표면 SWYPE 색도 평가 결과	154
[그림 III-51] 작업도구별 표면 SWYPE 색도 평가 결과	155
[그림 III-52] 작업자 피부 SWYPE 시료 채취	156

I. 서론

1. 연구배경

최근 건축물 옥상 및 노면 주차장 등에서 가장 많이 적용되고 있는 방수는 우레탄 도막방수로 우리나라 건설방수에서 약 25% 이상의 점유율을 차지하고 있다(왕근식, 2015). 우레탄 도막방수는 폴리올과 이소시아네이트의 반응에 의해 만들어진 폴리우레탄이 고무와 같은 탄성을 얻게되어 일정한 방수막을 형성하는 공법이다. 폴리우레탄 도료는 변형이나 열에 대한 내구성이 좋고, 도막 외관 및 작업성이 우수한 특성이 있다(서석환 등, 2008). 우리나라 건설현장 우레탄 방수작업에서는 주제와 경화제로 구성된 2액형의 도막방수제를 사용하며, 현장에서 주제와 경화제를 일정비율로 혼합하여 도포한다(김염삼, 2014).

경화제로 사용되는 이소시아네이트 중 톨루엔 디이소시아네이트는 반응성이 풍부하고 가격이 저렴하여 폴리우레탄 방수도료의 성분으로 널리 사용되고 있으며, 건설현장 우레탄 방수작업은 작업자가 직접 혼합작업을 하고, 롤러 등을 이용하여 직접 도포하는 방식으로 이루어지므로 공기 중 또는 피부를 통해 도료 중 유해성분에 작업자가 고농도로 노출될 가능성이 있다.

이소시아네이트는 직업성 천식을 유발하는 대표적인 물질로, 극히 낮은 농도에서도 천식을 유발하고, 톨루엔 디이소시아네이트(TDI)의 경우 국제암연구소에서 정한 발암성 가능 물질(Group 2B)로 산업보건학적인 측면에서 많은 관심을 가져야 하는 물질이다(정지연 등, 2012). 직업성 천식은 폐질환 중 하나로 호흡 곤란, 가슴이 답답한 증세를 보이며 대부분의 경우 원인과 치료법을 모르는 경우가 많으나, 산업화된 많은 나라에서는 직업적 원인이 매우 클 것으로 추정되

고 있다. 건설현장 근로자의 직업성 천식 발생 위험은 전체 업종과 비교하면 높을 것으로 보이나 아직 원인과 발생에 대해 잘 밝혀지지 않은 문제가 있다는 보고가 있었다(Sullivan PA et al, 1995).

국내에 보고된 디이소시아네이트 관련 논문은 대부분 분석방법과 관련된 연구가 가장 많았고(이선주 등, 1994; 강현경과 김현욱, 1999), 뇨 중 대사산물 연구(박근철 등, 2003; 이종성 등, 2016) 등이 있었다. 공기 중 노출평가연구는 우레탄 폼제조방식에 따른 디이소시아네이트 농도를 평가한 사례가 있었고(정지연 등, 2012), 가구, 악기, 기계기구 등을 도장하는 작업에서 공기 중 농도가 평가된 사례가 있었지만(김치년 등, 2009; 박진희 등, 2003; 이나루 등, 2000), 건설현장 우레탄 방수작업에서는 노출평가가 결과가 보고된 경우가 없었다.

이번 연구에서는 건설업 우레탄 방수작업자의 톨루엔 디이소시아네이트(TDI) 노출농도 수준을 파악하여 건설현장 근로자의 직업성 천식 등 발생과의 연관성 등 규명자료로 활용하고, 작업환경개선방안을 제시하고자 한다.

2. 연구목적

이번 연구의 목적은

- 1) 국내 건설현장 우레탄 방수업체 및 방수작업자 규모를 파악하고, 작업환경 측정 및 특수건강진단 실시현황을 살펴보고자 한다.
- 2) 우레탄 도료의 구성성분을 확인하고, 구성성분 중 작업환경관리가 필요한 발암성, 생식독성 등 고독성 물질 및 특별관리, 관리대상 등 규제대상물질의 함유 여부 등을 분석하고자 한다.
- 3) 건설현장 우레탄 방수 작업자에 대한 톨루엔 디이소시아네이트 및 휘발성 유기화합물 노출 농도 수준을 작업공간, 작업종류 등 특성에 따라 평가하고, 작업환경관리방안을 제안하고자 한다.

II. 연구방법

1. 건설현장 우레탄 방수업체 및 작업자 현황

1) 대한전문건설협회 등록 현황

대한전문건설협회(<https://kosca.or.kr/>)에 등록된 22개 분야 전문건설업체 중 습식방수분야 등록업체 현황을 지역별로 살펴보았다. 대한전문건설협회는 전문건설업을 행하는 사업장의 관련 제도개선 등을 목적으로 건설산업기본법에 의거 설립된 법정단체이다. 전문건설업체는 전문분야 시공기술을 가지고 공종별 전문공사를 직접도급 또는 하도급받아 공사를 수행하는 업체로, 전문분야는 실내건축, 토공, 습식방수, 석공, 도장, 비계, 금속창호, 지붕건조, 철콘, 보링, 철도궤도, 포장, 수중, 조정석재, 조정시설, 강구조물, 철강재, 삭도, 준설, 승강기, 시설물 분야로 나뉘어진다.

2) 건설근로자 공제회 신고 현황

건설근로자 공제회(<https://www.cwma.or.kr/>)에 신고된 피공제자(2011년 ~ 2015년) 직종 중 방수공에 대한 연령별, 성별 분포를 살펴보았다. 건설근로자 퇴직공제란 사업주가 매월 고용한 일용직 건설근로자의 근로일수에 따라 퇴직공제금을 납부하면, 건설근로자공제회에서 이를 적립하였다가 건설근로자가 건설업에서 퇴직 또는 사망, 60세에 이른 경우 이자를 더하여 지급하는 제도이다. '건설근로자의 고용개선 등에 관한 법률'에 따라 운영되며 당연가입 대상 공사로는 3억 이상 공공건설·민간투자공사, 100억 이상 민간건설공사, 200호(실) 이상 공동주택·주상복합·오피스텔공사 등이 해당된다.

2. 건설현장 우레탄 방수 도료의 화학물질 구성성분 등 분석

1) 우레탄 도료 물질안전보건자료 분석

국내 6개 도료 제조사의 건설용 우레탄 방수 도료에 대한 물질안전보건자료를 홈페이지 및 현장평가 사업장을 통해 수집하였다. 우레탄 방수에 사용되는 수지(주제, 경화제), 프라이머, 신너 등에 대한 물질안전보건자료 총 72종을 확보하여 구성성분을 확인하였다.

2) 건설업 톨루엔 디이소시아네이트 작업환경측정 현황

작업환경측정 자료는 공단에서 보유하고 있는 작업환경측정결과 전산 보고 자료 데이터베이스를 통해 2013년부터 2017년까지 최근 5년 동안 건설현장에서 측정한 자료를 분석하였다. 측정대상 유해인자명이 “톨루엔-2,4-디이소시아네이트” 또는 “톨루엔-2,6-디이소시아네이트” 평가결과를 대상으로 연도별 측정건수, 평균농도 등을 알아보았다.

3) 건설업 톨루엔 디이소시아네이트 특수건강진단 현황

특수건강진단 자료는 공단에서 보유하고 있는 근로자건강진단 실시현황 데이터베이스를 통해 2013년부터 2017년까지 진단대상 유해인자명이 “톨루엔-2,4-디이소시아네이트” 또는 “톨루엔-2,6-디이소시아네이트” 인 자료를 통해 연도 및 건설 세부업종별 검진자수, 검진결과 등을 살펴보았다.

3. 디이소시아네이트 노출평가 문헌고찰

1) 국내 문헌

건설업 노출평가 관련 국내문헌은 학술지(산업보건학회, 환경보건학회, 대한 직업환경의학학회 등)에 게재된 논문, 산업안전보건연구원 연구보고서, 한국학술정보(Koreanstudies Information Service System(KISS), kiss.kstudy.com) 및 학술연구정보서비스(Research Information Sharing Service(RISS), www.riss.kr) 등에서 관련 문헌을 검색하였다. 또한, 검색을 통해 찾은 문헌에서 인용하였던 참고문헌 중 본 연구의 목적과 부합하는 문헌을 추가로 찾았으며 이러한 검색 과정을 반복하여 국내에서 보고된 건설업 노출평가 정보를 확보하였다. 문헌검색 시 검색어로는 “우레탄 방수”, “이소시아네이트”, “건설업” 등의 단어를 개별 또는 조합하여 사용하였다.

2) 국외문헌

국외 문헌은 미국의학논문데이터베이스 (US National Library of Medicine)인 Pubmed(www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed)와 미국산업위생학회 저널인 Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Annal Occupational Hygiene에서 검색하였다. 검색어는 “urethane”, “waterproofing”, “painting”, “isocyanate”, “construction” 등을 개별 또는 조합하여 사용하였다.

4. 건설현장 우레탄 방수 작업 중 디이소시아네이트 노출평가

1) 대상 사업장

아파트 신축건설현장에서 우레탄 방수작업을 실시하는 5개 사업장<표 II-1>을 대상으로 2018년 4월 ~ 6월 사이 노출평가를 실시하였다. 디이소시아네이트 및 휘발성 유기화합물을 대상으로 공기 중 노출평가를 실시하였고, 작업자 개인시료 (필터법, OSHA 42 방법) 및 지역시료(임편저법, NIOSH 5522) 평가를 병행하였다. 작업자 피부 및 작업도구 표면에 대한 디이소시아네이트 노출평가도 수행하였다. 공기 중 시료채취는 작업자가 작업을 수행하는 동안 진행되었다.

<표 II-1> 우레탄 방수 노출평가 대상 사업장

사업장	A	B	C	D	E
소재지	부산시	평택시	부산시	울산시	울산시
평가일정	2018. 4월 (2일)	2018. 5월 (4일)	2018. 5월 (2일)	2018. 5월 (2일)	2018. 6월 (1일)
아파트 세대수	1,147	566	965	844	1,715
공정률(%)	70 ~ 80	70 ~ 80	70 ~ 80	70 ~ 80	60 ~ 70
평균온도(℃)	17 ~ 22	14 ~ 22	21 ~ 23	22 ~ 24	25 ~ 26
평균습도(%)	40 ~ 63	45 ~ 53	40 ~ 50	70 ~ 80	45 ~ 50
평가대상작업	옥상방수	옥상방수	세대안 욕실 다용도실	1층 필로티 바닥	1층 주차장
시료채취시간(분)	201 (범위:66~355)	212 (범위:55~436)	283 (범위:66~486)	407 (범위:260~503)	445 (범위:355~492)
도장면적(평)	50 ~ 100	50 ~ 100	세대별 1 ~ 2	동별 13 ~ 17	40 ~ 80
일평균* 도료사용량(kg)	1,200 ~ 1,800	1,200 ~ 1,800	56 ~ 112	600 ~ 1,000	1,000 ~ 1,500
평가대상	수지(중도)	프라이머 수지(중도)	프라이머 수지(중도)	프라이머 수지(중도)	프라이머 수지(중도)

* 도료사용량은 주제, 경화제, 신너의 합계량을 의미함.

<표 II-2> 우레탄 방수 노출평가 대상 사업장별 도료 구성성분

사업장	제조사	용도	구분	구성성분	이소시아네이트기(NCO)함유량 (%)
A	N사	바닥방수 (표면 비노출 우레탄)	주제	영업비밀(88~98%), 크실렌(8~18%)	5.1 %
			경화제 (하절용)	탄산칼슘(61~71%), 폴리프로필렌글리콜(13~23%), 실리콘(1~10%), 크실렌(1~10%), 케로젠(1~10%), 카울린(1~10%), 석유탄화수소 수지(1~10%), 폴리프로필렌 트리올(1~10%), 카본블랙(0.1~10%)	‘후색으로 시험불가’
			신너 (희석제)	톨루엔(80~90%), 방향족 경질 나프타 용매(석유)(15~25%)	-
			경화제 (동절용) [※ 평가당일 미사용]	석회암(55~66%), 영업비밀(14~24%), 수소처리된 탄화수소(4~14%), 폴리프로필렌 트리올(4~14%), 등유(1~10%), 고령토(카울린)(1~10%), 석유 수지(1~10%), 4,4 ‘-메틸렌비스(2-클로로아닐린)(1~10), 2-에틸헥산산(0.1~4%), 산화납(0.1~4%), 카본블랙(0.1~4%)	-
B	K사	바닥방수 (표면 비노출 우레탄)	프라 이머	톨루엔 2,4/2,6-다이소시아네이트(10~20%), 톨루엔(10~20%), 2-에톡시에틸아세테이트(1~10%), 크실렌(35~45%), 1,3-부탄디올(1~10%), 폴리프로필렌글리콜(10~20%), 메틸에틸케톤(1~10%)	3.7 %
			주제	톨루엔 2,4/2,6-다이소시아네이트(10~20%), 톨루엔(30~35%), 폴리프로필렌 글리콜(50~65%), 영업비밀(1~10%)	‘후색으로 시험불가’
			경화제	디(2-에틸헥실)프탈레이트(1~10%), 소우프스톤(1~10%), 탄산칼슘(1~10%), 폴리프로필렌 글리콜(15~25%), 석유탄화수소 수지(10~20%), 착색안료(1~10%), 영업비밀(1~10%), 4,4-디아미노-3,3-디클로로디페닐메탄(1~10%)	4.0 %

※ 이소시아네이트(NCO) 함유량(%)는 한국화학융합연구소에 도료 원액에 대한 분석을 의뢰하여 파악한 자료임.

<표 II-2> 우레탄 방수 노출평가 대상 사업장별 도료 구성성분_계속

사업장	제조사	용도	구분	구성성분	이소시아네이트기 (NCO)함유량 (%)
C	N사	바닥방수 (표면 비노출 우레탄)	프라 이머	영업비밀(61~71%), 크실렌(28~38%), 톨루엔(20~30%), 탄산 다이메틸(7~17%), 아세트산 에틸(1~11%)	6.0 %
			주제	크실렌(26~36%), 탄산칼슘(12~22%), 다이메틸 카르보네이트(8~18%), 산화철(1~11%), 솔벤트 나프타 (석유), 경질 방향족화합물(1~10%), 이산화티타늄(1~10%), 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 아세트산(1~10%), 에틸벤젠(1~10%), 폴리프로필렌 트리올(1~10%), 영업비밀(25~35%)	14.2 %
	N사	바닥방수 (표면 비노출 우레탄)	경화제	폴리(헥사메틸렌 디아이소시아산)(58~68%), 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 아세트산(14~24%), 크실렌(9~19%), 다이메틸 카르보네이트(8~18%), 에틸벤젠(1~10%)	3.6 %
D	J사	바닥방수 (표면 비노출 우레탄)	프라 이머	α -Hydro- ω -hydroxypoly[oxy(methyl-1,2-ethanediyl)] etherwith 2,2-bis(hydroxymethyl)-1,3-propanediol (4:1) polymerwith 1,3-diisocyanatomethylbenzene(50~60%), 톨루엔(40~50%), 메틸에틸케톤(1~10%)	-
			방수용 수지	탄산칼슘(60~70%), 폴리프로필렌 글리콜(1~10%), 수소처리된 탄화수소, C6-20, 중합물(1~10%), 디(2-에틸헥실)프탈레이트(1~10%), 폴리프로필렌 트리올(1~10%),	-
			도료 (1액형)	톨루엔(1~10%), 4,4-디아미노-3,3-디클로로디페닐메탄(1~10%), 수소탈황화된 중질 나프타 (석유)(0~1%), 영업비밀(1~10%)	-

※ 이소시아네이트(NCO) 함유량(%)는 한국화학융합연구소에 도료 원액에 대한 분석을 의뢰하여 파악한 자료임.

<표 II-2> 우레탄 방수 노출평가 대상 사업장별 도료 구성성분_계속

사업장	제조사	용도	구분	구성성분	이소시아네이트기(NCO)함유량 (%)
E	N사	바닥방수 (표면 비노출 우레탄)	프라 이머	영업비밀(61~71%), 크실렌(28~38%), 톨루엔(20~30%), 다이메틸 카르보네이트(7~17%), 초산에틸(1~11%)	3.6 %
			주제	영업비밀(88~98%), 크실렌(8~18%)	5.1 %
			경화제 (하절용)	탄산칼슘(61~71%), 폴리프로필렌글리콜(13~23%), 실리콘(1~10%), 크실렌(1~10%), 케로젠(1~10%), 카울린(1~10%), 석유탄화수소 수지(1~10%), 폴리프로필렌 트리올(1~10%), 카본블랙(0.1~10%)	‘흑색으로 시험불가’
			신너 (희석제)	톨루엔(80~90%), 방향족 경질 나프타 용매(석유)(15~25%)	-
			경화제 (동절용) [※ 평가당일 현장미사용]	석회암(55~66%), 영업비밀(14~24%), 수소처리된 탄화수소(4~14%), 폴리프로필렌 트리올(4~14%), 등유(1~10%), 고령토(카울린)(1~10%), 석유 수지(1~10%), 4,4 ‘-메틸렌비스(2-클로로아닐린)(1~10), 2-에틸헥산산(0.1~4%), 산화납(0.1~4%), 카본블랙(0.1~4%)	-
			주제	영업비밀(100%)	-
		우레탄 실란트	경화제	석회암(45~55%), 폴리프로필렌 글리콜(30~40%), 탄산 칼슘(5~15%), 수소처리된 탄화수소(4~14%), 이산화티타늄(1~10%)	-

※ 이소시아네이트(NCO) 함유량(%)는 한국화학융합연구소에 도료 원액에 대한 분석을 의뢰하여 파악한 자료임.

○ 사업장 A (옥상, 비노출 우레탄 방수)



<우레탄 도료 혼합(Mixing)작업: Day 1>



<우레탄 방수작업(중도작업); Day 2>

○ 사업장 B (옥상, 비노출 우레탄 방수)



<우레탄 방수작업(중도작업): Day 2>



<우레탄 도료 혼합(Mixing)작업>



<우레탄 프라이머 도포; Day 3>

○ 사업장 C (세대안, 비노출 우레탄 방수)



<우레탄 프라이머 도포: Day 1>



<우레탄 프라이머 도포: Day 1>



<우레탄 방수작업(중도작업): Day 2>

○ 사업장 D (1층 필로티, 비노출 우레탄 방수)



<우레탄 프라이머 도포: Day 1 ~ 2>

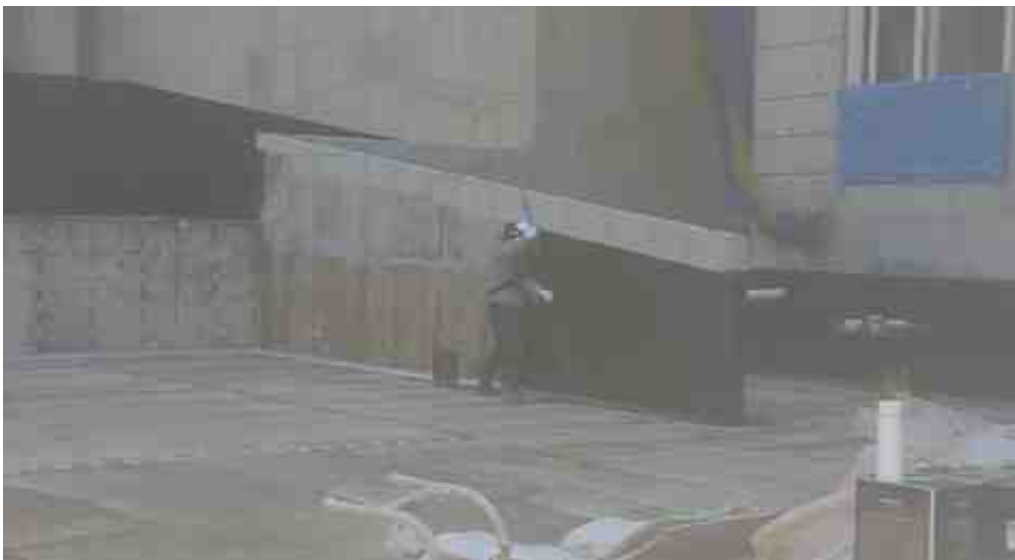


<우레탄 방수작업(중도작업): Day 1 ~ 2>

○ 사업장 E (1층 주차장 노면, 비노출 우레탄 방수)



<우레탄 방수작업(중도작업): Day 1>



<우레탄 방수작업(중도작업): Day 1>

2) 시료채취 및 분석방법

(1) 공기 중 디이소시아네이트

이소시아네이트 평가방법은 많은 연구자들에 의해 개발되어 왔으며, 다양한 방법이 존재한다. 이번 연구에서는 지역시료 채취방법으로 필터방법(OSHA 42 방법)과 임핀저 방법(NIOSH #5522)을 병행 평가하여 두 평가방법간의 농도 수준을 비교해보았다.

○ 개인시료 채취 (OSHA ID 42) 측정 및 분석

개인시료 채취를 위한 공기 중 톨루엔 디이소시아네이트에 대한 측정 및 분석은 OSHA ID 42에 따라 실시하였다. 채취매체는 37 mm 1,2PP(1-(2-pyridyl) piperazine)이 코팅된 유리섬유여과지필터를 카세트(3-piece cassette)에 장착하고 고유량 시료채취기(high volume air sampler)를 사용하여 유량을 각 2 Lpm 으로 설정하여 채취하였다. 채취된 시료는 카세트 마개를 막고 햇빛으로부터 차단하여 실험실로 운반하고 냉장보관하였다. 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 형광검출기가 장착된 고성능액체크로마토그래피(HPLC, Waters Acquity UPLC H-Class, USA)를 사용하였다. 상세한 분석조건은 <표 II-3>와 같다.

○ 지역시료 채취 (NIOSH #5522) 측정·분석

지역시료 채취를 위한 공기 중 톨루엔 디이소시아네이트에 대한 측정 및 분석은 NIOSH # 5522에 따라 실시하였다. 채취매체는 25 ml 임핀저에 흡수액으로 Tryptamine/DMSO(Dimethyl Sulfoxide)를 20 ml 주입하였고, 고유량 시료채취기 (high volume air sampler)를 사용하여 유량을 각 1.5 ~ 1.2 Lpm 으로 설정하여

채취하였다. 시료는 햇빛으로부터 차단하여 실험실로 운반하고 냉장보관하였다. 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 고성능 액체크로마토그래피(HPLC, Waters Acquity UPLC H-Class, USA)를 사용하였다. 상세한 분석조건은 <표 II-3>와 같다.

<표 II-3> 이소시아네이트 시료분석장비 및 분석조건

Analysis Device		Acquity UPLC H-Class(Waters)
Analysis condition	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 Deterctor - 240 nm excitation - 370 nm emission
	Column	BEH C18 (2.1x100mm, 1.7um)

사업장별 검출한계는 NIOSH에서 제안한 계산식을 이용하여 산출하였으며, 식은 아래와 같으며, 사업장별 검출한계는 <표 II-4>와 같다.

$$LOD = 3 \times (S_y/m)$$

※ LOD : 검출한계, S_y : 회귀식표준편차, m : 검량선기울기

<표 II-4> 사업장별 공기 중 이소시아네이트 검출한계(단위: $\mu\text{g}/\text{sample}$)

사업장	OSHA 42 (필터법)		NIOSH 5522 (임편저법)	
	2,4-TDI	2,6-TDI	2,4-TDI	2,6-TDI
A	0.037	0.019	0.0501	0.0417
B	0.049	0.041		
C	0.039	0.051		
D, E	0.047	0.054		

< ※ 공기 중 이소시아네이트 평가방법 비교 >

시료채취 시 사용하는 매체와 분석에 사용되는 유도체 시약에 따라 평가방법을 나누어 볼 수 있다 (Dennis C et al., 2003; NIOSH, 1998).

○ 시료채취 매체에 따른 평가방법 비교

시료채취 매체에 따라 필터와 임핀저 방법으로 나누어 볼 수 있다. ASTM D 5836과 OSHA 42/47, ISO 14382, ASTM D 5932, ISO 17736은 필터를 이용하여 채취하며, NIOSH 5521, NIOSH 5522는 임핀저를 사용하여 채취한다. NIOSH 5525와 ISO 17735, HSE DMH 25/4는 필터와 임핀저를 연결하여 시료를 채취한다. 필터방법은 작은 입자($\leq 2 \mu\text{m}$) 채취에 유용하며, $10 \mu\text{m}$ 이상의 큰 입자 및 에어로졸의 경우 임핀저를 사용하도록 권고하고 있다. 큰 입자를 필터로 채취할 경우, 필터에 코팅된 시약이 시료를 적절히 유도체화하기 어렵다. 또한 임핀저를 이용하면, 작은 입자는 임핀저를 그대로 관통되기 때문에 작은 입자를 임핀저를 이용하여 채취할 경우 비효율적이다. 따라서 발생하는 입자의 크기에 따라서 적절한 채취 매체를 사용하여야 한다. 분석 방법에 따른 특성을 <표 II-3>에 정리하였다.

○ 시료분석방법 (유도체화 시약)에 따른 평가방법 비교

분석 방법을 결정하기 위해서는 발생하는 입자의 크기에 따라 정할 수 도 있으며 유도체화 시약의 종류에 따라 정할 수 있다. 유도체화 시약에 따라 장단점이 있으므로, 확인하고 적절한 분석방법을 결정하여야 한다. 다음은 유도체화 시약에 따른 분석방법을 나열하였다.

- **1-(2-pyridyl)piperazine**

1-(2-pyridyl)piperazine (1,2-PP)를 이용하여 측정하는 방법으로는 ASTM D5836, OSHA 42/47, ISO 14382가 있다. 세 가지 분석방법 모두 유리섬유필터에 일정량의 1,2-PP 유도체 시약을 코팅 시킨 후 사용한다. 액체크로마토그래피를 이용하여 분석하며 사용되는 검출기는 형광검출기와 UV 검출기이다. 1,2-PP를 사용하기 전에는 니트로 시약을 사용하였는데, 니트로 시약은 버블러를 사용하여야 하여 측정 시 불편하고 보관에 불안정하였다. 1,2-PP는 니트로 시약보다 안정하며, 유리섬유필터에 코팅하여 사용이 가능하므로 편리하다. 다만, 1,2-PP는 40 °C 이상의 고온에서는 증발될 수 있기 때문에 고온에서의 사용은 자제하여야 하며 단량체 TDI와 MDI의 분석만 가능하다는 한계가 있다.

- **1-(2-Methoxyphenyl)piperazine**

1-(2-Methoxyphenyl)piperazine (1,2-MP) 시약을 사용하여 분석하는 방법은 NIOSH 5521과 HSE DMH 25/4가 있다. NIOSH 5521은 1,2-MP 유도체화 시약을 toluene 안에 넣고 임핀저로 측정하는 방법이며, HSE DMH 25/4는 동일한 시약을 사용하지만, 임핀저와 시약이 코팅된 유리섬유 두 가지 방식을 이용하여 포집한다. HSE DMH 25/4에 의하면 1 μm 미만의 작은 입자는 임핀저에 효율적으로 포집할 수 없으며, 큰 입자(> 10 μm)의 경우는 시약으로 코팅된 필터에 효율적으로 포집할 수 없기 때문에 TDI가 발생하는 조건에 따라 필터와 임핀저를 단독으로 사용하거나, 필터와 임핀저를 연결하여 동시에 사용하도록 권고하고 있다. 또한 1,2-MP 시약은 톨루엔을 용매로 사용하는데, 톨루엔은 휘발성이 있고 인화성 물질이어서 사용에 주의가 많이 필요하다. 액체 크로마토그래피를 사용하며 UV와 전기화학(electro-chemical)검출기를 이용하여 분석하며 전기화학 검출기와 UV 검출기의 피크 비율을 계산하여 단량체와 중합체를 분석한다.

- **9-(N-methylaminomethyl)**

ASTM D 5932와 ISO 17736에서는 9-(N-methylaminomethyl) (MAMA)을 이용하여 TDI를 측정 분석한다. 두 방법 모두 PTFE 필터와 MAMA가 코팅된 유리섬유필터를 연결하여 사용한다. 두 개의 필터를 사용함으로써 가스와 에어로졸을 물리적으로 분리하여 측정할 수 있다. PTFE 필터에는 에어로졸을 포집하며 코팅된 유리섬유필터는 가스상태의 TDI를 포집한다. 액체 크로마토그래피를 이용하여 분석하며 1,2-PP와 동일하게 형광검출기와 UV검출기를 사용한다.

- **Tryptamine**

Tryptamine을 이용하여 분석하는 방법은 NIOSH 5522이다. Tryptamine 일정량을 dimethyl sulfoxide에 녹인 후 이 용액을 임핀저에 담아서 측정하는 방법이다. dimethyl sulfoxide는 NIOSH 5521에서 사용하는 toluene 보다 휘발성이 낮은 장점은 있지만, 흡입 및 피부를 통해 흡수의 위험이 있으므로 개인시료채취보다 지역시료채취에 사용하도록 NIOSH에서는 권고하고 있다. Tryptamine 시약을 이용한 분석법은 따로 전처리 방법이 없으며 바로 액체 크로마토그래피를 분석하기 때문에 시료의 손실의 적다는 장점이 있으며, 형광검출기와 전기화학 검출기를 사용하여 단량체와 중합체 TDI 분석이 가능하다.

- **1-(9-anthracenylmethyl)piperazine**

1-(9-anthracenylmethyl)piperazine(MAP)은 NIOSH 5525와 ISO 17735에서 사용된다. 두 방법 모두 필터와 임핀저 모두 사용한다. NIOSH 5525에 따르면, 필터는 증기상태의 TDI와 방향족 이소시아네이트의 에어로졸 또는 2 μm 미만의 방향족 이소시아네이트 에어로졸 포집에 사용하도록 권고하고 있다. 2 μm 이상의 방향족 이소시아네이트 에어로졸 포집 시에는 임핀저를 사용하도록 하며, 2 μm 이하 또는 이상의 방향족 이소시아네이트를 포집할 시에는 필터와 임핀저를 연결하여 두 가지를 이용하여 포집하도록 권고하고 있다. 분석은 액체크로마토 그래피를 이용하여 형광검출기와 전기화학 검출기를 동시에 사용한다. 형광검출기와 전기화학 검출기 결과 비를 이용하여 단량체와 중합체 TDI 분석 모두 가능하다.

<표 II-5> 공기 중 이소시아네이트 노출평가 방법 비교

구 분		필터 (Filter) 방법					임편저 (Impinger) 방법		필터 + 임편저 (Filter + Impinger) 방법		
Method #		ASTM D 5836	OSHA 42/47	ISO 14382	ASTM D 5932	ISO 17736	NIOSH 5521	NIOSH 5522	NIOSH5525	ISO 17735	HSE DMH 25/4
이소시아 네이트 (Isocyanate)	단량체 (Monomers)	TDI	TDI, HDI, MDI	TDI	TDI	TDI	TDI, MDI, HDI, NDI, HMDI	TDI, MDI, HDI, NDI, HMDI, IPDI	TDI, HDI, MDI, NDI, HMDI, IPDI	TDI, HDI, MDI, IPDI, HDI	TDI, NDI, HDI, MDI
	다량체 (Oligomers)	-	-	-	TDI	TDI	HDI	TDI, MDI, HDI	TDI, MDI, HDI	total isocyanate group	prepolymer isocyanate
유도체 시약 (Reagent)		1,2-PP	1,2-PP	1,2-PP	MAMA	MAMA	1,2-MP in toluene	tryptamine in DMSO	MAP in butyl benzoate	MAP in butyl benzoate	1,2-MP in toluene
개인시료채취 가능여부 (Personal)		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Impinger : No Filter : Yes	Impinger : No Filter : Yes	Impinger : No Filter : Yes
입자 크기	(Particle ≤2um)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Impinger : No Filter : Yes	Impinger : No Filter : Yes	Impinger : No Filter : Yes
	Particle ≥2um (aerosol)	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Impinger : Yes Filter : No	Impinger : Yes Filter : No	Impinger : Yes Filter : No
분석장비 (Techniuer)		HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC
검출기 (Detector) 1		FL	FL	UV	UV	UV	UV	FL	UV	UV	UV
건출기 (Detector) 2		UV	UV	FL	FL	FL	EC	EC	FL	FL	EC

* 1,2-PP : 1-(2-pyridyl)piperazin ; MAMA : 9-(N-methylaminomethyl) ; 1,2-MP : 1-(2-Methoxyphenyl)piperazine ; MAP: 1-(9-anthracenylmethyl)piperazine ; HPLC : high performance liquid chromatography ; UV : UV detector ; FL : fluorescence detector ; EC : Electrochemical detector

(2) 공기 중 휘발성 유기화합물

시료채취매체는 수동식시료채취기 (Organic Vapor Monitor; 3M 3500, Made in Canada)를 사용하여 작업을 진행하는 시간동안 개인시료 채취방법으로 실시하였다. 시료분석은 가스크로마토그래피(Gas Chromatography)의 질량분석기(MSD; Mass Spectrometer Detector)를 사용하여 분석하였다. 상세한 분석조건은 <표 II -6>과 같다.

분석 대상물질은 수동식시료채취기에서 채취하여 분석 가능한 물질과 도료의 구성성분을 고려하여 아세톤, 초산에틸, 톨루엔, 초산부틸, 에틸벤젠, 크실렌의 6가지 물질에 대하여 정량분석을 실시하였다. 이외에 카보닐 설파이드, 노난, 데칸, 트리메틸 벤젠 등의 물질이 검출되었다. 물질별 검출한계 및 노출기준은 <표 II -7>과 같으며, 연구결과는 검출된 물질에 대해 결과표를 작성하였다.

<표 II -6> 휘발성 유기화합물 시료분석장비 및 분석조건

Analysis Device		GC : Agilent 7890A MSD : Agilent 5975C inert XL with Triple -Axis Detector
Analysis condition	Inlet	270 °C, Column flow : 1 ml/min
	Oven	40 °C (5min) - 8 °C/min - 250 °C (10 min)
	Column	HP-5MS (30m x 0.25mm x 0.25um)

<표 II-7> 분석대상 물질 검출한계 및 노출기준

물질명	검출한계 (mg/sample)	노출기준		비고
		TWA	STEL	
아세톤 (Acetone)	0.0055	500	750	-
초산 에틸 (Ethyl Acetate)	0.0418	400	-	-
톨루엔 (Toluene)	0.0684	50	150	생식독성2
초산 부틸 (n-Butyl Acetate)	0.0080	200	-	-
에틸벤젠 (Ethylbenzene)	0.0368	100	125	발암성2
크실렌 (o, m,p-Xylene)	0.0585	100	-	-

※ 발암성, 생식독성, 생식세포 변이원성

- 발암성 1A: 사람에게서 충분한 발암성 증거가 있는 물질
- 발암성 1B: 시험동물에서 발암성 증거가 충분히 있거나, 시험동물과 사람 모두에서 제한된 발암성 증거가 있는 물질
- 발암성 2: 사람이나 동물에서 제한된 증거가 있지만, 구분1로 분류하기에는 증거가 충분하지않은 물질
- 생식독성 1A: 사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 판단될 정도의 사람에서의 증거가 있는 물질
- 생식독성 1B: 사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 판단될 정도의 동물시험 증거가 있는 물질
- 생식독성 2: 사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 의심할 정도의 사람 또는 동물시험 증거가 있는 물질

(3) 피부노출 평가방법_디이소시아네이트

○ 작업자 피부노출 (Skin SWYPE) 측정 및 분석

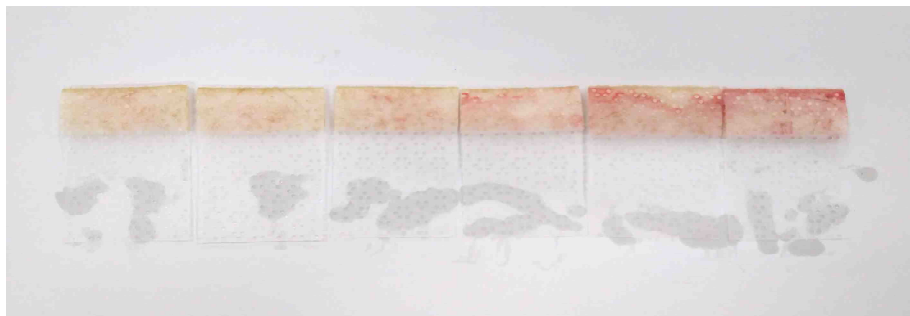
시료채취는 작업이 종료된 직후 작업자 손등, 손바닥, 팔목, 목, 얼굴, 이마 등 피부를 SKIN SWYPE 패드의 섬유부분 (2.5×5 cm)으로 닦았다, 손등, 손바닥, 팔목, 목, 얼굴의 각 오른쪽, 왼쪽을 하나의 패드로 각각 5×5 cm 범위로 닦아내고 하나의 시료로 사용하였으며 이마는 정 가운데를 5×5 cm 범위로 닦아내었다. 팔목을 닦아내는 위치는 옷 소매가 닿는 부분의 팔 안쪽으로 하였다. 패드로 작업자의 SKIN을 닦아내면 즉시 작은 컵에 현상액을 약 1/4가량 붓고, 피부 SWYPE 패드의 cloth부분이 현상액이 닿도록 놓아두고 3분 후 현상액이 패드의 cloth(색을 나타내는 부분)까지 올라가면 색도표와 비교하여 색을 관찰하고 기록하였다. 이후 각 패드를 폴리백에 하나씩 담아 밀봉하여 운반 보관하였다 패드에는 baby oil만 함유되어 있어 피부에 묻은 이물질을 닦아내는 용도로, 피부에 알러지 등을 유발하는 화학성분 등은 함유되어 있지 않았다.

○ 색도표 제작

디이소시아네이트 표준용액은 2,4-톨루엔디이소시아네이트(2,4-TDI)를 아세토니트릴(Acetonitrile)에 50,000배 희석시켜 1.208 µg/µl 농도의 용액(stock 2)을 만들고 이것을 패드에 일정량 떨어뜨리고 현상액이 검출부까지 도달하게 하여 패드의 색도표를 만들었다. SKIN SWYPE 패드에 주입한 용액(stock 2)의 양은 25, 50, 100, 200, 400, 600 µl로 주입된 2,4-TDI의 양은 각각 0.604, 1.208, 2.416, 4.831, 9.662, 14.494 µg (색도 1~6) 수준이었다 <표 II-8>.

<표 II-8> 피부(skin)노출평가 색도표 기준농도

Type	Concentration Range (μg/pad)	Concentration Scale
Skin SWYPE Pad	0	0
	0~0.6	1
	0.6~1.2	2
	1.2~2.4	3
	2.4~4.8	4
	4.8~9.6	5
	9.6~19.3	6



[그림 II-1] 디이소시아네이트 피부시료 (Skin) 색도표 (좌측부터 색도 1 → 색도 6)



[그림 II-2] 피부(skin) 패드 현상액 흡수 과정 (좌측부터 색도 1 → 색도 6)

○ 작업도구 표면 (Surface SWYPE) 측정 및 분석

작업도구 표면에 묻어있어 작업자에게 잠재적으로 노출될 수 있는 디이소시아네이트 농도수준을 평가하였다. 평가대상 도구는 작업 시 사용하는 혼합기(mixer), 롤러, 파개(opener)를 대상으로 하였다. 작업이 진행되는 도중 또는 오전작업이 종료된 후 평가를 실시하였고, 믹서기의 경우 본체, 주 손잡이, 보조 손잡이 위치에서, 롤러는 상부, 중부, 하부 위치에서, 파개는 손잡이 위치에서 평가하였다. 평가방법은 작업도구의 표면에 현상액(developing solution)을 분사하고 약 30초간 기다린 후 표면 SWYPE 패드(model 769-1002, SKC)를 이용하여 약 5×5 cm 면적의 표면을 닦아내었다. 약 3분을 기다린 후 패드의 발색정도를 평가하였으며, 현장에서 색변화를 관찰하고 즉시 판정하였다. 붉은빛의 오렌지색이 강할수록 디이소시아네이트 농도가 높은 것을 의미한다. 농도수준을 판정하기 위한 비교 색도표는 실험실 평가를 통해 현장평가 전에 미리 제작하였으며 디이소시아네이트 표준용액을 사용하여 알고 있는 농도를 미리 패드에 단계별로 적용한 후 색도표를 작성하였다.

○ 색도표 제작

디이소시아네이트 표준용액을 2,4-톨루엔디이소시아네이트(2,4-TDI)를 아세토니트릴(Acetonitrile)에 1,000배 희석시켜 $1.208 \mu\text{g}/\mu\text{l}$ 농도의 용액(stock 1)을 만들었다. 그 용액의 일정량을 접시에 떨어트리고 현상액을 도포한 후 패드로 닦아내어 색도표를 제작하였다. SURFACE SWYPE 패드에 주입한 용액(stock 1)의 양은 1, 2, 5, 10, 20, $40 \mu\text{l}$ 로 주입된 2,4-TDI의 양은 각각 1.208, 2.416, 6.039, 12.078, 24.156, $48.312 \mu\text{g}$ (색도 1 ~ 6) 수준 이다 <표 II -9>.

<표 II-9> 작업도구 표면(surface) 노출평가 색도표 기준농도

Type	Concentration Range ($\mu\text{g}/\text{pad}$)	Concentration Scale
Surface SWYPE Pad	0	0
	0~1.2	1
	1.2~2.4	2
	2.4~6.0	3
	6.0~12.1	4
	12.1~24.2	5
	24.2~48.3	6



[그림 II-3] 디이소시아네이트 표면시료 (Surface) 색도표
(좌측부터 1 → 6 색도)

(4) 호흡기 증상 설문조사

설문조사는 우레탄 방수작업에 대한 공기 중 노출평가에 참여한 작업자를 대상으로 하였으며, 설문조사표는 일반 호흡기 증상, 천식 증상, 피부 증상 관련 문항의 세부분으로 구성된다. 일반 호흡기 증상은 세계보건기구가 영국산업보건협회의 기준으로부터 작성한 자료의 국문 번역 설문지를 참고하였다 (산업보건, 1990). 천식 증상 문항은 김형렬 등(2004), 신지영 등(2009) 및 이상일 등(2001)에서 활용한 자료를 참고하였고, 피부증상 문항은 대한피부과학회 산하 접촉피부염 및 피부알레르기학회에서 만성손습진 환자 설문조사용으로 제작한 자료를 참고하였다. 증상 설문과 함께 성별, 연령, 흡연력, 흡연량 등 일반적인 특성과 직무, 직무기간, 출근일수, 일 근무시간 등 작업특성 사항을 호흡기 증상, 천식증상, 피부 증상과 함께 조사하였다. 설문조사는 작업 종료 후 또는 휴식시간에 직업환경의학 전공의가 작업자와 1:1 면담방식으로 진행하였으며 설문조사표는 <부록 표 VII-1> 과 같다.

Ⅲ. 연구결과

1. 건설현장 우레탄 방수업체 및 작업자 현황

1) 대한전문건설협회 등록 현황

대한전문건설협회에 등록된 습식방수업체는 총 2,326개소(2018. 5월 기준)였다. 지역별로는 서울이 552개소로 가장 많았고, 경기 442개소, 경남 150개소, 부산 141개소 순이었다 <표 Ⅲ-1>.

<표 Ⅲ-1> 건설전문업체 시도업종별 등록현황(2018.05 기준)

시도명	등록수	업체수	습식방수	실내건축	토공	석공	도장	비계
서울	8,319	5,924	<u>552</u>	1,871	589	137	384	522
부산	2,729	1,882	<u>141</u>	356	250	50	125	189
대구	1,601	1,196	<u>89</u>	219	173	26	81	60
인천	2,176	1,451	<u>76</u>	225	164	80	120	123
광주	1,461	1,150	<u>114</u>	232	97	24	67	89
대전	1,276	935	<u>99</u>	149	88	33	65	62
울산	1,095	732	<u>48</u>	67	86	63	71	47
세종	320	208	<u>5</u>	18	45	10	14	6
경기	10,900	7,482	<u>442</u>	915	1,148	339	622	512
강원	3,346	2,157	<u>82</u>	116	324	265	184	221
충북	3,251	2,003	<u>80</u>	120	502	65	167	100
충남	3,830	2,382	<u>106</u>	145	370	214	179	173
전북	3,676	2,329	<u>87</u>	136	357	165	171	165
전남	4,992	3,120	<u>104</u>	116	534	429	190	257
경북	5,824	3,797	<u>108</u>	220	949	176	219	267
경남	4,729	3,208	<u>150</u>	248	349	513	211	195
제주	1,525	1,006	<u>43</u>	102	127	55	81	60
합계	61,050	40,962	<u>2,326</u>	5,255	6,152	2,644	2,951	3,048

<출처: 대한전문건설협회, <https://kosca.or.kr> >

<표 III-1> 건설전문업체 시도업종별 등록현황(2018.05 기준)_계속

시도명	금속창호	지붕건조	철콘	상하수도	보링	철도궤도	포장	수중
서울	763	182	578	1,102	204	22	531	25
부산	312	43	361	280	66	1	114	47
대구	217	41	161	154	12	1	56	0
인천	266	26	248	320	25	0	108	20
광주	208	25	162	139	9	0	50	1
대전	156	24	121	180	13	3	60	1
울산	126	13	172	117	15	0	53	11
세종	28	2	69	38	5	0	15	0
경기	1,465	180	1,242	1,389	148	12	466	18
강원	392	21	781	394	27	0	123	25
충북	350	40	820	466	47	0	125	0
충남	368	33	1,071	483	44	1	150	22
전북	396	22	973	476	99	0	175	12
전남	489	29	1,430	527	95	0	202	42
경북	561	66	1,600	719	91	1	176	57
경남	509	40	1,033	475	107	0	184	63
제주	207	13	302	225	4	0	61	31
합계	6,813	800	11,124	7,484	1,011	41	2,649	375

<출처: 대한전문건설협회, <https://kosca.or.kr> >

<표 III-1> 건설전문업체 시도업종별 등록현황(2018.05 기준)_계속

시도명	조경식재	조경시설	강구조물	철강재	삭도	준설	승강기	시설물
서울	316	245	149	10	2	9	126	0
부산	173	114	37	2	0	9	59	0
대구	159	90	22	1	2	0	37	0
인천	199	105	26	0	0	2	43	0
광주	141	67	14	0	0	0	22	0
대전	132	51	17	1	0	0	21	0
울산	102	60	26	1	0	0	17	0
세종	43	21	0	0	0	0	1	0
경기	1,126	582	121	4	3	3	163	0
강원	237	135	11	0	0	0	8	0
충북	226	96	36	1	1	0	9	0
충남	277	139	36	1	1	1	16	0
전북	283	117	26	2	0	2	12	0
전남	331	148	55	5	1	2	6	0
경북	377	179	43	2	0	1	12	0
경남	361	210	50	4	3	1	23	0
제주	90	108	8	0	0	0	8	0
합계	4,573	2,467	677	34	13	30	583	0

<출처: 대한전문건설협회, <https://kosca.or.kr> >

2) 건설근로자 공제회 신고 피공제자 현황

통계청의 경제활동인구조사 자료에 따르면(이시균 등, 2016), 2015년 기준 건설업 취업자 수는 약 182만3천명으로 보고되었으며, 2015 건설근로자 퇴직공제 통계연보에 따르면, 2015년 건설근로자 공제회 신고 피공제자수는 약 139만 6천명으로 전체 건설근로자의 약 76.5%수준이었다. 2015년 기준 신고 피공제자 중 방수공은 17,638명으로 전체 피공제자의 약 1.26%를 차지하고 있었다. 연도별 방수공의 연령별 분포를 살펴보면 <표 Ⅲ-2> 같다. 2015년 기준 전체 건설근로자와 방수공을 비교하면, 방수공의 경우 50, 60대 중·장년 근로자가 더 많이 분포하고 있음을 알 수 있다 <표 Ⅲ-3>.

