



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

우레탄 도료 방수작업시
이소시아네이트 피부노출 수준 평가
Assessment Of Isocyanate Dermal Exposure
During Urethane Waterproof Work

지도교수 이복임

이 논문을 안전보건학 석사 학위 논문으로 제출함

2018년 12월

울산대학교 일반대학원
안전보건학과
노 지원



노지원의 안전보건학 석사학위 논문을 인준함

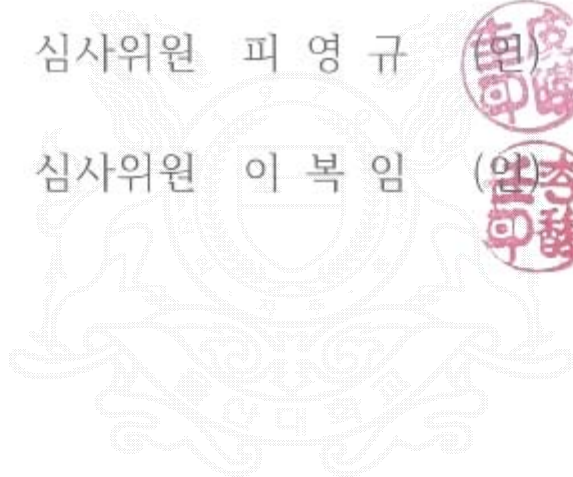
심사위원 정 기 효



심사위원 피 영 규



심사위원 이 복 임



울산대학교 일반대학원

2018년 12월



[요약문]

우레탄 도료 방수작업시 이소시아네이트 피부노출수준 평가

울산대학교 일반대학원
안전보건학전공
노지원

우레탄 도료 방수 작업 직전 작업자들은 주제에 경화제를 섞어 사용하게 되는데 이때 도료 내 반응하지 않은 이소시아네이트는 작업자의 호흡기 및 피부를 통해 직접적으로 흡수될 수 있으며, 작업 도구에 남아 2차적으로 노출될 가능성이 있다. 이소시아네이트 노출로 인한 천식사례는 국내외에 지속적으로 보고되고 있으며, 이소시아네이트의 노출에 대한 공기 중 농도의 평가방법에 관한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 피부노출에 대한 농도 수준이나 평가방법에 관한 연구는 찾아보기 드문 실정이다.

따라서 이 연구에서는 우레탄 방수작업자의 피부노출과 작업도구를 통해 이소시아네이트에 대한 간접 피부노출을 평가하고 그에 따른 작업환경 개선방안을 제시하고자 하였다.

이소시아네이트를 흡착시켜 반응하면 붉은색으로 발색하는 패드를 이용하여 방수작업 직후 작업자의 피부 및 작업도구 표면의 농도를 반정량으로 평가하였으며, 작업자를 대상으로 이소시아네이트와 관련된 질환에 관한 설문조사를 실시하였다.

패드를 이용한 현장 평가결과 근로자의 피부에 직접적으로 노출되는 양은 낮은 수준이었으나 시료의 2.8%에서 양성반응을 보였으며, 작업도구에서는 측정된 시료의 72.5%에서 이소시아네이트가 잔존해 있는 것을 확인할 수 있었다. 작업자들은 주로 긴 팔 및 마스크를 착용하여 피부를 외부로 노출시키지 않았기 때문에 피부노출 수준이 낮게 나온 것으로 추정되었다. 그러나 작업 이후 작업도구를 세척하여 보관하거나 보호 장비를 착용하여 2차적으로 노출될 수 있는 가능성을 줄이려는 노력이 필요하다.



< 차례 >

I. 서론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목적	2
II. 본론	3
1. 문헌고찰	3
1) 이소시아네이트의 물리적 특성	3
2) 이소시아네이트의 노출기준	4
3) 이소시아네이트의 관련 직업병	6
4) 피부노출평가	7
2. 연구방법	8
1) 연구 대상	8
2) 피부노출평가 및 표면오염평가	12
3) 설문 조사 방법	18
3. 연구결과	19
1) 피부노출평가	19
2) 표면오염평가	19
3) 설문조사 결과	22
III. 결론 및 고찰	23
참고문헌	25
<부록>	27
Abstract	34



< 표 차례 >

<표 1> Physical Characteristics of Isocyanate	3
<표 2> Exposure Criteria	5
<표 3> Construction Site Of Urethane Waterproof Work	8
<표 4> Information of Objects	11
<표 5> Concentration Scale of Skin SWYPE Pad according to Isocyanate Concentration	11
<표 6> Concentration Scale of Surface SWYPE Pad according to isocyanate concentration	15
<표 7> Skin SWYPE Color Concentration by Construction Site	19
<표 8> Surface SWYPE Samples Of Work Tool by Construction Site	20
<표 9> Surface SWYPE Color Concentration Scale by Work Tool	20
<표 10> Surface SWYPE Concentration Scale by Work Tool and Construction Site	21
<표 11> Surface SWYPE Concentration Scale by Construction Site	21
<표 12> Surface SWYPE Concentration Scale by Work Tool	21
<표 13> Worker's Symptoms by Construction Site	22



< 그림 차례 >

<그림 1> Urethane Waterproof Work Of A Construction Site	9
<그림 2> Urethane Waterproof Work Of B Construction Site	9
<그림 3> Urethane Waterproof Work Of C Construction Site	10
<그림 4> Mixing Process Of D Construction Site	10
<그림 5> Skin SWYPE Pad	13
<그림 6> Surface SWYPE Pad	13
<그림 7> Developing solution	13
<그림 8> Color Changes of Skin SWYPE Pad by TDI Concentration (Low concentration on the left and high concentration on the right)	14
<그림 9> Color Changes of Surface SWYPE Pad by TDI Concentration(Low concentration on the left and high concentration on the right)	15
<그림 10> Process of Absorbing the Developing Solution on the Pad	16
<그림 11> Work Tool : Mixer, Roller, Opener	17