<표 Ⅲ-2> 방수공 연령별 건설근로자 공제회 신고 피공제자수

연도	총계	20대	30대	40대	50대	60대	70대	80대	기타
2015	<u>17,638</u>	972	1,503	3,283	6,557	4,625	685	13	-
2014	<u>18,483</u>	1,012	1,687	3,768	6,805	4,507	693	9	2
2013	<u>17,654</u>	910	1,654	3,799	6,569	4,095	624	2	1
2012	<u>15,526</u>	721	1,435	3,473	5,873	3,504	481	3	36
2011	<u>14,348</u>	634	1,445	3,384	5,303	3,114	342	3	123

<출처: 2015 건설근로자 퇴직공제 통계연보>

<표 Ⅲ-3> 2015년 연령별 건설근로자 공제회 신고 피공제자수

연도	총계	20대	30대	40대	50대	60대	70대	80대
전 체	<u>1,396,083</u> (100%)	130,849 (9.4%)	170,623 (12.2%)	364,893 (26.1%)	479,196 (34.3%)	222,029 (15.9%)	27,836 (1.99%)	667 (0.05%)
방수공	<u>17,638</u> (100%)	972 (5.5%)	1,503 (8.5%)	3,283 (18.6%)	6,557 (37.2%)	4,625 (26.2%)	685 (3.88%)	13 (0.07%)

<출처: 2015 건설근로자 퇴직공제 통계연보>

3) 건설현장 작업환경측정 현황

2013년에서 2016년까지 건설현장에서 평가한 톨루엔 디이소시아네이트(TDI)의 노출농도 수준을 살펴보면 <표 III-4>과 같다. 건설현장에서 톨루엔 디이소시아네이트에 대한 평가는 대부분이 방수공정에서 이루어졌으며, 건설업 세부업종별로는 아파트 건설업에서 가장 많은 측정(약 50%)이 이루어졌고, 다음으로 기타 토목시설물 건설업(약 22%), 기타 비주거용 건물 건설업(약 6.5%) 순이었다.

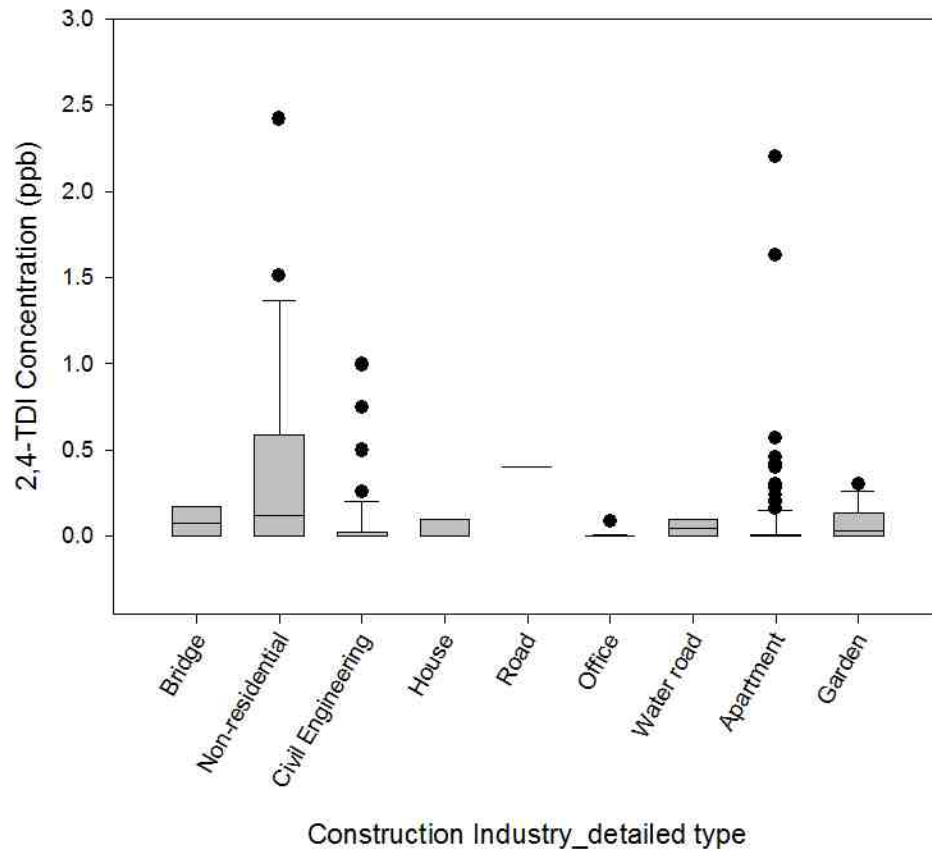
건설업 전체(2013 ~ 2016년)에서 톨루엔-2,4-디이소시아네이트는 총 316건이 측정되었고, 검출한계 미만이 215건(68%)이었고, 이중 101건(32%)에서만 농도가 검출되었다. 검출된 시료만을 대상으로 평균농도를 살펴보면, 기하평균 0.129 ppb, 기하평균과 기하표준편차를 통해 추정된 95% 상위농도는 1.663 ppb로 노출기준(5 ppb)의 33% 수준이었다. 노출기준을 초과하는 것으로 보고된 시료는 1건으로 550 ppb로 노출기준의 100배를 초과하는 농도였으나, 측정에 오류가 있었는지 확인이 필요하다. 톨루엔-2,6-디이소시아네이트는 총 290건이 측정되었고, 검출한계 미만이 183건(63%)이었고, 이중 107건(37%)에서만 농도가 검출되었다. 검출된 시료만을 대상으로 평균농도를 살펴보면, 기하평균 0.141 ppb, 기하평균과 기하표준편차를 통해 추정된 95% 상위농도는 1.299 ppb로 노출기준의 26% 수준이었다. 노출기준을 초과하는 것으로 보고된 시료는 없었다.

톨루엔-2,4-디이소시아네이트 기하평균은 기타 비주거용 건물 건설업(0.258 ppb), 교량, 터널 및 철도 건설업 (0.164 ppb), 아파트 건설업 (0.120 ppb) 순으로 농도가 높았다. 톨루엔-2,6-디이소시아네이트는 기타 토목시설물 건설업 (0.340 ppb)에서 가장 높았고, 단독 및 연립주택 건설업(0.173 ppb), 사무 및 상업용 건물 건설업(0.165 ppb), 도로 건설업(0.147 ppb), 아파트 건설업(0.121 ppb) 순이었다.

<표 III-4> 건설현장 톨루엔 디이소시아네이트 작업환경측정 실시 현황 (2013 ~ 2016, 건수)

유해물질_ 코드	표준산업분류(세세분류)	N (ND포함)	N (ND제외)	평균	표준 편차	기하 평균	GSD	중위수	Estimated 95%ile	최소값	최대값	단위
톨루엔-2,4- 디이소시아 네이트	교량, 터널 및 철도 건설업	4	2	0.165	0.021	0.164	1.138	0.165	0.203	0.150	0.180	ppb
	기타 비주거용 건물 건설업	21	13	0.597	0.686	0.258	5.434	0.510	4.184	0.010	2.420	
	기타 토목시설물 건설업	72	21	0.246	0.303	0.130	3.259	0.110	0.910	0.020	1.000	
	단독 및 연립주택 건설업	24	8	0.093	0.021	0.089	1.383	0.100	0.152	0.040	0.100	
	도로 건설업	2	2	0.405	0.163	0.388	1.511	0.405	0.766	0.290	0.520	
	사무 및 상업용 건물 건설업	19	2	0.050	0.057	0.030	4.729	0.050	0.386	0.010	0.090	
	수로, 댐 및 급·배수시설 건설업	4	2	0.100	0.000	0.100	1.000	0.100	0.100	0.100	0.100	
	아파트 건설업	157	44	12.763	82.877	0.120	6.703	0.095	2.745	0.010	550	
	조경 건설업	13	7	0.129	0.098	0.096	2.361	0.120	0.396	0.030	0.300	
	합계	316	101	5.719	54.701	0.129	4.720	0.100	1.663	0.010	550	
톨루엔-2,6- 디이소시아 네이트	기타 비주거용 건물 건설업	19	8	0.369	0.629	0.173	3.082	0.120	1.104	0.060	1.900	ppb
	기타 시설물 축조관련 전문공사업	20	1	0.100	-	0.100	.	0.100	-	0.100	0.100	
	기타 토목시설물 건설업	63	11	0.604	0.566	0.340	3.544	0.500	2.724	0.050	1.700	
	단독 및 연립주택 건설업	21	4	0.203	0.127	0.173	1.918	0.175	0.506	0.100	0.360	
	도로 건설업	2	2	0.150	0.042	0.147	1.332	0.150	0.236	0.120	0.180	
	사무 및 상업용 건물 건설업	18	13	0.211	0.127	0.165	2.241	0.240	0.621	0.040	0.410	
	아파트 건설업	144	65	0.304	0.493	0.121	4.444	0.160	1.404	0.003	3.100	
	일반 통신 공사업	3	3	0.040	0.020	0.036	1.743	0.040	0.091	0.020	0.060	
	합계	290	107	0.312	0.468	0.141	3.863	0.160	1.299	0.003	3.100	

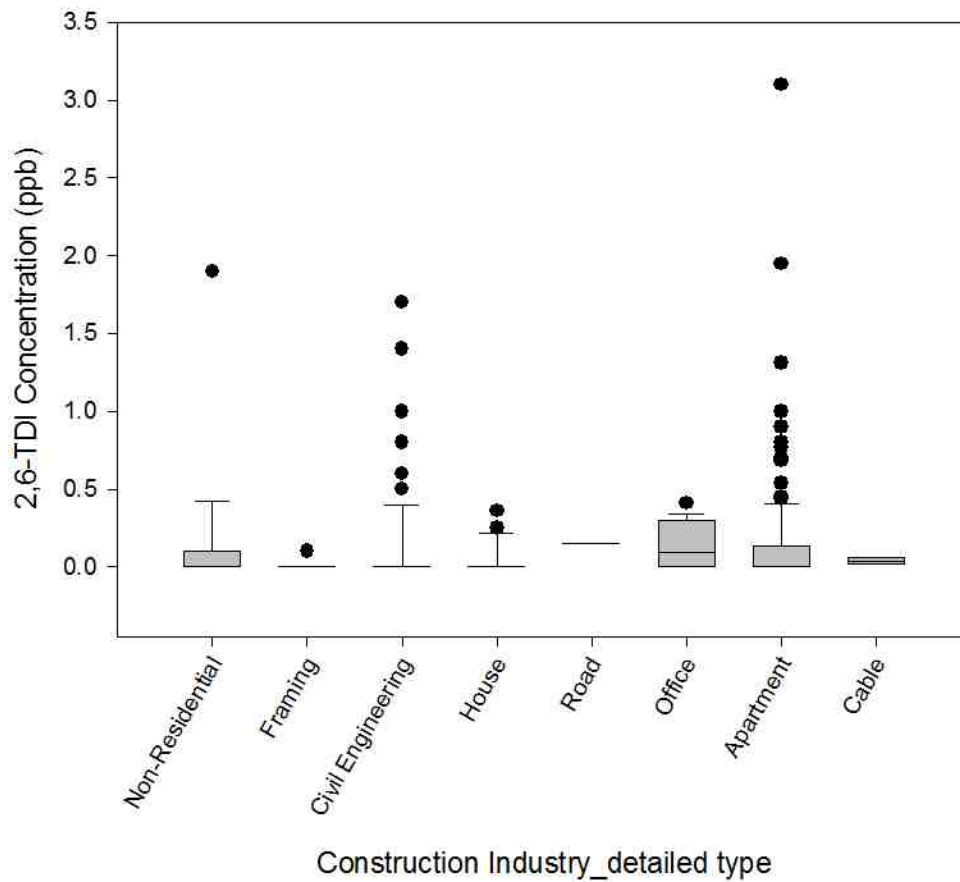
2, 4 -TDI Work Monitoring Data



[그림 III - 1] 건설 세부업종별 2,4-TDI 작업환경측정결과(2013-2017)

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ 최대값 0.550 ppm(1개 시료)은 이상값(outlier)으로 제외
- ※ 불검출(ND; Not Detected) 자료 제외

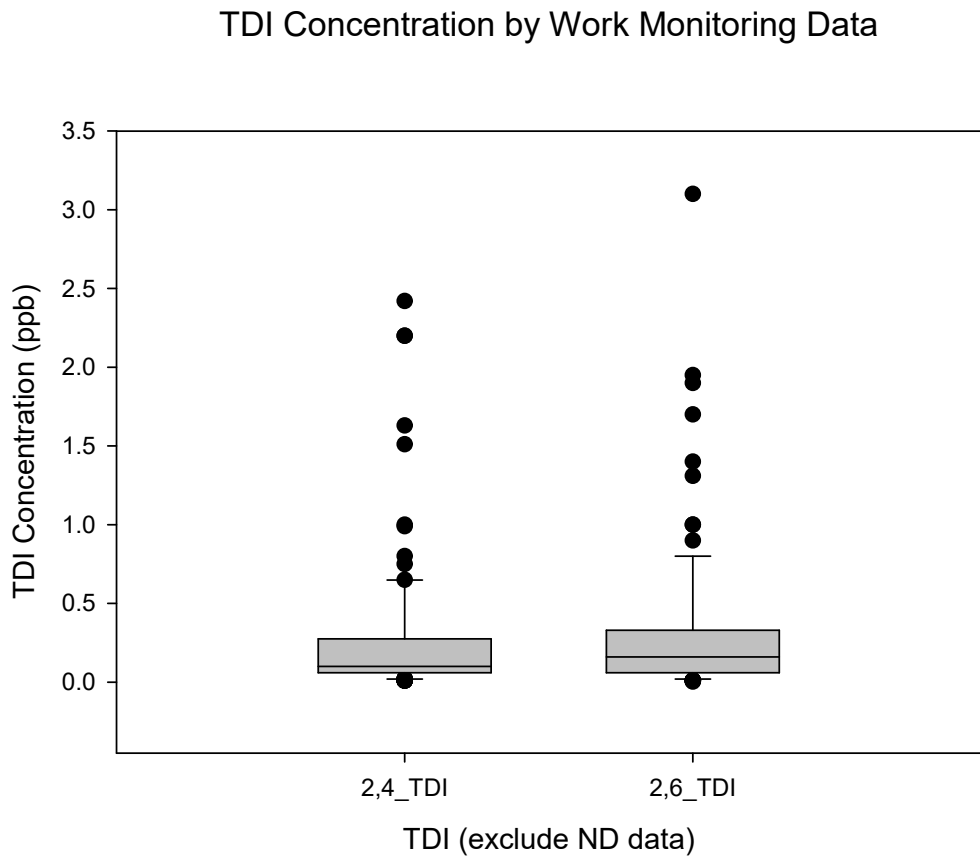
2, 6 -TDI Work Monitoring Data



[그림 III -2] 건설 세부업종별 2,6-TDI 작업환경측정결과(2013-2017)

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

※ 불검출(ND; Not Detected) 자료 제외



[그림 III - 3] 2,4/2,6-TDI 작업환경측정결과 비교(2013-2017)

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ 불검출(ND; Not Detected) 자료 제외

4) 건설현장 특수건강진단 실시 현황

2013년에서 2017년까지 건설현장에서 평가한 톨루엔 디이소시아네이트(TDI)의 특수건강진단 결과를 살펴보았다. 최근 5년간 총 5,586명이 2,4/2,6-TDI에 대한 특수건강진단을 수검하였으며, 이중 호흡기계에 대한 직업성 요관찰자(C₁) 14명, 일반질환(호흡기계) 요관찰자(C₂) 582명, 유소견자(D₂) 28명 이었다. 건설업 세부업종으로는 미장, 타일 및 방수 공사업에 종사하는 작업자에서 측정이 가장 많이 이루어졌다.

<표 Ⅲ-5> 방수공에 대한 TDI 특수건강진단 실시현황

년도	구분	수검자수	진단결과 (호흡기계)				재검사 대상
			A	C ₁	C ₂	D ₂	
	총합계	5,586	4,951	14	582	28	11
2013	소계	916	831	4	67	8	6
	2,4-TDI	661	612	2	40	4	3
	2,6-TDI	255	219	2	27	4	3
2014	소계	1,040	958	-	76	3	3
	2,4-TDI	856	791	-	59	3	3
	2,6-TDI	184	167	-	17	-	-
2015	소계	602	551	-	50	1	-
	2,4-TDI	479	447	-	32	-	-
	2,6-TDI	123	104	-	18	1	-
2016	소계	1,332	1,134	7	183	8	-
	2,4-TDI	894	787	5	98	4	-
	2,6-TDI	438	347	2	85	4	-
2017	소계	1,696	1,477	3	206	8	2
	2,4-TDI	985	870	2	108	4	1
	2,6-TDI	711	607	1	98	4	1

<표 III-6> 건설업 세부업종에 따른 2,4/2,6-TDI 특수건강진단 실시현황

건설업 세세분류(표준산업분류)	톨루엔-2,4- 다이소시아네이트	톨루엔-2,6- 다이소시아네이트	총합계
총합계	3,875	1,711	5,586
미장, 타일 및 방수 공사업	767	526	1,293
기타 비주거용 건물 건설업	702	132	834
아파트 건설업	350	346	696
산업플랜트 건설업	523	63	586
기타 건물설비 설치 공사업	303	67	370
건물용 기계장비 설치 공사업	327	17	344
기타 토목시설물 건설업	240	92	332
도장 공사업	86	70	156
기타 시설물 축조관련 전문공사업	58	58	116
건설업본사	66	44	110
일반전기 공사업	68	24	92
사무 및 상업용 건물 건설업	40	40	80
그외 기타 건축마무리 공사업	37	35	72
단독 및 연립주택 건설업	36	31	67
배관 및 냉·난방 공사업	32	30	62
공업 및 유사 산업용 건물 건설업	34	25	59
일반 통신 공사업	28	28	56
건물용 금속공작물 설치 공사업	53	-	53
조적 및 석축 공사업	19	19	38
철근 및 철근콘크리트 공사업	22	12	34
도배, 실내장식 및 내장 목공사업	17	16	33
내부 전기배선 공사업	8	8	16
방음 및 내화 공사업	14	-	14
조경 건설업	8	5	13
도로 건설업	5	5	10
비계 및 형틀 공사업	3	7	10
소방시설 공사업	10	-	10
유리 및 창호 공사업	5	5	10
기타 기반조성 관련 전문공사업	5	4	9
토공사업	7	2	9
철골 공사업	2	-	2

2. 건설현장 우레탄 방수 도료의 화학물질 구성성분 등 분석

건설용 우레탄 방수 도료에 대한 물질안전보건자료 총 72종을 확보하여 구성성분을 확인하였다. 6개 제조사의 우레탄 방수용 수지(주제, 경화제), 프라이머, 신너를 대상으로 하였다. 우레탄 도료의 주제는 영업비밀로 표기된 경우가 매우 많아 구체적인 성분 확인이 어려웠고, 물품을 직접 구매하지 않는 경우에는 온라인 등을 통해 제조사에서 제공하는 물질안전보건자료를 확보하기에는 어려움이 있었다. 이번 연구에서는 제조사가 자사 홈페이지에서 제공해주는 물질안전보건자료를 중심으로 조사된 제한점이 있다. 발암성, 생식독성, 생식변이원성 물질의 기준은 고용노동부 고시(제2018-24, 2018.3.20.)에 따라 구분하였다.

1) 고독성물질 함유 현황

○ 발암성 물질

발암성물질 1A에 해당하는 물질로 4,4-디아미노-3,3-디클로로페닐메탄(4,4 ‘-메칠렌비스(2-클로로아닐린))이 4개 제조사, 27개 도료 제품에 최소 1 %에서 최대 20%까지 함유되어 있었다. 발암성 물질 2에 해당하는 물질로 디(2-에틸헥실)프탈레이트(4개 제조사, 24개 제품, 최소 0 ~ 최대 10%), 톨루엔 2,4/2,6-다이소이사네이트(2개 제조사, 6개 제품, 최소 1 ~ 최대 20%), 메틸이소부틸케톤(2개 제조사, 2개 제품, 최소 0.1 ~ 최대 10%), 시클로헥사논(1개 제품, 최소 1 ~ 최대 10%), 에틸벤젠(4개 제조사, 26개 제품, 최소 0 ~ 최대 30%), 이산화티타늄(4개 제조사, 24개 제품, 최소 1 ~ 최대 40%), 카본블랙(1개 제품, 최소 0.1 ~ 최대 10%), 케로젠(1개 제품, 최소 1 ~ 최대 10%) 등이 함유되어 있었다. 고용노동부 고시에서 발암성으로 규정하고 있지않으나 발암 위험성이 있는 것으로 분류할 수 있는 물질로는 소우프스톤(석면 함유 가능), 비스(2-에틸헥산)납, 솔벤트 나프타(석유), 수소처리된 중질 나프타(벤젠 함유 가능) 등이 함유되어 있었다 <표 III-7>.

○ 생식독성 물질

생식독성 1A에 해당하는 물질로 디(2-에틸헥실)프탈레이트가 4개 제조사 24개 제품에 최소 0% ~ 최대 10% 함유되어 있었다. 생식독성 1B에 해당하는 물질로 2-에톡시에틸아세테이트가 2개사, 2개 제품에 최소 0.1% ~ 최대 10% 함유되어 있었다. 생식독성 2에 해당하는 톨루엔이 5개사, 17개 제품에 최소 1% ~ 최대 50% 함유되어 있었다 <표 III-8>.

○ 생식세포 변이원성 물질

생식세포 변이원성 물질은 없었으나, 생식세포 변이원성물질을 불순물로 함유할 위험성이 있는 것으로 분류할 수 있는 물질인 솔벤트 나프타(석유), 수소처리된 중질 나프타(벤젠 함유 가능) 등이 함유되어 있었다 <표 III-9>.

2) 규제대상물질 함유 현황

○ 관리대상, 작업환경측정, 특수건강진단 대상 물질

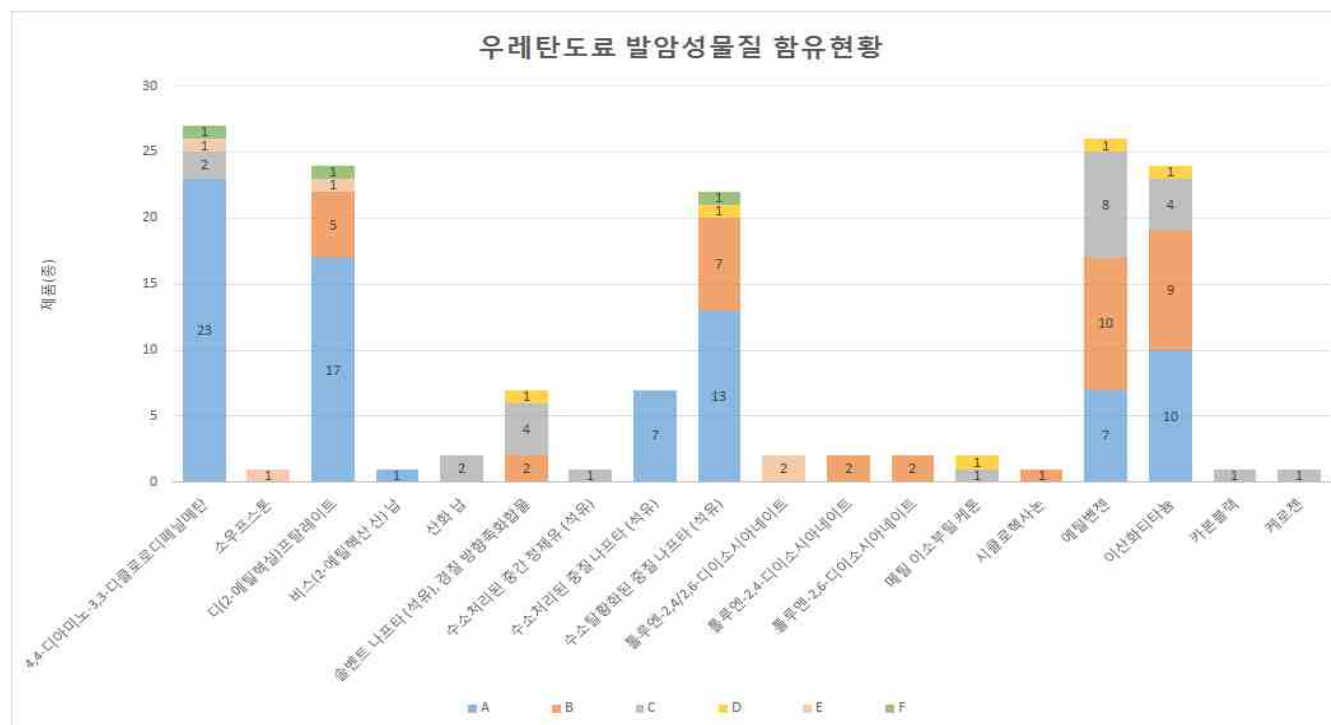
산업안전보건법에 따른 관리대상물질로는 2-에톡시에틸아세테이트, 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 메틸에틸케톤, 메틸이소부틸케톤, 크실렌, 톨루엔, 에틸렌글리콜, 에틸벤젠, 시클로헥사논, 초산부틸, 초산에틸, 톨루엔 2,4/2,6-다이소시아네이트, 헥사메틸렌 다이소시아네이트 등 유기화합물과 산화철, 수산화알루미늄, 이산화티타늄 등 금속류를 함유하고 있었다. 크실렌은 5개 제조사, 47개 제품에 최소 1% ~ 최대 60%까지 함유되어 있었고, 에틸벤젠은 4개사, 31개 제품에 최대 30%까지 함유되어 있었다. 이산화티타늄은 4개사, 24개 제품에 최소 1% ~ 최대 40% 함유되었다 <표 III-10>.

○ 특별관리, 허용기준 설정물질

산업안전보건법에 따른 특별관리물질로는 2-에톡시에틸아세테이트가 함유되어 있었고, 허용기준 설정물질로는 톨루엔 2,4/2,6-다이소시아네이트가 함유되어 있었다.

<표 III-7> 우레탄 도료 발암성 물질 함유 현황

도료 제조사	함량(%)		발암성구분		CAS No.	도료 제조사						총합계
						A	B	C	D	E	F	
수집 MSDS 수	최소	최대	고용부	국외기관	-	31	22	11	3	3	2	72
4,4-디아미노-3,3-디클로로디페닐메탄	1	20	1A	ACGIH A2	101-14-4	23		2		1	1	27
소우프스톤	1	10	-	ACGIH A4	14807-96-6					1		1
디(2-에틸헥실)프탈레이트	0	10	2	ACGIH A3	117-81-7	17	5			1	1	24
비스(2-에틸헥산 산) 납	1	10	-	ACGIH A3	301-08-6	1						1
솔벤트나프타(석유), 경질방향족화합물	0	24	-	NTP 1B	64742-95-6		2	4	1			7
수소처리된 중간 정제유(석유)	1	10	-	EU CLP 1B	64742-46-7			1				1
수소처리된 중질 나프타(석유)	0	1	-	EU CLP 1B	64742-48-9	7						7
수소탈황화된 중질 나프타(석유)	0	5	-	EU CLP 1B	64742-82-1	13	7		1		1	22
톨루엔-2,4/2,6-디이소시아네이트	10	20	-	ACGIH A4	26471-62-5					2		2
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	1	5	2	ACGIH A4	584-84-9		2					2
톨루엔-2,6-디이소시아네이트	1	5	2	ACGIH A4	91-08-07		2					2
메틸 이소부틸 케톤	0.1	10	2	ACGIH A3	108-10-1			1	1			2
시클로헥사논	1	10	2	ACGIH A3	108-94-1		1					1
에틸벤젠	0	30	2	ACGIH A3	100-41-4	7	10	8	1			26
이산화티타늄	1	40	2	ACGIH A4	13463-67-7	10	9	4	1			24
카본블랙	0.1	10	2	ACGIH A3	1333-86-4			1				1
케로젠	1	10	2	ACGIH A3	8008-20-6			1				1



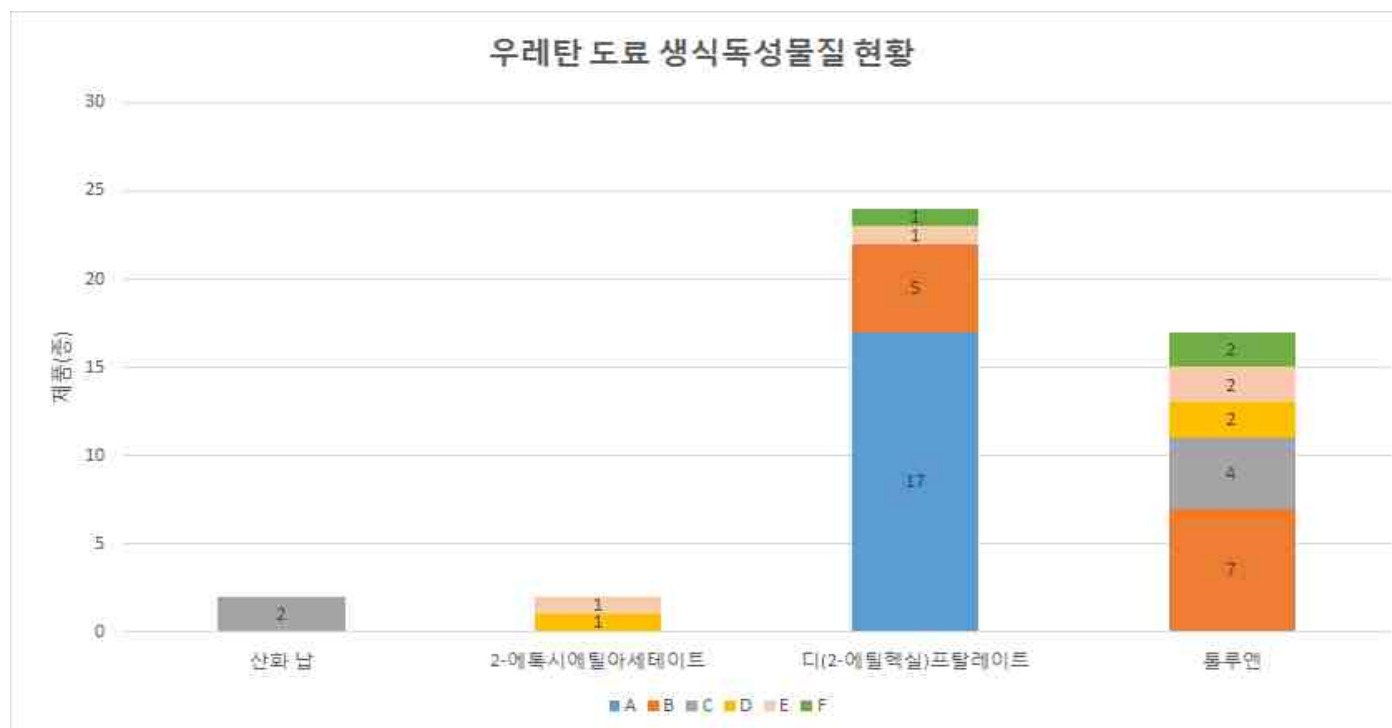
[그림 III-4] 우레탄 도로 발암성 물질 함유 현황

<표 III-8> 우레탄 도료 생식독성 물질 함유 현황

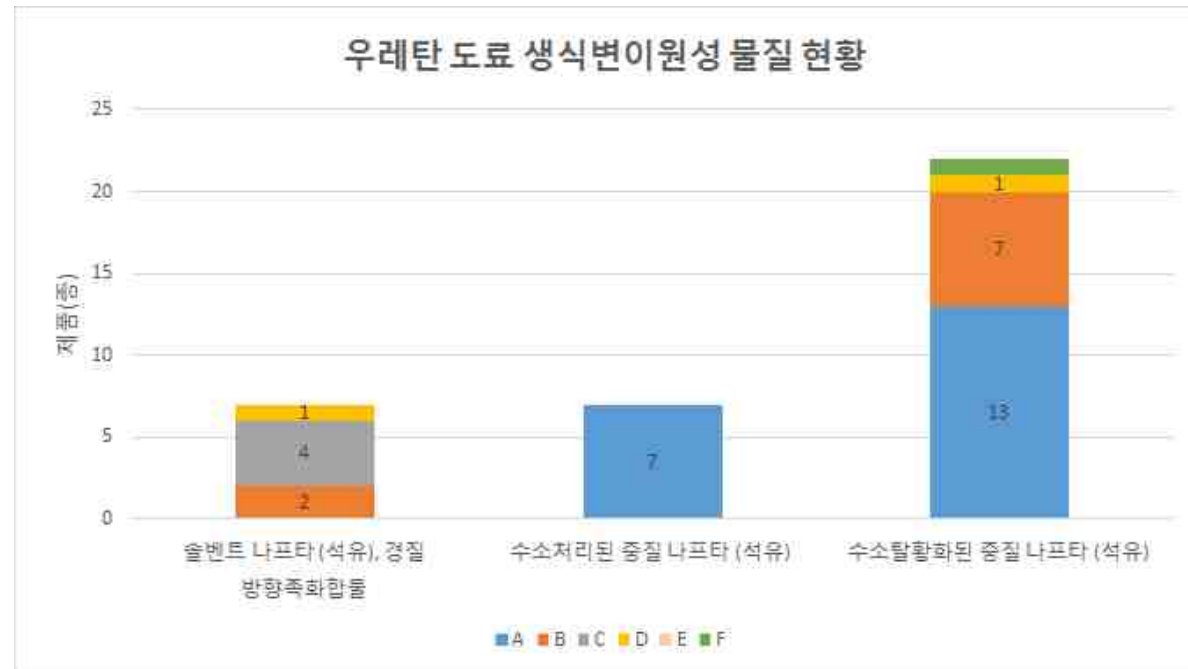
도료 제조사	함량(%)		생식독성 구분		CAS No.	도료 제조사						총합계
						A	B	C	D	E	F	
수집 MSDS 수	최소	최대	고용부	국외설정기관	-	31	22	11	3	3	2	72
2-에톡시에틸아세테이트	0.1	10	1B	NIOSH NTP EU INRS	111-15-9				1	1		2
디(2-에틸헥실)프탈레이트	0	10	1A		117-81-7	17	5			1	1	24
톨루엔	1	50	2		108-88-3		7	4	2	2	2	17

<표 III-9> 우레탄 도료 생식세포 변이원성 물질 함유 현황

도료 제조사	함량(%)		생식세포 변이원성구분		CAS No.	도료 제조사						총합계
						A	B	C	D	E	F	
수집 MSDS 수	최소	최대	고용부	국외기관	-	31	22	11	3	3	2	72
솔벤트나프타(석유), 경질방향족화합물	0	24			64742-95-6		2	4	1			7
수소처리된 중질 나프타(석유)	0	1	벤젠함유시 1B	벤젠함유시 1B	64742-48-9	7						7
수소탈황화된 중질 나프타(석유)	0	5			64742-82-1	13	7		1		1	22



[그림 III-5] 우레탄 도료 생식독성 물질 함유 현황



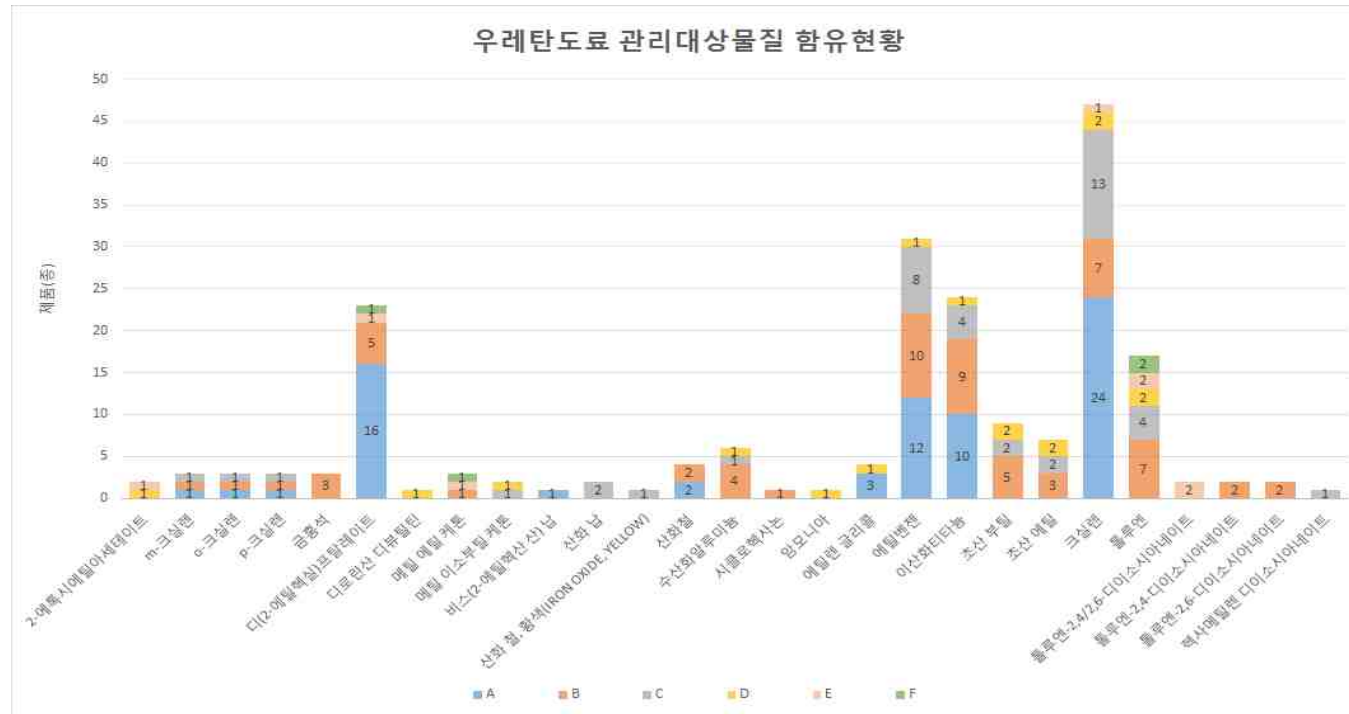
[그림 III-6] 우레탄 도료 생식변이원성 물질 함유 현황

<표 III-10> 우레탄 도료 관리대상물질 함유 현황

도료 제조사	함량(%)		CAS No.	도료 제조사						총합계
				A	B	C	D	E	F	
수집 MSDS 수	최소	최대	-	31	22	11	3	3	2	72
2-에톡시에틸아세테이트	0.1	10	111-15-9				1	1		2
m-크실렌	1	30	108-38-3	1	1	1				3
o-크실렌	1	20	95-47-6	1	1	1				3
p-크실렌	1	19	106-42-3	1	1	1				3
금홍석(석영 함유)	1	10	1317-80-2		3					3
디(2-에틸헥실)프탈레이트	0	10	117-81-7	16	5			1	1	23
디로린산 디뷰틸틴	0.1	5	77-58-7				1			1
메틸 에틸 케톤	1	10	78-93-3		1			1	1	3
메틸 이소부틸 케톤	0.1	5	108-10-1			1	1			2
비스(2-에틸헥산 산) 납	1	10	301-08-6	1						1
산화 납	0.1	4	1317-36-8			2				2
산화 철, 황색(IRON OXIDE, YELLOW)	1	11	51274-00-1			1				1
산화철	1	10	1309-37-1	2	2					4
수산화알루미늄	0.1	10	21645-51-2		4	1	1			6

<표 III-10> 우레탄 도료 관리대상물질 함유 현황_계속

도료 제조사	함량(%)		CAS No.	A	B	C	D	E	F	총합계
수집 MSDS 수	최소	최대	-	31	22	11	3	3	2	72
시클로헥사논	1	10	108-94-1		1					1
암모니아	0	0.1	7664-41-7				1			1
에틸렌 글리콜	0	5	107-21-1	3			1			4
에틸벤젠	0	30	100-41-4	12	10	8	1			31
이산화티타늄	1	40	13463-67-7	10	9	4	1			24
초산 부틸	1	20	123-86-4		5	2	2			9
초산 에틸	1	20	141-78-6		3	2	2			7
크실렌	1	60	1330-20-7	24	7	13	2	1		47
톨루엔	1	50	108-88-3		7	4	2	2	2	17
톨루엔-2,4/2,6-다이소시아네이트	10	20	26471-62-5					2		2
톨루엔-2,4-다이소시아네이트	1	5	584-84-9		2					2
톨루엔-2,6-다이소시아네이트	1	5	1991-08-07		2					2
헥사메틸렌 다이소시아네이트	0.1	4	822-06-0			1				1



[그림 III-7] 우레탄 도료 관리대상물질 함유 현황

<표 III-11> 우레탄 도료 유해물질에 대한 기관별 발암성 구분

물질명	발암성 국가별 기준						고용노동부 법적관리 대상 물질							
	고용 부	IARC	OSHA	AC GIH	NTP	EU CLP	생식 독성	측정 대상	특수 건강 진단	노출 기준 설정	금지 물질	관리 대상	특별 관리	허용 기준 설정
4,4-디아미노 -3,3-디클로로디페닐메탄	1A	1	H*	A2	R	1B			○	○				
소우프스톤		3		A4				○	○	○	○			
디(2-에틸헥실)프탈레이트	2	2		A3	R		1A			○		○		
비스(2-에틸헥산 산) 납		3		A3	R									
산화 납								○	○	○		○	○	○
솔벤트나프타(석유),경질방향족화합물					1B									
수소처리된 중간 정제유(석유)						1B								
수소처리된 중질 나프타(석유)						1B								
수소탈황화된 중질 나프타(석유)						1B								
톨루엔-2,4/2,6-다이소시아네이트		2B		A4	R	2		○	○	○		○		○
톨루엔-2,4-다이소시아네이트	2	2B		A4	R	2		○	○	○		○		○
톨루엔-2,6-다이소시아네이트	2	2B		A4	R	2		○	○	○		○		
메틸 이소부틸 케톤	2	2B		A3				○	○	○		○		
시클로헥사논	2	3		A3				○	○	○		○		
에틸벤젠	2	2B		A3				○	○	○		○		
이산화티타늄	2	2B		A4				○		○		○		
카본블랙	2	2B		A3						○				
케로젠	2			A3						○				

<표 III-11> 우레탄 도료 유해물질에 대한 기관별 구분_계속

물질명	발암성 국가별 기준						고용노동부 법적관리 대상 물질							
	고용부	IARC	OSHA	ACGI H	NTP	EU CLP	생식 독성	측정 대상	특수 건강 진단	노출 기준 설정	금지 물질	관리 대상	특별 관리	허용 기준 설정
2-에톡시에틸아세테이트							1B	○	○	○		○	○	
톨루엔		3		A4			2	○	○	○		○		
에틸렌 글리콜				A4				○	○	○		○		
암모니아								○		○		○		
초산 부틸								○		○		○		
초산 에틸								○		○		○		
크실렌		3		A4				○	○	○		○		
헥사메틸렌 디이소시아네이트								○	○	○		○		
m-크실렌				A4				○	○	○		○		
o-크실렌				A4				○	○	○		○		
p-크실렌				A4				○	○	○		○		
금홍석	2	2B		A4				○	○	○		○		
디로린산 디부틸틴				A4				○	○	○		○		
메틸 에틸 케톤								○	○	○		○		
산화 철, 황색								○	○	○		○		
산화 철		3		A4				○	○	○		○		
수산화알루미늄		3		A4				○	○	○		○		

*H : Hazard Communication Carcinogens

3. 국내외 이소시아네이트 평가 관련 문헌고찰

1) 국내 논문

○ 국내 이소시아네이트 관련 논문

국내에 보고된 디이소시아네이트 관련 논문 약 17편을 살펴보았다. 분석 및 평가방법과 관련된 연구가 7편으로 가장 많았고(이선주 등, 1994; 변혜정 등, 1996; 강형경과 김현욱, 1999; 이은정 등, 2001; 윤주송 등, 2006; 김성호 등, 2013; 박형성 등, 2013), 이소시아네이트의 뇨중 대사산물에 관한 연구(박근철 등, 2002; 박진희 등, 2003; 이종성 등, 2016) 등이 있었다. 공기 중 노출평가연구는 우레탄 폼제조방식에 따른 디이소시아네이트 농도를 평가한 사례가 있었고(정지연 등, 2012), 도장작업에 대한 공기 중 이소시아네이트 농도를 평가한 연구가 3편 있었다 (강형경 등, 1999; 이나루 등, 2000; 김치년 등, 2009). 이소시아네이트의 건강영향에 대한 논문으로 우레탄 도료에 의한 직업성 천식 사례(최병순과 정해관, 1992) 및 TDI 노출 근로자 코호트 구축 연구(노재훈, 2004)가 있었다 <표 III-12>.