I. 서론

1. 연구 배경

이소시아네이트(isocyanate)는 $N=C=O$ 기를 가진 반응성 화합물로서 폴리우레탄의 고분자화합물을 형성한다. 폴리우레탄은 탄성체, 도료, 접착제 등에 사용되며 신발, 자동차 용품, 각종 페인트 등에 이용되고 있다[1]. 우리나라는 1957년에 폴리우레탄 공업이 들어왔으며 그 이후로 지속적으로 성장하여 연간 450,000톤 이상의 생산량을 기록하고 있다[2].

우레탄 방수 도료는 1액형과 2액형으로 구분되며, 1액형은 도료에 경화제를 사용하지 않으며 2액형은 주제에 경화제를 혼합, 반응시켜 도막을 형성하여 상온에서 빠르게 굳게 하는 방식으로 사용된다. 경화제란 도료에 첨가하여 빠르게 굳게 하며 강도와 접착력을 증대시키는 물질을 말하는데[3], 2액형 도료 사용 시 경화제를 미리 섞어 놓으면 그 기능이 떨어지기 때문에 작업 직전 혹은 작업 도중에 작업자가 수작업으로 섞어서 사용하게 된다. 이때 경화제 내부의 미반응된 이소시아네이트는 작업자에게 직접적으로 노출될 위험이 있으며 도료 사용 시 피부를 통해 흡수될 가능성이 있다.

이소시아네이트 화합물이 천식을 일으킨다는 사례는 1951년에 최초로 보고되었고 그 이후 우리나라에서도 Toluene Diisocyanate(TDI)를 취급하는 현장에서 천식발생이 보고되고 있다. TDI가 인체에 흡수되면 천식, 피부염, 기관지 및 폐 기능의 감소를 일으킨다. 유럽의 성인들에게서 최근 10년간의 천식 발병률은 약 7%로 국민들에게 중요한 건강 문제로 인식되고 있으며 역학조사에 의하면 천식 유발의 원인은 유전학적인 요인보다 환경적인 요인에 의한 것이 더 많다고 알려졌다[4]. 직업성 천식은 분진, 반응성 염료, 가스, 증기 및 흙, 이소시아네이트 등 그 원인물질이 여러 가지로 알려져 있다. 안연순 등(2007)의 연구에서는 2000년부터 2007년까지 특수건강진단을 수진한 근로자들을 대상으로 천식 입원에 있어서 이소시아네이트의 원인 점유율을 64%(95% 신뢰구간 47~76%)로 산출하였고 노출된 이소시아네이트의 종류별로는 TDI 56%, MDI 85%, 두 물질 모두에 노출된 경우가 79%로 보고하였다. 이소시아네이트가 천식에 미치는 영향은 클 것으로 예상되며 천식으로 입원하지 않은 유병 환자까지 계산한다면 그 수는 더 증가할 것으로 추정된다[5].

이소시아네이트의 공기 중 농도가 낮은 수준임에도 불구하고 우리나라에서 이소시아네이트로 인한 천식 사례는 지속적으로 보고되고 있다. 외국에서는 장기간 다수의 환자에 대한 천식 발병 연구를 수행하고 있으나 피부로 흡수되는 양에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 이 연구에서는 우레탄 방수작업자의 피부노출과 작업도구를 통한 간접 피부노출을 평가하고 그에 따른 작업환경 개선방안을 제시하고자 한다.



2. 연구 목적

이소시아네이트의 노출에 대한 공기 중 농도의 평가방법에 관한 연구는 지속적으로 진행되어왔다. 그러나 피부노출에 대한 농도 수준이나 평가방법에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

TDI의 노출여부를 판단하기 위해서 작업환경측정을 실시하고 있지만 실질적으로 근로자에 따라 화학물질에 대한 민감도가 달라 호흡성 농도만으로 인체에 어느 정도 영향을 끼치는지 판단하기 어렵다. TDI의 인체 대사산물인 뇨중 Toluene diamine(TDA)를 분석하는 방법은 내부 흡수량을 정확히 판단할 수 있고 사람별 특이도가 높다[3]. 그러나 작업환경측정을 통한 TDI의 분석과 마찬가지로 뇨중 TDA의 분석은 전처리 과정이 필요하며 분석 과정에서 오차가 발생할 수 있다. 따라서 근로자가 TDI에 노출될 수 있는 작업현장에서 적은 오차 수준으로 농도를 알아볼 수 있는 방법은 피부노출평가 방법이 하나의 대안이 될 수 있다. 본 연구에서는 현장에서 사용하는 도료 및 작업 장소에 따라 피부로 흡수될 수 있는 이소시아네이트의 양을 반정량적으로 평가해보고자 한다. 본 연구의 목적은 다음과 같다.

첫째, 우레탄 도료 방수작업 후 작업자의 피부로 직접 노출되거나, 작업도구에 남아 작업자의 피부에 2차적(간접 노출)으로 노출될 수 있는 수준을 반정량 평가한다.

둘째, 작업자의 피부노출 부위, 작업도구별 평균색도를 비교하여 작업환경 개선방안을 제시한다.



II. 본론

1. 문헌고찰

1) 이소시아네이트의 물리적 특성

이소시아네이트는 diisocyanate monomer와 polyisocyanate 형태로 존재한다. diisocyanate monomer는 방향족 화합물¹⁾과 지방족 화합물로 나뉜다. 대표적인 방향족 화합물에는 톨루엔-2,4-디이소시아네이트(Toluene-2,4-Diisocyanate; 2,4-TDI)와 톨루엔-2,6-디이소시아네이트(Toluene-2,6-Diisocyanate; 2,6-TDI)가 있고, 지방족 화합물에는 메틸렌디(비스)페닐 이소시아네이트(4,4'-Methylene di(bis)phenyl isocyanate; MDI)와 헥사메틸렌 디이소시아네이트(Hexamethylene Diisocyanate; HDI)가 대표적이다. 이소시아네이트는 무색이거나 연한 노란색 액체로 자극성 냄새를 가지고 있다. 어는점이 11.5~13.5 °C이며 상온에서는 주로 액체 상태로 존재한다. 에테르, 아세톤, 벤젠, 사염화탄소, 알코올 등 많은 유기용제에 혼합되기 쉬우며 0.05~0.4 ppm 수준부터 사람들은 냄새를 느낄 수 있다. 휘발성이 거의 없는 물질로 알려져 있어서 노출될 경우 공기 중으로 분산되는 것이 아니라 바닥으로 가라앉을 확률이 높다. 또한 중합반응을 일으킬 수가 있으므로 실온보다 높은 온도에서의 사용을 피할 것이 권장된다[6].

<표 1> Physical Characteristics of Isocyanate

	2,4-TDI	2,6-TDI	MDI	HDI
CAS Number	584-84-9	91-08-7	5124-30-1	822-06-0
Molar Mass(g/mol)	174.2	174.2	262.4	168.2
Apperance	Colorless yellow liquid	Colorless yellow liquid	Colorless yellow liquid	Colorless yellow liquid
Density(g/cm ³)	1.22	1.22	1.20	1.04
melting point(°C)	21.8	21.8	37.2	-55
boiling point(°C)	251.0	251.0	194~199	212.8
Vapor Pressure(mmHg) at 25°C	0.01	0.01	0.001	-

* 출처 : [7], [8]

2) 이소시아네이트의 노출기준

- 1) 방향족 화합물 : 벤젠 고리를 포함한 유기화합물을 의미하며 주로 향을 가지고 있기 때문에 Aromatic Compounds라 한다. 이와 반대로 벤젠 고리를 가지고 있지 않고 단일, 이중 혹은 삼중 결합 등의 구조를 가진 화합물을 지방족 화합물이라 한다.



가. 직업적 노출기준

이소시아네이트 중 2,4-TDI, 2,6-TDI, MDI, HDI, 메틸 이소시아네이트(Methyl Isocyanate) 및 이소포론 디이소시아네이트(Isophorone diisocyanate)의 직업적 노출기준은 고용노동부 고시 제2018-62호(화학물질 및 물리적 인자의 노출기준)에 제시되어 있다. 이 물질들은 인체에 미치는 유해성이 알려져 있기 때문에 이를 사용하는 현장에서는 노출기준 미만이어도 노출 수준을 더 낮추기 위해 지속적으로 노력해야 한다. 우리나라에서는 이소시아네이트류 중 2,4-TDI, 2,6-TDI, MDI 및 HDI가 주로 사용되고 있으며 작업환경측정 대상물질이자 특수건강진단 대상 유해인자로 설정되어 있다. 또한 2,4-TDI 와 2,6-TDI는 산업안전보건법 제31조에 의한 허용기준 이하 유지 대상 유해인자로서 그 기준을 초과해서는 안 된다. 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH)는 2,4-TDI 와 2,6-TDI가 따로 있거나 혹은 혼합물로 존재한다는 가정하에 하나의 노출기준을 설정하여 제시하고 있다. 미국 직업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration; OSHA)에서는 2,4-TDI와 4,4'-MDI의 허용노출기준(Permissible Exposure Limits:PEL)을 Ceiling²⁾값으로 각각 0.02 ppm과 0.2 ppm으로 제시하고 있다. 2,4-TDI가 2,6-TDI보다 존재하는 양이 상대적으로 많기 때문에 2,6-TDI에 대한 노출기준은 없으며 2,4-TDI에 대한 노출기준을 제시하고 있다[표 2].

나. 생물학적 노출지수

ACGIH에서는 HDI가 인체의 피부를 통해 흡수되어 피부염을 일으킨다는 연구결과 및 동물 피부에 패치를 붙여 수행한 실험에서 알레르기성 피부염을 발생시킨다는 결과를 참고하여 생물학적 평가 노출기준(Biological Exposure Indices; BEI)을 제정하였으며, 이는 크레아틴(creatinine) 중 15 µg/g이다. 2,4-TDI와 2,6-TDI의 경우 두 이성질체를 합한 농도를 5 µg/g 으로 제시하고 있다[표 2]. TDI는 인체로 흡수되어 혈액 및 뇨중 TDA 형태로 분석되는 방법이 보고되어왔다. 우리나라의 경우 산업안전보건법에 특수건강진단 대상 유해물질과 검사 주기가 명시되어있으나 노출기준에 대한 고시는 없다.