- 공기 중 노출평가 논문

김치년 등(2009)의 연구에서는 가구제조업, CNC 선반기계 제조업, 자동차 도장, 약기제조업을 대상으로 스프레이 도장 실시 작업에 대한 톨루엔 디이소시아네이트 노출평가를 실시하였다. 노출평가는 필터법(OSHA 42 Method) 및 임핀저법(NIOSH 5522)을 사용하여 개인시료 및 지역시료방법으로 평가하였고, 톨루엔 2,4 및 2,6 디이소시아네이트(2,4/2,6 - TDI)에 대해 분석하였다. 평가결과 필터법으로 평가한 노출농도 범위는 2,4 - TDI가 0.00008 ~ 0.00014 ppm, 2,6 - TDI는 0.00012 ~ 0.00589 ppm 수준이라고 하였고, 임핀저법을 사용한 노출농도

범위는 2,4 - TDI가 0.00012 ~ 0.00021 ppm, 2,6 - TDI는 0.00015 ~ 0.00646 ppm 수준이라고 보고하였다. 업종별로는 악기제조업에서 가장 높은 농도수준을 나타내었고 2,6-TDI의 평균농도가 0.0061 ppm으로 노출기준 0.005 ppm을 초과하였다고 보고하였다. 또한 필터법과 비교하여 임핀저 방법으로 평가한 결과가 약 1.5배 더 높은 농도수준을 나타내었고, 2,4 - TDI보다는 2,6 - TDI의 농도가 더 높은 특징이 있다고 하였다.

강형경 등(1999)의 연구에서는 자동차 정비업, 가구제조업의 스프레이 도장과 발포, 접착, 자외선 코팅 도장, 도료배합 작업을 대상으로 톨루엔 2,4 및 2,6 디이소시아네이트, 헥사메틸렌 디이소시아네이트(Hexamethylene diisocyanate), 메틸렌 디이소시아네이트(Methylene diisocyanate)를 평가하였으며, 평균농도는 모든 업종에서 노출기준 미만이었으나, 가구 도장작업과 우레탄 발포작업에서 일부 시료가 노출기준 0.005 ppm($35.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 사례가 있었다.

정지연 등(2012)의 연구에서는 우레탄 폼 제조업에서 몰드 폼 및 슬랩스틱 폼 제조방식에 따른 디이소시아네이트의 노출평가를 실시하였으며, 슬랩스틱 폼 제조방식에서 원료주입 작업자의 디이소시아네이트 농도가 약 0.02 ppm으로 노출기준인 0.005 ppm을 초과하는 수준이라고 보고하였다.

이나루 등(2000)의 연구에서는 1,2-pyridyl-piperazine-여과지로 평가된 근로자의 노출농도는 사업장에 따라 유의하게 달랐으며 ($p < 0.05$), 가장 농도가 높은 사업장의 2,6-TDI 및 2,4-TDI의 기하평균은 각 $5.960 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.146 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 라고 보고하였다. Tryptamine-액체포집법을 동시에 평가한 결과 2,6-TDI 및 2,4-TDI 모두 Tryptamine-액체포집방법에서 약 5배 정도 높게 나타났다고 보고하였다.

○ 국외 이소시아네이트 관련 논문

국외에서 보고된 디이소시아네이트 관련 논문 약 19편에 대해 살펴보았다 <표 Ⅲ-13>. 공기 중 노출평가 연구가 10편, 피부노출평가 연구가 8편, 건강영향에 대한 논문 1편이 있었다. 공기 중 노출평가 논문은 대부분 자동차 도장작업에 대한 노출평가가 가장 많았고 (Woskie SR et al., 2004; Reeb-Whitaker C et al., 2012; Liu Y et al., 2006), 항공기 도장작업(Bennett JS et al., 2015)과 목재 패널 제조업(Vangronsveld E et al., 2010) 등이 있었다. 피부노출을 평가한 논문도 공기 중 연구와 유사하게 자동차 도장작업을 대상으로 한 경우가 가장 많았다.

- 공기 중 노출평가 논문

Woskie SR 등(2004)은 SPRAY(The Survey of Painters and Repairers of Auto bodies by Yale) 연구의 일환으로 자동차 도장작업을 대상으로 이소시아네이트의 기능성 그룹인 NCO($\text{N}=\text{C}=\text{O}$) 농도를 정량하였다. 측정분석방법은 공기 중 총 이소시아네이트 농도를 평가할 수 있는 NIOSH # 5525(NIOSH, 2002)를 사용하였다. 25 mm 석영필터에 500 μg 의 1-(9-anthracenylmethyl)piperazine (MAP)을 코팅하여 IOM 흡입성 분진 샘플러에 장착하고 2 LPM (liter per minute)의 유량으로 공기 중 이소시아네이트를 채취하였다. 연구논문에서는 이전에 수행한 연구에서(Bello et al., 2002a), IOM MAP- 필터채취방법과 MAP 임핀저 채취방법의 채취효율이 동일함을 확인하였다고 하였다. 시료의 채취는 스프레이작업, 스프레이 주변, 배합작업, 샌딩작업, 작업장 배경농도를 대상으로 하였고, 작업이 진행되는 동안 평가하였다고 하였다(task-based sampling strategy). 평가농도에 영향을 주는 변수로는 작업장소의 크기, 사업의 활성화도, 공학적 도구 등의 사용, 작업자의 숙련도, 개인보호구 사용여부, 기상상태, 도료의 혼합비율, 부스 내부의 공기교환횟수, 스프레이건과의 거리 등을 고려하였다고 하였다. 노출평가 결과는 HDI(hexamethylene diisocyanate) 단량체

(monomer), HDI 폴리이소시아네이트, IPDI 폴리이소시아네이트 농도를 NCO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 단위로 정리하였고, 총 NCO 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 보고하였다. 스프레이 작업에서 HDI 폴리이소시아네이트, IPDI 폴리이소시아네이트 농도가 영국 HSE (Health Safety Executive)에서 권고하는 총 반응성 이소시아네이트 그룹(Total Reactive Isocyanate Group, TRIG)의 노출기준 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NCO (STEL)을 초과하였는데, HDI 폴리이소시아네이트는 시료 중 76%, IPDI 폴리이소시아네이트는 시료 중 41%가 기준을 초과하였고, 총 NCO 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)로는 전체 시료($n=166$)의 79%가 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였다고 보고하였다. 연구에서는 원료 중 이소시아네이트의 함량, 작업장소의 크기, 환기설비의 기류흐름 방향, 환기율 등이 농도수준을 좌우하는 주요변수로 노출수준 저감을 위한 관리가 필요하다고 하였다. Bennett JS 등(2016)은 군사용 항공기 도장작업에 대한 HDI(hexamethylene diisocyanate) 단량체(monomer), HDI 소중합체(oligomer), 총 반응성 이소시아네이트 그룹(Total Reactive Isocyanate Group, TRIG)농도를 평가하였다. 노출평가 방법은 NIOSH # 5525 방법을 준용하였고, 37 mm 유리섬유 여과지에 1-(9-anthracenylmethyl) piperazine (MAP)을 코팅하여 1 LPM (liter per minute)의 유량으로 공기 중 이소시아네이트를 채취하였다. 평가는 Top coat 작업에 대한 스프레이 작업자, 호스맨(보조작업자)으로 구분하여 실시하였으며 기하평균으로 HDI 단량체, 소중합체, 총 반응성 이소시아네이트의 스프레이 작업자 농도(NCO $\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 각 $16.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $259 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $276 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 8시간 가중평균치로 환산하면 $2.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $47.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $50.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보고하였다. 반면 호스맨(보조작업자) 농도는 각 $2.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $42.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $45.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 8시간 가중평균치로 환산하면 $0.332 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $7.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보고하였다.

Reeb-Whitaker C 등(2012)은 미국 워싱턴주에 위치한 25개 자동차 수리업의 스프레이 도장공 33명을 대상으로 이소시아네이트 노출수준을 평가하였다. 공기 중 노출평가방법은 ISO-CHECK 샘플러(SKI, USA)를 이용하여 에어로졸을 채취하기 위한 PTFE(polytetrafluoroethylene)와 증기를 채취하기 위한 유리섬유

여과지를 동시에 사용하여 2 LPM (liter per minute)의 유량으로 공기 중 이소시아네이트를 채취하였다. 노출평가 결과는 HDI(hexamethylene diisocyanate) 단량체(monomer), HDI 폴리이소시아네이트, IPDI 폴리이소시아네이트 농도 등을 NCO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 단위로 정리하였고, 총 NCO 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 기준으로 살펴보면 전체시료(n=228) 중 98%가 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였다고 보고하였다. 저자는 자동차 수리도장 작업에 대한 호흡 보호구 착용, 환기설비 및 피부노출 방지를 위한 조치가 필요하다고 보고하였다. Liu Y 등(2007)은 자동차 수리업 작업자들의 이소시아네이트 노출을 방지하기 위한 수단으로 호흡용 보호구가 가장 널리 이용되고 있으나, 호흡용 보호구에 대한 밀착도 시험(fit test)을 시행한 결과 약 20%의 작업자가 누설시험 기준을 통과하지 못하였다고 하였다. 호흡용 보호구 사용 시 얼굴크기 등에 적합한 보호구 선정 및 올바른 착용법에 대한 교육이 필요하다고 하였다.

Narazenie Z 등(2015)은 폴란드에 있는 21개 제조업 사업장을 대상으로 이소시아네이트 노출평가를 실시하였으며, 1,2-pp(pyridyl)piperazine가 코팅된 유리섬유여과지를 이용하였고, HPLC(high performance liquid chromatography)를 사용하여 분석하였다. 대부분 우레탄 폼을 생산하거나 우레탄 단열작업 등을 실시하는 현장이었으며, 노출평가 결과 대부분 낮은 농도수준을 나타내었고, 가준($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 시료는 없었다고 보고하였다.

Booth K 등(2009)은 1984년에서 1999년까지 미국에서 평가된 메틸렌 디페닐 디이소시아네이트(Methylene Diphenyl Diisocyanate, MDI)의 공기 중 노출평가 시료 8,134개의 농도범위를 분석하였다. 개인채취시료 3,583개, 지역채취시료 4,551개였으며, 개인채취시료의 농도범위는 $0.020 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 3.9 \text{ mg}/\text{m}^3$ 이었고, 산술평균 $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 기하평균 $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 검출한계 미만인 시료가 전체시료의 74.6%, 검출한계와 8시간노출기준 사이의 시료가 22.2%, 노출기준 초과 천장값(ceiling) 미만이 2.1%, 천장값 초과시료가 1.1% 라고 보고하였다. 지역채취시료의 농도범위는 $0.085 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 9.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 이었고, 산술평균 $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 기하평균

5.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 검출한계 미만인 시료가 전체시료의 46.3%, 검출한계와 8시간노출기준 사이의 시료가 41.9%, 노출기준 초과 천장값(ceiling) 미만이 7.4%, 천장값 초과시료가 4.4% 라고 보고하였다.

- 피부노출평가 논문

Liu Y 등(2009)은 33개 자동차 도장 작업장에서 근로자 232명 (도장공 49명, 기술공 118명, 사무종사원 65명)을 대상으로 이소시아네이트의 피부노출 수준을 평가하였다. 노출평가 방법으로 색변환 패드(colormetric indicator, CLI, USA)를 이용하였으며 피부노출평가 알고리즘을 개발하였다. 평가결과 개인별 피부노출평가 값들은 변이가 매우 큰 특징이 있었고, 직종별 차이를 살펴보면 도장공에서 가장 높았다. 피부노출평가 결과와 공기 중 노출평가는 상관관계는 있었으나 강하지는 않았는데, 이는 개인 보호장비의 착용 여부가 영향을 주었을 것으로 추정하였다. Pronk 등(2006)의 연구에서는 피부노출 평가결과와 공기 중 노출평가 결과가 상관성이 높았다고 보고하였으나 피부노출이 손만을 대상으로 실시한 제한점이 있다고 하였다. Liu Y 등(2009)의 연구의 강점은 작업마다 피부노출평가를 실시한 점인데, 일반적으로 작업 종료 후 평가를 실시하게 되면, 작업자들이 근무시간 중 매우 다양한 작업을 수행하기 때문에 개선방안 마련에 어려움이 있다. 피부노출평가 알고리즘은 작업별 손, 이마, 얼굴, 목 등의 평가결과를 작업별 수행시간 등으로 수식화하여 평가하는 방법으로 보후구 착용 유무로 보정하여 사용하면 매우 유용한 자료로 활용할 수 있다고 보고하였다.

Liu Y 등(2007)은 색변환 패드(colormetric indicator, CLI, USA)를 이용한 이소시아네이트의 피부노출평가 방법에 대한 검증을 실시하였는데, 해당 방법은 결과를 빠르게 확인가능하며 경제적이고 쉽게 이용할 수 있는 장점이 있다고 하였다. 다만 감도가 낮아 농도수준이 높을 것으로 예측되는 이소시아네이트 함유 제품을 취급하는 작업장의 작업도구 및 피부 노출평가 방법으로 사용가능하다고 하였다.

Bello 등(2008)은 이소시아네이트에 대한 피부노출을 정량할 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 81명의 자동차 도장작업자를 대상으로 프로필렌글리콜이 흡수된 패드를 이용하여 작업종료 후 피부노출평가를 실시하였다. 채취된 시료는 즉시 10 ml의 2.5×10^{-4} M 1-(9-anthracenylmethyl) piperazine(MAP)이 유도체인 염화메틸렌 용액으로 추출한 후, NIOSH 5525 방법과 동일한 분석방법으로 분석하였다. 평가결과, 스프레이 작업을 대상으로 49개의 시료를 채취하였으며(5×5 cm²), 이중 86%의 시료가 검출한계 이상이었고, 기하평균 농도는 1.9 ng/cm² (범위 0 - 64.4 ng/cm²) 이라고 보고하였다. 도료 배합작업을 대상으로 13개의 시료를 채취하였으며(5×5 cm²), 모든 시료가 검출한계 이상이었고, 기하평균 농도는 1.7 ng/cm² (범위 0.1 - 59.8 ng/cm²) 이라고 보고하였다.

<표 III-12> 국내 이소시아네이트 관련 논문_계속

연번	구분	년도	형식	저자	논문명	저널정보	주요내용
5	공기중 노출평가 & 평가방법	2009	연구 보고서	김치년	허용기준 제정물질의 작업환경측정 및 분 석에 관한 비교-TDI	산업안전보건 연구원, 2009	스프레이 도장을 실시하는 TDI 취급 작업장(목재가공, 선 반제조, 자동차정비, 악기제조)의 노출평가 결과 악기제 조업이 평균 2,4-TDI 0.00014ppm, 2,6-TDI 0.00589ppm으 로 가장 높았으며 또한 임핀저법 측정에서도 악기제조에 서 평균 2,4-TDI 0.00020ppm, 2,6-TDI 0.00646ppm으로 가 장 높았음.
6	평가방법 , 공기중 노출평가	2013	논문	김성호	시료채취방법에 따른 작업 공정별 Toluene diisocyanate 포집농 도 비교	J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2013:23(2):95-102	가구 및 악기제조업 스프레이 도장고정, 건조공정, 연마 공정, 발포공정을 대상으로 TDI를 2단 변형 카세트, 개 방형 카세트, 임핀저 방법으로 평가한 결과 2,6-TDI 가 2,4-TDI 보다 많이 포집되었고, 세가지 채취방법 중에서 는 임핀저>2단 변형>개방형 필터 순으로 높았음.
7	평가방법 , 공기중 노출평가	2013	논문	박형성	공기중 Toluene diisocyanate 측정방 법에 따른 포집농도 비교	J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2013:23(4):341-34 7	TDI 에 대한 필터포집방법과 액체포집방법을 비교한 결 과 액체포집방법에서 높은 농도수준을 보였고, 필터를 이용한 포집방법에서는 연속 시료채취방법을 사용하는 것이 효율적임. 스프레이 공정에서 액체포집방법(n=80)에 의한 2,4-TDI 농도는 0.660 ± 0.253 ppb, 2,6-TDI는 1.046 ± 0.250 ppb 었 음. 필터포집방법(n=80)에 의한 2,4-TDI 농도는 0.463 ± 0.191 ppb, 2,6-TDI는 0.726 ± 0.198 ppb 었음

<표 III-12> 국내 이소시아네이트 관련 논문_계속

연번	구분	년도	형식	저자	논문명	저널정보	주요내용
8	분석방법	2006	논문	윤주송 등	2-클로로벤질 알코올 및 2,4-디클로로벤질 알코올 유도체를 이 용한 TDI, MDI 및 HDI의 가스크로마토 그래피 분석	J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2006;16(3):222-232	총 이소시아네이트 분석방법을 제안하기 위한 기초연구 로 이소시아네이트류를 유도체화하여 합성된 우레탄을 가수분해하는 GC 분석법을 개발하였으며 현장적용이 가 능한지 평가함.
9	분석방법	2001	논문	이은정 등	GC/FID에 의한 작업 환경중 메틸 이소시 아네이트의 분석	J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2001;11(3):249-253	공기중 메틸이소시아네이트의 측정을 위한 방법으로 지 방족 2급 아민을 이용한 GC/FID 분석법을 제안함.
10	분석방법	1994	논문	이선주 등	고속액체크로마토그 래피를 이용한 이소 시아네이트의 동시정 량	J Korean Soc Occup Environ Hyg, 1994;4(2):137-147	1-(2-pyridyl)piperazine(1-2PP)가 도포된 유리섬유 여과지 를 이용한 시료채취 및 HPLC를 활용한 분석방법을 제 안, 과거 비색법과 비교하여 2,4-TDI, 2,6-TDI 및 MDI 등의 정량이 가능함을 확인함
11	분석방법	1996	논문	변혜정 등	공기중 이소시아네이 트류의 측정 및 분석 방법에 관한 비교연 구	한국환경위생학회 지, 1996;22(2):32-42	이소시아네이트 측정시 필터 및 임편저를 이용하는 방 법간 비교를 실시함. 임편저 방법에서 회수율이 더 높았 고, 2,4-TDI 보다 2,6-TDI의 회수율이 높았음.
12	분석방법	1999	논문	노영만 등	공기중 총이소시아네 이트 분석방법 개발_ 반응조건 및 안정성	J Korean Soc Occup Environ Hyg, 1999;9(2):167-175	공기 중 총 이소시아네이트를 측정하기 위한 시약으로 9- Anthracenylmethyl 1 - Piperazinecarboxylate (PAC)를 활용하여 HPLC로 분석하는 방법을 제안함

<표 III-12> 국내 이소시아네이트 관련 논문_계속

연번	구분	년도	형식	저자	논문명	저널정보
13	생물학적 모니터링	2016	논문	이종성 등	소변 중 디아민 을 이용한 디이 소시아네이트 노 출 근로자의 생 물학적 모니터링	J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2016;26(2):178-187 소변 중 디아민 농도는 노출군이 대조군보다 높았고, 노출 군에서 작업 후가 작업 전의 농도보다 높았을 뿐 아니라 공기 중 TDI 및 MDI 농도와 소변 중 TDA 및 MDA 농도 간에 높은 상관관계를 나타냈다는 점에서 볼 때, 소변 중 TDA와 MDA는 공기 중 TDI 및 MDI의 생체 노출지표로서 적용 가능하다는 것을 확인하였음.
14	생물학적 모니터링	2002	학위	박근철	공기중 toluene diisocyanate와 요중 toluene diamine의 관련 성	연세대학교 대학원 보건학과, 2002 공기 중 2,4- 및 2,6-TDI를 기존의 개방형 카세트 홀더와 변형 2단 카세트 홀더를 이용하여 포집한 후 그 농도를 비교하여 분석 결과, 공기 중 TDI 농도는 변형 2단 카세트 홀더로 포집한 TDI 농도가 개방형 카세트 홀더로 포집한 것에 비하여 높았음.
15	생물학적 모니터링	2003	학위	박진희	우레탄 도장 근 로자의 TDI 노 출에 대한 생물 학적 모니터링	연세대학교 대학원 보건학과, 2003 우레탄 도료를 사용하는 도장작업자를 대상으로 노출평가 를 실시한 결과 공기중 2,4-TDI는 $0.23 \pm 0.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2,6-TDI 는 $10.30 \pm 10.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 공기 중에서는 2,4-TDI보다 2,6-TDI 형태로 더 많이 존재하였음. 공기 중 TDI농도와 소변중 TDA 농도의 상관성도 통계적으로 유의 하게 높았음.
16	건강영향	1992	논문	최병순, 정해관	우레탄 도료 (TDI)에 의한 직 업성 천식 3례	The Kor J of Occup Med, 1992;4(2):212-220 기관지 유발검사로 확인된 TDI에 의한 직업성 천식 3례를 소개함. 가구공장, 시계 케이스 제작 작업장의 우레탄 도 료 분무작업, 샌딩작업 등 중에 TDI에 노출되어 직업성 천 식을 유발한 사례임.
17	건강영향	2004	연구보 고서	노재훈	TDI 노출 근로 자 코호트 구축	산업안전보건연구원 , 2004 인천지역 특수건강진단을 수행하는 2개기관의 TDI 노출근 로자 170명과 동일사어장 대조군 61명을 대상으로 코호트 를 구축하였음. 노출군의 천식유발률은 0.58%로 낮았으며 2,4-TDI 보다 2,6-TDI의 노출농도가 높았음. 공기중 2,6-TDI가 노 중 2,6-TDI와 높은 상관관계를 보임.

<표 III-13> 국외 이소시아네이트 관련 논문

연번	구분	년도	형식	저자	논문명	저널정보	주요내용
1	Airborne Exposure	2004	paper	Woskie SR et al.	Determinants of isocyanate exposures in auto body repair and refinishing shops.	Ann Occup Hyg. 2004 Jul;48(5):393-403.	자동차 정비소 33곳(n=380)에 근무하고 있는 수리공 및 도장공을 대상으로 이소시아네이트 노출평가를 실시한 결과, 스프레이 도장 작업 시 농도가 206 $\mu\text{gNCO}/\text{m}^3$ 으로 평가되었음. 노출농도에 영향을 미치는 원인으로는 스프레이 작업에서는 도료 중 NCO기의 수, 도료 취급량, 스프레이 도장부스의 종류가 있었으며, 주변 작업에서는 작업장 면적, 실외온도 그리고 배경농도에서는 사업장의 배출 등이 영향을 미쳤음을 알 수 있었음.
2	Airborne Exposure	2015	paper	Bennett JS, et al.	Hexavalent chromium and isocyanate exposures during military aircraft painting under cross flow ventilation.	J Occup Environ Hyg. 2016;13(5):356-71.	항공기 도장 격납고 근로자를 대상으로 이소시아네이트 노출평가를 실시한 결과 스프레이 작업자는 평균 50.9. $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 보조작업자는 평균 7.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 전체 15개 개인시료 중 6개가 영국 HSE의 노출기준(20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 것으로 나타났음. 이에 대한 대책으로는 첫째, 개인보호구를 점검하고 둘째, 공기의 이동경로를 파악하여 환기시설이 적절하게 적용되어 있는지 여부를 검토하여야 함.
3	Airborne Exposure	2012	paper	Reeb-Whitaker C1 et al.	Airborne isocyanate exposures in the collision repair industry and a comparison to occupational exposure limits.	J Occup Environ Hyg. 2012;9(5):329-39.	자동차 정비소에 근무하고 있는 도장공 33명의 개인채취시료(n = 228) 중 IPDI, HDI등을 분석한 결과 시료의 80%는 미국 오레곤주의 OSHA STEL(1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 시료의 98%는 UK HSE STEL(70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 각각 초과하였음. 제한점으로는 노출기준이 모든 종류의 이소시아네이트 종류를 포함하지 않고 단지 단량체 이소시아네이트로에 대한 기준임. 따라서, 모든 종류의 이소시아네이트를 포함하는 직업적 노출기준 이 필요하며, 스프레이 도장작업에서는 보호계수 25이상의 호흡용 보호구의 착용이 요구됨.

<표 III-13> 국외 이소시아네이트 관련 논문_계속

연번	구분	년도	형식	저자	논문명	저널정보	주요내용
4	Airborne Exposure	2006	paper	Liu Y et al	Respiratory protection from isocyanate exposure in the autobody repair and refinishing industry.	J Occup Environ Hyg. 2006 May;3(5):234-49.	자동차 정비소에 근무하고 있는 도장공 및 수리공을 대상으로 호흡보호구 내부 및 외부에서 이소시아네이트 노출평가를 실시하였음. 외부에서 측정한 29개 샘플 중 96%가 STEL(UK HSE STEL(70 µg/m³))를 초과하였으나 내부에서는 노출기준 미만의 농도를 나타내었음.
5	Airborne Exposure	2015	paper	Brzeźnicki S1, Bonczarowska M2.	Occupational exposure to selected isocyanates in Polish industry.	Med Pr. 2015;66(3):291-301	폴란드 내 제조업 21개소를 대상으로 이소시아네이트 노출평가를 수행한 결과, 대다수의 샘플에서 노출기준 미만의 농도를 나타내었음. 따라서, 불확실한 대기 중 농도만을 근거로 하여 평가하기 보다는 환경 및 생물학적 모니터링(피부)도 같이 적용한다면 신뢰성 있는 평가를 수행할 수 있을것으로 평가됨.
6	Airborne Exposure	2002	paper	Henriks-Eckerman ML et al.	Exposure to airborne isocyanates and other thermal degradation products at polyurethane processing workplaces.	J Environ Monit. 2002 Oct;4(5):717-21.	서로 다른 작업환경을 가진 작업장 5곳을 대상으로 이소시아네이트 노출평가를 실시한 결과 자동차 수리 작업장, 지역난방 파이프 용접 작업장, 폴리우레탄 코팅 바닥재 설치 작업장 3곳에서 근로자 호흡영역보다 배출원 근처에서 이소시아네이트 농도가 더 높게 나타났음. 이러한 점을 고려한 시료채취전략 및 작업환경개선 마련이 필요함.
7	Airborne Exposure	2010	paper	Vangronsveld El et al.	Isocyanate and total inhalable particulate air measurements in the European wood panel industry.	Int J Hyg Environ Health. 2010 Nov;213(6):475-88	폼알데하이드 수지 대체물질인 MDI의 노출 위험이 낮다는 것을 입증하기 위한 목적으로 합성목재 제품 생산공정을 대상으로 MDI 및 TIP(총흡입성분진) 노출평가를 실시한 결과 노출안전역이 MDI>TIP>폼알데하이드 순으로 나타났음.

<표 III-13> 국외 이소시아네이트 관련 논문_계속

연번	구분	년도	형식	저자	논문명	저널정보	주요내용
8	Airborne Exposure	2004	paper	Bello D et al	Polyisocyanates in occupational environments: a critical review of exposure limits and metrics	Am J Ind Med. 2004 Nov;46(5):480-91.	현재 표준화된 이소시아네이트 측정 지표가 존재하지 않아 과거 수행된 연구자료는 각기 다른 측정지표가 사용되었고, 폴리 이소시아네이트의 OEL(직업노출한계)의 직접적인 비교가 어렵다는 단점이 존재함. 따라서 가장 효율적이고 포괄적인 지표로서 총 이소시아네이트 기(mg NCO/m3)를 적용하는 지표 마련이 요구됨
9	Airborne Exposure	2000	paper	Streicher RP et al.	Determination of airborne isocyanate exposure: considerations in method selection	AIHAJ. 2000 Jul-Aug;61(4):544-56.	이소시아네이트에 의해 천식 및 접촉성 피부염 등이 발병할 수 있음. 노출평가를 위해서는 측정 정확도, 특이성, 민감도, 편의성 등을 고려하여 이소시아네이트 종류, 물리적 상태, 경화 속도 등 주어진 작업장 환경에 가장 적합한 이소시아네이트 노출평가방법을 선택하여야 함
10	Airborne Exposure	2009	paper	Booth K et al.	Measurements of airborne methylene diphenyl diisocyanate (MDI) concentration in the U.S. workplace.	J Occup Environ Hyg. 2009 Apr;6(4):228-38.	1984년부터 1999년 까지 미국 251개 기업 내 317개 공정을 대상으로 3,583개의 개인시료 및 4,551개의 지역시료를 통한 MDI 노출평가를 실시한 결과 제조 공정 대부분에서 농도가 낮게 나타났음. 다만 MDI가 분무되거나 가열되는 공정에서는 공기 중 농도가 높게 나타날 수 있음.
11	Skin Exposure	2009	paper	Liu Y et al.	Skin exposure to aliphatic polyisocyanates in the auto body repair and refinishing industry: III. A personal exposure algorithm.	Ann Occup Hyg. 2009 Jan;53(1):33-40.	자동차 정비공을 대상으로한 피부 노출자료, 일일근무일지, 개인 호흡보호구 착용여부 등을 활용하여 근로자의 피부 노출을 추정하기 위한 반정량적 알고리즘을 개발하였음. TWA(시간가중평균농도)와 SEI(피부노출지수)는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며, SEI를 통하여 노출-반응 관계를 평가할 수 있음.

<표 III-13> 국외 이소시아네이트 관련 논문_계속

연번	구분	년도	형식	저자	논문명	저널정보	주요내용
12	Skin Exposure	2007	paper	Liu Y et al.	Skin exposure to aliphatic polyisocyanates in the auto body repair and refinishing industry: a qualitative assessment.	Ann Occup Hyg. 2007 Jul;51(5):429-39.	자동차 제조업 35곳, 124명 작업자를 대상으로 비색 지표를 이용하여 이소시아네이트에 의한 피부노출평가를 실시한 결과 도료 혼합 및 스프레이 작업 시 가장 높게 노출되었으며 전제 샘플 중 46%가 이소시아네이트 양성반응을 나타내었음. 이는 비색 지표를 이용하여 단시간에 효율적으로 피부 노출 평가가 가능하다는 것을 의미함.
13	Skin Exposure	2000	paper	Liu Y et al.	Qualitative assessment of isocyanate skin exposure in auto body shops: a pilot study.	Am J Ind Med. 2000 Mar;37(3):265-74.	자동차 정비소 3곳에 근무하는 각각의 도장공 및 수리공을 대상으로 wipe-sampling을 통하여 이소시아네이트 노출평가를 실시한 결과 작업대, 스프레이 장비, 청소도구로 인하여 라텍스 장갑을 착용한 2곳의 도장공 피부 표면에서 이소시아네이트가 검출되었음. 도장작업 중 라텍스 장갑의 착용은 적절치 않으며 피부노출을 보다 정량화할 수 있는 연구가 요구됨.
14	Skin Exposure	2008	paper	Bello D et al.	Skin exposure to aliphatic polyisocyanates in the auto body repair and refinishing industry: II. A quantitative assessment.	Ann Occup Hyg. 2008 Mar;52(2):117-24.	자동차 정비소 도장공 및 수리공 81명의 이소시아네이트 피부 및 개인보호구 표면 노출을 평가하기 위해 개발한 이소시아네이트 피부 노출 샘플링 및 정량화 방법으로 평가를 실시한 결과 도료 혼합(mixing) 및 스프레이(spray) 도포 작업에서 가장 높은 농도가 측정되었음.
15	Skin Exposure	2012	paper	De Vries TT et al.	Transferability of aliphatic isocyanates from recently applied paints to the skin of auto body shop workers.	J Occup Environ Hyg. 2012;9(12):699-711	자동차 도장작업 시 이소시아네이트에 의해 피부 노출 여부를 확인하기 위해 이소시아네이트로 코팅된 자동차 표면 및 근로자를 대상으로 wipe-sampling을 실시하였음. 자동차 표면 중 84.2%가 초기 건조 후 정량화 할 수 없는 NCO기가 검출되었으며 자동차 표면에 접촉한 피부시료 104개중 7개만이 검출가능한 양의 NCO기가 검출되었음. 완전히 경화되지 않은 코팅 표면 접촉만으로는 이소시아네이트 피부노출 위험은 적다고 평가됨.

<표 III-13> 국외 이소시아네이트 관련 논문_계속

연번	구분	년도	형식	저자	논문명	저널정보	주요내용
16	Skin Exposure	2006	paper	Fent KW et al.	Tape-strip sampling for measuring dermal exposure to 1,6-hexamethylene diisocyanate.	Scand J Work Environ Health. 2006 Jun;32(3):225-40	자동차 제조업 근로자를 대상으로 HDI 노출평가를 수행하기 위하여 접착테이프를 이용한 피부시료를 채취한 다음 LC-MS를 사용하여 정량평가를 실시하였음. 연구결과 근로자 피부표면 36곳에서 채취한 3개의 테이프 샘플 중 42.6%의 부분에서 HDI가 검출되었으며 접착 테이프를 이용한 정량평가의 가능여부를 입증하였음.
17	Skin Exposure	2000	paper	Nylander-French LA.	A tape-stripping method for measuring dermal exposure to multifunctional acrylates.	Ann Occup Hyg. 2000 Dec;44(8):645-51.	아크릴의 피부노출정도를 평가하기 위해 10명의 지원자 피부표면을 접착테이프로 샘플링한 후 GC를 사용하여 몸 각각 5군에서 평가한 농도를 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았음. 이러한 실험결과를 고려하여 볼 때 테이프 샘플링 방법으로 피부노출을 정량화하여 평가하는 것이 가능하다고 평가됨.
18	Skin Exposure	2015	paper	Henriks-Eckerman ML et al.	Role of dermal exposure in systemic intake of methylenediphenyl diisocyanate (MDI) among construction and boat building workers.	Toxicol Lett. 2015 Feb 3;232(3):595-600.	우레탄을 취급하는 24명의 작업자를 대상으로 호흡보호구 착용 유무를 구분하여 신체 4곳 부위를 접착테이프를 통한 피부표면 샘플링 및 소변 시료를 채취하였음. 피부에서 측정된 MDI의 농도 및 소변시료에서의 MDA농도를 평가한 결과 호흡보호구 사용유무와 관련없이 MDI가 피부를 통하여 노출됨을 확인하였음.
19	Health Effect	2015	paper	Lefkowitz D et al.	Isocyanates and work-related asthma: Findings from California, Massachusetts, Michigan, and New Jersey, 1993-2008.	Am J Ind Med. 2015 Nov;58(11):1138-49	1993년부터 2008년까지 미국 4개 주에서 이소시아네이트로 인하여 발병한 천식(WRA)의 사례 및 이소시아네이트 공기 샘플링 결과를 분석한 결과 특정산업분야가 아닌 다양한 산업분야서 천식이 발생하고 있어 작업지침, 청소절차, 피부 및 호흡기 보호 등의 모니터링 방법을 사용한 관리가 요구됨.

<표 III-14> 공기 중 이소시아네이트류 국내 노출평가 자료

연번	저자 등	업종	공정	평가물질	OSHA 42 방법			NIOSH 5522 방법			단위	임판저/ 필터
					n	AM	Range	n	AM	Range		
1	김치년 등, 2009	Furniture_A	도장	2,4-TDI	4	0.00014	0.00010~0.00018	4	0.0002	0.00016~0.00024	ppm	1.43
2	김치년 등, 2009	Furniture_A	도장	2,6-TDI	4	0.00071	0.00044~0.00136	4	0.00088	0.00058~0.00151	ppm	1.24
3	김치년 등, 2009	Furniture_B	도장	2,4-TDI	6	0.00011	0.00005~0.00037	6	0.0002	0.00003~0.00049	ppm	1.82
4	김치년 등, 2009	Furniture_B	도장	2,6-TDI	6	0.0006	0.00006~0.00235	6	0.00088	0.00014~0.00278	ppm	1.47
5	김치년 등, 2009	CNC	도장	2,4-TDI	6	0.00009	0.00008~0.00012	6	0.00015	0.00013~0.00017	ppm	1.67
6	김치년 등, 2009	CNC	도장	2,6-TDI	6	0.00096	0.00012~0.00190	6	0.00124	0.00078~0.00221	ppm	1.29
7	김치년 등, 2009	Autobody	도장	2,4-TDI	4	0.00008	0.00006~0.00010	4	0.00012	0.00010~0.00015	ppm	1.50
8	김치년 등, 2009	Autobody	도장	2,6-TDI	4	0.00012	0.00010~0.00015	4	0.00016	0.00012~0.00019	ppm	1.33
9	김치년 등, 2009	Music Instru_A	도장	2,4-TDI	4	0.00014	0.00010~0.00018	4	0.00022	0.00016~0.00020	ppm	1.57
10	김치년 등, 2009	Music Instru_A	도장	2,6-TDI	4	0.00589	0.00266~0.01048	4	0.00646	0.00291~0.01164	ppm	1.10
11	김치년 등, 2009	Music Instru_B	도장	2,4-TDI	6	0.00011	0.00003~0.00025	6	0.00016	0.00007~0.00031	ppm	1.45
12	김치년 등, 2009	Music Instru_B	도장	2,6-TDI	6	0.00133	0.00022~0.00312	6	0.00146	0.00030~0.00324	ppm	1.10

<표 III-14> 공기 중 이소시아네이트류 국내 노출평가 자료_계속

연번	저자 등	업종	공정	평가 물질	OSHA 42 방법					NIOSH 5522 방법					단위	임판제/ 필터
					n	AM	GM	GSD	Range	n	AM	GM	GSD	Range		
13	강형경 등, 1999	Autobody	도장	2,4-TDI	25	0.26	0.160	2.710	0.02-0.58	25	0.93	0.73	1.99	0.08-1.58	μg/m ³	4.56
14	강형경 등, 1999	Autobody	도장	2,6-TDI	25	0.82	0.230	4.910	0.01-1.18	25	0.39	0.24	2.66	0.02-1.95	μg/m ³	1.04
15	강형경 등, 1999	Autobody	도장	H D I	25	0.60	0.330	2.990	0.04-2.57	25	2.18	1.55	2.29	0.02-5.62	μg/m ³	4.70
16	강형경 등, 1999	Autobody	도장	M D I	25	0.44	0.420	1.310	0.14-0.54	25	0.40	0.35	1.67	0.24-1.78	μg/m ³	0.83
17	강형경 등, 1999	Furniture	도장	2,4-TDI	34	0.99	0.430	3.640	0.05-7.76	34	7.38	2.31	4.59	0.08-26.9	μg/m ³	5.37
18	강형경 등, 1999	Furniture	도장	2,6-TDI	34	5.41	1.700	4.580	0.14-37.15	34	29.10	3.51	7.82	0.06-309.1	μg/m ³	2.06
19	강형경 등, 1999	Furniture	도장	H D I	34	0.26	0.180	2.310	0.02-0.41	34	2.29	0.72	4.58	0.06-79.9	μg/m ³	4.00
20	강형경 등, 1999	Furniture	도장	M D I	34	0.89	0.340	4.020	0.03-36.3	34	3.55	0.61	6.53	0.05-58.9	μg/m ³	1.79
21	강형경 등, 1999	Foaming	우레탄 발포	2,4-TDI	8	18.09	0.730	12.600	0.06-25.1	8	6.41	2.82	3.60	0.96-48.2	μg/m ³	3.86
22	강형경 등, 1999	Foaming	우레탄 발포	2,6-TDI	8	227.87	1.480	23.900	0.01-100.0	8	10.36	2.15	5.89	0.44-131.8	μg/m ³	1.45
23	강형경 등, 1999	Foaming	우레탄 발포	H D I	8	0.58	0.120	5.900	0.08-0.63	8	2.82	1.12	3.89	0.20-5.56	μg/m ³	9.33
24	강형경 등, 1999	Foaming	우레탄 발포	M D I	8	0.31	0.170	2.970	0.04-0.45	8	0.25	0.23	1.53	0.10-0.45	μg/m ³	1.35

<표 III-14> 공기 중 이소시아네이트류 국내 노출평가 자료_계속

연번	저자 등	업종	공정	평가 물질	OSHA 42 방법					NIOSH 5522 방법					단위	임편제/ 필터
					n	AM	GM	GSD	Range	n	AM	GM	GSD	Range		
25	강형경 등, 1999	Mixing	도료 배합	2,4-TDI	3	0.13	0.130	1.200	0.11-0.16	3	0.83	0.34	3.80	0.07-0.81	µg/m³	2.62
26	강형경 등, 1999	Mixing	도료 배합	2,6-TDI	3	0.35	0.060	6.510	0.02-0.48	3	2.95	2.82	1.35	2.04-3.72	µg/m³	47.00
27	강형경 등, 1999	Mixing	도료 배합	H D I	3	0.46	0.140	4.650	0.02-0.33	3	0.43	0.38	1.68	0.20-0.50	µg/m³	2.71
28	강형경 등, 1999	Mixing	도료 배합	M D I	3	0.23	0.130	2.930	0.07-0.45	3	0.35	0.32	1.50	0.21-0.48	µg/m³	2.46
29	강형경 등, 1999	UV coating	코팅 도장	2,4-TDI	6	0.40	0.360	1.540	0.21-0.58	6	0.97	0.78	1.95	0.35-2.35	µg/m³	2.17
30	강형경 등, 1999	UV coating	코팅 도장	2,6-TDI	6	0.45	0.420	1.480	0.27-0.66	6	2.58	1.51	2.82	0.19-2.95	µg/m³	3.60
31	강형경 등, 1999	UV coating	코팅 도장	H D I	6	0.19	0.120	2.540	0.04-0.33	6	0.24	0.23	1.40	0.20-0.46	µg/m³	1.92
32	강형경 등, 1999	UV coating	코팅 도장	M D I	6	0.25	0.150	2.730	0.07-0.45	6	0.87	0.54	2.65	0.18-2.29	µg/m³	3.60
33	강형경 등, 1999	Adhesion	접착	2,4-TDI	6	0.27	0.210	2.060	0.07-0.58	6	1.56	1.22	2.02	0.60-3035	µg/m³	5.81
34	강형경 등, 1999	Adhesion	접착	2,6-TDI	6	0.74	0.280	4.020	0.01-0.48	6	2.51	1.32	3.11	0.19-4.57	µg/m³	4.71
35	강형경 등, 1999	Adhesion	접착	H D I	6	0.56	0.470	1.830	0.33-1.35	6	1.10	0.55	3.25	0.19-2.57	µg/m³	1.17
36	강형경 등, 1999	Adhesion	접착	M D I	6	0.45	0.340	2.140	0.06-0.45	6	0.39	0.35	1.59	0.19-0.60	µg/m³	1.03

<표 III-14> 공기 중 이소시아네이트류 국내 노출평가 자료_계속

연번	저자 등	업종	공정	평가물질	평가방법	n	Estimated AM (ppm)	AM	GM	GSD	Range	단위
37	정지연 등, 2012	Foaming	Molded Foam_personal	MDI	OSHA 42	6	0.0000	0.04	0.011	5.260	0.001~0.055	ppb
38	정지연 등, 2012	Foaming	Molded Foam_Area	MDI	OSHA 42	20	0.0001	0.08	0.003	12.706	ND~0.130	ppb
39	정지연 등, 2012	Foaming	Slabstock_perso nal	TDI	OSHA 42	5	0.0120	12.00	4.078	4.345	1.190~23.770	ppb
40	정지연 등, 2012	Foaming	Slabstock_Area	TDI	OSHA 42	8	0.0126	12.58	8.249	2.506	2.200~22.340	ppb

<표 III-15> 공기 중 이소시아네이트 국외 노출평가 자료_Woskie SR, 2004

No	공정	평가물질	평가방법	n	AM (ppm)	AM(Median)	Range(Max)	단위
1	Spray	HDImonomer	NIOSH 5525	166	0.0002	1.69	56.14	μg/m³
2	Near spray	HDImonomer	NIOSH 5525	37	0.0000	0.03	1.17	μg/m³
3	Workplace background	HDImonomer	NIOSH 5525	107	0.0000	0.01	0.24	μg/m³
4	Mixing	HDImonomer	NIOSH 5525	45	0.0000	0.04	2.38	μg/m³
5	Sanding	HDImonomer	NIOSH 5525	25	0.0000	0.05	0.71	μg/m³
6	Spray	HDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	166	0.0272	190.52	3,119.63	μg/m³
7	Near spray	HDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	37	0.0001	0.89	108.06	μg/m³
8	Workplace background	HDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	107	0.0000	0.02	12.55	μg/m³
9	Mixing	HDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	45	0.0000	0.1	117.48	μg/m³
10	Sanding	HDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	25	0.0000	0.12	35.43	μg/m³
11	Spray	IPDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	103	0.0055	38.75	2,375.60	μg/m³
12	Near spray	IPDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	16	0.0000	0.03	5.03	μg/m³
13	Workplace background	IPDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	63	0.0000	0.01	6.08	μg/m³
14	Mixing	IPDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	28	0.0000	0.05	23.33	μg/m³
15	Sanding	IPDIpolyisocyanate	NIOSH 5525	11	0.0000	0.06	1.96	μg/m³
16	Spray	Total NCO	NIOSH 5525	166	0.0294	205.53	5,519.02	μg/m³
17	Near spray	Total NCO	NIOSH 5525	37	0.0001	0.93	108.70	μg/m³
18	Workplace background	Total NCO	NIOSH 5525	107	0.0000	0.05	12.61	μg/m³
19	Mixing	Total NCO	NIOSH 5525	45	0.0000	0.17	118.30	μg/m³
20	Sanding	Total NCO	NIOSH 5525	25	0.0000	0.27	36.14	μg/m³

<표 III-15> 공기 중 이소시아네이트 국외 노출평가 자료_Bennett, 2016

No	공정	평가물질	평가방법	n	AM (ppm)	AM(Median)	Range(Max)	단위
1	Top coat_Hoseman	HDImonomer	NIOSH 5525	6	0.0001	0.645	2.13	μg/m³
2		HDImonomer(NCO)	NIOSH 5525	6	0.0000	0.332	1.06	μg/m³
3		HDIligomer	NIOSH 5525	6	0.0010	6.9	24.90	μg/m³
4		TRIG(NCO)	NIOSH 5525	6	0.0010	7.29	26.00	μg/m³
5	Top coat_Sprayer	HDImonomer	NIOSH 5525	6	0.0003	2.13	7.33	μg/m³
6		HDImonomer(NCO)	NIOSH 5525	6	0.0002	1.06	3.66	μg/m³
7		HDIligomer	NIOSH 5525	6	0.0036	24.9	70.70	μg/m³
8		TRIG(NCO)	NIOSH 5525	6	0.0037	26	74.40	μg/m³
9	Total_Hoseman	HDImonomer	NIOSH 5525	6	0.0006	3.99	11.20	μg/m³
10		HDImonomer(NCO)	NIOSH 5525	6	0.0003	2.06	5.56	μg/m³
11		HDIligomer	NIOSH 5525	6	0.0061	42.7	148.00	μg/m³
12		TRIG(NCO)	NIOSH 5525	6	0.0065	45.2	152.00	μg/m³
13	Total_Sprayer	HDImonomer	NIOSH 5525	6	0.0046	32.2	45.80	μg/m³
14		HDImonomer(NCO)	NIOSH 5525	6	0.0023	16.1	22.90	μg/m³
15		HDIligomer	NIOSH 5525	6	0.0370	259	448.00	μg/m³
16		TRIG(NCO)	NIOSH 5525	6	0.0394	276	471.00	μg/m³

4. 건설현장 우레탄 방수작업 디이소시아네이트 등 노출평가 결과

1) 유해인자별 시료채취 현황

아파트를 신축하는 5개 현장의 옥상, 지하주차장, 필로티 바닥 및 세대안 욕실, 다용도실에서 평가한 디이소시아네이트 및 휘발성 유기화합물 시료채취 수는 <표 Ⅲ-16>과 같다. 작업자 19명을 대상으로 11일간 평가가 이루어졌으며, 디이소시아네이트에 대한 개인시료(필터법) 49개, 지역시료(필터법 및 임핀저법) 각 32개의 시료가 채취되었다. 사업장별 개인 및 지역시료의 정규성 검정결과 <표 Ⅲ-18>, 일부시료가 고농도로 검출되어 사업장 A의 2,4-TDI 결과 및 사업장 B, E의 2,6-TDI 결과가 대수정규분포하지 않는 것으로 분석되었으나, 이외 사업장의 2,4-TDI 및 2,6-TDI 시료의 분포는 대수 정규분포하는 특징을 나타내었다. 채취 시료 중 일부 측정오류 시료는 제거하고 유효한 자료를 대상으로 통계처리를 진행하였다.