이소시아네이트에 노출되는 근로자의 특수건강진단 과정은 1차와 2차로 나뉘어져 있다. 1차 건강진단에서는 직업력 조사, 의사 진찰, 흉부 방사선 촬영, 폐기능 검사를 하며 이들 중 피부염, 알러지성 천식증상이 현저한 자, 흉부 방사선 촬영에서 이상소견을 보이는 자, 폐기능 검사에서 이상소견을 보이는 자는 2차 건강진단을 실시하도

2) Ceiling : 천장값이라고 해석할 수 있으며, 근로자가 작업시간 중 단 한 번도 넘지 말아야 할 노출기준을 정해놓았음. Ceiling값이 모든 물질에 있는 것은 아님.



록 규정하고 있다. 2차 건강진단에서는 작업조건조사, 폐기능 검사, 기관지 유발시험, 필요에 따른 간기능검사 및 면역학적 검사, 알러지성 반응검사, 천식유발시험 전후 기관지 과민증의 변화 등을 하도록 규정되어 있다[9].

<표 2> Exposure Criteria

	Agency	2,4-TDI	2,6-TDI	4,4'-MDI	HDI
Occupational Exposure Limit	³⁾ MoEL	0.005 ppm ⁽⁴⁾ TWA 0.02 ppm ⁽⁵⁾ STEL 발암성 2		0.005 ppm (TWA) 발암성 2	0.005 ppm (TWA)
	NIOSH ⁽⁶⁾ REL	-	-	0.05 mg/m ³ (0.005ppm) C 0.2 mg/m ³ (0.200 ppm [10 mins]	0.005 ppm (0.0035 mg/m ³) C 0.020 ppm (0.140 mg/m ³) [10 mins]
	OSHA ⁽⁷⁾ PEL	C 0.02 ppm (0.14 mg/m ³)	-	C 0.2 mg/m ³ (0.02ppm)	-
	ACGIH TLV	0.001 ppm IFV ⁸⁾ (TWA) 0.005 ppm IFV (STEL) Asthma; pulm func; eye irr		0.005 ppm Resp ⁹⁾ sens	
Biological Exposure Index	Analytical Substance	Toluene diamine in urine		-	1,6-Hexameth ylene diamine(HDA) in urine
	ACGIH	sum of 2,4- and 2,6-isomers 5 µg/g creatinine		-	15 µg/g creatinine
	MoEL	-	-	-	-

* 출처 : [7], [8], [10]

3) MoEL : Ministry of Employment and Labor(고용노동부).

4) TWA : Time Weighted Average(시간가중 평균). 8시간동안 노출되었을 때 가중된 평균 농도를 의미함.

5) STEL : Short Term Exposure Limit(단시간노출기준). 1회 15분간 노출기준을 의미함.

6) REL : Recommended Exposure Limit(권장노출기준). 미국 직업안전보건연구원(NIOSH)에서 제정하며 법적 규제 요건은 아니지만 권장 지침으로 이용되고 있음. 일생동안 노출되어도 건강을 보호할 수 있다고 믿는 수준임.

7) PEL : Permissible Exposure Limit(허용노출한계). 산업안전보건청(OSHA)에서 제정하며 법적 제한이 있음.

8) IFV : Inhalable Fraction and Vapor(흡입성 및 증기).

9) Resp : Respirable(호흡성)의 약자임.



3) 이소시아네이트의 관련 직업병

직업성 천식이란 작업환경 내에 존재하는 특정 물질 혹은 자극물질에 노출되어 발생하거나 악화된 기관지 천식을 말하며, 산업화된 국가들 내에서는 가장 흔한 직업성 호흡기 질환으로 전체 천식의 약 10~25%가 직업적 요인과 관련되어있다고 알려져 있다. 직업성 천식을 일으키는 수많은 물질들이 보고되어 있으며, 국내에서 직업성 천식을 유발한다고 알려진 주요 원인물질들은 꽃가루, 밀가루, 곡물분진, 쌀겨와 같은 식물성 성분, 목재분진, 한약제, 우성황이, 사슴털, 누에고치와 같은 동물성 물질, 일부 항생제 및 소화제, 니켈, 아연, 코발트, 크롬과 같은 금속류, 용접용제, TDI, MDI, 포름알데히드, 반응성 염료 등이다[11]. 그 중에서도 이소시아네이트는 대표적인 천식 유발 화학물질로 알려져 있다. 이소시아네이트를 취급하는 작업자들의 건강영향을 예방하기 위해서 주로 호흡기계 흡수만을 고려한 공기 중 노출 평가를 실시하고 있으며 피부 흡수는 Skin으로 표기하고 있다. 호흡기 노출에 대한 연구를 바탕으로 공기 중 이소시아네이트의 농도는 환경 개선을 통해 감소되고 있다. 그러나 공기 중 이소시아네이트 농도가 매우 낮거나 검출되지 않는 작업장에서도 직업성 천식이 발생하는 사례들이 조사된 바 있다[12]. 특히 한 번이라도 이소시아네이트의 노출로 인해 천식이 발생한 이력이 있는 사람의 경우 1 ppb 수준의 낮은 농도에 다시 노출되었을 때 천식이 발병할 수 있다.

이소시아네이트 피부노출에 의한 체내 흡수 정도는 호흡기 노출에 비해 상당히 클 수 있다. 공기 중에 희석되지 않은 채 적은 면적의 피부에 흡수가 가능하기 때문이다. 과거 여러 동물 실험을 통하여 피부노출이 호흡기 노출보다 감작을 유발시키는데 효과적이라는 연구결과가 보고된 바 있다[13]. 그리고 상대적으로 적은 농도의 이소시아네이트를 동물 피부를 통해 노출시킨 연구에서도 호흡기계 감작반응이 유발된 결과들이 보고되었다. MDI와 TDI 노출실험 결과 피부염과 두드러기를 야기 시킨 연구결과가 있으며 MDI 노출로 인한 모낭습진 발생 사례도 보고되었다.