<표 Ⅲ-16> 사업장별 개인 및 지역시료 채취 시료수

사업장	측정 일수 (일)	작업 자수 (명)	개인		지역		
			TDI	VOC	TDI		VOC
			필터법		필터법	임핀저법	
A	2	5	11	11	6	6	-
B	4	6	26	21	11	11	8
C	2	2	3	3	6	6	6
D	2	3	6	6	6	6	6
E	1	3	3	6	3	3	3
합 계			49	47	32	32	18

<표 III-17> 사업장별 시료_정규성 검정 결과 (Shapiro-Wilk Test)

물질명	사업장	개인시료 + 지역시료		
		통계량	자유도	유의확률
2,4-TDI	A	.763	17	.001
	B	.963	32	.334
	C	.937	9	.549
	D	.927	12	.348
	E	.788	5	.064
2,6-TDI	A	.972	17	.855
	B	.915	32	.015
	C	.980	9	.962
	D	.974	12	.948
	E	.945	5	.701

<표 III-18> 개인 및 지역시료 채취 시료_정규성 검정 결과 (Shapiro-Wilk Test)

물질명	사업장	개인시료			지역시료		
		통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
2,4-TDI	A	.945	11	.576	.588	6	.000
	B	.934	23	.134	.954	9	.737
	C	.987	3	.779	.922	6	.521
	D	.915	6	.472	.910	6	.435
	E	-	2	-	.821	3	.166
2,6-TDI	A	.975	11	.934	.848	6	.153
	B	.944	23	.222	.771	9	.009
	C	.832	3	.194	.979	6	.945
	D	.978	6	.939	.895	6	.348
	E	-	2	-	.752	3	.004

2) 톨루엔 2,4/2,6 - 디이소시아네이트 공기 중 노출농도 수준

일반건축물을 신축하는 5개 건설현장의 옥상, 1층 주차장, 세대 안 우레탄 방수작업을 대상으로 작업자에게 노출되는 디이소시아네이트의 공기 중 농도를 평가하였다. 평가결과, 톨루엔 2,4 - 디이소시아네이트(2,4-TDI, 노출기준: 5 ppb)의 농도는 기하평균 0.058 ppb (기하표준편차 2.207, 범위 0.01~0.5 ppb)이었고, 톨루엔 2,6 - 디이소시아네이트(2,6-TDI, 노출기준: 5 ppb)는 기하평균 0.523 ppb (기하표준편차 3.534, 범위 0.026~22.81 ppb) 수준이었다 <표 III-19 >.

평가결과를 사업장별로 살펴보면, A 사업장은 2,4-TDI 농도는 기하평균 0.093 ppb (기하표준편차 1.429, 범위 0.06~0.305 ppb)이었고, 2,6-TDI는 0.186 ppb(2.722, 0.026~1.551 ppb) 수준이었다. B 사업장은 2,4-TDI 농도는 기하평균 0.061 ppb (기하표준편차 2.028, 범위 0.015~0.252 ppb)이었고, 2,6-TDI는 0.732 ppb(3.41, 0.096~22.81 ppb) 수준이었다. C 사업장은 2,4-TDI 농도는 기하평균 0.062 ppb (기하표준편차 2.214, 범위 0.014~0.193 ppb)이었고, 2,6-TDI는 0.523 ppb(3.009, 0.08~2.576 ppb) 수준이었다. D 사업장은 2,4-TDI 농도는 기하평균 0.034 ppb (기하표준편차 1.987, 범위 0.012~0.087 ppb)이었고, 2,6-TDI는 0.694 ppb(2.097, 0.209~2.37 ppb) 수준이었다. E 사업장은 2,4-TDI 농도는 기하평균 0.032 ppb (기하표준편차 4.157, 범위 0.01~0.5 ppb)이었고, 2,6-TDI는 0.849 ppb(7.118, 0.083~16.9 ppb) 수준이었다. 사업장에 따라 2,4/2,6-TDI의 노출농도 수준은 서로 상이함을 알 수 있었다 ($p<0.01$). 사후분석(Scheffe)에 따르면 2,4-TDI 결과에서 사업장 A와 D 사업장, 2,6-TDI 결과에서 A와 B 사업장이 서로 유의하게 달랐고, 나머지 사업장 간에는 통계적으로 유의하게 다르지는 않았다 .

평가지료를 개인시료 및 지역시료로 나누어 살펴보면, 개인시료의 2,4-TDI 농도는 기하평균 0.062 ppb (기하표준편차 2.069, 범위 0.015~0.5 ppb)이었고, 2,6-TDI는 0.498 ppb(3.441, 0.026~16.9 ppb) 수준이었다 <표 III-20>. 지역시료의 2,4-TDI 농도는 기하평균 0.052 ppb (기하표준편차 2.431, 범위 0.01~0.305 ppb)이었고, 2,6-TDI는 0.56 ppb(3.73, 0.076~22.81 ppb)수준이었다. 개인시료 농도와 지역시료 농도 간에는 통계적으로 유의한 차이는 없었다 ($p > 0.05$).

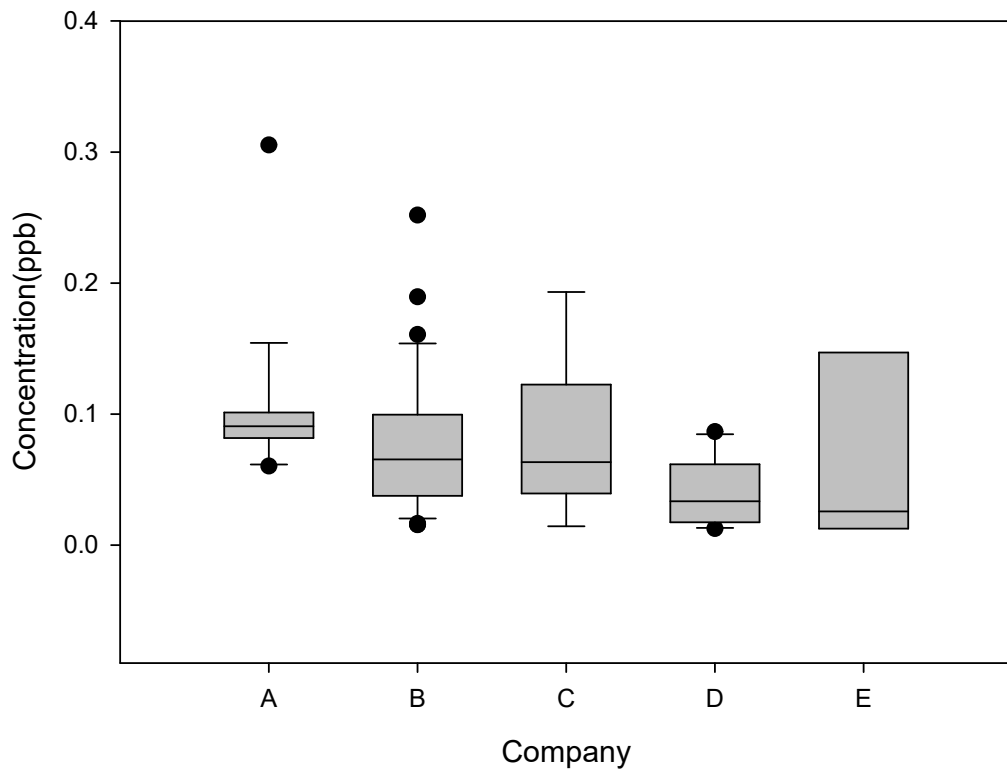
2,4/2,6-TDI의 노출기준은 5 ppb(0.005 ppm)로 평가자료의 평균농도는 노출기준의 1/10 미만 수준이었다. 전체 시료 중 네 개 시료에서 노출기준을 초과하였다. 2,4/2,6-TDI 농도를 비교하였을 때 2,6-TDI가 2,4-TDI 보다 약 10배 가량 더 높은 농도수준을 나타내었다.

<표 III-19> 사업장별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과 (단위: ppb)

사업장	구분	2,4-TDI	2,6-TDI
전체	<i>n</i>	78	78
	<i>AM±SD</i>	0.079±0.072	1.403±3.334
	<i>GM(GSD)</i>	0.058(2.207)	0.523(3.534)
	<i>Median</i>	0.066	0.448
	<i>Range</i>	0.01~0.5	0.026~22.81
A	<i>n</i>	17	17
	<i>AM±SD</i>	0.101±0.055	0.302±0.367
	<i>GM(GSD)</i>	0.093(1.429)	0.186(2.722)
	<i>Median</i>	0.091	0.171
	<i>Range</i>	0.06~0.305	0.026~1.551
B	<i>n</i>	34	35
	<i>AM±SD</i>	0.076±0.052	1.908±4.074
	<i>GM(GSD)</i>	0.061(2.028)	0.732(3.41)
	<i>Median</i>	0.066	0.506
	<i>Range</i>	0.015~0.252	0.096~22.81
C	<i>n</i>	9	9
	<i>AM±SD</i>	0.08±0.061	0.83±0.796
	<i>GM(GSD)</i>	0.062(2.214)	0.523(3.009)
	<i>Median</i>	0.063	0.694
	<i>Range</i>	0.014~0.193	0.08~2.576
D	<i>n</i>	12	12
	<i>AM±SD</i>	0.042±0.026	0.89±0.674
	<i>GM(GSD)</i>	0.034(1.987)	0.694(2.097)
	<i>Median</i>	0.034	0.717
	<i>Range</i>	0.012~0.087	0.209~2.37
E	<i>n</i>	6	5
	<i>AM±SD</i>	0.1±0.196	3.877±7.298
	<i>GM(GSD)</i>	0.032(4.157)	0.849(7.118)
	<i>Median</i>	0.026	0.462
	<i>Range</i>	0.01~0.5	0.083~16.9
사업장별 평균농도 ANOVA 분석		<i>p</i> < 0.01	<i>p</i> < 0.01

※ *n*: 시료수, Distribution: 자료분포, *AM*: Arithmetic Mean 산술평균, *SD*: Standard deviation 표준편차, *GM*: Geometric Mean 기하평균, *GSD*: Geometric standard deviation 기하표준편차, *Median*: 중위수, *Range*: 농도범위

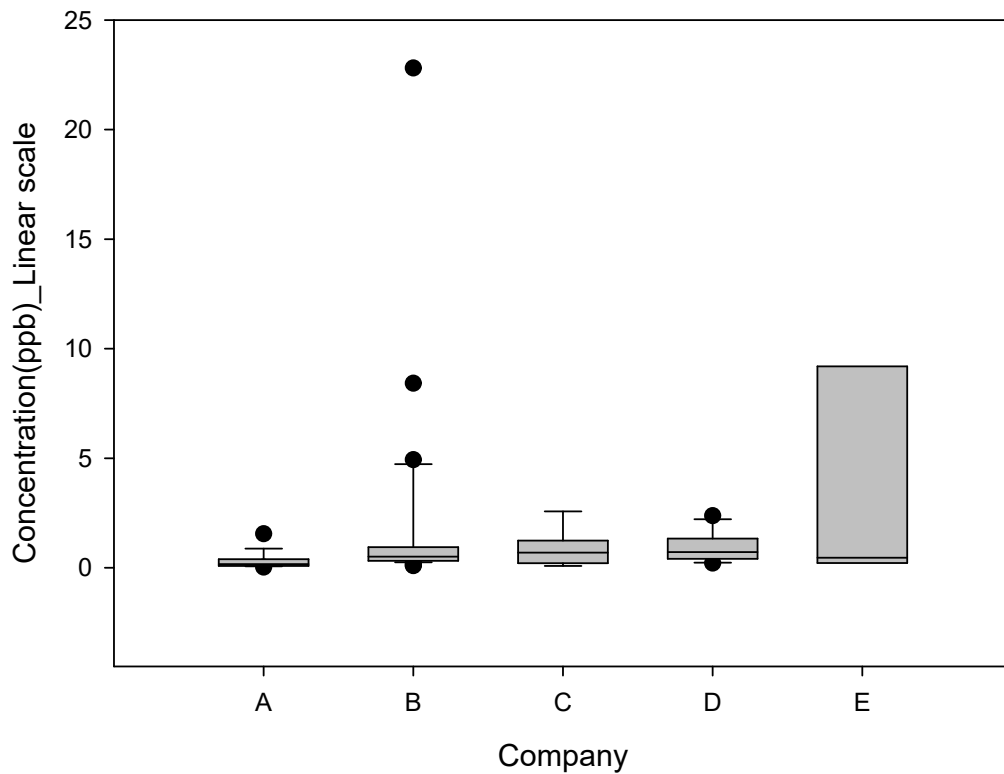
2,4-TDI Concentration by Company



[그림 III-8] 사업장별 우레탄 방수작업 2,4-TDI 농도 수준

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

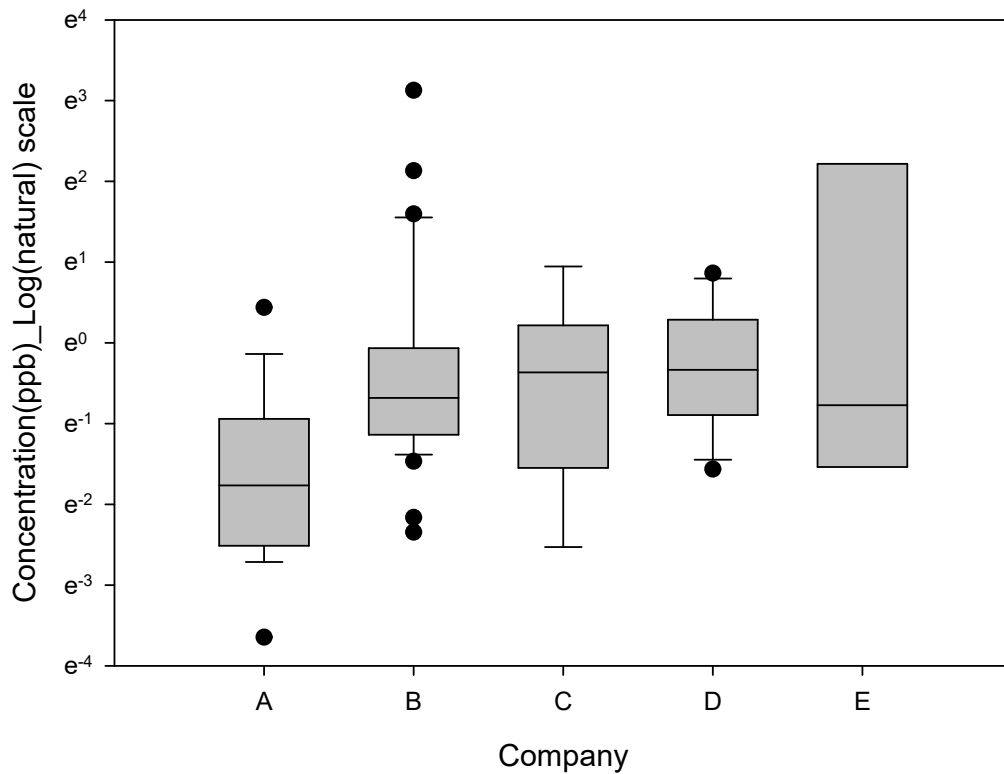
2,6-TDI Concentration by Company



[그림 Ⅲ-9] 사업장별 우레탄 방수작업 2,6-TDI 농도 수준)_Linear scale

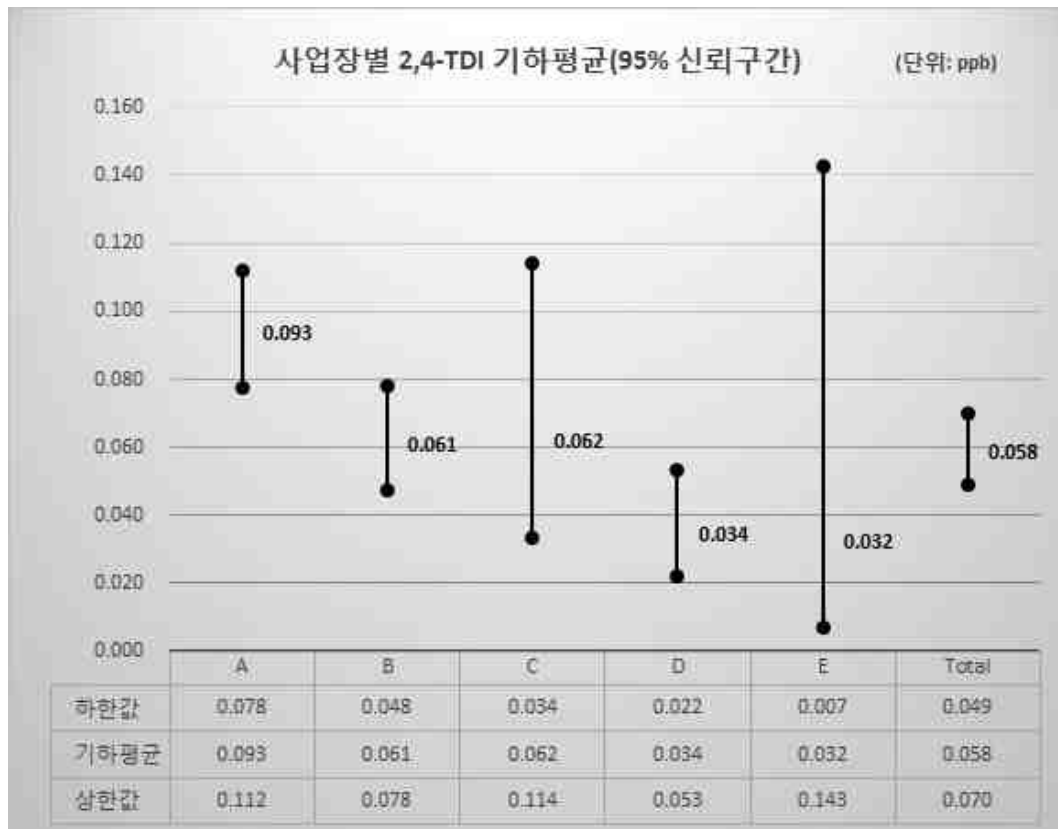
※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

2,6-TDI Concentration by Company

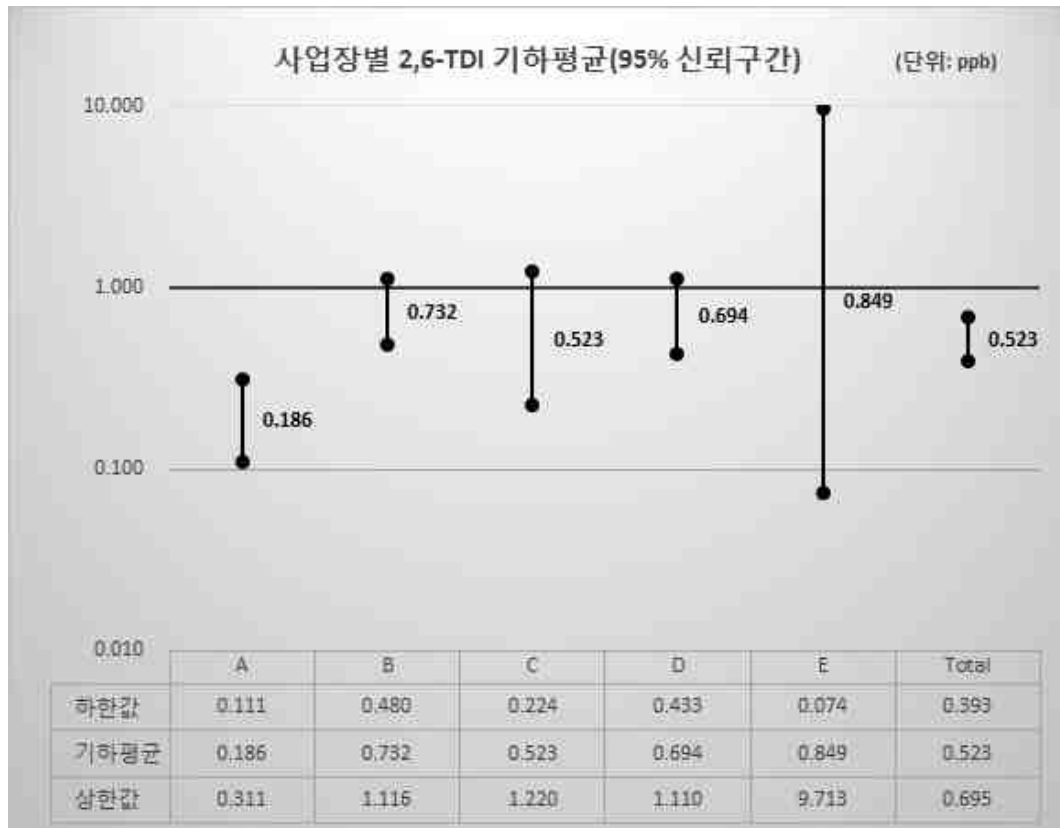


[그림 III-9] 사업장별 우레탄 방수작업 2,6-TDI 농도 수준_LN scale

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%,
 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%



[그림 Ⅲ-10] 사업장별 우레탄 방수작업 2,4-TDI 기하평균 비교(95% 신뢰구간)



[그림 III-11] 사업장별 우레탄 방수작업 2,6-TDI 기하평균 비교(95% 신뢰구간)

<표 III-20> 사업장별 개인 vs 지역측정 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과

(단위: ppb)

사업장	구분	2,4-TDI	2,6-TDI
A	개인시료	n	11
		AM±SD	0.087±0.02
		GM(GSD)	0.085(1.258)
		Median	0.084
		Range	0.06~0.117
	지역시료	n	6
		AM±SD	0.126±0.088
		GM(GSD)	0.11(1.652)
		Median	0.094
		Range	0.084~0.305
	개인 vs 지역시료 평균농도 T test분석		p > 0.05
	개인시료	n	25
		AM±SD	0.071±0.045
		GM(GSD)	0.058(2.036)
		Median	0.064
		Range	0.015~0.19
	지역시료	n	9
		AM±SD	0.089±0.07
		GM(GSD)	0.071(2.042)
		Median	0.067
		Range	0.024~0.252
	개인 vs 지역시료 평균농도 T test분석		p > 0.05
C	개인시료	n	3
		AM±SD	0.098±0.084
		GM(GSD)	0.076(2.397)
		Median	0.068
		Range	0.034~0.193
	지역시료	n	6
		AM±SD	0.071±0.054
		GM(GSD)	0.056(2.261)
		Median	0.062
		Range	0.014~0.173
	개인 vs 지역시료 평균농도 T test분석		p > 0.05
	개인시료	n	3
		AM±SD	0.691±0.392
		GM(GSD)	0.588(2.143)
		Median	0.843
		Range	0.245~0.984
	지역시료	n	6
		AM±SD	0.9±0.967
		GM(GSD)	0.493(3.679)
		Median	0.534
		Range	0.08~2.576
	개인 vs 지역시료 평균농도 T test분석		p > 0.05

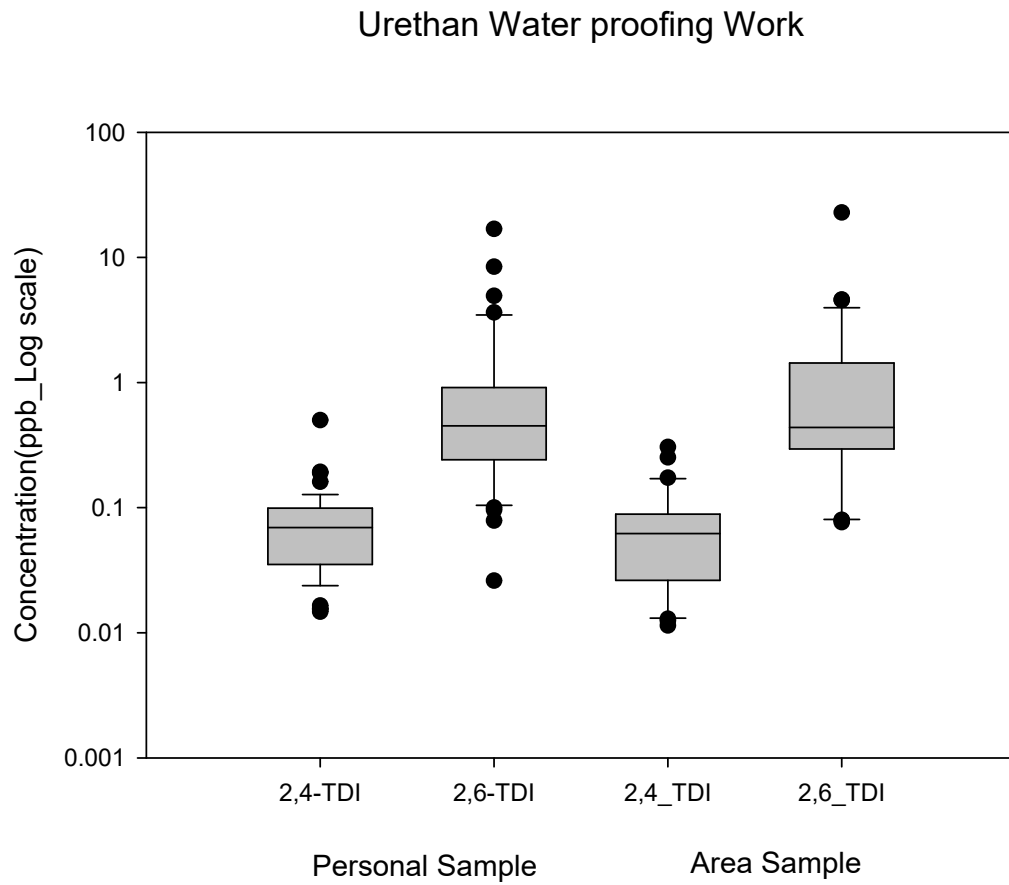
※ n: 시료수, Distribution: 자료분포, AM: Arithmetic Mean 산술평균, SD: Standard deviation 표준편차, GM: Geometric Mean 기하평균, GSD: Geometric standard deviation 기하표준편차, Median: 중위수, Range: 농도범위

<표 III-20> 사업장별 개인 vs 지역측정 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과 계속

(단위: ppb)

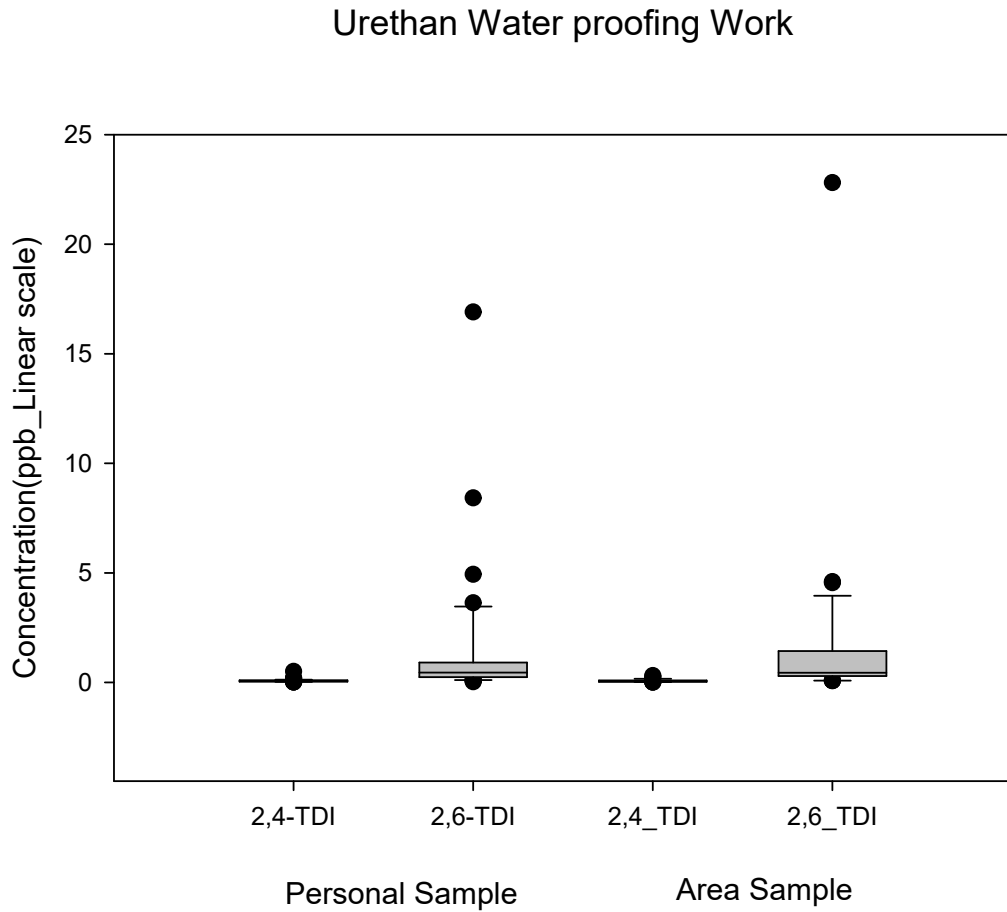
사업장	구분	2,4-TDI	2,6-TDI
D	개인시료	n	6
		AM±SD	0.05±0.03
		GM(GSD)	0.041(2.033)
		Median	0.047
		Range	0.015~0.087
	지역시료	n	6
		AM±SD	0.034±0.021
		GM(GSD)	0.029(1.961)
		Median	0.031
		Range	0.012~0.059
	개인 vs 지역시료 평균농도 T test분석		p > 0.05
			p > 0.05
E	개인시료	n	3
		AM±SD	0.185±0.273
		GM(GSD)	0.071(5.411)
		Median	0.029
		Range	0.025~0.5
	지역시료	n	3
		AM±SD	0.016±0.01
		GM(GSD)	0.014(1.73)
		Median	0.011
		Range	0.01~0.027
	개인 vs 지역시료 평균농도 T test분석		p > 0.05
			p > 0.05
전체	개인시료	n	48
		AM±SD	0.081±0.075
		GM(GSD)	0.062(2.069)
		Median	0.069
		Range	0.015~0.5
	지역시료	n	32
		AM±SD	0.075±0.068
		GM(GSD)	0.052(2.431)
		Median	0.062
		Range	0.01~0.305
	개인 vs 지역시료 평균농도 T test분석		p > 0.05
			p > 0.05

※ n: 시료수, Distribution: 자료분포, AM: Arithmetic Mean 산술평균, SD: Standard deviation 표준편차, GM: Geometric Mean 기하평균, GSD: Geometric standard deviation 기하표준편차, Median: 중위수, Range: 농도범위



[그림 Ⅲ-12] 우레탄 방수작업 TDI 농도 수준 _전체시료_Log scale

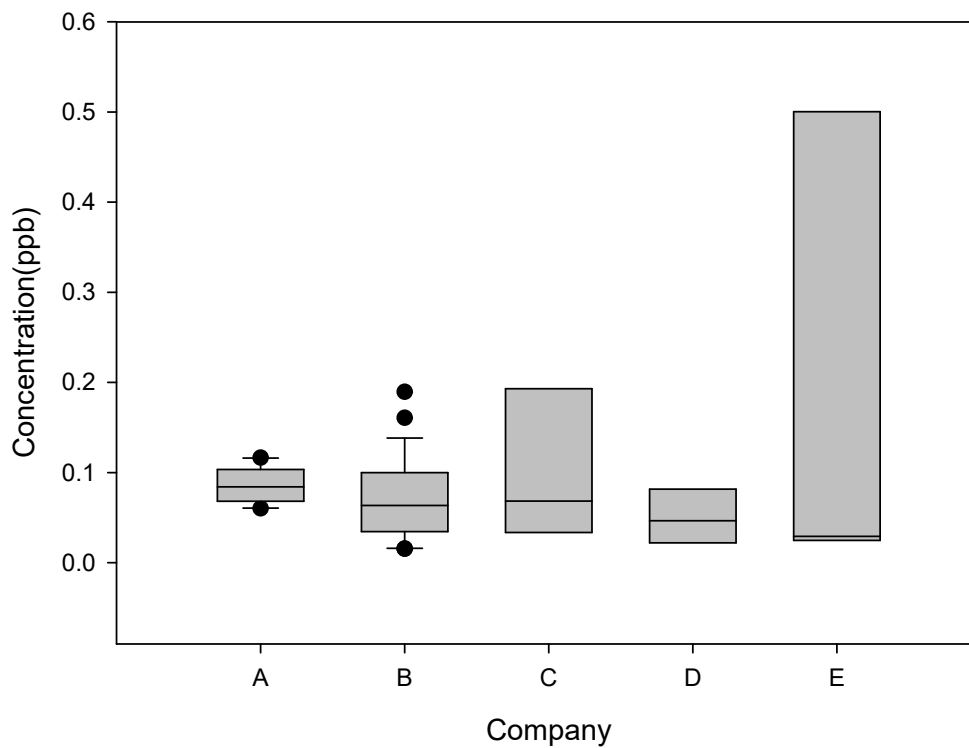
※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%,
 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%



[그림 III-13] 우레탄 방수작업 TDI 농도 수준 _전체시료_Linear scale

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%,
 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

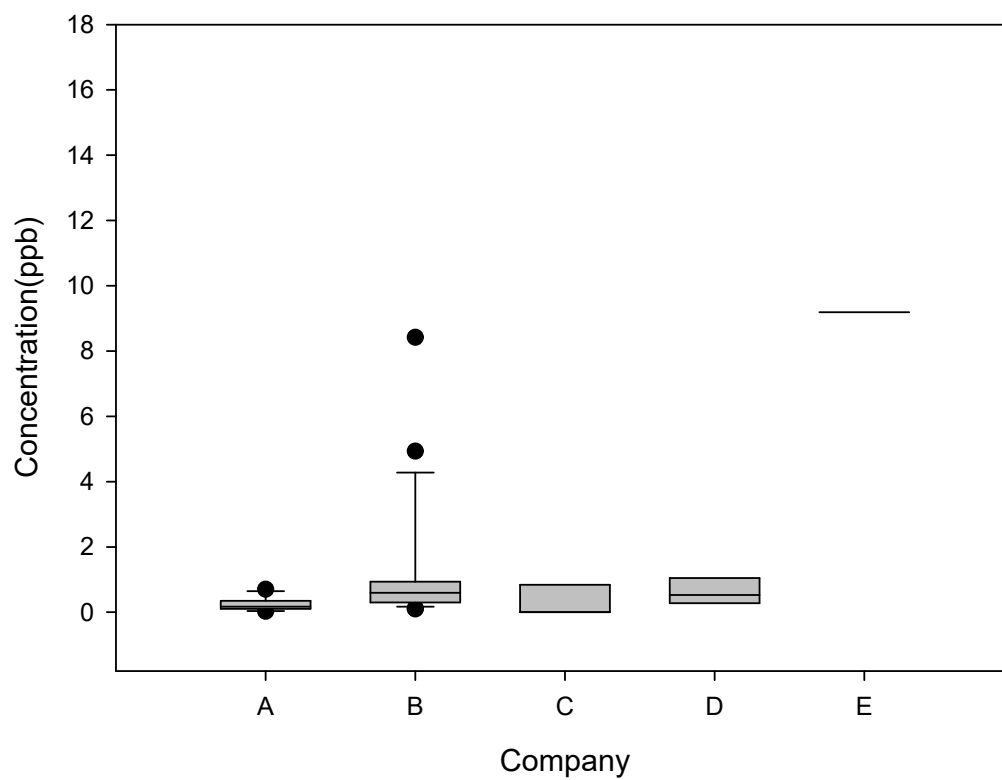
2,4-TDI_Personal Sample by Company



[그림 III-14] 사업장별 2,4 - TDI 농도수준_개인시료

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

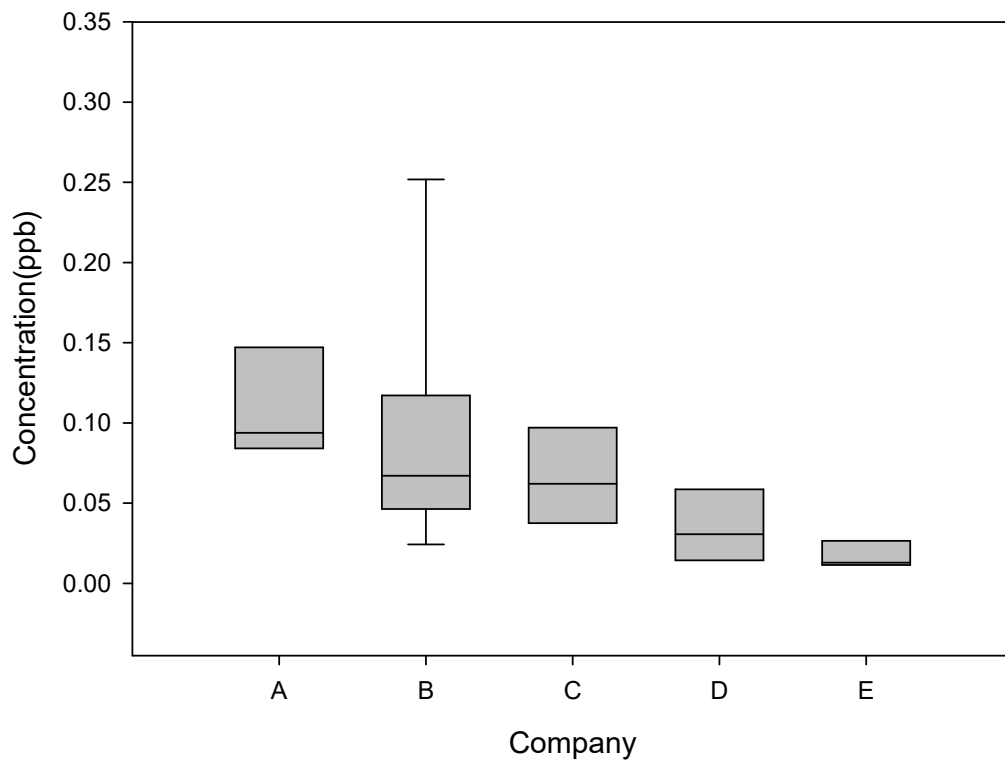
2,6-TDI_Personal Sample by Company



[그림 III-15] 사업장별 2,6 - TDI 농도수준_개인시료

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

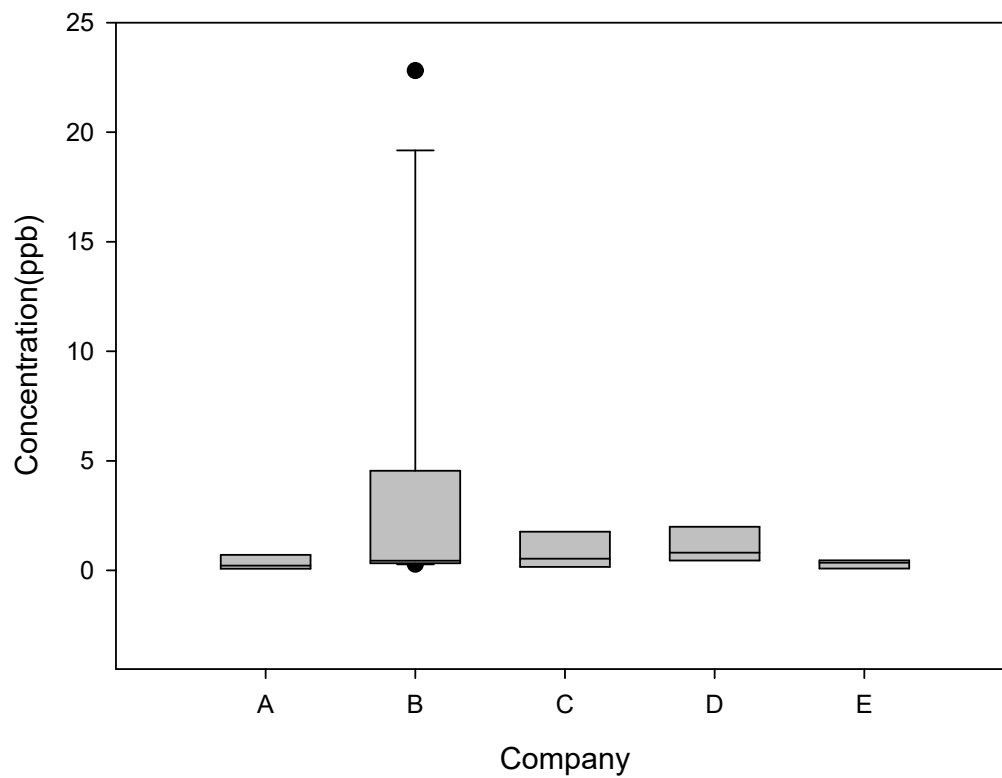
2,4-TDI_Areal Sample by Company



[그림 Ⅲ-16] 사업장별 2,4 - TDI 농도수준_지역시료

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

2,6-TDI_Areal Sample by Company



[그림 III-17] 사업장별 2,6 - TDI 농도수준_지역시료

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%,
휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

사업장 측정일별 2,4/2,6-TDI 농도 수준을 살펴보면, 실내 작업이 이루어지는 C, D 사업장의 경우 일간 농도수준은 서로 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 옥상작업으로 실외에서 실시된 A, B 사업장의 경우 측정일간 디이소시아네이트의 노출농도 수준은 서로 상이하였음을 알 수 있었다 <표 III-21>.

우레탄 방수작업 종류에 따라서는 프라이머 도포 작업에서 일부 시료가 노출기준을 초과하여 작업별 노출농도가 상이한 것으로 평가되었으나, 노출기준을 초과한 일부시료를 배제하면 사후분석 결과 및 작업별 기하평균 농도에 대한 95% 신뢰구간의 확인을 통해 작업별 노출농도 수준은 통계적으로 유의하게 다르지 않음을 알 수 있었다 <표 III-22>.

우레탄 방수작업 장소에 따라서도 공간별 노출농도 수준은 통계적으로 유의하게 다르지 않았다. 다만, 필로티 층 바닥에서 2,4-TDI 농도가 다소 낮았다. <표 III-23>. 실내공간과 실외공간의 노출농도 수준도 통계적으로 유의하게 다르지는 않았다.

우레탄 방수작업에서의 디이소시아네이트 농도는 수지도포 또는 프라이머 도포 등 도료의 종류에 따라 일부 농도수준에 차이가 있으며, 옥외작업장의 경우 일간변이가 있는 것으로 확인되었으나, 작업종류(배합, 도포, 보조작업 등) 및 작업공간의 특성에 따라서는 농도수준이 통계적으로 유의하게 다르지 않음을 확인할 수 있었다.

다만, 이번 연구에서 옥상 우레탄 방수 시료의 경우 2개 사업장에서 2 ~ 4 일간 11명의 작업자를 대상으로 개인시료 37개, 지역시료 17개를 분석한 결과이나, 세대내부 욕실, 필로티 층 및 지상주차장 바닥 등은 각 1개 사업장의 2 ~ 3명을 대상으로 1 ~ 2일간 측정한 자료로 시료수가 각 10개 미만인 제한점이 있다.

<표 III-21> 사업장 측정일별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과 (단위: ppb)

사업장	측정일	구분	2,4-TDI	2,6-TDI
A	Day 1	n	9	9
		AM±SD	0.095±0.017	0.099±0.046
		GM(GSD)	0.094(1.218)	0.088(1.737)
		Median	0.094	0.083
	Day 2	Range	0.06~0.117	0.026~0.171
		n	8	8
		AM±SD	0.108±0.08	0.532±0.439
		GM(GSD)	0.093(1.644)	0.431(1.9)
		Median	0.083	0.391
		Range	0.062~0.305	0.198~1.551
	측정일별 평균농도 T test분석		$p > 0.05$	$p < 0.05$
B	Day 1	n	9	10
		AM±SD	0.052±0.041	0.385±0.321
		GM(GSD)	0.041(2.067)	0.304(2.044)
		Median	0.04	0.338
	Day 2	Range	0.016~0.147	0.096~1.24
		n	6	6
		AM±SD	0.06±0.044	0.44±0.189
		GM(GSD)	0.046(2.327)	0.406(1.551)
		Median	0.051	0.395
		Range	0.015~0.123	0.264~0.669
	Day 3	n	12	11
		AM±SD	0.08±0.059	4.956±6.429
		GM(GSD)	0.068(1.768)	2.396(3.96)
		Median	0.064	3.627
	Day 4	Range	0.025~0.252	0.265~22.81
		n	7	8
		AM±SD	0.114±0.044	0.722±0.265
		GM(GSD)	0.108(1.438)	0.67(1.545)
		Median	0.101	0.873
		Range	0.067~0.19	0.325~0.937
	측정일별 평균농도 ANOVA 분석		$p < 0.05$	$p < 0.05$

※ n: 시료수, Distribution: 자료분포, AM: Arithmetic Mean 산술평균, SD: Standard deviation 표준편차, GM: Geometric Mean 기하평균, GSD: Geometric standard deviation 기하표준편차, Median: 중위수, Range: 농도범위

<표 III-21> 사업장 측정일별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과 계속 (단위: ppb)

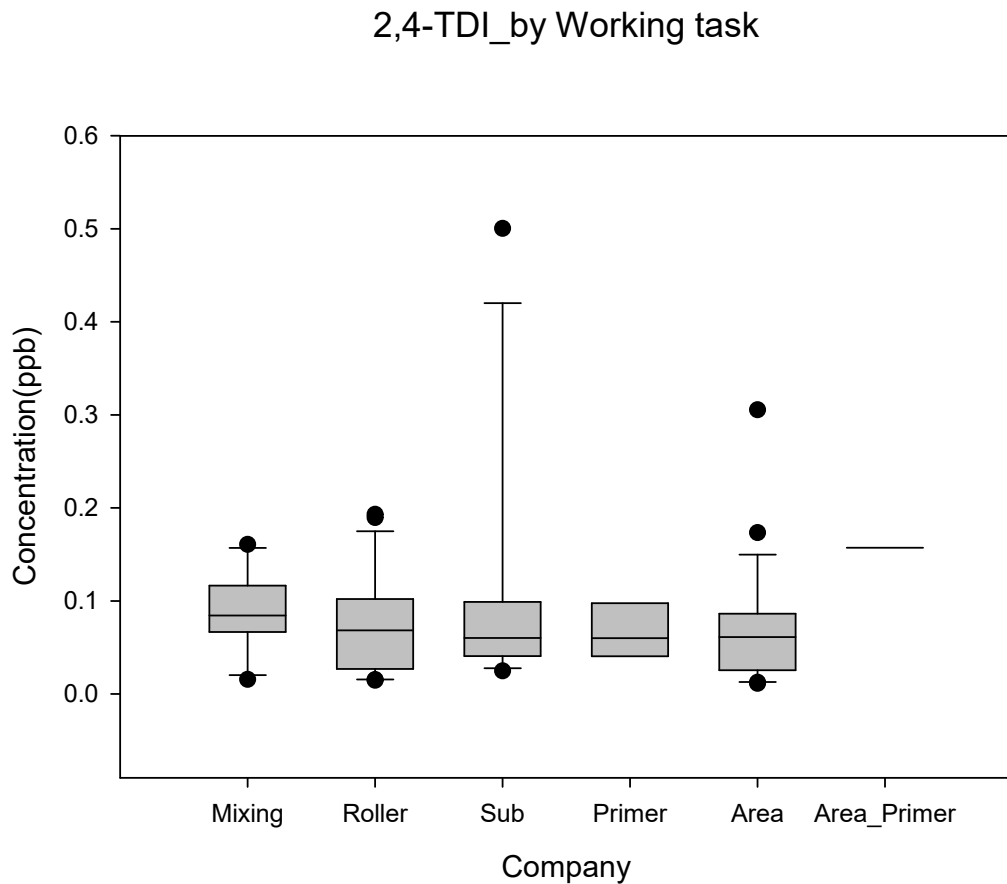
사업장	측정일	구분	2,4-TDI	2,6-TDI
C	Day 1	n	5	5
		AM±SD	0.054±0.014	1.107±0.957
		GM(GSD)	0.053(1.336)	0.785(2.631)
		Median	0.061	0.843
		Range	0.034~0.068	0.245~2.576
	Day 2	n	4	4
		AM±SD	0.113±0.085	0.485±0.428
		GM(GSD)	0.076(3.362)	0.315(3.225)
		Median	0.123	0.437
		Range	0.014~0.193	0.08~0.984
측정일별 평균농도 T test분석			p > 0.05	p > 0.05
D	Day 1	n	6	6
		AM±SD	0.042±0.028	1.2±0.824
		GM(GSD)	0.033(2.215)	0.952(2.162)
		Median	0.042	1.067
		Range	0.012~0.08	0.399~2.37
	Day 2	n	6	6
		AM±SD	0.043±0.027	0.58±0.298
		GM(GSD)	0.036(1.881)	0.505(1.839)
		Median	0.034	0.615
		Range	0.015~0.087	0.209~0.905
측정일별 평균농도 T test분석			p > 0.05	p > 0.05
E	Day 1	n	6	5
		AM±SD	0.1±0.196	3.877±7.298
		GM(GSD)	0.032(4.157)	0.849(7.118)
		Median	0.026	0.462
		Range	0.01~0.5	0.083~16.9

※ n: 시료수, Distribution: 자료분포, AM: Arithmetic Mean 산술평균, SD: Standard deviation 표준편차, GM: Geometric Mean 기하평균, GSD: Geometric standard deviation 기하표준편차, Median: 중위수, Range: 농도범위

<표 III-22> 작업별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과 (단위: ppb)

작업	구분	2,4-TDI	2,6-TDI
배합 (Mixing)	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
롤러작업 (Roller)	n	21	22
	AM±SD	0.071±0.052	0.603±0.416
	GM(GSD)	0.053(2.241)	0.465(2.177)
	Median	0.068	0.453
	Range	0.015~0.193	0.096~1.481
보조작업	n	11	8
	AM±SD	0.104±0.134	0.308±0.229
	GM(GSD)	0.072(2.16)	0.207(3.056)
	Median	0.06	0.293
	Range	0.025~0.5	0.026~0.64
프라이머	n	6	6
	AM±SD	0.065±0.028	6.362±5.718
	GM(GSD)	0.06(1.606)	4.446(2.689)
	Median	0.061	4.279
	Range	0.029~0.101	0.893~16.9
지역시료	n	28	29
	AM±SD	0.069±0.061	0.675±0.677
	GM(GSD)	0.049(2.379)	0.427(2.768)
	Median	0.061	0.437
	Range	0.01~0.305	0.076~2.576
프라이머 지역시료	n	2	3
	AM±SD	0.158±0.134	10.652±10.529
	GM(GSD)	0.126(2.665)	7.813(2.529)
	Median	0.158	4.595
	Range	0.063~0.252	4.55~22.81
작업별 평균농도 T test분석		$p > 0.05$	$p < 0.05$

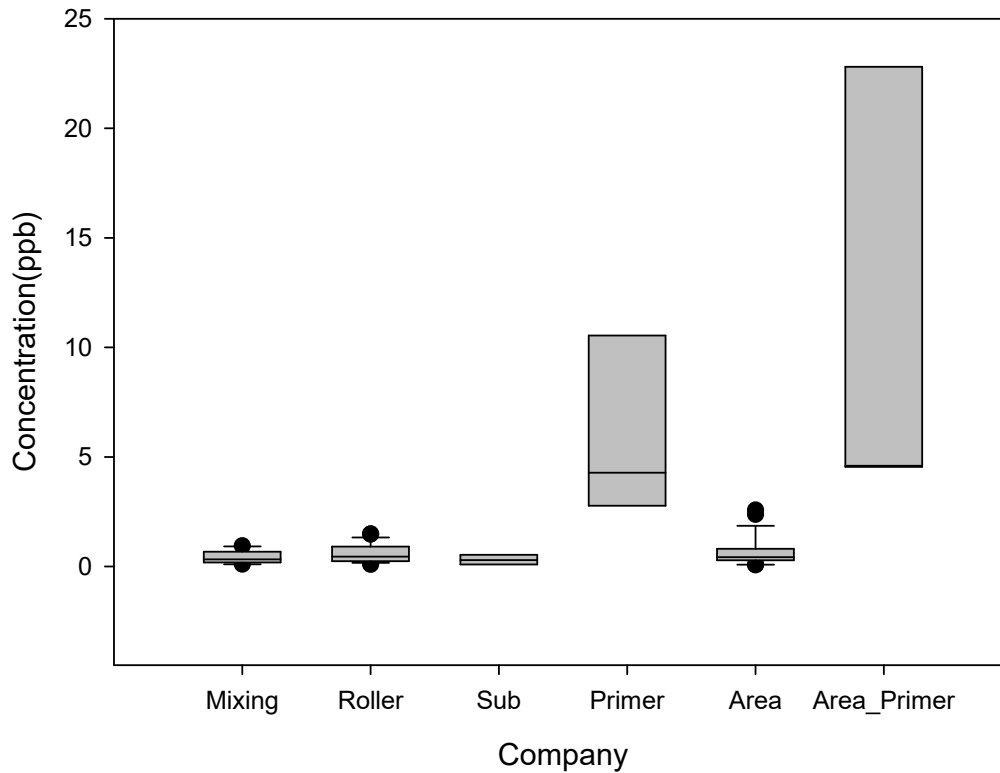
※ n: 시료수, Distribution: 자료분포, AM: Arithmetic Mean 산술평균, SD: Standard deviation 표준편차, GM: Geometric Mean 기하평균, GSD: Geometric standard deviation 기하표준편차, Median: 중위수, Range: 농도범위



[그림 III-18] 우레탄 방수 작업별 TDI 농도 수준 _2,4 TDI

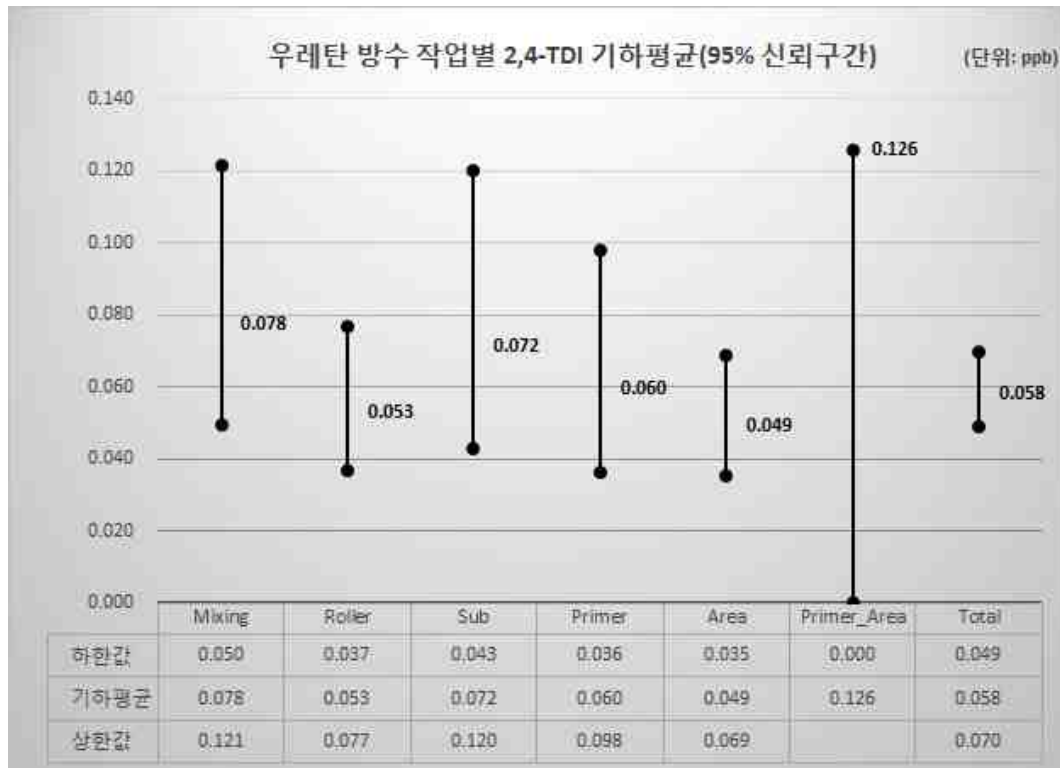
- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업

2,6-TDI_by Working task



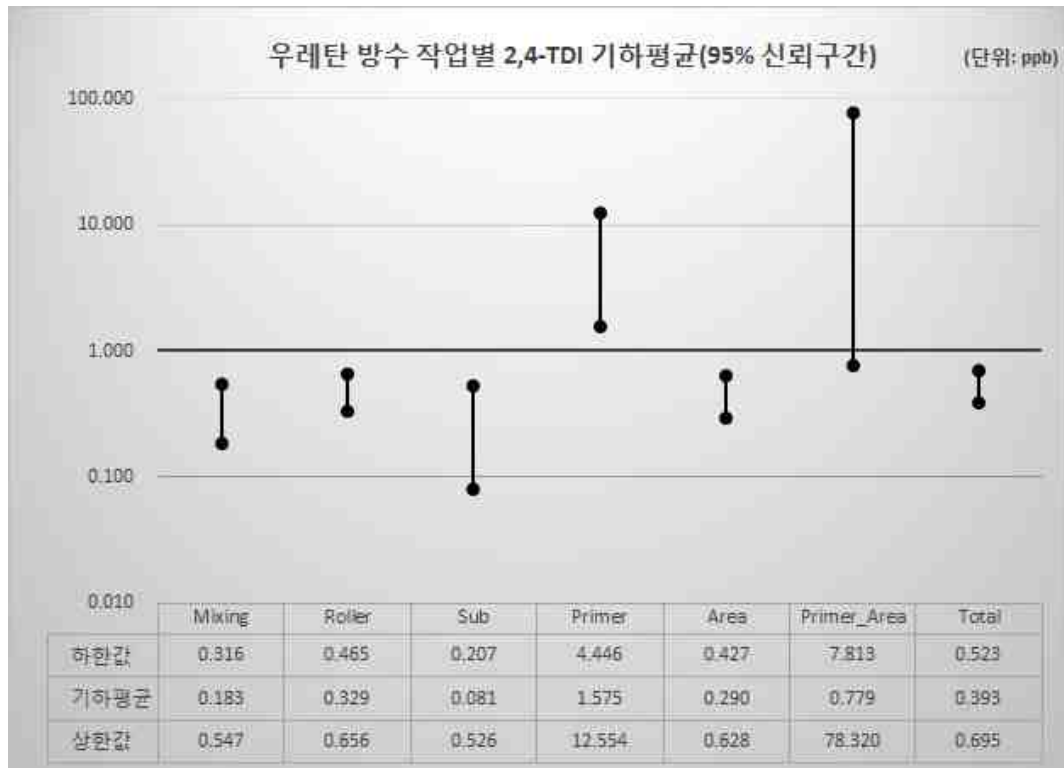
[그림 III-19] 우레탄 방수 작업별 TDI 농도 수준 _2,6 TDI

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업



[그림 Ⅲ-20] 우레탄 방수 작업별 2,4-TDI 기하평균 비교(95% 신뢰구간)

- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업
- ※ Primer_Area 측정치의 기하평균 95% 신뢰구간의 상한값(842 ppb)은 그래프 가독성(可讀性, Readability)을 위하여 작성 시 배제함



[그림 III-21] 우레탄 방수 작업별 2,6-TDI 기하평균 비교(95% 신뢰구간)

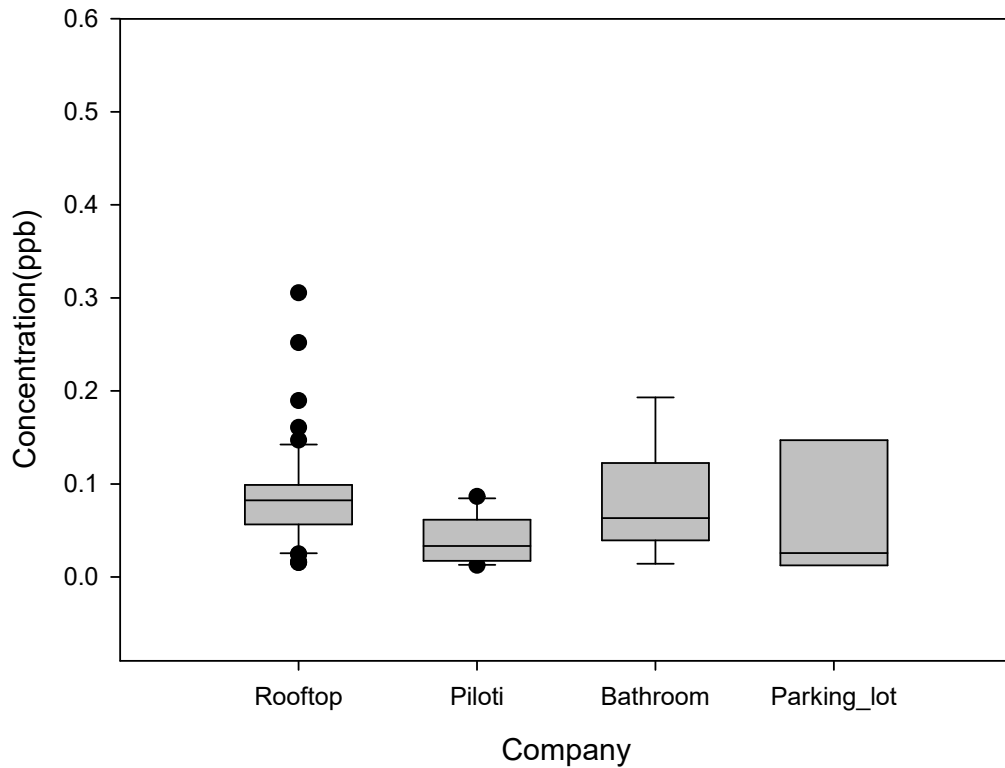
※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업

<표 III-23> 작업장소별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과 (단위: ppb)

작업장소	구분	2,4-TDI	2,6-TDI
옥상 (Rooftop)	n	51	52
	AM±SD	0.084±0.054	1.383±3.419
	GM(GSD)	0.07(1.9)	0.468(3.741)
	Median	0.082	0.411
	Range	0.015~0.305	0.026~22.81
펠로티 바닥 (Piloti)	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
세대 욕실바닥 (Bathroom)	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
지상주차장 노면 (Parking_lot)	n	6	5
	AM±SD	0.1±0.196	3.877±7.298
	GM(GSD)	0.032(4.157)	0.849(7.118)
	Median	0.026	0.462
	Range	0.01~0.5	0.083~16.9
작업장소별 평균농도 T test분석		$p < 0.05$	$p > 0.05$

※ n: 시료수, Distribution: 자료분포, AM: Arithmetic Mean 산술평균, SD: Standard deviation 표준편차, GM: Geometric Mean 기하평균, GSD: Geometric standard deviation 기하표준편차, Median: 중위수, Range: 농도범위

2,4-TDI_by Working Place



[그림 III-22] 작업장소별 2,4-TDI 농도 비교

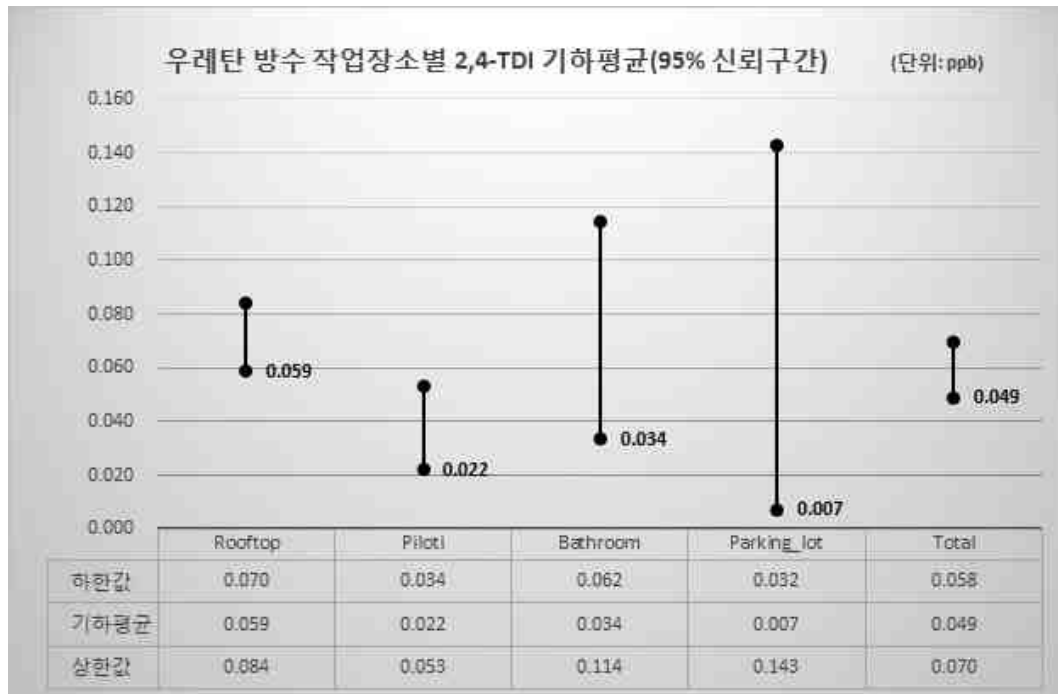
- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥

2,6-TDI_by Working Place



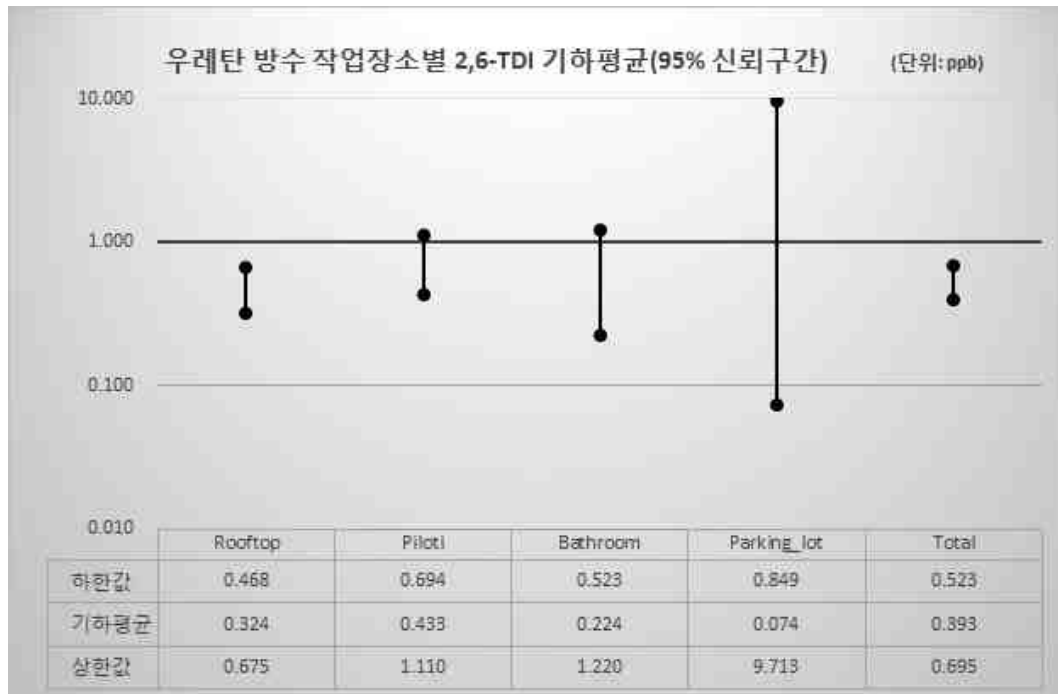
[그림 III-23] 작업장소별 2,6-TDI 농도 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥



[그림 III-24] 작업장소별 2,4-TDI 기하평균 비교(95% 신뢰구간)

※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥



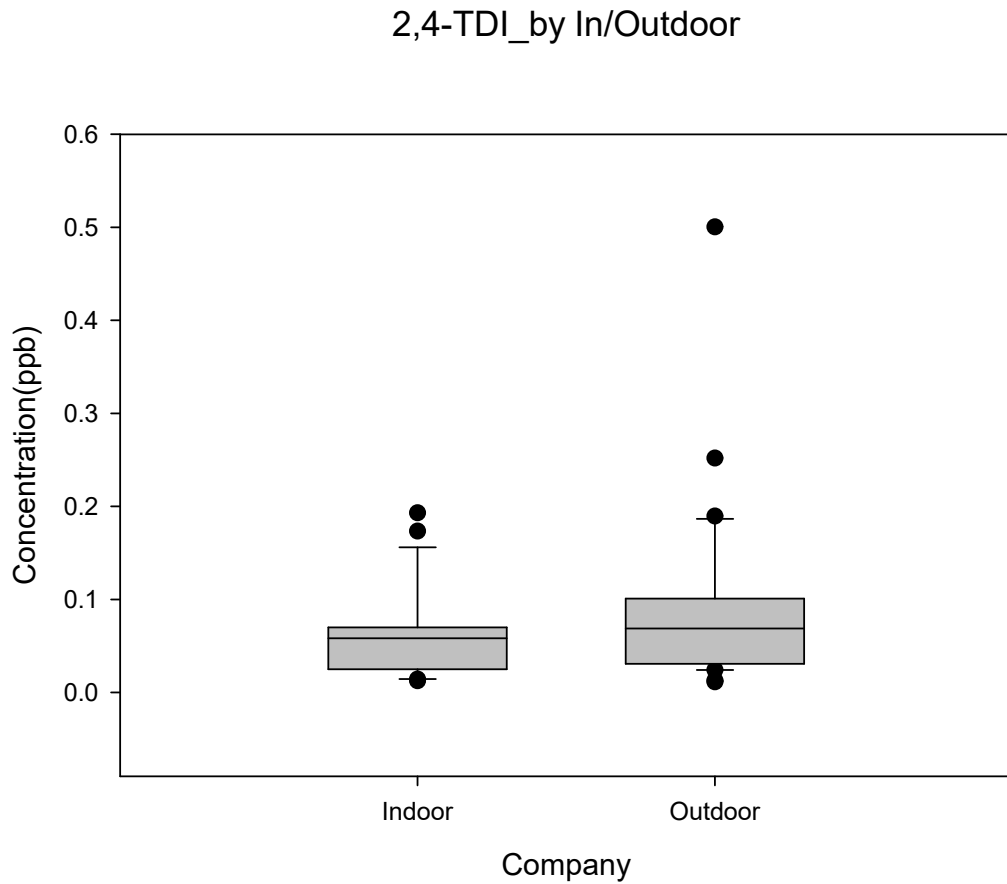
[그림 III-25] 작업장소별 2,6-TDI 기하평균 비교(95% 신뢰구간)

※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥

<표 III-24> 작업장소별 우레탄 방수 이소시아네이트 노출평가 결과 (단위: ppb)

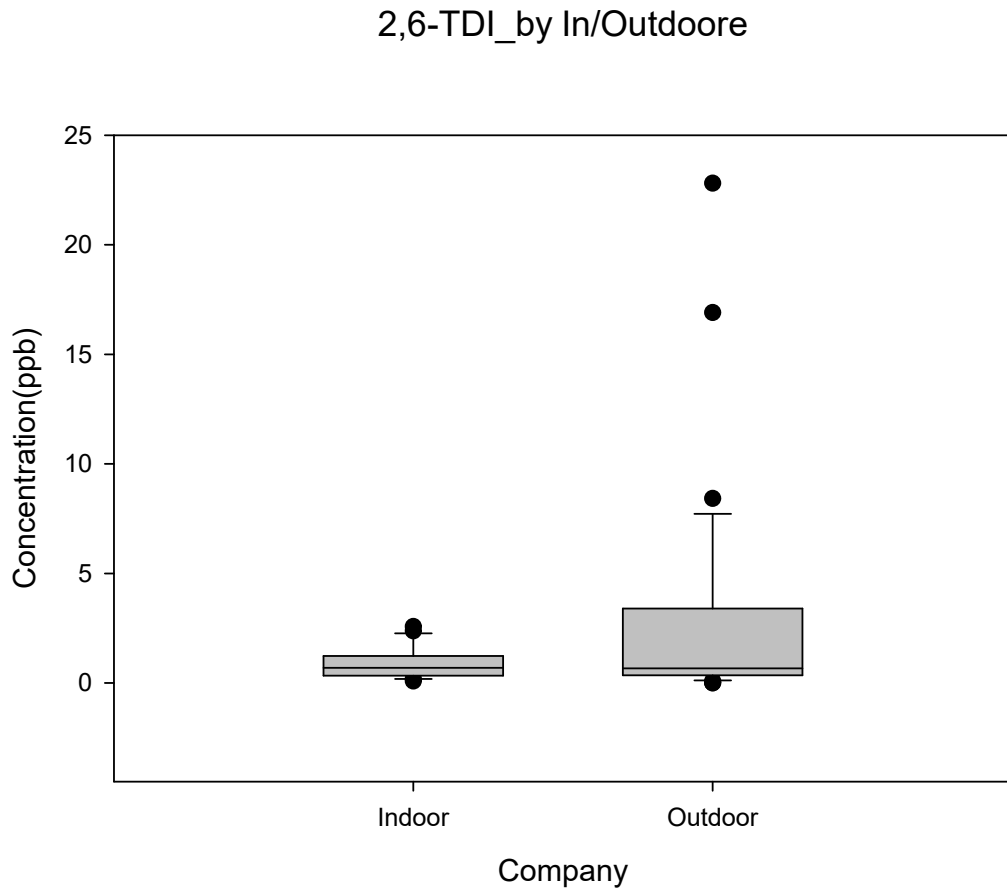
구분	구분	2,4-TDI	2,6-TDI
실내 (Indoor)	n	21	21
	AM±SD	0.058±0.047	0.864±0.71
	GM(GSD)	0.044(2.171)	0.615(2.456)
	Median	0.058	0.694
	Range	0.012~0.193	0.08~2.576
실외 (Ourdoor)	n	57	57
	AM±SD	0.086±0.078	1.602±3.867
	GM(GSD)	0.065(2.181)	0.493(3.953)
	Median	0.077	0.427
	Range	0.01~0.5	0.026~22.81
작업장소별 평균농도 T test분석		$p > 0.05$	$p > 0.05$

※ n: 시료수, Distribution: 자료분포, AM: Arithmetic Mean 산술평균, SD: Standard deviation 표준편차, GM: Geometric Mean 기하평균, GSD: Geometric standard deviation 기하표준편차, Median: 중위수, Range: 농도범위



[그림 III-26] 우레탄 방수 작업 실내/외 구분별 2,4-TDI 농도 비교

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%



[그림 III-27] 우레탄 방수 작업 실내/외 구분별 2,6-TDI 농도 비교

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

3) 공기 중 디이소시아네이트 평가방법 비교 _필터법 및 임핀저법 비교

이소시아네이트 평가방법은 많은 연구자들에 의해 개발되어 왔으며, 다양한 방법이 존재한다. 이번 연구에서는 지역시료 채취방법으로 필터방법(OSHA 42 방법)과 임핀저 방법(NIOSH #5522)을 병행 평가하여 두 평가방법간의 농도 수준을 비교해보았다. 지역시료채취방법을 통해 필터 및 임핀저를 짝을 지어 (paired) 병렬로 두고 시료를 채취하였다. 측정결과가 검출한계 미만인 시료를 제외하고 검출된 시료에 대해 각 측정지점별 필터 농도 대비 임핀저 농도의 비 (ratio)를 구하였다 <표 III-25>. 톨루엔 2,4-디이소시아네이트의 경우 기하평균으로 임핀저 방법이 필터법보다 약 19배 더 높은 농도를 나타내었다. 다만, 대상사업장 및 측정지점에 따른 농도비의 범위가 매우 넓었으며(기하표준편차=7.622), 두 측정방법간의 상관관계($R^2 = 0.1 \sim 0.2$)는 거의 없는 것으로 평가되었다. 다만, 22개 시료 중 3개의 경향성이 다른 시료를 제거하고 SPSS 통계분석 프로그램을 통한 상관관계 분석결과 pearson 상관계수 0.416로 약한 상관관계가 있었으나 통계적으로 유의하지 않았다 ($p>0.05$).

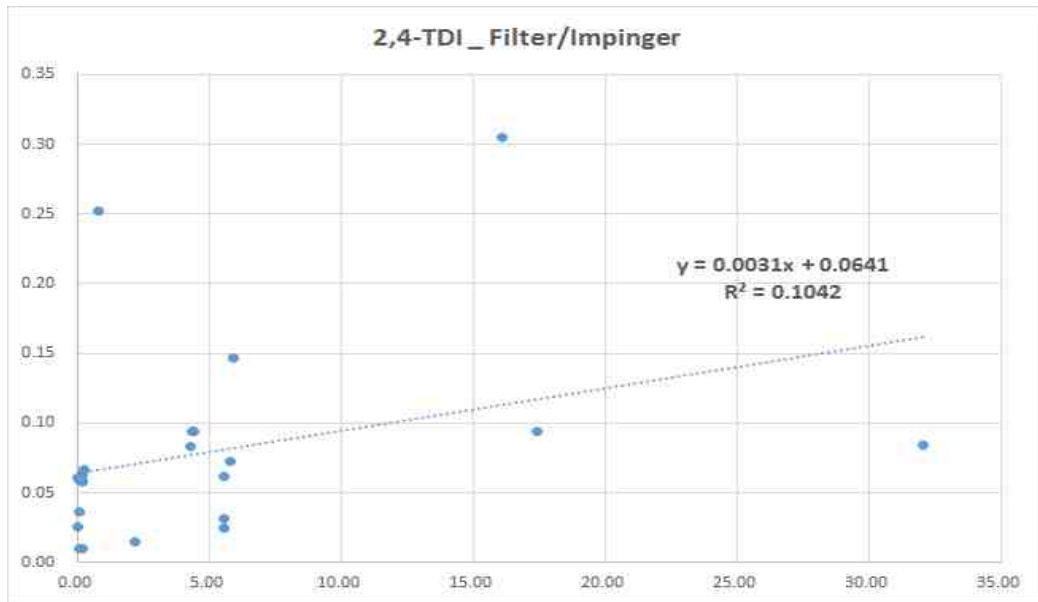
톨루엔 2,6-디이소시아네이트의 경우 기하평균으로 임핀저 방법이 필터법보다 약 5.7배(기하표준편차=2.455) 더 높은 농도를 나타내었다. 두 측정방법간의 상관관계는 30개 시료 중 일부 고농도로 평가된 2개 시료를 제외하였을 때 $R^2 = 0.75$ 로 매우 강한 상관관계가 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 SPSS 통계분석 프로그램을 통한 상관관계 분석결과 pearson 상관계수 0.866 ($p<0.001$) 로 강한 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다. 국내 연구결과에서 일반적으로 공기 중 시료에서는 2,4-TDI 보다 2,6-TDI의 검출농도가 더 높은 것으로 보고되고 있으며(김치년 등, 2009; 노재훈 등, 2006; 박진희, 2003; 강형경 등, 1999; 안연순 등, 1996), 2,6-TDI가 소변 중 생체지표인 2,6-TDA와의 상관관계가 더 좋은 것으로 보고되고 있다(Rosenberg와 Savolainen, 1986).

<표 III-25> 우레탄 방수 작업 필터/임핀저 2,4-TDI 농도 비교

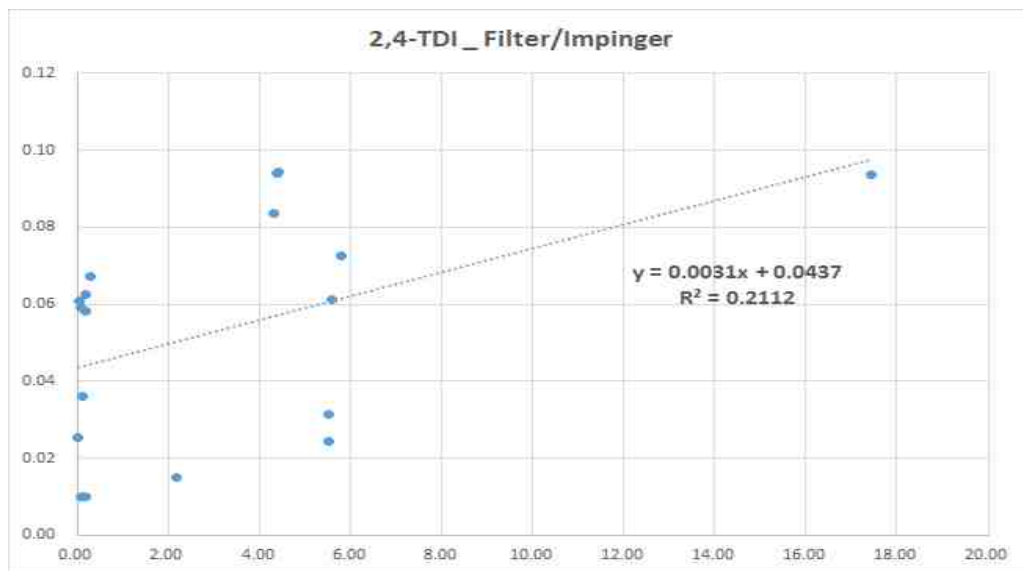
연번	사업장명	측정회차	2,4-TDI (단위: ppb)		Ratio
			Impinger	Filter	(Impinger/Filter)
1	A	DAY 1	4.42	0.09	46.8
2		DAY 1	4.37	0.09	46.5
3		DAY 1	4.31	0.08	51.5
4		DAY 2	17.42	0.09	185.8
5		DAY 2	32.09	0.08	380.9
6		DAY 2	16.09	0.31	52.7
7	B	DAY 1	5.91	0.15	40.2
8		DAY 1	5.57	0.06	90.8
9		DAY 1	5.78	0.07	79.6
10		DAY 2	5.53	0.03	176.4
11		DAY 2	5.52	0.02	227.8
12		DAY 3	0.76	0.25	3.0
13		DAY 3	0.17	0.06	2.7
14		DAY 3	0.19	0.01	19.2
15		DAY 4	0.07	0.01	7.2
16		DAY 4	0.28	0.07	4.1
17	C	DAY 1	0.03	0.06	0.5
18	D	DAY 1	0.18	0.06	3.1
19		DAY 1	0.07	0.06	1.2
20		DAY 2	2.16	0.01	144.1
21		DAY 2	0.10	0.04	2.6
22		DAY 2	0.02	0.03	0.8
기하평균, 기하표준편차(GM (GSD)					19.0 (7.622)
중위수 (Median)					43.4
Pearson 상관계수					0.416 (p=0.086)

<표 Ⅲ-26> 우레탄 방수 작업 필터/임핀저 2,6-TDI 농도 비교

연번	사업장명	측정회차	2,6-TDI (단위: ppb)		Ratio (Impinger/Filter)
			Impinger	Filter	
1	A	DAY 1	1.65	0.08	21.6
2		DAY 2	1.78	0.43	4.2
3		DAY 2	10.22	0.35	28.8
4		DAY 2	100.44	1.55	64.8
5	B	DAY 1	5.34	1.24	4.3
6		DAY 1	1.22	0.44	2.8
7		DAY 1	1.20	0.39	3.0
8		DAY 2	1.52	0.28	5.5
9		DAY 2	2.34	0.28	8.2
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	8.3
14		DAY 4	3.09	0.47	6.6
15		DAY 4	6.13	0.43	14.3
16	C	DAY 1	4.07	2.58	1.6
17		DAY 1	0.76	0.37	2.0
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	D	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		DAY 2	1.53	0.78	2.0
28	E	DAY 1	3.36	0.35	9.7
29		DAY 1	1.58	0.08	19.0
30		DAY 1	3.26	0.46	7.0
기하평균, 기하표준편차(GM (GSD))					5.7 (2.455)
중위수 (Median)					4.9
Pearson 상관계수					0.866 (p < 0.001)

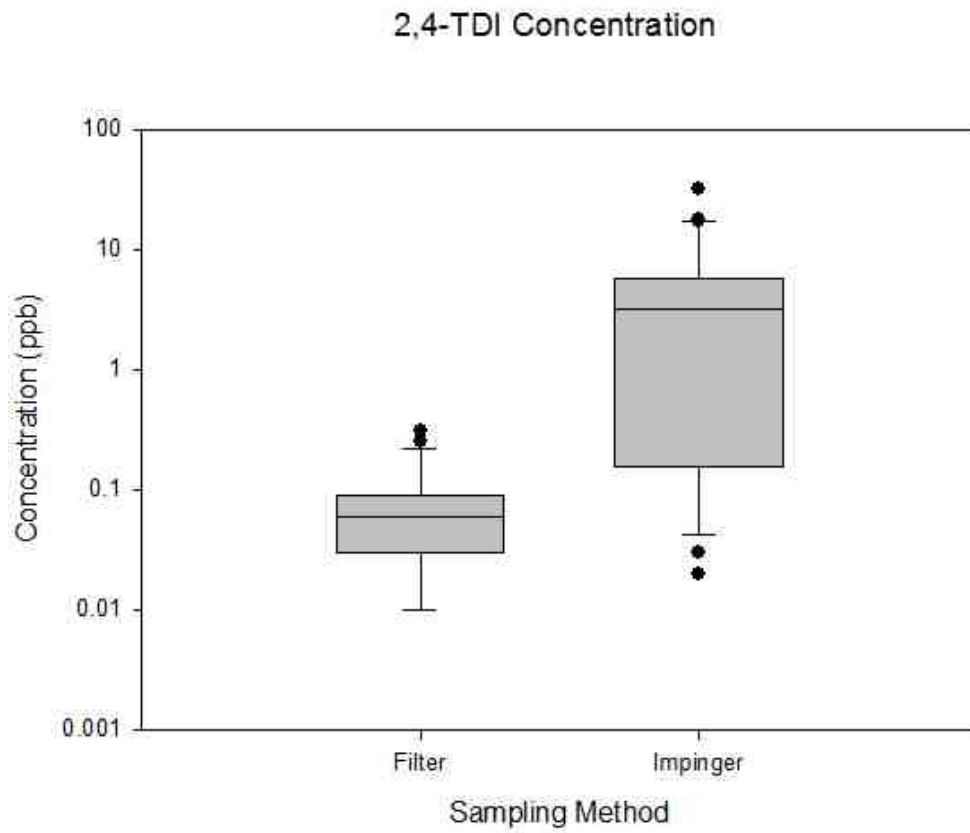


[그림 III-28] 우레탄 방수 작업 필터/임핀저 2,4-TDI 농도 비교



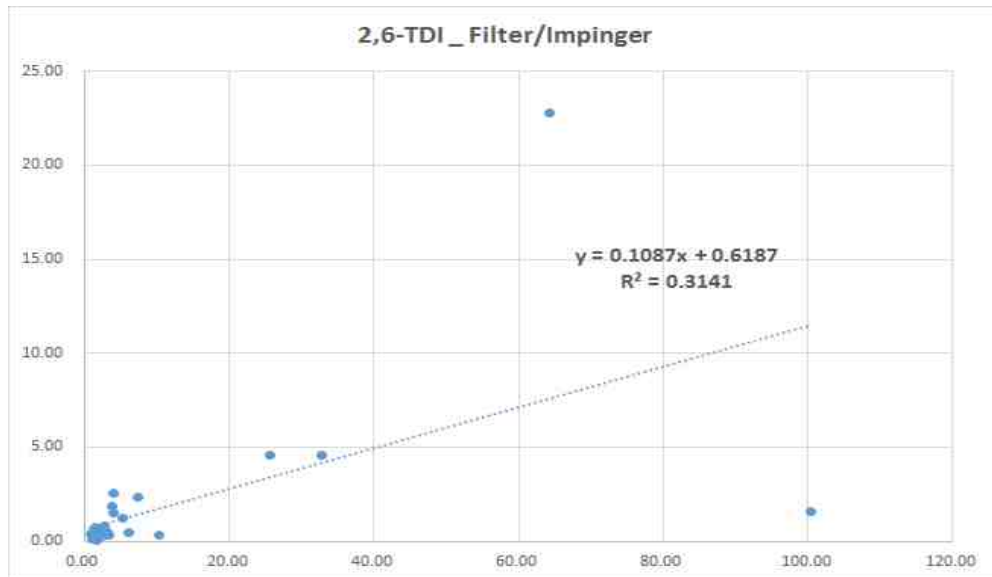
[그림 III-29] 우레탄 방수 작업 필터/임핀저 2,4-TDI 농도 비교

※ Filter 농도 0.10 ppb 이상(n=3) 및 Impinger 30 ppb 이상 시료(n=1) 제거 시 상관관계

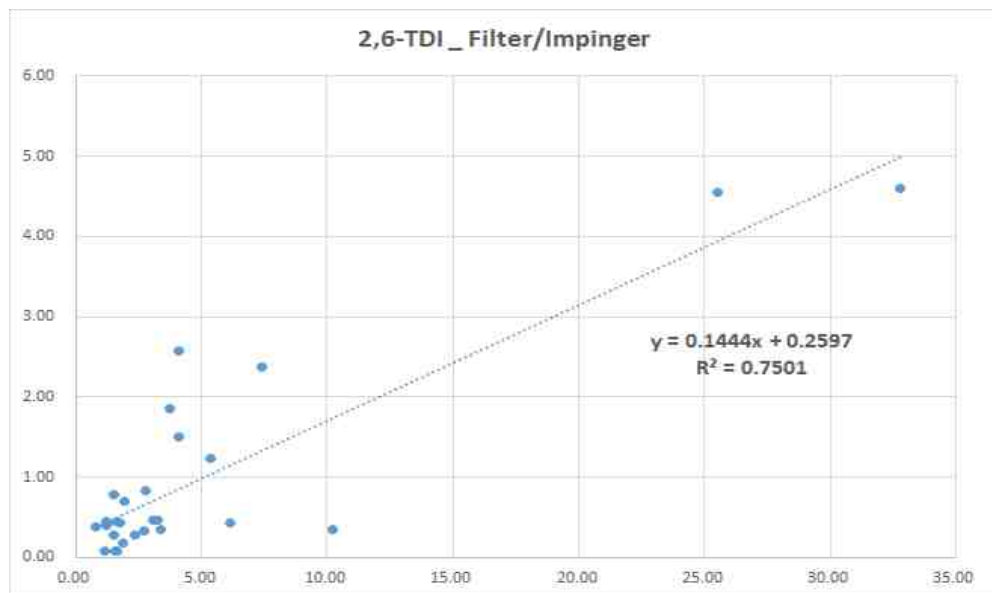


[그림 III-29] 우레탄 방수 작업 필터/임핀저 2,4-TDI 농도 비교

※ Filter 농도 0.10 ppb 이상(n=3) 및 Impinger 30 ppb 이상 시료(n=1) 제거 시 상관관계

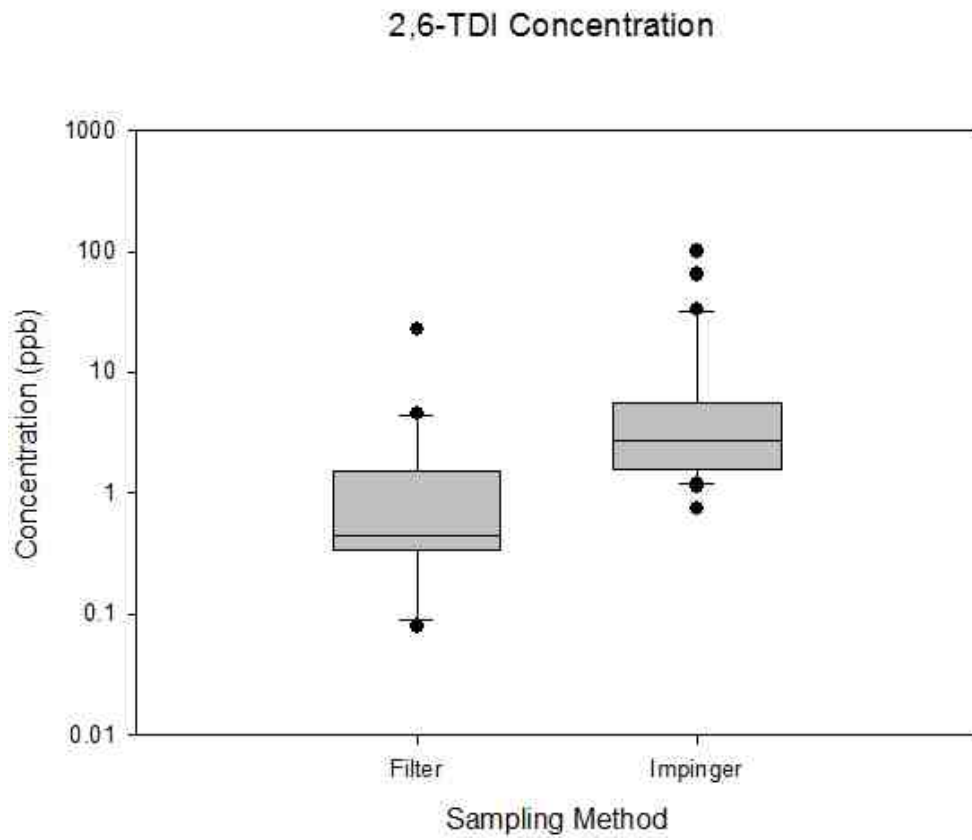


[그림 III-30] 우레탄 방수 작업 필터/임핀저 2,6-TDI 농도 비교



[그림 III-31] 우레탄 방수 작업 필터/임핀저 2,6-TDI 농도 비교

※ Impinger 농도 60 ppb 이상 시료(n=2) 제거 시 상관관계



[그림 III-31] 우레탄 방수 작업 필터/임핀저 2,6-TDI 농도 비교

※ Impinger 농도 60 ppb 이상 시료(n=2) 제거 시 상관관계

4) 우레탄 도장작업 중 휘발성 유기화합물 노출평가 결과

아파트 신축공사 현장의 옥상, 주차장 등에서 실시한 우레탄 도료를 사용한 방수작업에 대한 휘발성 유기화합물 노출평가 결과, 에틸 아세테이트(초산 에틸), 톨루엔, n-부탈아세테이트(노말 초산 부틸), 에틸벤젠, 크실렌이 검출되었다. 사업장별 검출된 물질의 농도 및 휘발성 유기화합물의 혼합물질 평가(Exposure Index, 노출기준 = 1) 결과는 <표 III-27>와 같다.