4) 피부노출평가

유기화합물의 피부노출평가 수준을 알아보기 위한 시도는 지속되어왔다. 영국 보건안전부(Health and Safety Executive; HSE)의 MDHS 94/2(Pesticides in air and on surface)에서는 작업 이후 작업복의 표면에 부착해두었던 7개의 패드(10 cm x 10 cm)와 작업 시 착용하고 있던 장갑 및 양말을 적절한 용매를 선택하여 소니케이트(Sonicate) 한 후 가스크로마토그래프/질량분석기(Gas Chromatograph/Mass Selective Detector)로 추출하는 분석 방식에 대해 제시하였다[14].

Liu Y 등(2007)은 색변환 패드(colormetric indicator, CLI, USA)를 이용한 이소시아네이트의 피부노출평가 방법에 대한 검증을 실시하였다. 이 방법은 결과를 빠르게 확인할 수 있고 경제적이고 쉽게 이용할 수 있으나 감도가 낮아 농도수준이 높을 것으로 예측되는 이소시아네이트 함유 제품을 취급하는 작업장의 작업도구 및 피부노출평가 방법으로 사용가능하다고 하였다[15].

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 mL 의 2.5×10^{-4} M 1-(9-anthracenylmethyl) piperazine(MAP)이 유도체인 염화메틸렌 용액으로 추출한 후, 미국 직업안전보건연구원(National Institute of Occupational Safety and Health; NIOSH) 5525 방법으로 분석하였다. 평가결과 스프레이 작업을 대상으로 49개의 시료를 채취하였으며(5×5 cm²), 이중 86%의 시료가 검출한계 이상이였다[16].

국내에서는 염혜경 등(1998)의 연구에서 벤지딘 염산염에 노출되는 양을 평가하기 위하여 목과 손바닥 부위를 유리 섬유필터(glass fiber filter, 37 mm)에 증류수를 묻혀 닦아내고 NIOSH Method No. 5509, 5013에 따라 분석한 사례가 있었으며[17], 정윤경(2011)은 디메틸포름아미드(Dimethyl formamide)의 양을 알아보기 위해 테이프를 피부에 10초간 압박한 후 핀셋으로 뜯어내고 테이프에서 채취된 피부의 양을 계산하여 정량하는 방식을 사용하였다[18]. 정지연(2013)의 연구에서는 우레탄폼 제조 사업장에서 색변환 패드를 사용하여 작업종료 후 아래팔, 얼굴, 목을 패드로 닦아내고 현상액을 이용하여 이소시아네이트의 농도를 반정량으로 평가하였다[19].



2. 연구방법

1) 연구 대상

가. 우레탄 방수 노출 평가 대상 사업장

본 연구는 우레탄 방수작업을 실시하는 4개의 아파트 신축건설현장을 대상으로 2018년 4~6월에 평가를 실시하였다. 평가 작업은 A, B 사업장의 경우 옥상 방수였으며 C 사업장은 세대 안 욕실 및 다용도실이었고 D 사업장은 1층 필로티 바닥이었다. A와 B 사업장의 도장 면적은 옥상 165~330 m²이었으며 C 사업장은 세대별 3.3~6.6 m²으로 하루에 25세대를 작업하였고 D 사업장은 42~65 m²을 작업하였다[표3].

피부노출평가는 A, B, C의 3개의 사업장에서 실시하였으며 표면오염평가는 A, B, C, D의 4개의 사업장에서 진행되었다. D 사업장의 경우 오전 작업 이후 휴식시간을 이용하여 표면오염평가를 실시하였으나, 작업 이후에 우레탄 방수작업이 아닌 다른 작업에 즉시 투입되면서 피부노출평가를 실시하지 못하였다.

방수 페인트가 경화되어야 하는 작업의 특성상 우기를 피해 습도가 낮고 온도는 17~26 °C인 날씨에 작업을 실시하였다. 작업자 대부분은 목과 안면에 마스크, 반팔에 팔 토시 및 고무장화를 착용하였으며 안전모 안에 손수건을 덧대어 땀을 흡수하도록 한 작업자도 있었다[그림 1~4].

<표 3> Construction Site Of Urethane Waterproof Work

Construction Site	A	B	C	D
Location	Busan	PyeongTaek	Busan	Ulsan
Date	2018.04	2018.05	2018.05	2018.05
Average Temp.(°C)	17~22	14~22	21~23	22~24
Average Humidity(%)	40~63	45~53	40~50	70~80
Working Area(m ²)	rooftop (165~330)	rooftop (165~330)	Bathroom/ Basement (3.3~6.6 /each house)	1 st floor piloti (42~56/ apartment block)
Average Paint Usage/day (kg)	1,200~1,800	1,200~1,800	56~112	600~1,000
Objective	Resin	Primer	Primer	Primer



<그림 2> Urethane Waterproof Work Of A Construction Site



<그림 3> Urethane Waterproof Work Of B Construction Site



<그림 4> Urethane Waterproof Work Of C Construction Site



<그림 5> Mixing Process Of D Construction Site



나. 연구 대상자 특성

17명의 근로자를 대상으로 하였으며, A 현장의 8명의 작업자들은 외국인 근로자로 응답이 불가하여 정보를 얻을 수 없었고 B, C, D 의 3개 사업장 근로자 9명은 남성이 7명, 여성 2명이었다. 연령의 경우 60대가 4명으로 가장 많았고, 50대 2명, 70대, 30대, 20대가 각 1명씩 있었다. 우레탄 방수 업무 기간은 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.