사업장별 시료에 대한 정규성 검정을 실시한 결과, 옥상작업이 시행된 A, B 사업장에서 정규 및 대수정규분포를 보이지 않았으나 일반적인 시료의 분포 특성은 대수정규분포에 가까웠다. 전체 63개 시료의 휘발성 유기화합물의 혼합물질 평가결과는 기하평균이 0.743(기하표준편차 2.618)로 노출기준의 약 75%수준이었으며, 25개 시료(39.7%)는 노출기준을 초과하는 수준이었다. 농도범위는 0.07 ~ 3.4이었고 노출기준의 두배를 초과하는 2 이상 시료도 8개 시료(12.7%)가 있었다. 혼합물질 평가에서 가장 큰 영향을 미치는 물질은 톨루엔으로 노출기준 50 ppm을 초과하는 시료가 17개(27%) 있었고, 에틸벤젠과 크실렌도 각 2개 시료가 노출기준 100 ppm을 초과하였다.

사업장별 휘발성 유기화합물의 혼합물질 평가(EI) 결과를 살펴보면, 사업장에 따라 서로 통계적으로 유의하게 다른 것으로 분석되었으나($p < 0.05$), 사후분석 결과에 따르면, A 사업장이 타 사업장과 비교하여 통계적으로 유의하게 농도수준이 낮았고, 다른 네 개 사업장의 농도수준은 통계적으로 유의하게 다르지는 않았다. 다만 세대내부 욕실 방수작업인 실내작업에서 기하평균이 노출기준을 초과하는 정도로 가장 높은 농도수준을 나타내었고, 다음으로 반 실내공간이라고 볼 수 있는 필로티 층(1층)에서 기하평균 0.885로 두 번째로 노출농도가 높게 나타나, 작업공간의 특성에 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 또한 혼합물질 평가에 가장영향을 많이 주는 물질은 톨루엔이었으며, 물질별로 살펴보면

크실렌 및 에틸 아세테이트(초산부틸)의 경우, 사업장별 농도가 각각 상이하게 나타났다.

사업장별 측정일간 농도변이를 살펴보면, 4일간 측정을 실시하였던 사업장 B를 제외하면 일간 농도수준의 차이는 통계적으로 유의하게 없는 것으로 평가되었다. 사업장 B의 경우 3일째 측정일(DAY 3)에 농도수준이 통계적으로 유의하게 높았는데, 해당일에는 프라이머 도료 도포작업이 시행된 날로 수지 도료와 비교하여 용제의 함량이 높은 특성이 영향을 미친 것으로 평가된다.

개인시료와 지역시료간의 농도차이를 살펴보면, 혼합물질 평가 결과에서는 통계적으로 차이가 없었으나, 크실렌과 노말 초산 부틸 농도는 개인시료와 지역시료간의 통계적으로 유의한 차이를 보였고($p < 0.05$), 사업장 E에서 두 물질의 농도수준이 차이가 난 것이 주요 원인이었다. 사업장 B, C, D 사업장에서는 개인시료와 지역시료에 농도 차이는 없었다.

작업종류에 따라서 휘발성 유기화합물에 노출되는 농도수준은 상이하였는데, 롤러작업과 프라이머 작업에서 휘발성 유기화합물 노출농도 수준이 높았는데, 특히 롤러작업에서는 톨루엔 노출농도가 유의하게 높았고, 프라이머 작업에서는 에틸벤젠 농도가 유의하게 높았다.

작업장소에 따라서는 혼합물질 평가 결과에서는 통계적으로는 차이가 없었으나, 세대 내부 욕실바닥과 필로티층 바닥에서 기하평균 농도는 높았다. 다만, 톨루엔과 에틸벤젠은 작업장소에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

실내와 실외 작업장소를 구분하여 농도수준을 비교하면 서로 유의하게 달랐는데, 실내 작업에서 약 2배 정도 높은 농도수준을 나타내었다.

<표 III- 27> 사업장별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과 (단위: ppm)

사업장	구분	Ethyl Acetate	Toluene*	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene**	xylene	Exposure Index
노출기준	-	400	50	150	100	100	1
전체	<i>n</i>	63	63	63	63	63	63
	<i>AM±SD</i>	5.387±10.353	35.964±39.444	2.848±5.444	9.453±18.509	22.573±28.599	1.073±0.822
	<i>GM(GSD)</i>	1.469(4.423)	14.752(4.915)	1.105(3.151)	3.79(3.649)	10.241(3.8)	0.743(2.618)
	<i>Median</i>	0.5	24.22	0.6	4.67	10.57	0.77
	<i>Range</i>	0.5~42.21	1.5~146.41	0.6~26.77	1~103.14	2~113.98	0.07~3.4
A	<i>n</i>	10	10	10	10	10	10
	<i>AM±SD</i>	N.D.	3.728±3.603	3.89±4.847	1.704±1.373	22.649±16.759	0.346±0.263
	<i>GM(GSD)</i>	N.D.	2.663(2.248)	1.798(3.737)	1.403(1.807)	14.451(3.33)	0.254(2.435)
	<i>Median</i>	N.D.	1.5	0.925	1	24.62	0.31
	<i>Range</i>	N.D.	1.5~11.68	0.6~13.99	1~5.16	2~54.17	0.07~0.88
B	<i>n</i>	27	27	27	27	27	27
	<i>AM±SD</i>	4.368±10.516	48.962±50.31	N.D.	13.02±27.302	10.475±21.485	1.23±0.922
	<i>GM(GSD)</i>	1.003(4.087)	14.926(7.098)	N.D.	3.087(4.955)	4.091(3.139)	0.818(2.83)
	<i>Median</i>	0.5	27.49	N.D.	1	2	1.36
	<i>Range</i>	0.5~39.63	1.5~146.41	N.D.	1~103.14	2~82.79	0.09~2.96

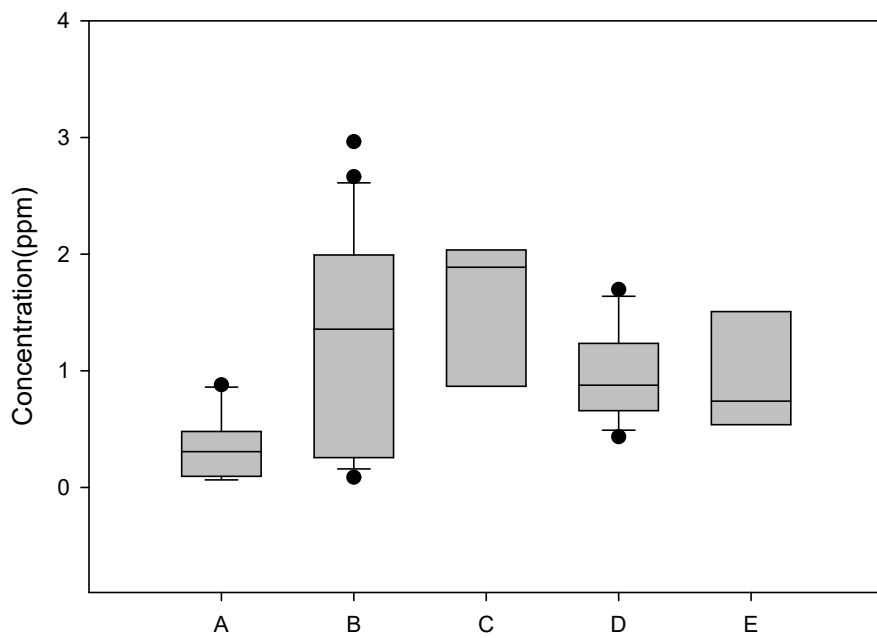
* 생식독성 2 (사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 의심할 정도의 사람 또는 동물시험 증거가 있는 물질)

** 발암성 2 (사람이나 동물에서 제한된 증거가 있지만, 구분 1로 표기하기에는 증거가 충분하지 않은 물질)

<표 III-27> 사업장별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

사업장	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
노출기준	-	400	50	150	100	100	1
C	<i>n</i>	8	8	8	8	8	8
	<i>AM±SD</i>	3.138±5.3	34.654±22.858	12.359±9.779	13.716±7.65	66.464±39.594	1.585±0.664
	<i>GM(GSD)</i>	1.24(3.83)	28.249(2.045)	7.163(3.951)	9.943(2.966)	53.553(2.143)	1.399(1.826)
	<i>Median</i>	0.5	32.765	11.795	16.085	71.4	1.885
	<i>Range</i>	0.5~15.85	8.08~80.64	0.6~26.77	1~21.2	17.11~113.98	0.47~2.18
D	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12
	<i>AM±SD</i>	13.449±14.111	36.487±15.713	N.D.	6.073±2.27	12.272±4.839	0.95±0.378
	<i>GM(GSD)</i>	7.66(3.173)	33.723(1.506)	N.D.	5.604(1.575)	11.06(1.72)	0.885(1.483)
	<i>Median</i>	6.755	31.645	N.D.	5.945	12.225	0.875
	<i>Range</i>	1.32~42.21	18.45~69.56	N.D.	1.78~10.42	2.56~21.16	0.43~1.7
E	<i>n</i>	6	6	6	6	6	6
	<i>AM±SD</i>	4.992±7.672	31.898±42.643	3.043±2.221	7.388±4.98	38.965±23.236	1.135±1.12
	<i>GM(GSD)</i>	2.267(3.719)	19.528(2.615)	2.142(2.802)	6.323(1.807)	33.844(1.798)	0.873(2.02)
	<i>Median</i>	2.03	15.335	3.31	5.66	32.22	0.74
	<i>Range</i>	0.5~20.42	7.74~118.21	0.6~6.05	2.79~17	13.71~81.44	0.5~3.4
사업장별 평균농도 ANOVA 분석		<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> < 0.05

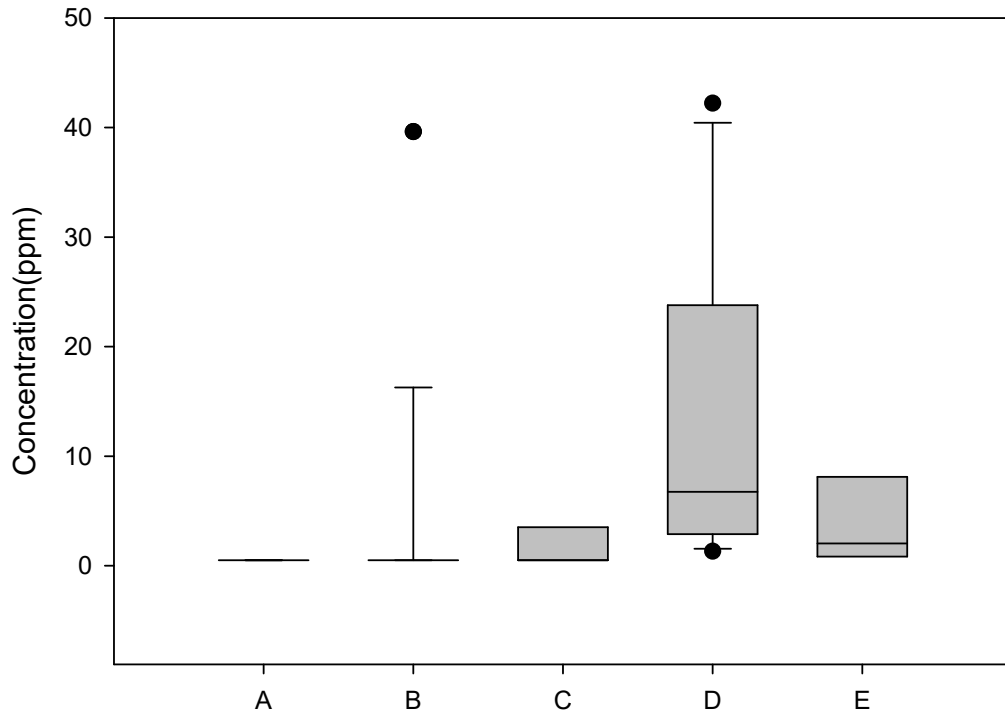
Total VOC_Exposure Index by Company



[그림 III-32] 사업장별 휘발성 유기화합물 혼합물질 평가(EI) 결과 비교

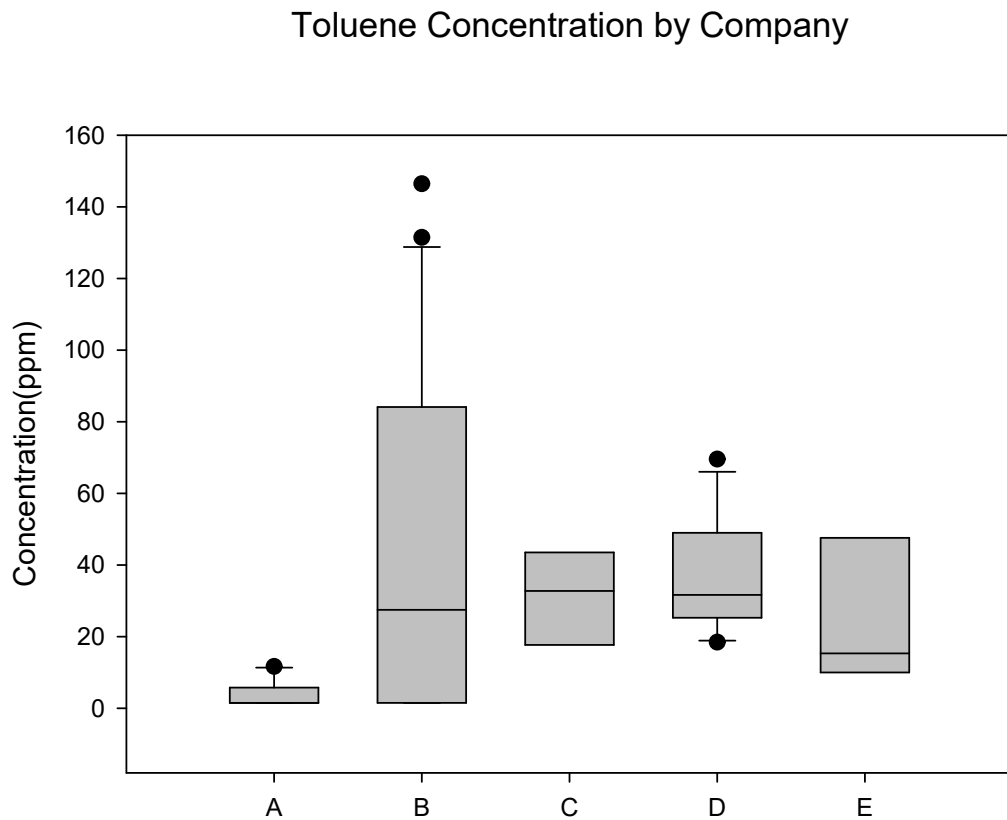
※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

Ethyl Acetate Concentration by Company



[그림 III-33] 사업장별 초산에틸(Ethyl Acetate) 결과 비교

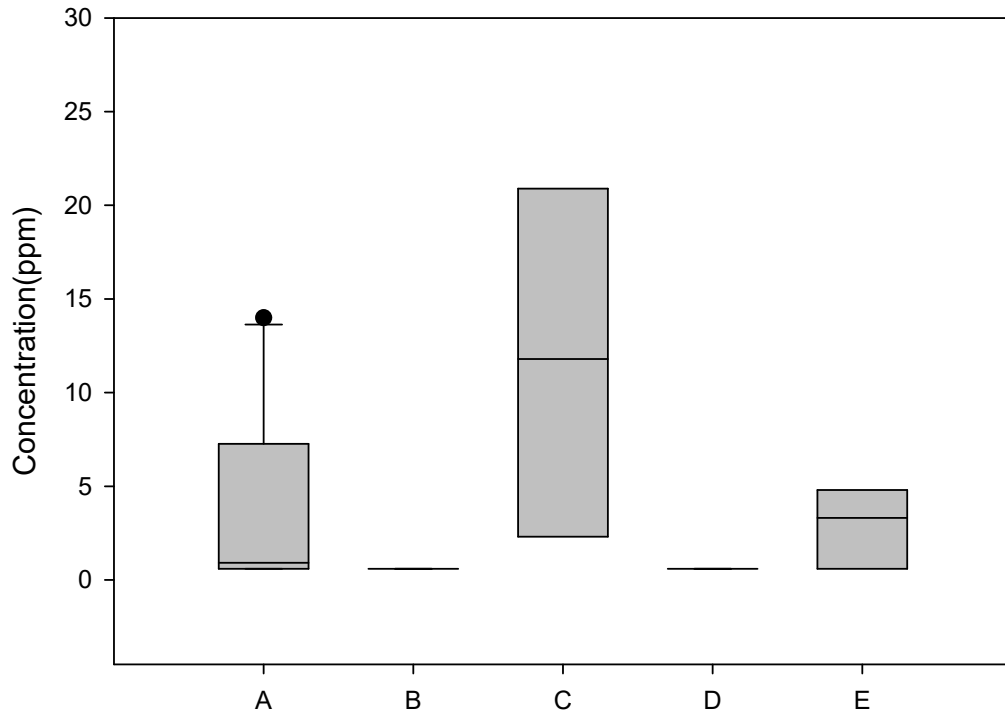
※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%



[그림 III-34] 사업장별 톨루엔(Toluene) 평가 결과 비교

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%,
 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

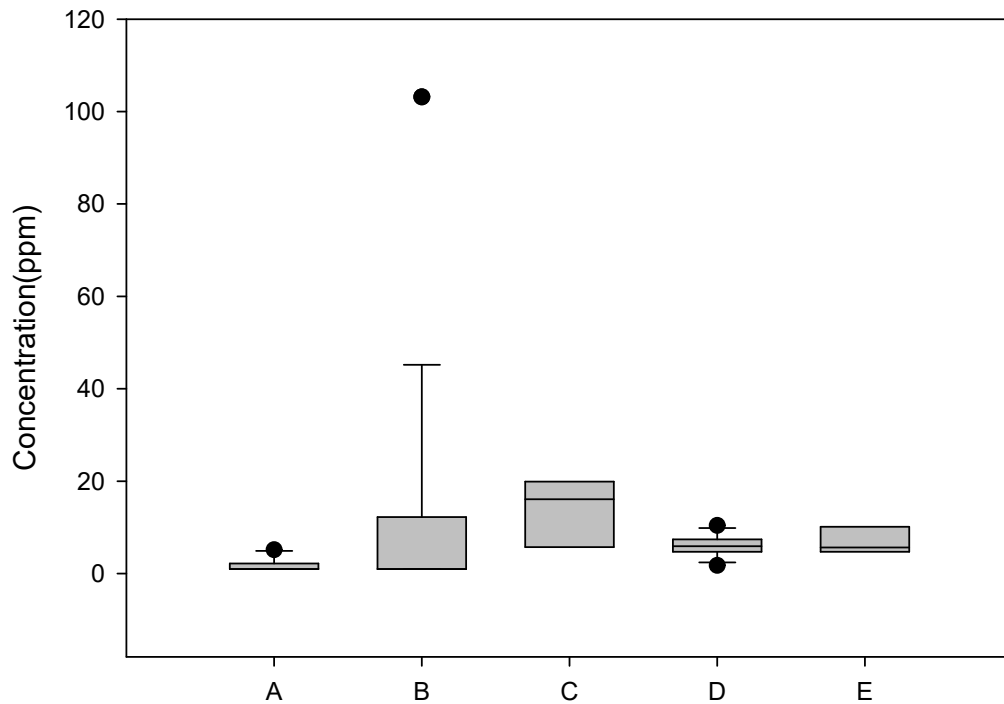
n-Buthyl Acetate Concentration by Company



[그림 III-35] 사업장별 노말초산부틸(n-Buthyl Acetate) 평가 결과 비교

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%,
 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

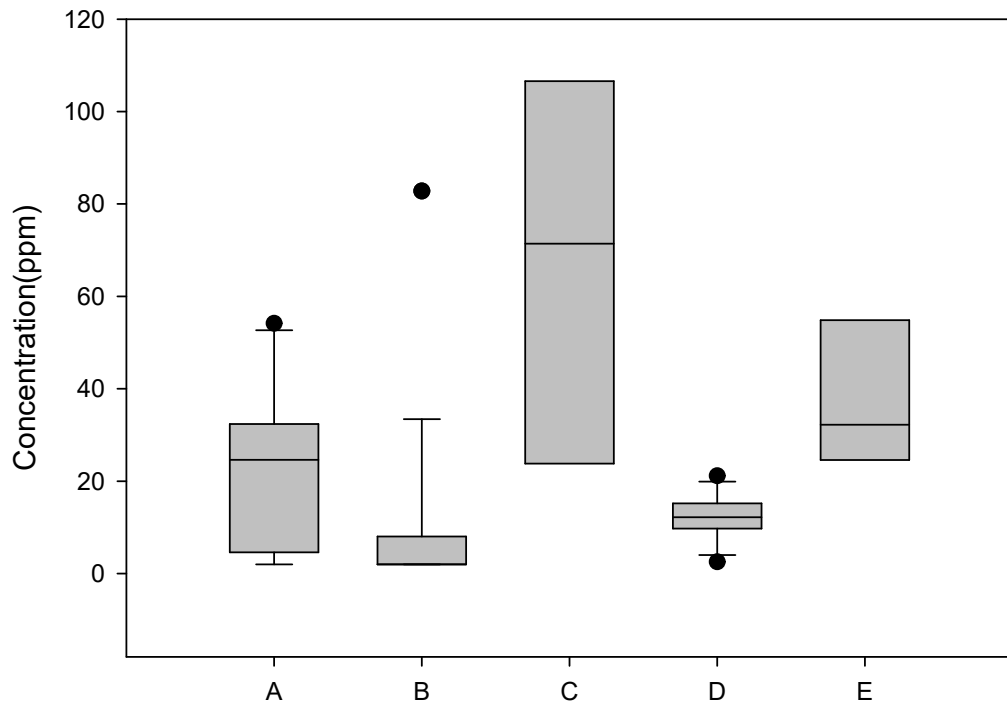
Ethyl Benzene Concentration by Company



[그림 III-36] 사업장별 에틸벤젠(Ethyl Benzene) 평가 결과 비교

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

Xylene Concentration by Company



[그림 Ⅲ-37] 사업장별 크실렌(Xylene) 평가 결과 비교

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%,
 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

<표 III-28> 사업장 측정일별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과 (단위: ppm)

사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
A	Day 1	n	5	5	5	5	5	5
		AM±SD	N.D.	3.92±2.896	4.502±4.007	2.408±1.734	17.612±15.001	0.308±0.25
		GM(GSD)	N.D.	3.136(2.124)	2.871(3.236)	1.967(2.03)	11.239(3.339)	0.223(2.6)
		Median	N.D.	3.26	4.01	1.95	17.17	0.28
		Range	N.D.	1.5~8.44	0.6~10.44	1~5.16	2~39.22	0.07~0.68
	Day 2	n	5	5	5	5	5	5
		AM±SD	N.D.	3.536±4.553	3.278±5.988	N.D.	27.686±18.534	0.384±0.299
		GM(GSD)	N.D.	2.261(2.504)	1.126(4.089)	N.D.	18.581(3.605)	0.291(2.48)
		Median	N.D.	1.5	0.6	N.D.	27.1	0.32
		Range	N.D.	1.5~11.68	0.6~13.99	N.D.	2~54.17	0.07~0.88
측정일별 평균농도 T-test 분석			-	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$
B	Day 1	n	7	7	7	7	7	7
		AM±SD	N.D.	59.796±43.273	N.D.	N.D.	N.D.	1.234±0.865
		GM(GSD)	N.D.	37.828(3.773)	N.D.	N.D.	N.D.	0.847(3.129)
		Median	N.D.	69.58	N.D.	N.D.	N.D.	1.43
		Range	N.D.	2.55~128.11	N.D.	N.D.	N.D.	0.09~2.6

<표 III-28> 사업장 측정일별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
B	Day 2	n	6	6	6	6	6	6
		AM±SD	N.D.	65.852±34.895	N.D.	N.D.	N.D.	1.353±0.698
		GM(GSD)	N.D.	57.237(1.84)	N.D.	N.D.	N.D.	1.187(1.8)
		Median	N.D.	69.73	N.D.	N.D.	N.D.	1.43
		Range	N.D.	26.32~118.27	N.D.	N.D.	N.D.	0.56~2.4
	Day 3	n	10	10	10	10	10	10
		AM±SD	10.944±15.595	N.D.	N.D.	33.454±37.637	24.882±31.1	0.646±0.724
		GM(GSD)	3.278(6.07)	N.D.	N.D.	20.975(2.609)	13.812(2.945)	0.41(2.566)
		Median	3.66	N.D.	N.D.	13.26	8.04	0.26
		Range	0.5~39.63	N.D.	N.D.	7.88~103.14	4.46~82.79	0.16~1.99
	Day 4	n	4	4	4	4	4	4
		AM±SD	N.D.	123.325±20.87 4	N.D.	N.D.	N.D.	2.5±0.415
		GM(GSD)	N.D.	121.952(1.191)	N.D.	N.D.	N.D.	2.473(1.187)
		Median	N.D.	124.85	N.D.	N.D.	N.D.	2.53
		Range	N.D.	97.19~146.41	N.D.	N.D.	N.D.	1.98~2.96
측정일별 평균농도 ANOVA 분석			p < 0.05	p < 0.05	p > 0.05	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05

<표 III-28> 사업장 측정일별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
C	Day 1	n	4	4	4	4	4	4
		AM±SD	5.775±6.856	46.005±26.179	7.435±5.206	11.93±5.847	45.433±30.661	1.558±0.655
		GM(GSD)	3.077(4.122)	39.997(1.898)	5.609(2.627)	10.327(2.007)	37.041(2.144)	1.411(1.762)
		Median	3.375	43.175	7.92	13.68	42.87	1.775
		Range	0.5~15.85	17.03~80.64	1.55~12.35	3.72~16.64	17.11~78.88	0.61~2.07
	Day 2	n	4	4	4	4	4	4
		AM±SD	N.D.	23.303±13.791	17.283±11.463	15.503±9.688	87.495±39.222	1.613±0.773
		GM(GSD)	N.D.	19.951(1.973)	9.148(6.172)	9.573(4.51)	77.426(1.898)	1.387(2.063)
		Median	N.D.	21.91	20.88	19.905	103.1	1.9
		Range	N.D.	8.08~41.31	0.6~26.77	1~21.2	29.8~113.98	0.47~2.18
측정일별 평균농도 T-test 분석			$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$

<표 III-28> 사업장 측정일별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
D	Day 1	n	6	6	6	6	6	6
		AM±SD	13.307±14.586	43.338±16.89	N.D.	6.543±2.104	13.318±4.307	1.102±0.41
		GM(GSD)	6.586(4.057)	40.829(1.451)	N.D.	6.302(1.338)	12.815(1.343)	1.042(1.434)
		Median	7.27	37.26	N.D.	5.945	12.225	0.965
		Range	1.32~36.28	28~69.56	N.D.	4.67~10.42	9.51~21.16	0.71~1.7
	Day 2	n	6	6	6	6	6	6
		AM±SD	13.592±15.009	29.635±12.051	N.D.	5.603±2.526	11.225±5.507	0.798±0.302
		GM(GSD)	8.911(2.605)	27.854(1.458)	N.D.	4.984(1.786)	9.544(2.039)	0.752(1.468)
		Median	6.755	27.685	N.D.	5.925	12.395	0.765
		Range	3.41~42.21	18.45~51.24	N.D.	1.78~8.58	2.56~17.04	0.43~1.29
측정일별 평균농도 T-test 분석			$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$
E	Day 1	n	6	6	6	6	6	6
		AM±SD	4.992±7.672	31.898±42.643	3.043±2.221	7.388±4.98	38.965±23.236	1.135±1.12
		GM(GSD)	2.267(3.719)	19.528(2.615)	2.142(2.802)	6.323(1.807)	33.844(1.798)	0.873(2.02)
		Median	2.03	15.335	3.31	5.66	32.22	0.74
		Range	0.5~20.42	7.74~118.21	0.6~6.05	2.79~17	13.71~81.44	0.5~3.4

<표 III-29> 사업장 개인 vs 지역별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과 (단위: ppm)

사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
전체	Total	<i>n</i>	63	63	63	63	63	63
		<i>AM±SD</i>	5.387±10.353	35.964±39.444	2.848±5.444	9.453±18.509	22.573±28.599	1.073±0.822
		<i>GM(GSD)</i>	1.469(4.423)	14.752(4.915)	1.105(3.151)	3.79(3.649)	10.241(3.8)	0.743(2.618)
		<i>Median</i>	0.5	24.22	0.6	4.67	10.57	0.77
		<i>Range</i>	0.5~42.21	1.5~146.41	0.6~26.77	1~103.14	2~113.98	0.07~3.4
	개인	<i>n</i>	46	46	46	46	46	46
		<i>AM±SD</i>	6.285±11.73	40.362±45.049	2.178±4.787	10.297±21.354	18.054±24.109	1.122±0.906
		<i>GM(GSD)</i>	1.471(4.975)	12.837(6.189)	0.91(2.723)	3.453(4.023)	8.253(3.643)	0.714(2.965)
		<i>Median</i>	0.5	21.96	0.6	2.37	8.04	0.86
		<i>Range</i>	0.5~42.21	1.5~146.41	0.6~26.77	1~103.14	2~96.1	0.07~3.4
	지역	<i>n</i>	17	17	17	17	17	17
		<i>AM±SD</i>	2.958±4.442	24.062±10.722	4.661±6.753	7.168±6.114	34.799±36.291	0.939±0.534
		<i>GM(GSD)</i>	1.462(3.165)	21.488(1.685)	1.864(3.943)	4.877(2.653)	18.363(3.697)	0.826(1.65)
		<i>Median</i>	1.23	24.4	0.6	5.35	21.82	0.71
		<i>Range</i>	0.5~18.24	7.74~43.86	0.6~20.9	1~19.95	2~113.98	0.43~1.93
측정위치별 평균농도 <i>T-test</i> 분석			<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> > 0.05

<표 III-29> 사업장 개인 vs 지역별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과 _계속 (단위: ppm)

사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
A	개인	n	10	10	10	10	10	10
		AM±SD	N.D.	3.728±3.603	3.89±4.847	1.704±1.373	22.649±16.759	0.346±0.263
		GM(GSD)	N.D.	2.663(2.248)	1.798(3.737)	1.403(1.807)	14.451(3.33)	0.254(2.435)
		Median	N.D.	1.5	0.925	1	24.62	0.31
		Range	N.D.	1.5~11.68	0.6~13.99	1~5.16	2~54.17	0.07~0.88
B	개인	n	25	25	25	25	25	25
		AM±SD	4.678±10.884	50.704±51.955	N.D.	13.982±28.187	11.153±22.217	1.282±0.94
		GM(GSD)	1.061(4.264)	14.227(7.628)	N.D.	3.378(5.109)	4.332(3.225)	0.84(2.938)
		Median	0.5	27.49	N.D.	1	2	1.43
		Range	0.5~39.63	1.5~146.41	N.D.	1~103.14	2~82.79	0.09~2.96
	지역	n	2	2	2	2	2	2
		AM±SD	N.D.	27.195±1.237	N.D.	N.D.	N.D.	0.58±0.028
		GM(GSD)	N.D.	27.181(1.047)	N.D.	N.D.	N.D.	0.58(1.05)
		Median	N.D.	27.195	N.D.	N.D.	N.D.	0.58
		Range	N.D.	26.32~28.07	N.D.	N.D.	N.D.	0.56~0.6
측정위치별 평균농도 T-test 분석			p > 0.05	p > 0.05	p > 0.05	p > 0.05	p > 0.05	p > 0.05

<표 III-29> 사업장 개인 vs 지역별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
C	개인	n	2	2	2	2	2	2
		AM±SD	8.175±10.854	60.975±27.811	19.56±10.196	18.92±3.224	56.605±55.854	2.125±0.078
		GM(GSD)	2.815(11.519)	57.717(1.605)	18.183(1.728)	18.782(1.187)	40.55(3.388)	2.124(1.037)
		Median	8.175	60.975	19.56	18.92	56.605	2.125
		Range	0.5~15.85	41.31~80.64	12.35~26.77	16.64~21.2	17.11~96.1	2.07~2.18
	지역	n	6	6	6	6	6	6
		AM±SD	1.458±1.495	25.88±14.398	9.958±9.243	11.982±8.087	69.75±38.974	1.405±0.679
		GM(GSD)	0.944(2.68)	22.262(1.882)	5.251(4.289)	8.043(3.31)	58.755(1.991)	1.217(1.903)
		Median	0.5	21.91	7.92	13.68	71.4	1.76
		Range	0.5~3.65	8.08~43.86	0.6~20.9	1~19.95	21.82~113.98	0.47~1.93
측정위치별 평균농도 T-test 분석			<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05

<표 III-29> 사업장 개인 vs 지역별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
D	개인	n	6	6	6	6	6	6
		AM±SD	20.59±16.613	45.272±18.106	N.D.	7.337±2.02	14.767±4.089	1.182±0.393
		GM(GSD)	13.703(2.983)	41.826(1.58)	N.D.	7.106(1.321)	14.305(1.318)	1.123(1.433)
		Median	18.73	46.72	N.D.	7.315	14.69	1.18
		Range	3.41~42.21	19.9~69.56	N.D.	4.95~10.42	10.45~21.16	0.64~1.7
	지역	n	6	6	6	6	6	6
		AM±SD	6.308±6.302	27.702±5.488	N.D.	4.81±1.851	9.777±4.455	0.718±0.177
		GM(GSD)	4.282(2.619)	27.19(1.245)	N.D.	4.42(1.635)	8.55(1.899)	0.698(1.317)
		Median	4.665	29.095	N.D.	4.9	10.005	0.74
		Range	1.32~18.24	18.45~32.85	N.D.	1.78~6.9	2.56~14.34	0.43~0.92
측정위치별 평균농도 T-test 분석			$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$

<표 III-29> 사업장 개인 vs 지역별 우레탄 방수 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

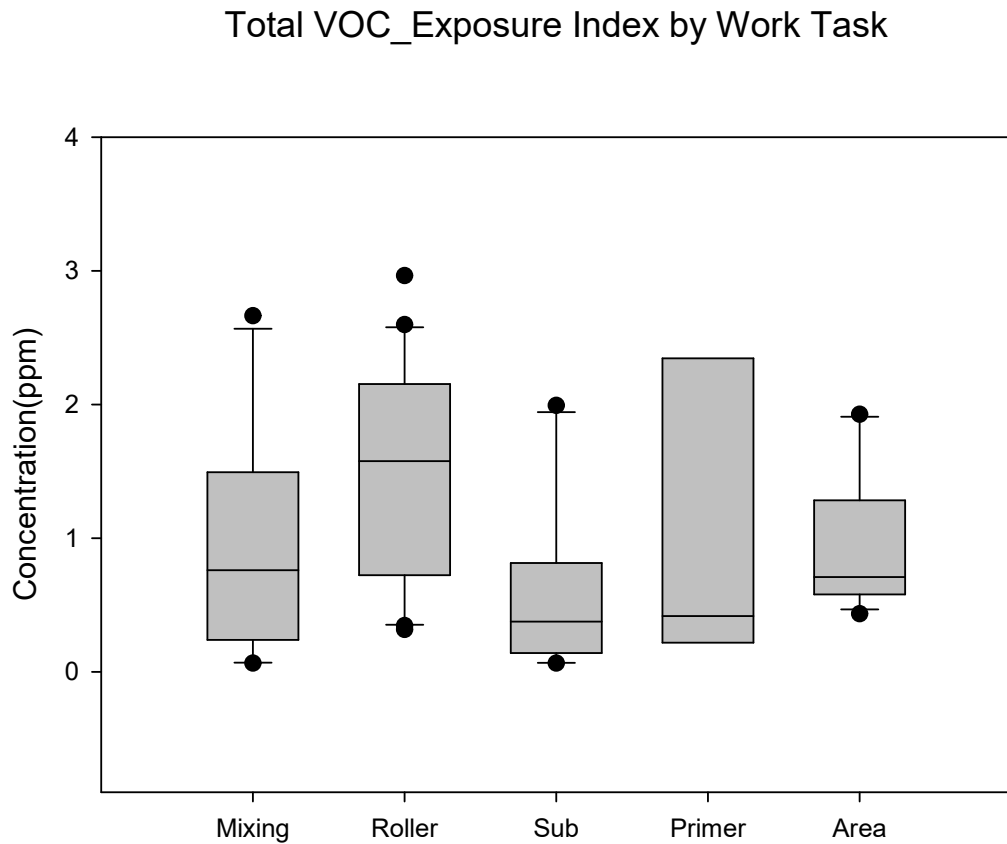
사업장	일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
E	개인	n	3	3	3	3	3	3
		AM±SD	9.09±9.83	52.74±56.841	1.193±1.028	8.41±7.556	41.12±35.663	1.58±1.585
		GM(GSD)	6.147(2.87)	35.675(2.879)	0.95(2.216)	6.366(2.494)	31.581(2.45)	1.126(2.695)
		Median	4.02	24.02	0.6	5.44	28.21	0.84
		Range	2.83~20.42	15.99~118.21	0.6~2.38	2.79~17	13.71~81.44	0.5~3.4
	지역	n	3	3	3	3	3	3
		AM±SD	0.893±0.368	11.057±3.48	4.893±1.005	6.367±1.329	36.81±7.998	0.69±0.171
		GM(GSD)	0.836(1.59)	10.69(1.377)	4.829(1.217)	6.279(1.223)	36.269(1.23)	0.677(1.271)
		Median	0.95	10.75	4.39	5.88	33.09	0.64
		Range	0.5~1.23	7.74~14.68	4.24~6.05	5.35~7.87	31.35~45.99	0.55~0.88
추정위치별 평균농도 T-test 분석			<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05	<i>p</i> > 0.05

<표 III-30> 우레탄 방수 작업별 휘발성 유기화합물 노출평가 결과 (단위: ppm)

일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
배합 (Mixing)	n	10	10	10	10	10	10
	AM±SD	1.159±1.401	35.431±44.669	2.345±4.228	2.501±2.941	14.247±16.348	0.895±0.827
	GM(GSD)	0.749(2.348)	11.964(5.905)	1.07(2.978)	1.621(2.382)	7.473(3.533)	0.535(3.344)
	Median	0.5	15.79	0.6	1	10.505	0.76
	Range	0.5~4.18	1.5~131.43	0.6~13.99	1~8.58	2~54.17	0.07~2.66
롤러작업 (Roller)	n	20	20	20	20	20	20
	AM±SD	7.141±12.867	62.412±44.394	3.358±6.498	4.517±5.657	16.802±22.167	1.502±0.802
	GM(GSD)	1.455(5.654)	36.67(4.048)	1.172(3.522)	2.445(2.987)	7.74(3.811)	1.244(2.001)
	Median	0.5	61.92	0.6	1	10.51	1.575
	Range	0.5~42.21	1.5~146.41	0.6~26.77	1~21.2	2~96.1	0.32~2.96
작업보조	n	10	10	10	10	10	10
	AM±SD	5.955±12.237	12.841±23.015	0.6±0	17.406±31.539	14.612±24.758	0.598±0.644
	GM(GSD)	1.522(4.932)	3.955(4.452)	0.6(1)	5.075(5.316)	6.372(3.512)	0.355(3.031)
	Median	0.5	1.5	0.6	5.335	6.245	0.38
	Range	0.5~39.63	1.5~73.38	0.6~0.6	1~103.14	2~82.79	0.07~1.99

<표 III-30> 우레탄 방수 작업별 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

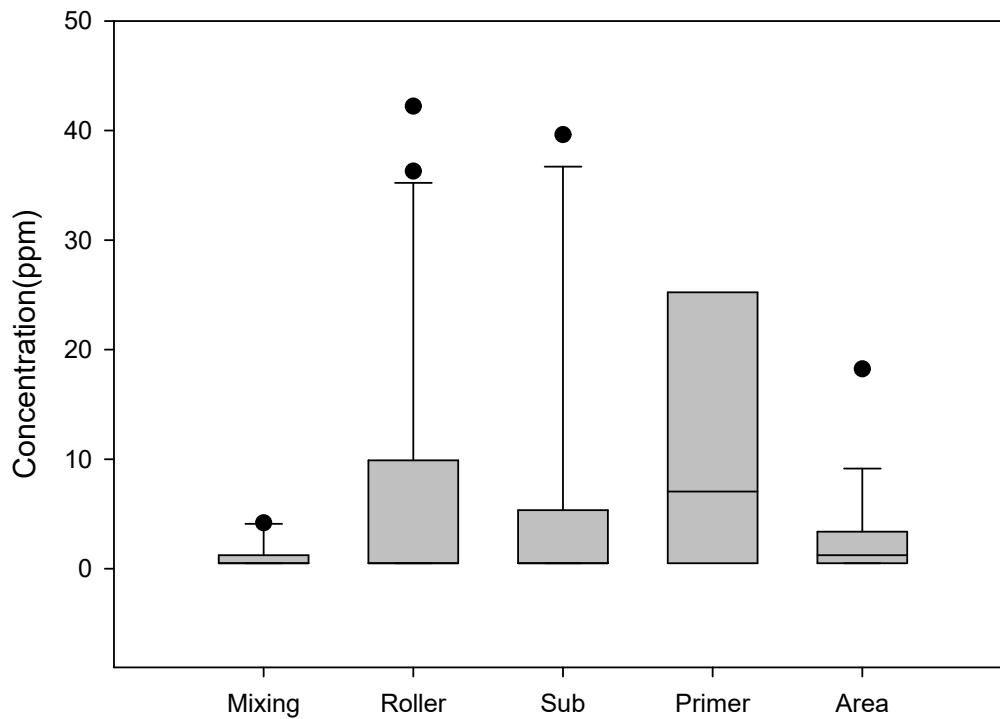
일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
프라이머 작업	n	6	6	6	6	6	6
	AM±SD	12.523±15.292	20.952±47.647	0.6±0	30.712±36.332	34.308±37.465	1.105±1.318
	GM(GSD)	4.446(6.467)	3.106(5.947)	0.6(1)	20.253(2.494)	18.565(3.508)	0.583(3.467)
	Median	7.045	1.5	0.6	15.13	14.565	0.42
	Range	0.5~39.63	1.5~118.21	0.6~0.6	7.88~103.14	4.46~82.79	0.16~3.4
지역시료	n	17	17	17	17	17	17
	AM±SD	2.958±4.442	24.062±10.722	4.661±6.753	7.168±6.114	34.799±36.291	0.939±0.534
	GM(GSD)	1.462(3.165)	21.488(1.685)	1.864(3.943)	4.877(2.653)	18.363(3.697)	0.826(1.65)
	Median	1.23	24.4	0.6	5.35	21.82	0.71
	Range	0.5~18.24	7.74~43.86	0.6~20.9	1~19.95	2~113.98	0.43~1.93
작업별 평균농도 ANOVA 분석		$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$



[그림 III-38] 작업종류별 휘발성 유기화합물 혼합물질 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업

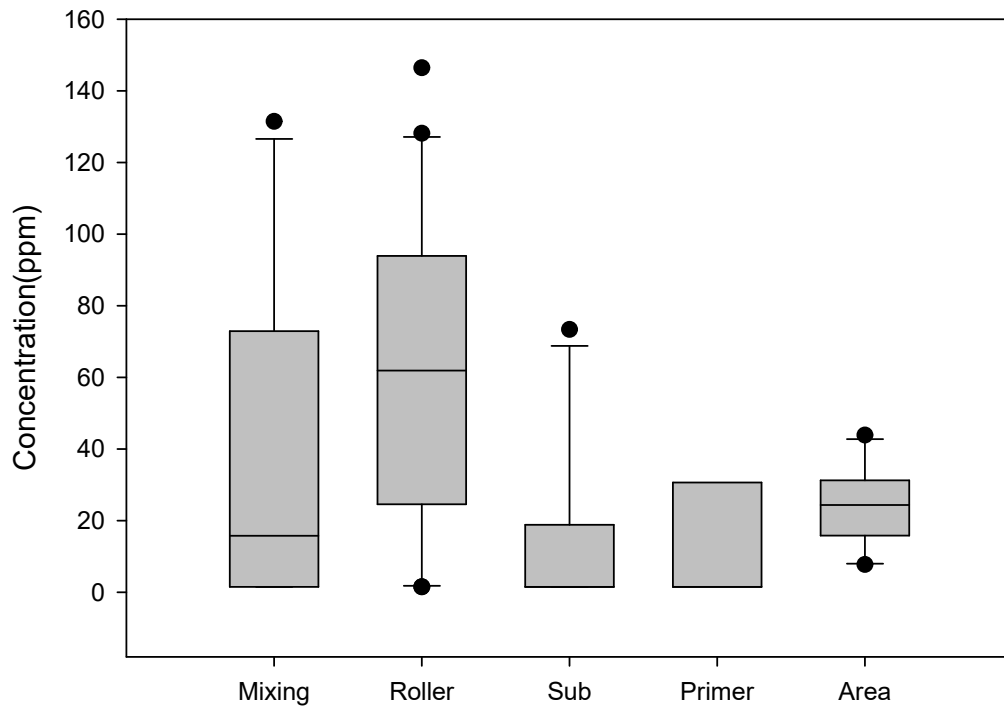
Ethyl Acetate Concentration by Work Task



[그림 III-39] 작업종류별 초산에틸(Ethyl Acetate) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업

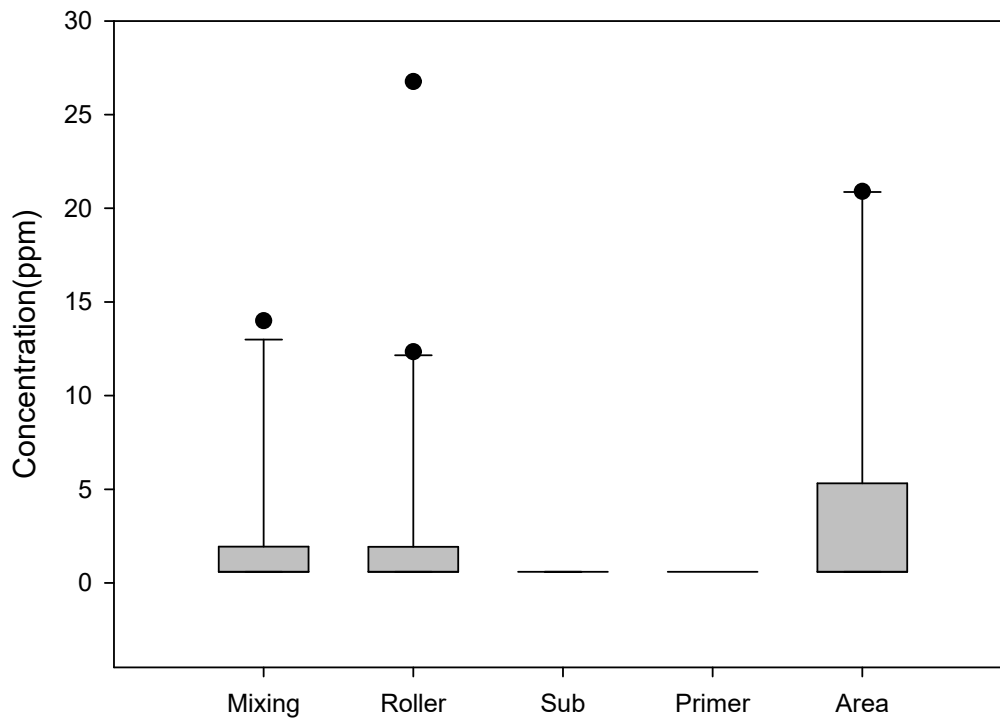
Toluene Concentration by Work Task



[그림 III-40] 작업종류별 톨루엔(Toluene) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업

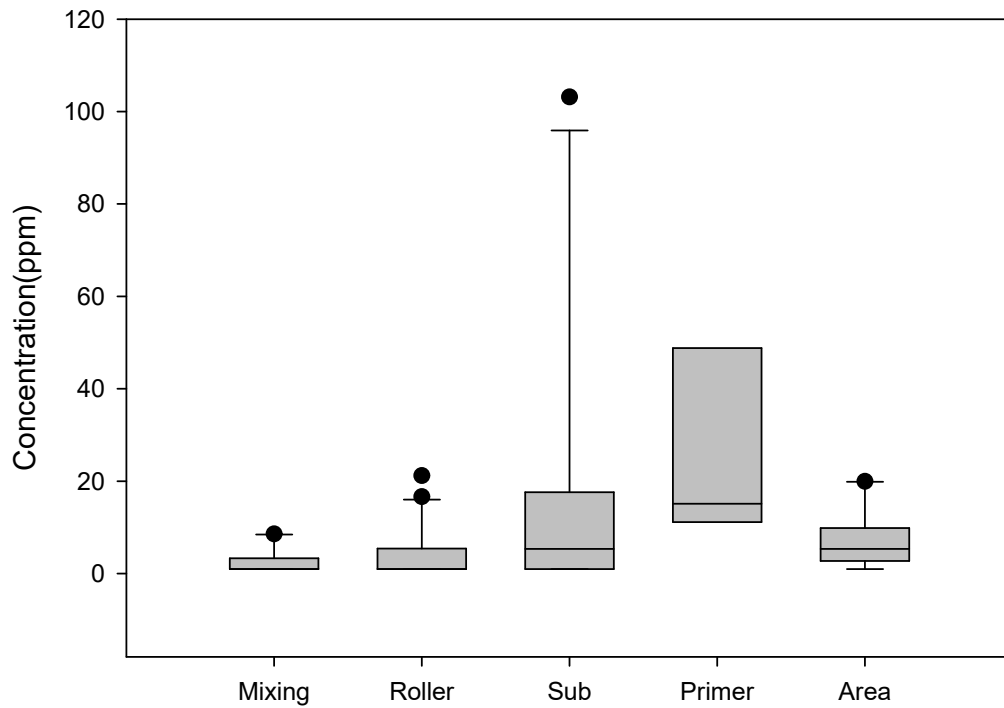
n-Buthyl Acetate Concentration by Work Task



[그림 III-41] 작업종류별 노말초산부틸(n-Buthyl Acetate) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업

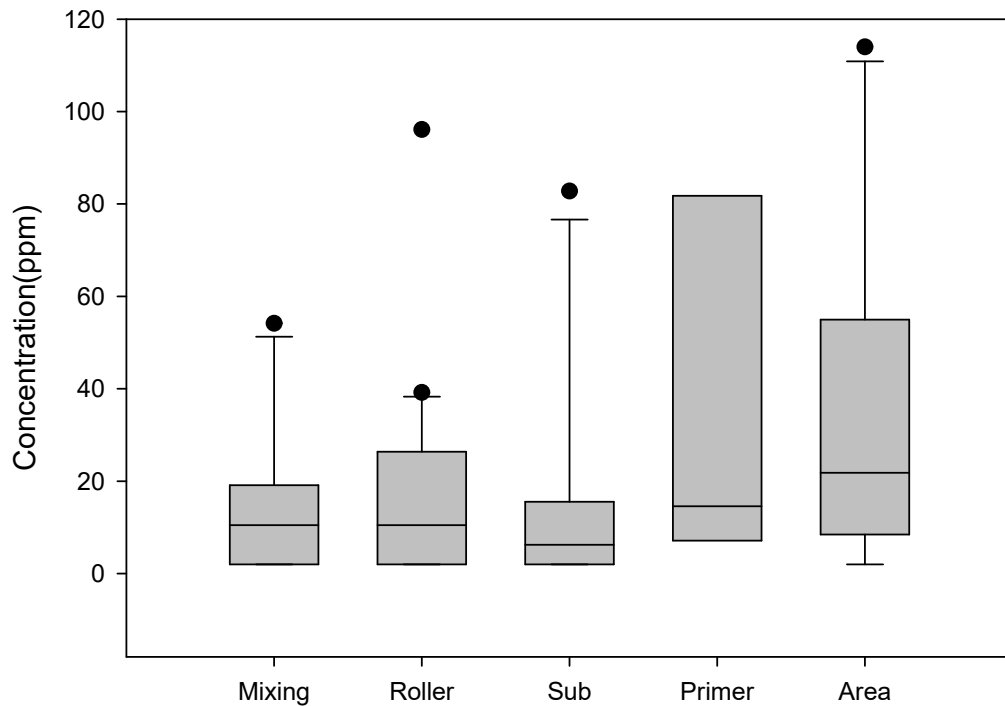
Ethyl Benzene Concentration by Work Task



[그림 III-42] 작업종류별 에틸벤젠(Ethyl Benzene) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업

Xylene Concentration by Work Task



[그림 III-43] 작업종류별 크실렌(Xylene) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Mixing: 배합작업, Roller: 롤러작업, Sub: 보조작업, Primer: 프라이머 작업, Area: 직역 시료, Area_Primer: 자역시료 중 프라이머 작업

<표 III-31> 우레탄 방수 작업장소별 휘발성 유기화합물 노출평가 결과 (단위: ppm)

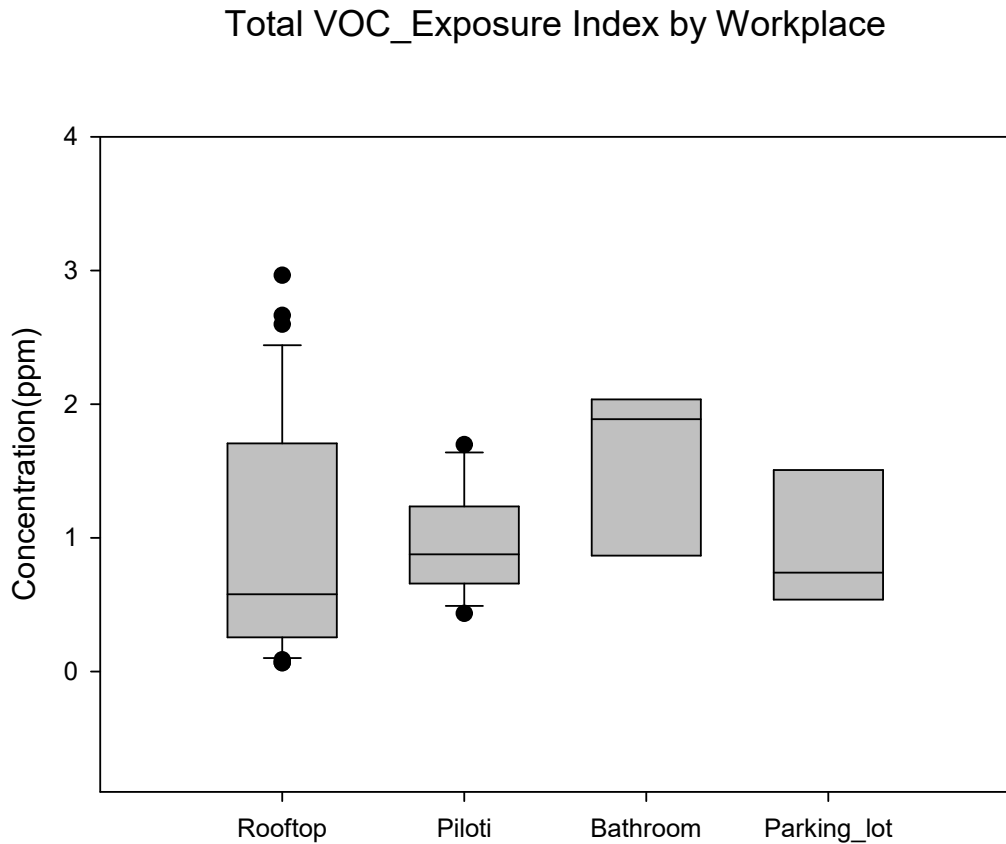
일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
옥상 (Rooftop)	n	37	37	37	37	37	37
	AM±SD	3.323±9.105	36.737±47.39 2	1.489±2.84	9.962±23.765	13.765±20.824	0.991±0.889
	GM(GSD)	0.831(3.445)	9.368(6.564)	0.807(2.279)	2.494(4.206)	5.754(3.584)	0.596(3.067)
	Median	0.5	4.9	0.6	1	2	0.58
	Range	0.5~39.63	1.5~146.41	0.6~13.99	1~103.14	2~82.79	0.07~2.96
필로티층 바닥 (Piloti floor)	n	20	20	20	20	20	20
	AM±SD	7.141±12.867	62.412±44.39 4	3.358±6.498	4.517±5.657	16.802±22.167	1.502±0.802
	GM(GSD)	1.455(5.654)	36.67(4.048)	1.172(3.522)	2.445(2.987)	7.74(3.811)	1.244(2.001)
	Median	0.5	61.92	0.6	1	10.51	1.575
	Range	0.5~42.21	1.5~146.41	0.6~26.77	1~21.2	2~96.1	0.32~2.96

<표 III-31> 우레탄 방수 작업장소별 휘발성 유기화합물 노출평가 결과_계속 (단위: ppm)

일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
세대 육실바닥	n	8	8	8	8	8	8
	AM±SD	3.138±5.3	34.654±22.858	12.359±9.779	13.716±7.65	66.464±39.594	1.585±0.664
	GM(GSD)	1.24(3.83)	28.249(2.045)	7.163(3.951)	9.943(2.966)	53.553(2.143)	1.399(1.826)
	Median	0.5	32.765	11.795	16.085	71.4	1.885
	Range	0.5~15.85	8.08~80.64	0.6~26.77	1~21.2	17.11~113.98	0.47~2.18
주차장 노면	n	6	6	6	6	6	6
	AM±SD	4.992±7.672	31.898±42.643	3.043±2.221	7.388±4.98	38.965±23.236	1.135±1.12
	GM(GSD)	2.267(3.719)	19.528(2.615)	2.142(2.802)	6.323(1.807)	33.844(1.798)	0.873(2.02)
	Median	2.03	15.335	3.31	5.66	32.22	0.74
	Range	0.5~20.42	7.74~118.21	0.6~6.05	2.79~17	13.71~81.44	0.5~3.4
작업장소별 평균농도 ANOVA 분석		$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$

<표 III-32> 우레탄 방수 장소특성별 휘발성 유기화합물 노출평가 결과 (단위: ppm)

일자	구분	Ethyl Acetate	Toluene	n-Butyl Acetate	Ethylbenzene	xylene	Exposure Index
실내 (Indoor)	n	20	20	20	20	20	20
	AM±SD	9.325±12.349	35.754±18.338	5.304±8.376	9.131±6.269	33.949±36.511	1.204±0.589
	GM(GSD)	3.698(4.517)	31.416(1.719)	1.618(4.48)	7.049(2.223)	20.785(2.736)	1.063(1.691)
	Median	3.53	31.645	0.6	7.025	16.27	0.995
	Range	0.5~42.21	8.08~80.64	0.6~26.77	1~21.2	2.56~113.98	0.43~2.18
실외 (Outdoor)	n	43	43	43	43	43	43
	AM±SD	3.556±8.855	36.062±46.309	1.706±2.793	9.603±22.088	17.281±22.672	1.011±0.911
	GM(GSD)	0.956(3.599)	10.379(6.001)	0.925(2.48)	2.84(3.993)	7.368(3.859)	0.629(2.927)
	Median	0.5	10.75	0.6	1	5.51	0.59
	Range	0.5~39.63	1.5~146.41	0.6~13.99	1~103.14	2~82.79	0.07~3.4
장소특성별 평균농도 T-test 분석		$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$



[그림 III-44] 작업장소별 휘발성 유기화합물 혼합물질 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥

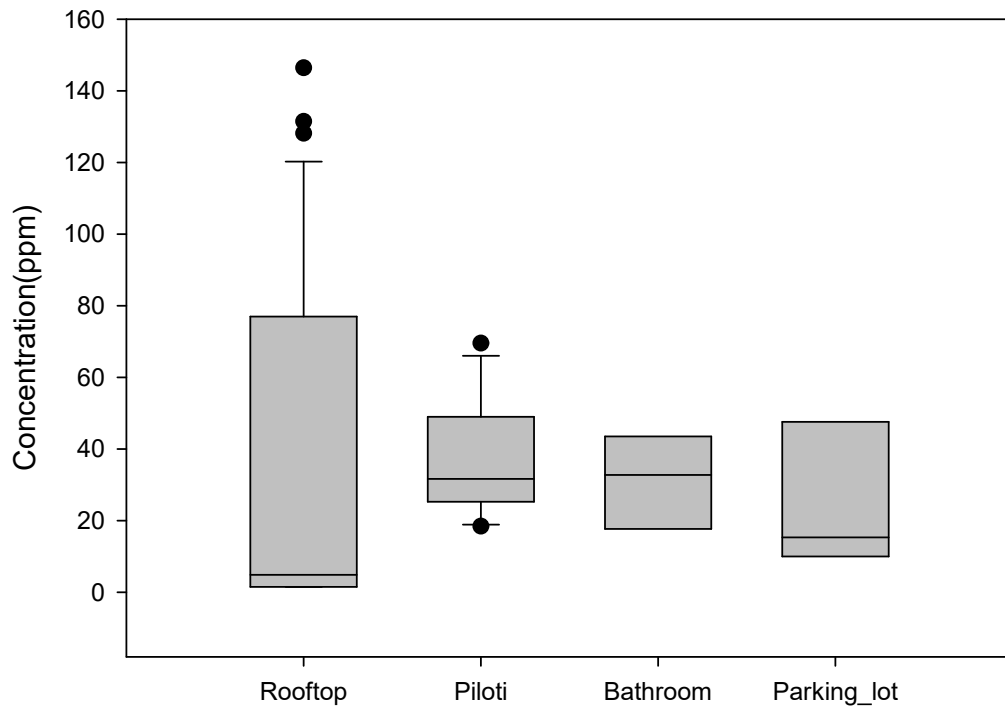
Ethyl Acetate Concentration by Workplace



[그림 III-45] 작업장소별 초산에틸(Ethyl Acetate) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥

Toluene Concentration by Workplace



[그림 III-46] 작업장소별 톨루엔(Toluene) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥

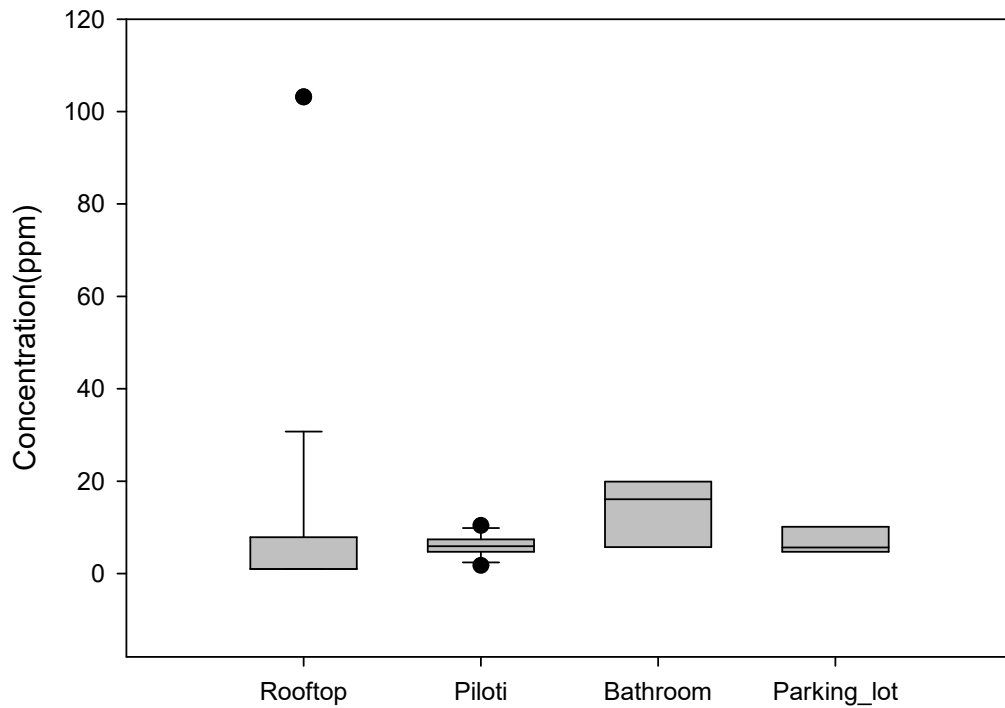
n-Buthyl Acetate Concentration by Workplace



[그림 III-47] 작업장소별 노말초산부틸(n-Buthyl Acetate) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥

Ethyl Benzene Concentration by Workplace



[그림 III-48] 작업장소별 에틸벤젠(Ethyl Benzene) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥

Xylene Concentration by Workplace



[그림 III-49] 작업장소별 크실렌(Xylene) 평가 결과 비교

- ※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%
- ※ Rooftop: 옥상, Piloti: 필로티층 바닥, Bathroom: 세대 내부 욕실바닥, Parking_lot: 지상 주차장 바닥

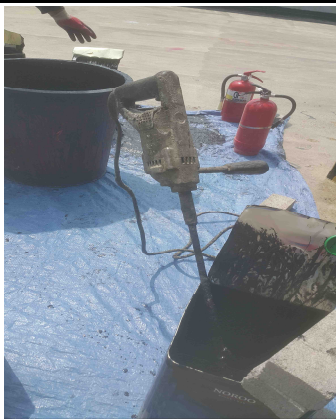
5) 디이소시아네이트 표면 및 피부 노출농도 수준

Surface SWYPE 평가 결과

4개의 사업장의 총 17개의 작업도구에서 40개의 패드로 측정을 실시하였다. 믹서기 19개, 롤러 18개, 따개 3개의 샘플 중에서 11개는 색이 변하지 않아 TDI가 없거나 그 양이 매우 적을 것으로 평가되었고, 나머지 29개의 샘플은 색도 1부터 5까지 나타내었다. 이를 통해 작업 이후 절반 이상의 작업도구에 TDI가 남아있는 것을 확인할 수 있었다.

<표 III-33> 표면(surface) SWYPE 시료 채취 수

사업장	시료수 (n)	믹서기	롤러	따개
A	14	7	6	1
B	20	6	12	2
C	3	3		
D	3	3		
전체	40	19	18	3



믹서기



롤러



따개

사업장 작업도구별 표면 SWYPE 색도 평가 결과를 살펴보면 <표 Ⅲ-34>, A 사업장의 믹서기가 평균색도 2.86으로 오염도가 가장 높았고, 다음으로 D 사업장의 믹서기(1.33), A 사업장의 Roller(1.17) 순이었다. 사업장별 우레탄 도장 업체의 작업도구 관리수준에 따라 표면 오염도에 차이가 발생하는 것으로 추정된다.

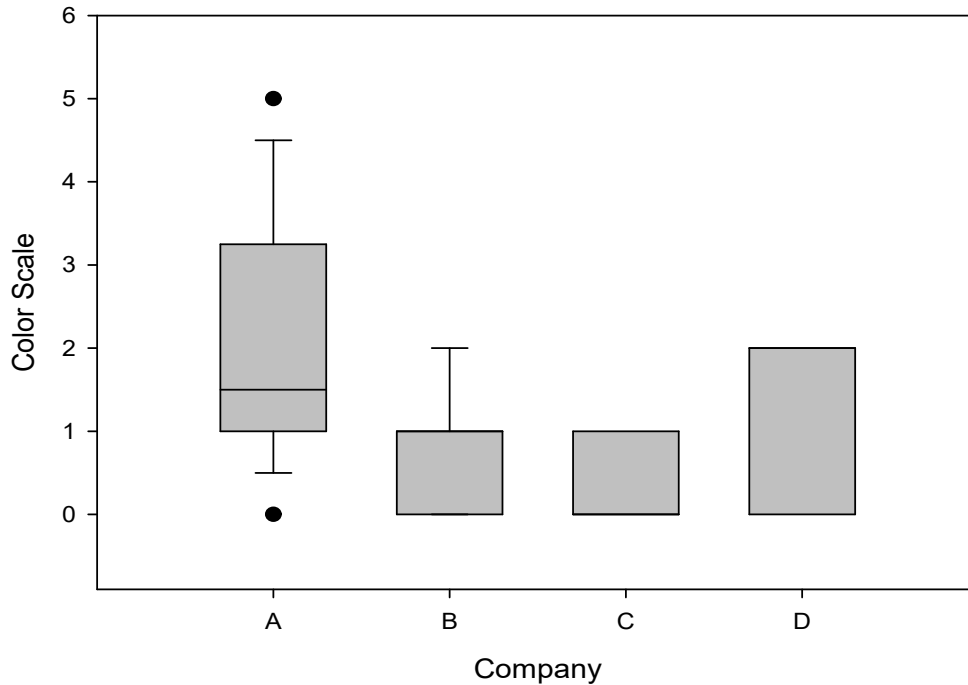
사업장에 따라서는 <표 Ⅲ-35>, A 사업장이 평균색도 2.00으로 가장 높았고, D 사업장(1.33), B 사업장(0.83), C 사업장 (0.33) 순이었으나, 사업장별 표면시료를 채취한 작업도구의 수가 상이하여 사업장별 농도수준을 비교하기에는 제한점이 있다.

작업도구에 따라서는 <표 Ⅲ-36>, 믹서기(mixer)에서 평균색도가 1.58로 가장 높았고, 롤러(roller) (0.94), 파개(opener) (0.67)순으로 높았다,

<표 Ⅲ-34> 사업장 작업도구별 표면(surface) SWYPE 색도 평가 결과

사업장	작업도구	표면시료 TDI 색도별 시료수(n)							평균색도
		계	0	1	2	3	4	5	
	계	40	11	17	8	1	2	1	1.23
A	Mixer	7	1		2	1	2	1	2.86
	Roller	6		5	1				1.17
	Opener	1		1					1
B	Mixer	6	2	3	1				0.83
	Roller	12	4	6	2				0.83
	Opener	2	1	1					0.5
C	Mixer	3	2	1					0.33
D	Mixer	3	1		2				1.33

Surface SWYPE Concentration by Company



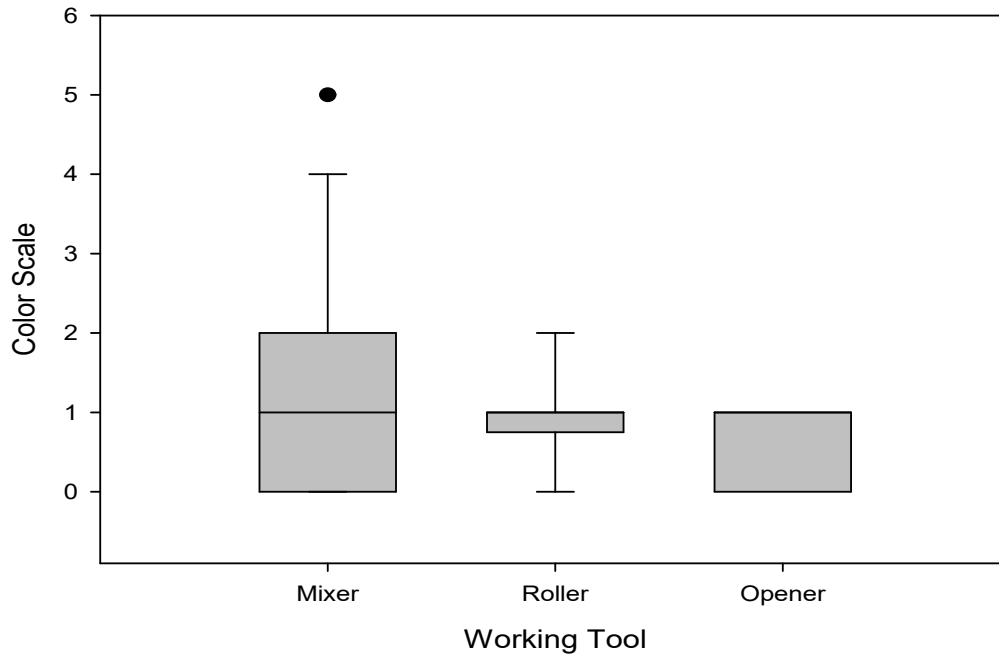
[그림 III-50] 사업장별 표면(surface) SWYPE 색도 평가 결과

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

<표 III-35> 사업장별 표면(surface) SWYPE 색도 평가 결과

사업장	표면시료 TDI 색도별 시료수(n)							평균색도
	계	0	1	2	3	4	5	
계	40	11	17	8	1	2	1	1.23
A	14	1	6	3	1	2	1	2.00
B	20	7	10	3	-	-	-	0.80
C	3	2	1	-	-	-	-	0.33
D	3	1	-	2	-	-	-	1.33

Surface SWYPE Concentration by Working Tool



[그림 Ⅲ-51] 작업도구별 표면(surface) SWYPE 색도 평가 결과

※ 박스(Box) 내 중간선: 중위수(Median), 박스 경계선 위: 75%, 박스 경계선 아래: 25%, 휘스커(whisker) 위: 90%, 휘스커(whisker) 아래: 10%

<표 Ⅲ-36> 작업도구별 표면(surface) SWYPE 색도 평가 결과

작업도구	표면시료 TDI 색도별 시료수(n)							평균색도
	계	0	1	2	3	4	5	
계	40	11	17	8	1	2	1	1.23
Mixer	19	6	4	5	1	2	1	1.58
Roller	18	4	11	3	-	-	-	0.94
Opener	3	1	2	-	-	-	-	0.67

Skin SWYPE 평가 결과

3개의 사업장(A, B, C 사업장)의 작업자 17명(A 사업장 5명, B 사업장 11명(중복), C 사업장 1명)을 대상으로 피부노출평가를 실시하였다. 작업자별 4 ~ 11개의 패드를 사용하여 총 107개의 패드로 측정하였다. 평가 초기에 개인별 11개의 패드를 사용하여 손등(좌, 우측), 손바닥(좌, 우측), 팔목(좌, 우측), 목(좌, 우측), 얼굴(좌, 우측), 이마(가운데)를 채취하였으나, 대부분의 샘플에서는 색 변화를 관찰할 수 없어, 추후, 손등, 손바닥, 팔목, 목 및 얼굴을 각 하나의 패드로 채취하였다. 피부 시료 채취 결과, 107개의 패드 중 3개의 패드에서 색 변화가 있었다. 색 변화가 있었던 샘플은 A 사업장의 2명의 작업자였으며 한 작업자의 얼굴(좌측)과 또다른 작업자의 손등(우측)과 목(좌측)에서 채취한 패드였으며 색도는 모두 가장 낮은 1단계였다. 작업자의 대부분은 작업복 이외에 장갑, 팔토시, 마스크 등으로 신체 대부분을 노출하지 않고 작업하여 피부 노출에서는 검출이 되지않았던 것으로 평가된다.



[그림 III-52] 작업자 피부(skin) SWYPE 시료 채취

5) 우레탄 방수작업자 설문조사 결과

대상 작업자 종합평가 결과

3개의 사업장 9명의 작업자를 대상으로 설문조사를 실시하였다, 최근 우레탄 방수 등 작업은 외국인 근로자가 수행하는 경우가 많아, 언어소통의 문제로 노출평가를 실시한 작업자 전원을 대상으로 평가하지 못한 제한점이 있다. 응답자의 기본정보를 살펴보면 <표 III-37>, 남성이 7명, 여성 2명이었으며, 60대가 4명으로 가장 많았고, 50대 2명, 70대, 30대, 20대가 각 1명씩 있었다. 9명 중 2명을 제외하고는 흡연을 하거나 과거의 흡연 경험이 있었다. 음주습관에 대해서는 4명은 음주를 하지 않는다고 하였고, 주 5회 이상이 3명, 주 3회 및 주 1회가 각 1명이었다. 우레탄 방수 직무를 시작한 시점은 30년 이상 1명, 20년 이상 1명, 15년 이상 2명, 10년 이상 1명, 10년 미만이 4명이었다. 대부분이 하루 8시간 근무를 하고 일주일간 평균 6 ~ 7일 근무한다고 하였다 .

일반적인 호흡기 증상 설문에서 <표 III-38>, 4명의 작업자가 호흡기 증상이 있다고 답변하였다. 한 작업자는 “자고일어나면 기침이 나는 날이 5일 이상”이며 “일주일에 5일 이상 낮 또는 밤에 기침이 나온다”고 답변하였다. 또다른 작업자는 “계단을 급하게 오르거나 언덕을 오를 때 숨이 차서 걸음을 멈추고, 나이가 비슷한 사람과 계단을 오를 때 다른 사람에 비해 숨이 차다”고 답변하였다. 한 작업자는 “1년에 3개월 이상 작업을 하는 날에 기침이 나온다”고 하였고, “자고 일어나면 가래가 나오고, 일주일에 5일 이상 낮 또는 밤에 가래가 나온다”고 답변하였다.

천식증상에 대해서는 <표 III-39> 1명의 작업자가 천식증상이 있다고 답변하였다. 작업자는 “지난 12개월 동안 약 1 ~ 3번 숨쉴 때 가슴에서 썹썹거

리는 소리가 난적이 있고 숨이 가빠서 말을 하기도 힘든 적이 있다” 라고 답변하였다. 또한 “감기 또는 폐렴이 아니면서, 가래가 나오지 않는 기침을 밤에 하고” “직장에서 일 할 때 숨차고 쉼쉼거리는 증상이 가장 심하다” 고 답변하였다. 주말이나 휴가를 맞아 근무가 없어도 상기 증상의 변화가 없다고 하였고, 휴가나 출장에서 돌아와 직장근무를 다시 시작해도 증상에 변화가 없이 같다고 답변하였다.

피부증상에 대해서는 <표 III-40> “손에 습진이 있다” 라고 답변한 작업자가 4명이 있었는데, 시멘트 접촉에 의해 손 부위의 습식이 악화되었다고 답변하였다.

대상 작업자 개인평가 결과

우레탄 방수작업자 9명을 대상으로 시행한 설문조사 중 호흡기증상이 있다고 답변한 근로자는 4명이었고 그 중 1명은 천식증상도 있다고 응답하였다. 호흡기증상이나 천식증상이 있다고 응답한 근로자들을 정리하면 다음과 같다.

(가) 근로자-1

1952년 출생(남, 66세), 키/몸무게: 157cm/57kg, 40갑년의 흡연력과 주 5회, 1회 소주 반병의 음주력이 있다. 알레르기 질환이나 호흡기관련 질환 과거력은 없다. 우레탄 방수작업을 15년동안 수행하였고 주 7일, 하루 평균 8시간씩 근무하였다. 근로자는 자고 일어나면 발생하는 가래증상이 일주일에 5일 이상 된다고 응답하였고 그 외 호흡기증상은 없다고 응답하였다. 천식증상이나 피부증상은 없다고 응답하였다.

(나) 근로자-2

1954년 출생(여, 64세), 키/몸무게: 150cm/45kg, 흡연과 음주는 하지 않음. 알레르기 질환이나 호흡기관련 질환 과거력은 없다. 우레탄 방수작업을 15년 동

안 수행하였고 주 6일, 하루 평균 8시간씩 근무하였다. 근로자는 계단을 급하게 오르거나 언덕을 오를 때 다른 사람에 비해 숨이 찬다고 답변하였다. 그 외 호흡기 증상은 없고 천식증상, 피부증상도 없다고 응답하였다.

(다) 근로자-3

1953년 출생(여, 65세), 키/몸무게: 160cm/64kg, 30갑년의 흡연력(현재 금연)과 주3회, 1회 1병의 음주력이 있다. 알레르기 질환이나 호흡기질환 과거력은 없다. 우레탄 방수작업을 10년동안 수행하였고 주 7일, 하루 평균 8시간씩 근무하였다. 근로자는 자고 일어나면 기침이 나오고 낮 또는 밤에 기침이 나오는 빈도가 1주일에 5일 이상이라고 응답하였다. 그 외 호흡기 증상은 없고 천식증상, 피부증상도 없다고 응답하였다.

(라) 근로자-4

1967년 출생(남, 51세), 키/몸무게: 165cm/60kg, 3갑년의 흡연력이 있고 음주력은 없다. 알레르기 질환이나 호흡기질환 과거력은 없다. 방수작업을 약 4년간 수행하였고 주 7일, 평균 7시간씩 근무하였다. 근로자는 1년에 3개월이상 대부분의 날 중 작업하는날에 기침이 나온다고 응답하였다. 근로자는 자고 일어나면 가래가 나오고 낮 또는 밤에 가래가 나오는 빈도가 1주일에 5일 이상이라고 응답하였다. 상기 가래증상은 3년이상 되었다고 하였다. 작업첫날 가슴이 조이는 느낌이 들어 숨쉬기가 힘들다고 응답하였다. 천식증상 문항에서 지난 12개월간 1-3번의 천식증상(기침, 쌉쌉거림, 호흡곤란)이 있었으며 말하기 힘들 정도로 숨이 가쁜적도 있다고 응답하였다. 상기 천식증상은 직장에서 일할때 심하다고 응답하였다. 피부습진 증상이 있다고 응답하였는데 원인 물질로는 시멘트 때문인것 같다고 응답하였다.

<표 III-37> 설문조사 결과_응답자 정보

사업 장명	연번	성별	출생 년도	나이	키(cm)	몸무게	흡연	음주	직무 처음 시작한 날짜	하루 평균 근무시간	일주일간 평균 근무일수
B	1	남	1955년	64	169	70	1일 1갑 32년간 피우다 끊음	마시지 않는다	1998년	8시간	7일
B	2	여	1953년	66	160	64	1일 1갑 30년간 피우다 끊음	주3회(1회당 1병)	2008년	8시간	7일
B	3	남	1952년	67	157	57	1일 1갑 40년간 피움	주5회(1회당 0.5병)	2003년	8시간	7일
B	4	여	1954년	65	150	45	편 적 없다	마시지 않는다	2003년	8시간	6일
B	5	남	1948년	71	160	67	편 적 없다	마시지 않는다	1988년	8시간	6일
C	1	남	1963년	56	165	62	4일 1갑	주1회 (소주 1병, 맥주 1병)	2011년	8시간	6일
D	1	남	1967년	52	165	60	1일 1.5갑 2년간 피움	마시지 않는다	2014년 5월	7시간	7일
D	2	남	1987년	32	173	62	1일 0.5갑 14년간 피움	주5회(1회당 7잔)	2017년 11월	8시간	7일
D	3	남	1990년	29	176	60	1일 1갑 15년간 피움	주5회(1회당 7잔)	2017년 11월	8시간	7일

※ 설문문항은 <부록 VII-1_TDI 설문지> 참조

<표 III-38> 설문조사 결과_일반 호흡기 증상

사업장 명	연번	호흡기 증상 문항											
		1	2	3-1	3-2	3-3	4	5	6-1	6-2	7	8	9
B	1	2	2				2	2			2		2
B	2	1	1	2	2		2	2			2		2
B	3	2	2	2	2		1	2	2		2		2
B	4	2	2				2	2			2		2
B	5	2	2	2	2		2	2	2		2	2	2
C	1	2	2				2	2			2		2
D	1	2	2	1	1	작업 중	1	1	2	3년	2	2	2
D	2	2	2		2		2	2			2		2
D	3	2	2				2	2			2		2

※ 호흡기 증상 문항은 <부록 VII-1_TDI 설문지> 참조

<표 III-38> 설문조사 결과_일반 호흡기 증상_계속

사업장 명	연번	호흡기 증상 문항											
		10-1	10-2	11-1	11-2	12	13	14	15	16	17	18-1	18-2
B	1						2	2	2		2		
B	2					2	2	2	2		2		
B	3					2	2	2	2		2		
B	4			2		1	1	2	2	2			2
B	5	2		2	2	2	2	2	2		2	2	2
C	1					2					2		2
D	1	2		2	1	2	2	2	2		2	2	2
D	2						2	2	2		2		
D	3						2	2	2		2		

※ 호흡기 증상 문항은 <부록 VII-1_TDI 설문지> 참조

<표 III-39> 설문조사 결과_천식 증상

사업장 명	연번	천식 증상 문항												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
B	1	2	2				2	2	2	2	2		1	1
B	2	2	2			2	2	2	2	2	2			
B	3	2	2	1	1		2	2	2	2	2		1	1
B	4	2					2	2	2	2	2		1	1
B	5	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2		1	1
C	1	2	2		1	2	2	2	2	2	2			
D	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1
D	2	2					2	2	2	2	2			
D	3	2					2	2	2	2	2			

※ 천식 증상 문항은 <부록 VII-1_TDI 설문지> 참조

<표 III-40> 설문조사 결과_피부 증상

사업장 명	연번	피부 증상 문항										
		1	2	3-손	3-손목/ 팔뚝	4-손	4-손목/ 팔뚝	5-손	5-손목/ 팔뚝	6-손	6-손목/ 팔뚝	7
B	1	1	2	2		2	2	2	2	1	1	2
B	2	2	2									2
B	3	2	2									2
B	4	2	2									2
B	5	2	2			2	2	2	2			2
C	1	2	2									2
D	1	1	2	1	1	1(시멘트)	1(시멘트)	2	2			2
D	2	1	2	4		2		1				2
D	3	1	2	4		1(시멘트)		2				1

※ 피부 증상 문항은 <부록 VII-1_TDI 설문지> 참조

IV. 고찰

1. 건설업 우레탄 방수업체 및 작업자 현황

국내 건설현장 방수업체는 전국에 약 2,000여개가 있는 것으로 파악되었으며, 이 중 대부분의 업체에서 우레탄 방수도로 취급업무를 수행하고 있는 것으로 조사되었다. 2015년 기준 건설근로자 공제회에 방수공으로 신고된 피공제자는 17,638명으로, 통계청에 보고된 전체 건설근로자 규모와 비교할 때, 미 신고된 방수공을 포함하면 전국에 약 20,000여명의 방수공이 있을 것으로 추정된다. 방수공의 연령 분포를 살펴보면, 전체 건설업 근로자의 연령 분포(50대(34.3%) > 40대(26.1%) > 60대(15.9%) > 30대(12.2%) > 20대(9.4%) > 70대(2.0%) > 80대(0.05%))와 비교하여 방수공은 50대(37.2%) > 60대(26.2%) > 40대(18.6%) > 30대(8.5%) > 20대(5.5%) > 70대(3.9%) > 80대(0.1%)의 연령분포를 나타내어 50, 60대 중장년이 약 64%를 차지하며 타 건설업 근로자보다도 더 고령화되어 있음을 알 수 있었다.

건설현장에서 톨루엔 디이소시아네이트 (2013년 ~ 2017년)에 대한 특수건강진단을 수검한 작업자의 진단결과를 살펴보면, 수검자는 5년간 총 5,586명이었다. 방수공 규모를 약 20,000명으로 추정한다면, 이소시아네이트에 대한 특수건강진단 수검자 수는 연간 1,000명으로 추정인구의 5%수준으로 매우 미흡하였다. 수검자 중 호흡기계에 대한 직업성 요관찰자는 14명이었으나, 일반 질병(호흡기계) 요관찰자로 분류된 작업자는 582명으로 전체 수검자의 약 10.4% 수준으로 높았다. 건설업 세부업종으로는 미장, 타일, 방수공사업에서 전체 수검자의 약 23%(1,293명)을 차지하였고, 비주거용 건물 건설업, 아파트 건설업, 산업플랜트 건설업 순으로 수검자 수가 많았다.

최근 5년간(2013 ~ 2016년) 건설업에서 측정된 톨루엔 2,4-디이소시아네이트(2,4-TDI)중 검출한계 이상인 시료만을 대상으로 평균농도를 살펴보면, 기하평균 0.129 ppb, 기하평균과 기하표준편차를 통해 추정한 95% 상위농도는 1.663 ppb로 노출기준(5 ppb)의 33% 수준이므로 매우 낮은 수준이었다. 2,6-디이소시아네이트(2,6-TDI)도 기하평균 0.141 ppb, 기하평균과 기하표준편차를 통해 추정한 95% 상위농도는 1.299 ppb로 노출기준의 26% 수준으로 매우 낮았다. 전체 측정시료의 역 30% 시료만 검출이 되었던 점을 고려하면 전체 평균농도는 더욱 낮은 수준임을 알 수 있다.