<표 4> Information of Objects

Construction Site	Gender	Age	Work Period (year)	Average work hours/day	Average work days/week
A	-	-	-	-	-
	Male	64	20	8	7
	Male	67	15	8	7
B	Male	71	30	8	6
	Female	66	10	8	7
	Female	65	15	8	6
C	Male	56	7	8	6
	Male	52	4	7	7
D	Male	32	1	8	7
	Male	29	1	8	7



2) 피부노출평가 및 표면오염평가

우레탄 도료 방수 작업을 실시하는 작업자 및 그들이 사용하는 작업도구를 대상으로 노출평가를 실시하였다. 작업 직후 작업자의 얼굴, 목, 팔목, 손 등의 피부를 닦아내어 인체에 직접 흡수될 수 있는 피부노출평가(직접노출평가)를 실시하였으며 작업 도구에 남아 2차적으로 작업자의 피부로 노출될 수 있는 표면오염평가(간접노출평가)를 반정량으로 평가하였다.

가. 시약 및 장비

OSHA(1999)에서 이소시아네이트의 피부노출평가 및 표면오염평가를 위한 평가기법 실험 시 사용한 Skin SWYPE Pad(SKC, Model : 769-1032)와 Surface SWYPE Pad(SKC, Model : 769-1002)를 사용하였다. 패드에서 연구자의 손에 닿는 부위는 손으로부터 오염물질이 묻지 않도록 비닐로 씌워져있다. 노출평가 패드에 이소시아네이트가 묻으면 현상액(Developing solution)과 반응하여 발색되며, 농도가 진할수록 연한 빨간색에서 짙은 빨간색으로 나타난다.

실험실에서 미리 알고 있는 농도의 이소시아네이트 용액을 패드로 닦아낸 후 현상액을 이용하여 색을 나타나게 하였다. 실험실에서 제조한 색도표를 현장에서 시료와 비교하여 반정량 평가를 실시하였다. 사용한 시약은 2,4-TDI(Sigma-aldrich, 함량 99%) 시약을 Acetonitrile(Sigma-aldrich, 함량 99%)를 이용하여 희석한 용액을 사용하였다.



<그림 6> Skin SWYPE Pad



<그림 7> Surface SWYPE Pad



<그림 8>
Developing
solution



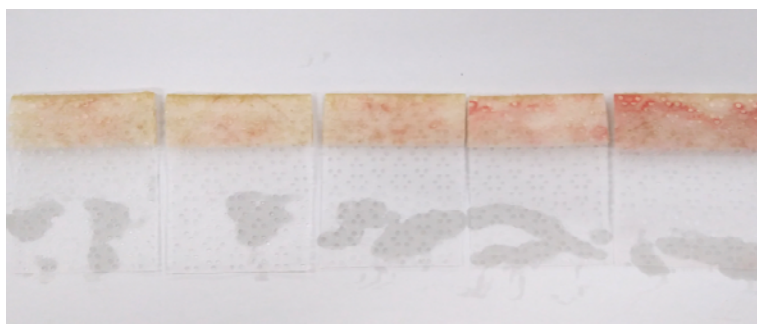
나. 색도표 제작 방법

○ 피부노출평가를 위한 색도표 제작

이소시아네이트 표준용액은 2,4-TDI를 아세토니트릴(Acetonitrile)에 50,000배 희석시켜 0.0242 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ 농도의 용액으로 제조하고 이것을 패드에 일정량 떨어뜨린 후, 현상액이 검출부까지 도달하게 하여 패드의 색도표를 만들었다[그림 4]. SKIN SWYPE 패드에 주입한 용액의 양은 25, 50, 100, 200, 400 μl 였으며, 주입된 2,4-TDI의 양은 각각 0.604, 1.208, 2.416, 4.831, 9.662 μg 이었다[표 5].

<표 5> Concentration Scale of Skin SWYPE Pad according to Isocyanate Concentration

Type	Concentration Range ($\mu\text{g}/\text{pad}$)	Concentration Scale
Skin SWYPE Pad	0	0
	0~0.604	1
	0.604~1.208	2
	1.208~2.416	3
	2.416~4.831	4
	4.831~9.662	5



<그림 9> Color Changes of Skin SWYPE Pad by TDI Concentration (Low concentration on the left and high concentration on the right)



○ 표면오염평가를 위한 색도표 제작

이소시아네이트 표준용액은 2,4-TDI를 아세토니트릴(Acetonitrile)에 1,000배 희석시켜 1.208 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ 농도의 용액을 제조하였다. 그 용액의 일정량을 시계접시(Watch glass)에 떨어뜨리고 현상액을 도포한 후 패드로 닦아내어 색도표를 제작하였다[그림 5]. Surface SWYPE 패드에 주입한 용액의 양은 1, 2, 5, 10, 20 μl 로 주입된 2,4-TDI의 양은 각각 1.208, 2.416, 6.039, 12.078, 24.156 μg 이었다[표 6].

<표 6> Concentration Scale of Surface SWYPE Pad according to isocyanate concentration

Type	Concentration Range ($\mu\text{g}/\text{pad}$)	Concentration Scale
Surface SWYPE Pad	0	0
	0~1.208	1
	1.208~2.416	2
	2.416~6.039	3
	6.039~12.078	4
	12.078~24.156	5



<그림 10> Color Changes of Surface SWYPE Pad by TDI Concentration(Low concentration on the left and high concentration on the right)



다. 피부노출평가 방법

○ Skin SWYPE 패드 측정방법

Skin SWYPE 패드의 섬유부분(2.5 × 5 cm)을 사용하여 신체의 노출 부위를 닦아내었다. 작은 컵에 현상액을 약 1/4가량 붓고, Skin SWYPE 패드의 섬유부분이 현상액에 닿도록 놓아두었다. 현상액이 패드 상부의 색 검출부분(Color detection strip)까지 흡수된 후 색이 나타나면 실험실에서 제작한 색도표와 비교하여 그 정도를 현장에서 즉시 판독하였다. 패드에는 baby oil만 함유되어 있어 피부에 묻은 이물질을 닦아내는 용도로 사용하였고 피부에 알러지 등을 유발하는 화학성분 등을 함유하고 있지 않았다.



<그림 11> Process of Absorbing the Developing Solution on the Pad

○ 현장 평가방법

방수작업 이후 Skin SWYPE 패드로 닦아내는 신체부위는 작업자의 손등, 손바닥, 팔목, 목, 얼굴, 이마였다. 손등의 경우 하나의 패드로 한 작업자의 양 손등을 각각 5×5 cm 범위로 닦아내고 이것을 하나의 시료로서 보관하였으며 손바닥, 팔목, 목, 얼굴의 경우에도 오른쪽과 왼쪽을 하나의 패드로 닦아내고 시료로 보관하였다. 이마는 정 가운데를 5 × 5 cm 범위로 닦아내었다. 팔목을 닦아내는 위치는 옷 소매가 닿는 부분의 팔 안쪽으로 하였다. 패드로 작업자의 피부를 닦아내면 즉시 패드를 현상액에 담그고 3분 후 현상액이 패드의 cloth(색을 나타내는 부분)까지 올라가면 색도표와 비교하여 색을 확인하고 기록하였다. 이후 각 패드를 폴리백에 하나씩 담아 밀봉하여 운반한 후 냉장 보관하였다.



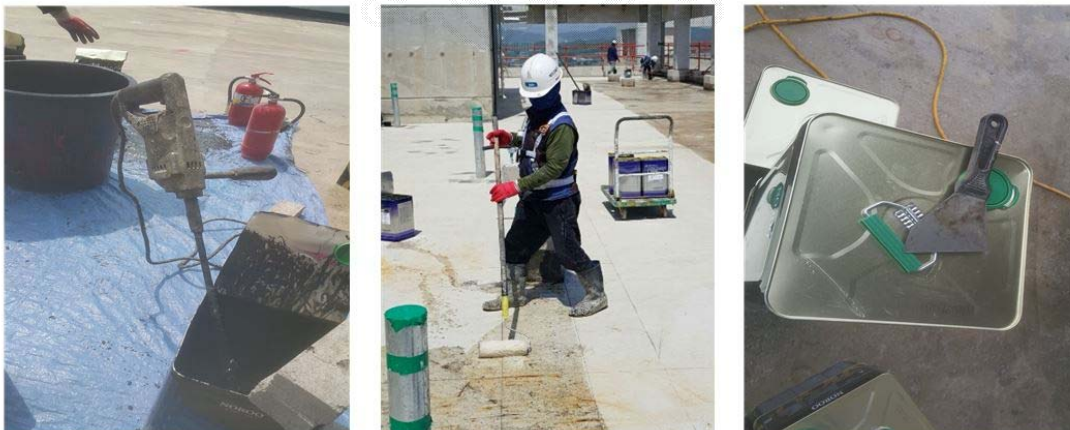
라. 표면오염평가 방법

○ Surface SWYPE 측정 및 분석방법

작업도구 표면에 묻어 작업자에게 잠재적으로 노출될 수 있는 이소시아네이트 농도수준을 평가하였다. 평가를 위해 작업도구의 표면에 현상액을 분사하고 약 30초간 기다린 후 Surface SWYPE 패드를 이용하여 약 5 × 5 cm 면적의 표면을 닦아내었다. 약 3분을 기다린 후 패드의 발색정도를 현장에서 확인하고 색도표와 비교하여 즉시 판정하였다.

○ 현장 평가방법

작업 이후 즉시 Surface SWYPE 패드를 작업자가 사용한 믹서기, 롤러, 따개의 손잡이 위주로 닦아 내고 색변화를 확인하여 색도표와 비교하였다. 작업이 오전과 오후로 나누어져있는 경우 오전 작업이 끝난 후 몇 가지 작업도구에 패드로 색변화를 확인하였고, 그 외 작업도구는 모든 작업이 끝난 후에 색변화를 확인하였다. 믹서기의 경우 본체, 주손잡이, 보조손잡이 위치에서 패드로 닦아내었고 롤러는 상부, 중부, 하부를, 따개는 손잡이 위주로 닦아내었다. 작업도구를 닦아낸 패드는 폴리백에 하나씩 담아 밀봉하여 운반한 후 냉장 보관하였다.



<그림 12> Work Tool : Mixer, Roller, Opener



○ 평가결과 분석방법

사업장 별 채취한 작업도구 및 시료의 수가 상이하여 색도 평가를 비교하기 위해 평균 색도를 계산하였다. 도구별 평균 색도(Concentration Scale Mean)는 각 색도 값에 해당하는 시료의 수를 곱한 후 전체 시료 수로 나누어 계산하였으며 사업장 별, 작업도구별로 평균 농도(색도)를 비교하였다

3) 설문 조사 방법

우레탄 방수 작업에 대한 피부노출평가와 표면오염평가가 끝난 후 B, C, D 세 개의 사업장 근로자 9명의 성별, 연령, 흡연력, 흡연량 등 일반적인 특성과 직무, 직무기간, 출근일수, 일 근무시간 등 작업특성 사항에 대하여 설문조사를 실시하였다. 설문 문항은 일반 호흡기 증상 19문항, 천식 증상 13문항, 피부 증상 7문항으로 구분하였다[부록].