2. 건설용 우레탄 방수도료의 화학물질 구성성분 분석

건설용 우레탄 방수 도료에 대한 물질안전보건자료 총 72종을 확보하여 구성성분을 확인하였다. 우레탄 도료는 동절기용 및 하절기용, 노출 및 비노출, 특수용도로 사용되는 경우 등에 따라 함유되어 있는 성분에 차이가 있는 것으로 확인되었다. 도료사가 홈페이지 등을 통해 공개적으로 도료의 구성성분을 제공하는 경우는 많지 않았고, 물질안전보건자료를 확보하였더라도 구성성분을 영업비밀로 표기한 경우가 많아 구성성분 확인하기에 제한점이 있었다. 확보된 물질안전보건자료를 통해 구성성분 중 발암성, 생식독성, 생식변이원성, 관리대상물질 등의 함유여부를 살펴보았다.

고용부에서 고시로 지정한 발암성 물질로는 4,4-디아미노-3,3-디클로로페닐메탄 (4,4'-메칠렌비스(2-클로로아닐린)), 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 톨루엔 디이소시아네이트, 메틸이소부틸케톤, 시클로헥사논, 이산화티타늄, 카본블랙, 케로젠 등이 있었다. 다만, 발암성 1A인 4,4-디아미노-3,3-디클로로페닐메탄은 2018년 환경부 고시(제2018-52호, 2018.4.2.)에 의거 제한물질·금지물질로 지정되어 0.1% 이상 함유 시 제조, 수입, 판매, 보관, 저장, 운반, 사용이 금지된다 (고시발령일로부터 2년 후 시행). 생식독성물질로는 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 2-에톡시에틸아세테이트, 톨루엔이 함유되어 있었다.

산업안전보건법에 따른 관리대상물질로는 2-에톡시에틸아세테이트, 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 메틸에틸케톤, 메틸이소부틸케톤, 크실렌, 톨루엔, 에틸렌글리콜, 에틸벤젠, 시클로헥사논, 초산부틸, 초산에틸, 톨루엔 2,4/2,6-다이소시아네이트, 헥사메틸렌 다이소시아네이트 등 유기화합물과 산화철, 수산화알루미늄, 이산화티타늄 등 금속류를 함유하고 있었다.

3. 건설현장 우레탄 방수 작업 시 공기 중 디이소시아네이트 노출수준

일반건축물을 신축하는 5개 건설현장의 옥상, 1층 주차장, 세대 안 우레탄 방수작업을 대상으로 작업자에게 노출되는 디이소시아네이트의 공기 중 농도를 평가하였다. 평가결과, 톨루엔 2,4-디이소시아네이트(2,4-TDI) 기하평균농도는 0.058 ppb이었고, 톨루엔 2,6-디이소시아네이트(2,6-TDI)는 기하평균 0.523 ppb 농도 수준이었다. 2,4/2,6-TDI의 노출기준은 5 ppb(0.005 ppm)로 평가자료의 평균농도는 노출기준의 1/10 미만 수준이었고, 전체 시료 중 2,6-TDI에서 네 개 시료가 노출기준을 초과하였다. 2,4/2,6-TDI 농도를 비교하였을 때 2,6-TDI가 2,4-TDI 보다 약 10배 더 높은 농도수준을 나타내었다.

김치년 등(2009)의 연구에서 목재가구, 선반제조, 악기 제조업, 자동차 정비작업 등에서 평가한 결과에서 2,6-TDI가 2,4-TDI보다 약 5 ~ 10배까지 높은 농도수준을 나타내었다. 박진희(2003)의 연구에서도 우레탄 도료를 사용하는 도장작업에서 공기 중 2,4-TDI는 $0.23 \pm 0.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 2,6-TDI는 $10.30 \pm 10.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 40배 이상 높은 농도수준임을 보고하였다. 박근철 등(2003)의 연구에서도 공기 중 2,6-TDI의 농도가 2,4-TDI보다 약 10배 이상 많이 검출되었다고 보고하였다.

2,6-TDI는 2,4-TDI와 비교하여 입체적 위치 및 증기압이 더 높아 공기 중 휘발이 더 용이한 것으로 알려져 있으며(김치년 등, 2009; 안연순 등, 1995; 강현경과 김현욱, 1996), 실험실에서 실시한 분석방법 비교연구에서 2,6-TDI가 2,4-TDI와 비교하여 회수율이 더 높은 특성이 있다고 보고된 바 있다(변혜정 등, 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(박근철 등, 2003).

공기 중 이소시아네이트 측정 분석방법은 많은 연구자들로부터 개발되어 다

양한 방법이 존재하는데, 가장 대표적으로 활용되는 방법이 미국산업안전보건청에서 사용하는 OSHA 42 방법이며, 이는 현재 고용노동부 고시에 의해 허용 기준 설정물질인 2,4-TDI의 공정시험방법이기도 하다. 다만, OSHA-42 방법은 필터를 이용하여 채취가 간단하고 개인시료 채취가 가능한 장점은 있으나 2 μ m 미만의 작은 입자와 이소시아네이트 단량체(monomers)만 채취가 가능한 한계가 있다. 반면 임핀저방법은 개인시료 채취는 어려우나 2 μ m이상의 큰 입자의 채취가 가능하고 단량체 뿐 아니라 중합체(oligomers)의 채취도 가능한 장점이 있다.

이번 연구에서는 사업장별 각 3개씩의 지역시료채취를 별도로 실시하여 임핀저 방법과 필터방법을 비교하였다. 임핀저 방법으로 측정을 하였을 때, 2,4-TDI의 경우, 필터보다 약 19배 농도가 높았고, 2,6-TDI의 경우 약 5.7배가 높았다. 김치년 등(2009)의 연구에서도 임핀저로 평가한 시료가 필터방법보다 약 1.5배 더 높았다고 보고하였고, 이나루 등(2000)의 연구에서도 2,6-TDI의 경우 두 방법간의 차이가 기하평균으로 약 5배정도 발생한다고 보고하였다.

2,4-TDI의 경우 필터방법과 임핀저 방법간의 상관성이 약하고, 필터방법에서 농도수준이 극히 낮았던 제한점이 있어 직접적인 비교는 어려웠다. 다만, 2,6-TDI의 경우 필터방법과 임핀저 방법간의 상관성이 매우 강하였고, 2,6-TDI가 소변 중 생체시료인 2,6-TDA와 상관관계도 더 좋다는 연구보고가 있었다(Rossenverg와 Savolanien, 1986).

상기의 연구결과들로 볼 때 우레탄 방수도로 포장작업에서는 발생되는 입자의 크기가 2 μ m 이상으로 구성되어 있을 가능성이 높다고 판단되며, 이러한 입경별 채취방법의 상이성에 따라 최근 연구에서는 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

(노영만 등, 1999).

사업장에 따라 2,4/2,6-TDI의 노출농도 수준은 서로 상이함을 알 수 있었으며, 개인시료 농도와 지역시료 농도 간에는 통계적으로 유의한 차이는 없었다 ($p > 0.05$). 또한, 사업장 측정일별 2,4/2,6-TDI 농도 수준을 살펴보면, 실내 작업이 이루어지는 사업장의 경우 일간 농도수준은 서로 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 옥상작업으로 실외에서 실시된 사업장의 경우 측정일 간 디이소시아네이트의 노출농도 수준은 서로 상이하였음을 알 수 있었다.

우레탄 방수작업 종류에 따라서는 프라이머 도포 작업에서 농도가 높게 평가되었으나, 노출기준을 초과한 일부시료를 배제하면 사후분석 결과 및 작업별 기하평균 농도에 대한 95% 신뢰구간의 확인을 통해 작업별 노출농도 수준은 통계적으로 유의하게 다르지 않음을 알 수 있었다. 장소에 따라서도 공간별 노출농도 수준은 통계적으로 유의하게 다르지 않았고 실내공간과 실외공간의 노출농도 수준도 통계적으로 유의하게 다르지는 않았다.

우레탄 방수작업에서의 디이소시아네이트 농도는 수지도포 또는 프라이머 도포 등 도료의 종류에 따라 일부 농도수준에 차이가 있으며, 옥외작업장의 경우 일간변이가 있는 것으로 확인되었으나, 작업종류(배합, 도포, 보조작업 등) 및 작업공간의 특성에 따라서는 농도수준이 통계적으로 유의하게 다르지 않음을 확인할 수 있었다. 다만 휘발성 유기화합물의 경우는 작업종류 및 실내·외 작업장소의 차이에 따라 농도가 상이하였는데 작업별로는 롤러 및 프라이머 작업에서, 장소에서는 실내작업인 세대 내부 욕실바닥과 필로티 층 우레탄 도포 작업에서 농도수준이 높음을 확인할 수 있었다. 디이소시아네이트와 휘발성유기화합물간에는 상관관계가 없는 것으로 분석되었다.

Bello 등(2002)의 연구에서는 자동차 도장의 스프레이작업, 도료 배합작업, 샌딩작업 등을 대상으로 이소시아네이트 노출평가 연구를 진행하였는데, 평가 농도에 영향을 주는 변수로 작업장소의 크기, 작업자의 숙련도, 개인보호구 착용여부, 기상상태, 공학적 도구의 활용, 도료의 혼합비율, 부스 내부의 공기교

환횃수(환기율), 스프레이건과의 거리 등이 고려대상이라고 하였고, 이러한 변수들을 조정하여 노출농도의 저감을 위한 관리가 필요하다고 하였다. 이번 연구는 실외의 건설현장 우레탄 방수작업으로 인위적으로 작업장 환기율을 관리할 수는 없으나, 도로 배합작업(mixing) 작업에서는 이동식 국소배기장치를 사용을 고려해볼 필요가 있으며, 실내 방수 작업에서 전체 환기를 위한 환기팬의 사용 등이 검토될 필요가 있다.

4. 건설현장 우레탄 방수 작업 시 디이소시아네이트 피부노출 평가

건설현장 우레탄 방수작업의 작업도구에서 채취한 디이소시아네이트 노출 농도는 사업장에 따라 상이하여, 사업장별 작업도구 관리 수준에 차이가 있음을 작업도구에 따라서는, 믹서기 (mixer)에서 평균색도가 1.58로 가장 높았고, 롤러(roller) (0.94), 따개(opener) (0.67)순으로 높았다. 이번연구에서는 피부노출평가에서는 검출이 거의 되지않아 개인시료로 채취한 공기 중 농도와 비교는 어려웠다.

정지연 등(2013)은 공기 중 디이소시아네이트 농도가 극히 낮더라도 천식 환자가 발생하는 경우, 피부흡수를 통한 노출경로가 중요한 고려대상이라고 하였으며, Liu Y 등(2007)은 자동차 제조업 35곳, 124명 작업자를 대상으로 비색지표를 이용하여 이소시아네이트에 의한 피부노출평가를 실시한 결과 도료 혼합 및 스프레이 작업 시 가장 높게 노출되었으며, 전체 시료 중 46%가 이소시아네이트 양성반응을 나타내었다고 하였다. Liu Y 등(2007)은 색변환 패드(colormetric indicator, CLI, USA)를 이용한 이소시아네이트의 피부노출평가 방법에 대한 검증을 실시하였는데, 해당 방법은 결과를 빠르게 확인가능하며 경제적이고 쉽게 이용할 수 있는 장점이 있다고 하였다. 다만, Liu Y 등(2009)의 또 연구에서는 33개 자동차 도장 작업장에서 근로자 232명 (도장공 49명, 기술공 118명, 사무종사원 65명)을 대상으로 색변환 패드(colormetric indicator, CLI, USA)를 이용한 이소시아네이트의 피부노출 수준을 평가하였으며, 평가결과 개인별 피부노출평가 값들은 변이가 매우 큰 특징이 있었으며 피부노출평가 결과와 공기 중 노출평가는 상관관계는 있었으나 강하지는 않았는데, 이는 개인 보호장비의 착용 여부가 영향을 주었을 것으로 추정하였다. Pronk 등(2006)의 연구에서는 손만을 대상으로 피부노출을 평가한 제한점

이 있었지만, 피부노출 평가결과와 공기 중 노출평가 결과가 상관성이 높았다고 보고하였다. 이번 연구에서도 대부분의 작업자들이 긴팔의 상의를 입거나 팔토시를 착용하고 있어 피부노출 결과는 매우 낮았다. 그러나 대부분의 작업도구에서는 패드의 디이소시아네이트 노출이 양성반응을 보여 보호장갑, 보호의 등을 착용하지않는 경우 피부를 통한 노출 잠재가능성은 존재함을 알 수 있었다. 따라서 작업 후 배합기(mixer) 및 롤러 등 작업도구에 대한 주기적인 세척 등 관리를 통해 작업자의 피부노출을 최소화할 필요가 있다.

5. 우레탄 방수작업자 특수건강진단 결과 및 설문조사 결과

2013년에서 2017년까지 건설현장에서 평가한 톨루엔 디이소시아네이트(TDI)의 특수건강진단 결과에서는 최근 5년간 총 5,586명이 2,4/2,6-TDI에 대한 특수건강진단을 수검하였으며, 이중 호흡기계에 대한 직업성 요관찰자(C1) 14명, 일반질병(호흡기계) 요관찰자(C2) 582명, 유소견자(D2) 28명 이었다.

TDI에 대한 특수건강진단의 경우 청진, 폐활량검사, 피부 관련 증상 문진으로 이루어져 있으며, 호흡기계 이상이 존재하는 경우에는 주로 증상에 대한 문진과 폐활량 검사의 결과를 중심으로 평가한다.

직업성 요관찰자(C1)의 경우 임상검사 혹은 임상 진찰 결과, 천식이 의심되거나 폐 기능 검사 소견이 정상이나, 증상 자체가 TDI에 의한 것으로 의심될 경우, 직업병 유질환자(D1)의 경우에는 자각 증상조사에서 천식이 의심되고 진찰 결과 기관지 천식이 의심되는 경우, 비 특이 기도과민검사 양성인 경우, 폐활량 검사상에 폐쇄성 폐기능 이상이 있거나 전년도에 비하여 FEV1이 20% 이상 감소한 경우이며 이러한 증상이 TDI 노출에 의한 것으로 추정될 때, 진단한다.

이 경우에 천식의 증상의 경우 기도의 과민성으로 폐활량 검사 결과의 변화가 가장 중요한 진단 기준이나, 특수건강진단의 경우 1차 검진에서 폐활량 검사를 수행하나 과민성을 판단하기 어려우므로 주로 자각 증상에 의한 보고, 의사의 진찰에 의해 판정될 가능성이 크다. 따라서 특수 건강진단에서 판정된 직업성 질환자, 직업성 요관찰자가 이들 물질에 의해 유발된 전체 직업 관련 건강 이상자로 판단하는 것은 위험하다. 오히려, 호흡기계 증상 전반, 즉 일반질병 요관찰자, 유소견자, 직업성 요관찰자, 직업성 질환자 전체의 규모를 파악하여, 호흡기계 증상 유무에 따른 문제 인식이 필요하다.

TDI의 경우, 전체 수검자 중 11.1%에서 각종 호흡기계 증상이 있는 것으로

보고되고 있으며, TDI의 특성상 호흡기계 증상이 있는 자에서 천식이 발생할 경우 그 영향이 더 크게 나타날 수 있으므로, 호흡기계 유증상자 전반에서 이들을 관리할 수 있는 체계 마련이 필요하다.

설문 조사에서는 참여한 9명 중 호흡기계 증상이 존재하는 것으로 보고한 사람은 4명이었으며, 그 중 1명에서는 천식증상이 있다고 응답하였다. 피부 증상이 존재한다고 보고한 사람은 4명이었다.

피부 증상의 경우에는 현재 피부 증상이 존재하는 근로자는 1명, 과거 3개월 이내 1명, 12개월 이상 전에 있었던 근로자는 2명이었으며, 이 증상이 직업적인 노출과 관련이 있을 것으로 조사된 사례는 2명이었다.

직업적 노출에 의한 피부질환이 의심되는 근로자 중 1인은 손, 손목 팔뚝에 피부 증상이 있으며, 과거력 상 아토피가 의심되지는 않았다. 하지만 이 경우에 본인은 시멘트와의 접촉에 의해 피부증상이 발생한다고 보고하고 있으며, 증상 자체가 TDI와의 관련성이 있을 수는 있으나, 확진할 수는 없었다.

호흡기 증상의 경우 9명 중 4명에서 호흡기 증상이 있다고 보고하였으며, 이 중 3명의 경우 가래, 기침, 숨 찬 증상이 있었으나, 천식과 관련있는 증상은 없었으며, 1명의 경우 천식 증상이 존재하였고 이 증상이 하루 중에는 입장에서 근무할 때 가장 심하여 아주 심한 천식 증상은 아니지만 가벼운 천식 증상이 있는 것으로 판단된다. 또한 이 근로자의 경우, 피부 증상이 동시에 나타나고 있기 때문에 직업적인 노출로 인한 호흡기계, 피부 증상이 발현된 것으로 보인다. 물론 피부나 호흡기계에서 TDI에 의한 것인지 감별할 수 있는 의학적인 검사를 수행하지 않았기 때문에 확진은 할 수 없으나, 이 근로자에서 나타난 피부, 천식 증상이 TDI에 의해 유발되었을 가능성을 배제할 수는 없다.

본 연구에서의 설문조사의 경우, 응답자의 수가 매우 제한적이며 대조군이 없어 통계적인 분석은 어려웠으나, 우레탄 방수공들의 호흡기, 천식관련 증상과 피부 증상이 동시에 나타나고 있는 사례를 발견하였으며, 호흡기계 증상

및 피부 증상이 있는 사례들을 발견할 수 있었다.

물론 이들 사례에서 메타콜린 유발시험, TDI 유발 시험과 같이 천식을 확진하거나 피부 질환이 TDI에서 유발되었음을 증명할 수 있는 의학적 검사가 수반되지 않았기 때문에 확진할 수는 없었으나, 소규모 조사임에도 불구하고 TDI 사용자에서 상당수가 호흡기, 피부질환 증상을 겪고 있음을 유추할 수 있으며, 그 중 1명에서는 천식, 피부증상이 동시에 나타나고 있어 TDI 노출과의 관련성이 있을 것으로 판단된다.

소규모로 진행된 설문조사의 결과일지도 그 중 상당수에서 호흡기계 증상을 보이고 있으며, 이전의 문헌에서 조사에서는 증상 설문에서 대상자의 6.9%에서 증상이 나타났던 것에 비하면 상당히 높은 비율로 나타나고 있다. 또한 이 설문조사 결과와 특수건강진단 결과에서의 호흡기계 증상자 사이에 비율의 괴리가 큰 편인데 이는 설문조사가 소규모로 진행되어 대표성이 없어서 나타난 결과 일 수도 있으나, 특수건강진단의 진단 방법에서의 한계로 인해 많은 호흡기 증상 또는 천식 증상자를 관찰하지 못한 결과 일수도 있다. 따라서 향후 TDI 노출자에 대한 의학적인 조사를 수반한 대규모 조사를 수행하여 증상자의 규모를 정확히 측정하고, 호흡기 증상, 피부 증상 전체를 포괄하여 관리할 수 있는 체계를 구축할 필요가 있다.

V. 결 론

건설현장 우레탄 방수 도장 작업을 대상으로 공기 중 및 피부노출을 통한 디이소시아네이트 노출평가를 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 국내 건설현장 방수업 및 방수공의 규모는 약 2,000여개소, 약 20,000명으로 추정되나, 특수건강진단 및 작업환경측정 실시율은 매우 저조한 것으로 평가된다. 또한, 전체 건설직 근로자의 연령분포와 비교하여 50, 60대 근로자 비율이 높아 고령화 되어있는 특성이 있었으며, 호흡기 질병의 요관찰자 비율이 특수건강진단 수검자의 10.4% 수준으로 높았다.

2. 건설용 우레탄 방수도료에는 발암성, 생식독성물질들이 함유되어 있었으며, 발암성으로는 4,4 ‘-메칠렌비스(2-클로로아닐린), 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 톨루엔 디이소시아네이트, 메틸이소부틸케톤, 시클로헥사논, 이산화티타늄, 카본블랙, 케로젠 등이 있었고 생식독성물질로는 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 2-에톡시에틸아세테이트, 톨루엔이 함유되어 있었다.

3. 일반건축물을 신축하는 5개 건설현장의 옥상, 1층 주차장, 세대 안 우레탄 방수작업을 대상으로 디이소시아네이트의 농도를 평가한 결과, 2,4-TDI 기하평균농도는 0.058 ppb이었고, 2,6-TDI는 0.523 ppb로 노출기준의 1/10 미만 수준이었다. 다만, 전체 시료 중 2,6-TDI에서 네 개 시료가 노출기준을 초과하였다.

4. 2,4/2,6-TDI의 공기 중 노출평가결과 2,6-TDI가 2,4-TDI 보다 약 10배 더 높았으며, 필터방법과 임핀저 방법을 비교한 결과, 2,4-TDI에서는 농도간 상관

성이 약하였으나, 2,6-TDI는 필터와 임핀저 간의 상관성이 매우 강하였고, 임핀저법으로 평가한 농도수준이 필터법보다 약 5.7배 더 높았다. 임핀저법으로 평가한 2,6-TDI 시료의 약 26%는 노출기준을 초과하였다.

5. 우레탄 도료를 사용한 방수작업에 대한 휘발성 유기화합물 노출평가 결과, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 에틸 아세테이트(초산 에틸), n-부탈아세테이트(노말 초산 부틸)가 검출되었으며, 휘발성 유기화합물의 혼합물질 평가결과(n=63), 기하평균이 0.743로 노출기준의 약 75%수준이었으며, 25개 시료(39.7%)는 노출기준을 초과하는 수준이었다.

6. 디이소시아네이트 농도는 작업종류(배합, 도포, 보조작업 등) 및 작업공간의 특성에 따라서는 농도수준이 통계적으로 유의하게 다르지 않음을 확인할 수 있었으나 휘발성 유기화합물의 경우는 롤러 및 프라이머 작업, 실내작업인 세대 내부 욕실바닥과 필로티 층 우레탄 도포작업에서 농도수준이 높음을 확인할 수 있었다. 디이소시아네이트와 휘발성유기화합물간에는 상관관계가 없는 것으로 분석되었다.

7. 우레탄 방수 작업도구에서 채취한 디이소시아네이트 노출농도는 믹서기(mixer)에서 평균색도가 1.58로 가장 높았고, 롤러(roller) (0.94), 따개(opener) (0.67)순으로 높았다. 작업도구에서의 표면 평가 결과는 사업장에 따라 상이하여, 사업장별 작업도구 관리 수준에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이번 연구에서는 피부노출평가에서는 보호의 및 보호장갑의 착용 등으로 검출이 거의 되지 않았다.

8. 우레탄 방수작업자에 대한 설문조사 결과, 소규모 조사임에도 불구하고 TDI 사용자에서 상당수가 호흡기, 피부질환 증상을 겪고 있음을 유추할 수 있

었으며, 그 중 1명에서는 천식, 피부증상이 동시에 나타나고 있어 TDI 노출과의 관련성이 있을 것으로 판단되었다.

디이소시아네이트류는 공기 중 농도가 극히 낮더라도 천식환자가 발생할 수 있으며, 발암성 등 작업자의 건강에 중대한 건강장해를 유발할 수 있는 물질로 노출을 최소화하기 위한 노력이 필요하다. 공기 중 노출을 최소화 하기 위해 배합작업 등 도료를 집중적으로 취급하는 작업에 이동식 국소배기장치를 사용하거나, 실내 방수 작업에서는 전체 환기를 위한 환기팬의 사용 등이 검토될 필요가 있다. 또한 작업 후 배합기(mixer) 및 롤러 등 작업도구에 대한 주기적인 세척 등 관리를 통해 작업자의 피부노출을 최소화할 필요가 있다. 공기 중 디이소시아네이트를 평가할 때는 발생하는 입자의 크기 및 도료의 특성(단량체, 다량체 등)을 확인하여 가장 적절한 노출평가 방법을 정하여 평가하여야 하며 향후 총 이소시아네이트(total NCO기)를 평가할 수 있는 방법에 대한 국내 현장평가 적용 연구 등이 필요하다. 또한, 향후 TDI 노출자에 대한 의학적인 조사를 수반한 대규모 조사를 수행하여 증상자의 규모를 정확히 측정하고, 호흡기 증상, 피부 증상 전체를 포괄하여 관리할 수 있는 체계를 구축할 필요가 있다.

VI. 참 고 문 헌

- 강형경, 김현욱 NIOSH와 OSHA 측정 방법을 이용한 이소시아네이트류 발생
공정별 농도 분포. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 1999, 9(2)
- 김영삼. 국내산 노출형 우레탄 도막방수재의 내후성 평가를 통한 KS 품질기준
개선. 청주대학교 건축공학과 박사학위논문, 2015
- 김성호, 원종욱, 김치년, 정우진, 노재훈. 시료채취방법에 따른 작업 공정별
Toluene diisocyanate 포집농도 비교. J Korean Soc Occup Environ Hyg,
2013;23(2):95-102
- 김치년, 노재훈, 최호춘, 정지연, 황병문, 김기연. 하용기준 제정물질의 작업환
경측정 및 분석에 관한 비교-TDI. 산업안전보건연구원, 2009
- 김형렬, 김철우, 홍윤철, 전형준, 김치년, 김현수. 인천지역 TDI 노출 작업자에
서 직업성천식 유병율. 대한산업의학회지, 2004;16(2):191-199
- 노영만, Streicher RP. 9-Anthracenylmethyl 1-Piperazinecarboxylate(PAC)을 이
용한 공기중 총이소시아네이트 분석방법 개발: 제1부 반응조건 및 안
정성. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 1999, 9(2):167-176
- 박근철, 공기 중 톨루엔 디이소시아네이트와 요충 톨루엔 디아민의 관련성. 연
세대학교 대학원 보건학과 석사학위논문, 2002.

- 박근철, 김치년, 김현수, 김형렬, 노재훈. 공기 중 toluene diisocyanate의 포집방법에 따른 요중 toluene diamine의 관련성. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2003, 13(1):82-89
- 박진희. 우레탄 도장 근로자의 TDI 노출에 대한 생물학적 모니터링. 연세대학교 대학원 보건학과, 2003
- 박형성, 원종욱, 김치년, 노재훈. 공기중 Toluene diisocyanate 측정방법에 따른 포집농도 비교. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2013;23(4):341-347
- 변혜정, 윤충식, 백남원. 공기중 이소시아네이트류 측정 및 분석방법에 고나한 비교 연구. Kor J Env. Hth. Soc. 1996; 22(2):32-42
- 서석환, 서차수, 박진환. 도료용 폴라올 종류에 따른 폴리이소시아네이트와의 반응성. J Korean Ind Chem, 2008;19(4):388-396
- 신지영, 이정은, 박지원, 정선영, 유수진. 만성 기침 환자에서 Modified ECRHS 설문을 이용한 천식진단의 유용성에 대한 연구. 대한내과학회지, 2009; 77(6):734-740
- 이나루, 이광용. 특정화학물질 측정·분석기법 연구-목재가구 제조 공장에서 이소시아네이트 화합물의 노출 평가 및 특성에 관한 연구. 산업안전보건 연구원, 1999
- 이선주, 이광목, 노영만. 고속액체크로마토그래피를 이용한 이소시아네이트의 동시 정량. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 1994; 4(2)
- 이종성, 김부욱, 신정아, 백진이, 신재훈, 김지혜. 소변 중 디아민을 이용한 디

- 이소시아네이트 노출 근로자의 생물학적 모니터링. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2016; 26(2):178-187
- 이은정, 유철, 한영선, 조영봉. GC/FID에 의한 작업환경중 메틸 이소시아네이트의 분석. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2001; 11(3):249-253
- 왕근식. 비노출 폴리우레탄 도막방수재의 유기용제 혼입량과 경화시간에 따른 물성변화 연구. 서울과학기술대학교 건축과 석사학위논문, 2015
- 윤주송, 박준호, 이강명, 최홍순, 조영봉, 고상백, 차봉석. 2 클로로벤질 알코올 및 2,4 디클로로벤질 알코올 유도체를 이용한 TDI, MDI 및 HDI의 가스 크로마토그래피 분석. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2006; 16(3):222-232
- 정지연, 박성욱, 이지은, 이광용. 우레탄 폼 제조방식에 따른 작업자의 디이소시아네이트 노출수준 평가. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2012; 22(3): 209-216
- 정지연. 우레탄 폼 제조 사업장 작업자의 디이소시아네이트 피부노출 평가. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2013;23(2):57-64
- 최병순, 정해관. 우레탄 도료(TDI)에 의한 직업성 천식 3례. The Kor J of Occup Med, 1992;4(2):212-220
- Dennis C. Allport, David Gilbert, Susan Outterside. MDI and TDI: Safety, Health and the Environment, 2003
- Ghosh RE, Cullinan P, Fishwick D, Hoyle J, Warburton CJ, Strachan DP,

Butland BK, Jarvis D. Asthma and occupation in the 1958 birth cohort. Thorax. 2013 Apr;68(4):365-71

NIOSH Manual of Analytical Methods- Chapter-K. Determination of Airborne Isocyanate Exposure. 1998:115-140

Rosenberg C, Savolainen H. Determination of occupational exposure to toluene diisocyanate by biological monitoring. J Chromatogr. 1986 Oct 3;367(2):385-92

Sauni R, Oksa P, Huikko S, Roto P, Uitti J. Increased risk of asthma among Finnish construction workers. Occup Med (Lond). 2003 Dec;53(8):527-31.

Sang Il Lee, Myung Hee Shin, Ha Baik Lee, Joon Surng Lee, Byong Kwan Son. Prevalences of Symptoms of Asthma and Other Allergic Diseases in Korean Children: A Nationwide Questionnaire Survey. J Korean Med Sci 2001; 16; 155-64

Sullivan PA, Bang KM, Hearl FJ, Wagner GR. Respiratory risks in the construction industry. Occupational Medicine: State of the Art Reviews. 1995;10:313-34.

VII. 부 록

<부록 표 VII-1> TDI 설문지

I. 응답자 정보

성별/출생연도	☐ 남 ☐ 여 _____년도
키 / 몸무게	_____cm / _____kg
흡연	☐ 핀 적 없다 ☐ 피우다 끊었다 : 하루 _____갑 x _____년 동안 피움 ☐ 현재 피운다 : 하루 _____갑 x _____년 동안 피움
음주	☐ 마시지 않는다 ☐ 마신다 (주 _____회, 1회당 _____잔)
알레르기 질환	☐ 있음 ☐ 없음
직무력	1. 귀하의 현재 직업은 무엇입니까? (직업명/작업명: _____) 2. 현재 직무를 처음 시작한 날짜는 언제입니까? (_____년 _____월) 3. 하루에 평균 몇 시간씩 근무를 하십니까? (평균 _____ 시간) 4. 일주일에 평균 며칠 근무를 하십니까? (평균 _____ 일)

Ⅱ. (일반) 호흡기 증상 관련 문항

1. 자고 일어나면 기침이 나오는 날이 일주일에 5일 이상 됩니까?

☐① 예 ☐② 아니오

2. 일주일에 5일 이상 낮 또는 밤에 기침이 나옵니까?

☐① 예 ☐② 아니오

3. 1번 문항 또는 2번 문항을 ‘예’ 라고 대답한 경우 설문에 답해주세요

3-1. 1년에 3개월이상 대부분의 날에 기침이 나옵니까?

☐① 예 ☐② 아니오

3-2. 특정한 요일에 기침이 나옵니까?

☐① 예 ☐② 아니오

3-3. (3-2번 문항을 ‘예’ 라고 대답한 경우) 특정한 요일에 기침이 나온다면 어느 요일입니까?

_____요일

4. 자고 일어나면 가래가 나오는 날이 일주일에 5일 이상 됩니까?

☐① 예 ☐② 아니오

5. 일주일에 5일 이상 낮 또는 밤에 가래가 나옵니까?

☐① 예 ☐② 아니오

6. 4번 문항 또는 5번 문항을 ‘예’ 라고 대답한 경우 설문에 답해주세요

6-1. 1년에 3개월이상 대부분의 날에 가래가 나옵니까?

☐① 예 ☐② 아니오

6-2. (6-1번 문항을 ‘예’ 라고 대답한 경우) 가래가 나온지는 몇년이나 되었습니까?
_____년

7. 최근 3년동안에 가래나 기침이 3주이상 지속된 적이 있습니까?
☐① 예 ☐② 아니오

8. (7번 문항을 ‘예’ 라고 대답한 경우) 가래나 기침이 3주이상 지속된 적이 2번 이상 있었습니까?
☐① 예 ☐② 아니오

9. 가슴이 죄는 느낌이 들어 숨쉬기가 힘드십니까?
☐① 예 ☐② 아니오

☞ ‘아니오’ 라고 응답한 경우 13번 문항으로 가세요.

10~12. 9번 문항을 ‘예’ 라고 대답한 경우 설문에 답해주세요

10-1. 가슴이 죄는 느낌이 들어 숨쉬기가 힘든 증상이 감기 이외의 다른 이유로 생깁니까?
☐① 예 ☐② 아니오

10-2. (10-1번 문항을 예’ 라고 대답한 경우) 생긴다면 언제입니까?

11-1. 가슴이 죄는 느낌이 들어 숨쉬기가 힘든 것이 어떤 특정한 날에 생깁니까?
☐① 예 ☐② 아니오

11-2. (11-1번 문항을 예’ 라고 대답한 경우) 언제 증상이 생깁니까?
☐① 작업 첫날 ☐② 작업 첫날을 포함하여 다른 날 ☐③ 작업 첫날을 제외하고 다른 날

12. 계단을 급하게 오르거나 언덕을 오를때 숨이 차서 걸음을 멈추십니까?

☐① 예 ☐② 아니오

13. 나이가 비슷한 사람과 계단을 오를 때 다른 사람에 비해 숨이 차는것을 느끼십니까?

☐① 예 ☐② 아니오

14. 평소 속도로 계단을 오를 때 숨이 차서 걸음을 멈추십니까?

☐① 예 ☐② 아니오

15. 어느 특정한 날에 호흡곤란이 더 심해지십니까?

☐① 예 ☐② 아니오

16. (15번 문항을 ‘예’ 라고 대답한 경우) 구체적으로 어느 날 입니까?

17. 최근 3년동안에 호흡기질환으로 인해 일주일 이상 평소의 일을 하지 못하셨던 적이 있습니까?

☐① 예 ☐② 아니오

18. 17번 문항을 ‘예’ 라고 대답한 경우 설문에 답해주세요

18-1. 이런 호흡기 질환 때문에 평상시 보다 가래가 많이 나왔습니까?

☐① 예 ☐② 아니오

18-2. 최근 3년 동안에 이런 호흡기 질환이 두 번 이상 있었습니까?

☐① 예 ☐② 아니오

19. 다음 질환을 앓은 적이 있습니까?

☐① 흉부 수술 또는 손상

☐② 심장병

☐③ 기관지염

- ☐④ 폐렴 ☐⑤ 늑막염 ☐⑥ 폐결핵
☐⑦ 기관지 천식 ☐⑧ 기타 호흡기질환 (질환명:)

III. 천식 증상 관련 문항

1. 태어나서 지금까지 어느 때라도 숨쉴 때 가슴에서 쉼쉼거리는 소리나 휘파람 소리가 난 적이 있었습니까?

- ☐ ① 예 ☐ ② 아니오

☞ ‘아니오’ 라고 응답한 경우 6번 문항으로 가세요.

2. 지난 12개월 동안 숨쉴 때 가슴에서 쉼쉼거리는 소리나 휘파람 소리가 난적이 있었습니까?

- ☐ ① 예 ☐ ② 아니오

☞ ‘아니오’ 라고 응답한 경우 6번 문항으로 가세요.

3. 지난 12개월 동안 숨쉴 때 가슴에서 썹썹거리는 소리나 휘파람 소리가 난 적이 몇 번이나 있었습니까?

- ☐① 없음 ☐② 1 ~ 3번 ☐③ 4 ~ 12번 ☐
- ☐④ 13번 이상

4. 지난 12개월 동안 가슴에서 썹썹거리는 소리 때문에 잠에서 깨어난 적이 일주일에 평균적으로 몇 번 있었습니까?

- ☐① 없음 ☐② 1회/주 이하 ☐③ 2회/주 이상

5. 지난 12개월 동안 숨쉴 때 가슴에서 쉼쉼거리며 숨이 가빠서 말을 하기도 힘든 적이 있었습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

6. 태어나서 지금까지 “천식” 이라고 진단 받은 적이 있습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

7. 지난 12개월 동안 천식으로 치료를 받은 적이 있습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

8. 지난 12개월 동안 운동중이나 운동 후에 숨쉴 때 가슴에서 쉼쉼거리는 소리나 휘파람 소리가 난 적이 있습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

9. 지난 12개월 동안 감기 또는 폐렴이 아니면서, 가래가 나오지 않는 기침을 밤에 한 적이 있었습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

10. 지난 12개월 동안 숨이 차거나 호흡이 가빠지는 경우가 있었습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

11. 위에서 말한 숨차고 쉼쉼거리는 증상이 하루 중 언제 가장 심합니까?

□① 아침에 잠에서 깨어나서

□② 직장에서 일 할 때

☐③ 직장에서 퇴근해 집에 돌아와서

□④ 잠자리에 들어서

12. 주말이나 휴가를 맞아 근무가 없으면 상기 증상의 변화가 있습니까?

□① 변화가 없이 같다

□② 증상이 더 좋아진다

□③ 증상이

더 나빠진다

13. 휴가나 출장에서 돌아와 직장 근무를 다시 시작하면 상기 증상의 변화가 있습니까?

- ☐① 변화가 없이 같다 ☐② 증상이 더 좋아진다 ☐③ 증상이 더 나빠진다

IV. 피부 증상 관련 문항

1. 태어나서 지금까지 손에 습진이 발생한 적이 있습니까?

- ☐① 예 ☐② 아니오

2. 태어나서 지금까지 손목이나 팔뚝(손목부터 팔꿈치 사이)에 습진이 발생한 적이 있습니까?

(팔꿈치 안쪽 접히는 부위는 제외)

- ☐① 예 ☐② 아니오

☞ 1, 2번 문항 모두 ‘아니오’ 라고 응답한 경우 7번 문항으로 가세요.

3. 마지막으로 손이나 손목/팔뚝에 습진이 발생한 때가 언제입니까?

(손과 손목/팔뚝에 각각 한 개씩 체크해 주십시오)

부위	현재 있음	과거 3개월 이내	3~12개월 전	12개월 이상 이전
손 습진	☐ ①	☐ ②	☐ ③	☐ ④
손목/팔뚝 습진	☐ ①	☐ ②	☐ ③	☐ ④

기억하신다면 습진이 발생한 마지막 년도를 적어주십시오

손습진: _____ 년도, 손목/팔뚝 습진: _____ 년도

4. 근무 중 접촉된 화학물질이나 기타 물질 등에 의해서 습진이 악화된다고 생각하십니까? 있다면 예상되는 물질명을 적어주십시오.

(손과 손목/팔뚝에 각각 한 개씩 체크해 주십시오)

부위	예	아니오	예상 물질명
손 습진	☐ ①	☐ ②	()
손목/팔뚝 습진	☐ ①	☐ ②	()

5. 근무지 이외에서 접촉된 화학물질이나 기타 물질 등에 의해서 습진이 악화된다고 생각하십니까? 있다면 예상되는 물질명을 적어주십시오.

(손과 손목/팔뚝에 각각 한 개씩 체크해 주십시오)

부위	예	아니오	예상 물질명
손 습진	☐ ①	☐ ②	()
손목/팔뚝 습진	☐ ①	☐ ②	()

6. 주말이나 휴가를 맞아 근무가 없으면 상기 피부 증상의 변화가 있습니까?

(손과 손목/팔뚝에 각각 한 개씩 체크해 주십시오)

부위	변화가 없이 같다	증상이 더 좋아진다	증상이 더 나빠진다
손 습진	☐ ①	☐ ②	☐ ③
손목/팔뚝 습진	☐ ①	☐ ②	☐ ③

7. 태어나서 지금까지 어느 때라도 가려움을 동반한 발진이 생겼다 없어졌다 하면서 최소 6개월 이상 아래와 같은 부위에 지속된 적이 있었습니까?

(피부가 접히는 부위: 팔꿈치 안쪽, 무릎 뒤쪽, 발목 앞쪽 또는 엉덩이 아래 부위, 목덜미, 귀 또는 눈 주위)

☐① 예 ☐② 아니오

◎ 설문에 응답해 주셔서 감사합니다 ◎

<부록 표 VII-2> TDI 설문지피험자 동의서

피험자 동의서

과제명 : 건설업 직종별 노출 매트릭스 구축 연구(IV)

- 우레탄 방수작업자의 톨루엔 디이소시아네이트 노출 연구 중심

예 / 아니오

1. 나는 이 연구에 대한 설명문을 읽었으며 담당 연구원과 이에 대하여 충분히 의논하였습니다. ☐ ☐
2. 나는 이 연구참여로 인해 발생할 수 있는 위험(불이익)과 이득(혜택) 그리고 부작용 발생시 조치사항에 대하여 들었으며 나의 질문에 만족할 만한 답변을 얻었습니다. ☐ ☐
3. 나는 연구 진행 과정에서 나에 대한 새로운 정보를 수집하거나, 동의 당시 설명받은 위험 이외의 불이익이 발생한 경우 연구자가 나에게 즉시 보고해야 한다는 것을 알고 있습니다. ☐ ☐
4. 나는 이 연구에 참여하는 것에 대하여 자발적으로 동의하며, 어떠한 강제나 부당한 영향을 받지 않았습니다. ☐ ☐
5. 나는 이 연구에서 수집될 나(피험자)에 대한 정보의 종류와 범위에 대한 설명을 들었으며, 이는 현행 법률과 연구윤리심사위원회 규정이 허용하는 범위 내에서 연구자가 수집하고 처리한다는 것을 충분히 이해하였습니다. ☐ ☐
6. 나는 담당 연구자나 위임 받은 대리인이 연구를 진행하거나 결과관리를 하는 경우와 보건 당국, 학교 당국 및 한국보건의료연구원 연구윤리심사위원회가 실태 조사를 하는 경우에는 비밀로 유지되는 나의 개인 신상 정보를 직접적으로 열람하는 것에 동의합니다. ☐ ☐
7. 나는 언제라도 이 연구의 참여를 철회할 수 있고 이러한 결정이 나에게 어떠한 불이익도 되지 않을 것이라는 것을 알고 있습니다. ☐ ☐
8. 나의 서명은 이 동의서의 사본을 받았다는 것을 뜻하며 연구 참여가 끝날 때까지 사본을 보관하겠습니다. 그리고 성명, 서명 그리고 날짜 모두 자필로 기록하였습니다. ☐ ☐
9. (대리인인 경우) 피험자는 이 연구에 대해 이해할 수 없는 상태이고 자필로 동의할 수 없어 대리인이 대신 충분히 이해하고 자필로 서명하였습니다. ☐ ☐
10. (공정한 입회자인 경우) 피험자와 대리인이 동의서 서식, 피험자 설명서 및 기타 문서화된 정보를 읽을 수 없어서 동의 전과정에 참여하였으며 피험자(대리인)의 자유의사로 이 연구 참여에 동의하였다는 것을 확인하였습니다. ☐ ☐

피험자 성명		피험자 서명	
--------	--	--------	--

< 아래는 연구책임자 기재란입니다. >

연구책임자는 본 조사연구의 목적, 방법, 환자의 권리, 비밀보장 등에 대해서 상세히 상기 환자에게 설명해 주었고, 환자 스스로 이 연구에 참여할 것을 결정하고 서명하였음을 확인합니다.

20 년 월 일

책임/공동연구자 성명		책임/공동연구자 서명	
----------------	--	----------------	--

Abstract

Title

Exposure Assessment of Airborne Toluene Diisocyanates among Polyurethane-painting Workers in Construction Industry

Objectives

The objective of this study was to evaluate the exposure concentration of toluene diisocyanate(TDI) among polyurethane-painting workers in construction industry.

Methods

Task-based air samplings were carried out in 5 polyurethane-painting construction sites. Air sampling were performed by the filter collection method(OSHA#42) and liquid collection method(NIOSH#5522).

Results

The geometric mean(GM) concentration of 2,4-TDI by filter collection method was 0.058 ppb(0.01~0.5 ppb) and that of 2,6-TDI was 0.523 ppb(0.026~22.81 ppb). The concentration of 2,6-TDI was about 10 times higher than that of 2,4-TDI, but the correlation between the two substance concentrations was very weak. The concentration of 2,6-TDI by liquid collection method was about 5.7 times higher than that of filter method. As a results of the liquid method, 26% of the

2,6-TDI samples exceeded the occupational exposure limits. As results of the volatile organic compounds(VOCs) exposure assessment, toluene, ethylbenzene, xylene, ethyl acetate, n-butyl acetate were detected. 25 samples (39.7%) exceeded the exposure limits based on mixed VOCs exposure index.

Conclusions

Diisocyanates can cause asthma even in extremely low concentrations in the air and can cause serious health hazards to workers' health such as carcinogenicity. Therefore, there is a need to minimize exposure concentration of diisocyanate through the use of local exhaust ventilation and periodic cleaning of work tools such as mixers and rollers after work.

Key words : Diisocyanate, Polyurethane-painting, Construction Industry

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 박현희 (연구위원, 직업환경연구실)

공동연구자 : 황은송 (연 구 원, 직업환경연구실)

장광명 (연 구 원, 직업환경연구실)

노지원 (연 구 원, 직업환경연구실)

박승현 (실 장, 직업환경연구실)

참여연구자 : 이상길 (부 장, 직업건강연구실)

조현민 (연 구 원, 직업환경연구실)

〈〈연 구 기 간〉〉

2018. 1. 1 ~ 2018. 11. 30

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

2018-연구원-891

건설업 직종별 노출매트릭스 구축 연구(Ⅳ)

발 행 일 : 2018년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 직무대리 이관형

연구책임자 : 직업환경연구실 연구위원 박현희

발 행 처 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 중가로 400

전 화 : (052) 7030-901

F A X : (052) 7030-337

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>