본 연구는 산업안전보건연구원에서 실시한 생명윤리위원회(Institutional Review Boards, IRB)의 승인(연구번호 2018-IRB-07)을 받았으며 노출평가 실시 전 모든 근로자에게 연구 목적과 방법에 대해 설명하고 동의 후 진행되었다.



3. 연구결과

1) 피부노출평가

A, B, C의 3개 현장에서 17명을 대상으로 107개의 패드를 이용하여 피부노출평가를 실시하였다. A 현장 5명, B 현장 1회차 6명, 2회차 5명, C 현장 1명을 대상으로 하였으며 B현장에서는 1회차와 2회차에는 중복하여 피부노출평가를 실시한 작업자가 있었다. 대부분의 시료에서는 색 변화를 확인할 수 없었으며, 시료의 2.8% 수준인 3개의 패드에서 0.604 µg/pad 미만으로 추정되는 색도 1 수준의 색 변화가 있었다[표 7]. 색 변화가 있었던 시료는 A 작업장에서 각각 손등, 목, 이마를 닦아낸 패드였다.

<표 7> Skin SWYPE Color Concentration by Construction Site

Construction Site	Color Concentration Scale					
	0	1	2	3	4	5
A	46 (43.0%)	3 (2.8%)	-	-	-	-
B	54 (50.5%)	-	-	-	-	-
C	4 (3.7%)	-	-	-	-	-
Total(n)	104 (97.2%)	3 (2.8%)				

2) 표면오염평가

A~D의 4개의 현장, 17개의 작업도구에서 40개 패드로 표면오염평가를 실시하였다. 표면오염평가는 작업자가 주로 사용하는 믹서기, 롤러, 따개의 작업도구를 대상으로 하였으며 A 현장 14개(1회차 7개, 2회차 7개), B 현장 20개(1회차 7개, 2회차 13개), C 현장 3개, D 현장 3개의 시료를 채취하였다[표 8]. 표 9와 같이 작업도구별 색도를 나타내었으며 믹서기 19개, 롤러 18개, 따개 3개의 시료 중에서 27.5%(11개)는 색이 변하지 않아 이소시아네이트가 없거나 그 양이 매우 적을 것으로 평가되었다. 나머지 72.5%(29개)의 시료는 색도 1부터 5까지 변화를 보였다.



<표 8> Surface SWYPE Samples Of Work Tool by Construction Site

Construction Site	Total(n)	mixer	roller	opener
A	14 (35.0%)	7 (17.5%)	6 (15.0%)	1 (2.5%)
B	20 (50.0%)	6 (15.0%)	12 (30.0%)	2 (5.0%)
C	3 (7.5%)	3 (7.5%)	-	-
D	3 (7.5%)	3 (7.5%)	-	-
Total(n)	40 (100.0%)	19 (47.5%)	18 (45.0%)	3 (7.5%)

<표 9> Surface SWYPE Color Concentration Scale by Work Tool

Work Tool	Color Concentration Scale						
	Total(n)	0	1	2	3	4	5
mixer	19 (47.5%)	6 (15.0%)	4 (10.0%)	5 (12.5%)	1 (2.5%)	2 (5.0%)	1 (2.5%)
Roller	18 (45.0%)	4 (10.0%)	11 (27.5%)	3 (7.5%)	-	-	-
Opener	3 (7.5%)	1 (2.5%)	2 (5.0%)	-	-	-	-
Total(n)	40 (100%)	11 (27.5%)	17 (42.5%)	8 (20.0%)	1 (2.5%)	2 (5.0%)	1 (2.5%)

○ 평균 색도 비교

사업장에서 채취한 작업도구별 평균 색도는 A 사업장의 믹서기가 2.86으로 오염도가 가장 높았고, 다음으로 D 사업장의 믹서기(1.33), A 사업장의 Roller(1.17) 순이었다[표 10].

사업장에 따라서는 A 사업장이 평균색도 2.00으로 가장 높았고, D 사업장(1.33), B 사업장(0.83), C 사업장 (0.33) 순이었으나, 사업장별 표면시료를 채취한 작업도구의 종류 및 수가 상이하야 비교하기에는 제한점이 있었다[표 11].

작업도구별로 비교하였을 경우 믹서기(mixer)의 평균색도가 1.58로 가장 높았고, 롤러(roller) (0.94), 따개(opener) (0.67)순으로 높게 나타났다[표 12].



<表 10> Surface SWYPE Concentration Scale by Work Tool and Construction Site

Construction site	Work Tool	Surface samples of Concentration Scale(n)							Conc. Mean
		Total	0	1	2	3	4	5	
	Total(n)	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	-	-	-	-	1.00
B	Mixer	6	2	3	1	-	-	-	0.83
	Roller	12	4	6	2	-	-	-	0.83
	Opener	2	1	1	-	-	-	-	0.50
C	Mixer	3	2	1	-	-	-	-	0.33
D	Mixer	3	1	-	2	-	-	-	1.33

<表 11> Surface SWYPE Concentration Scale by Construction Site

Construction Site	Samples by Concentration Scale(n)							Conc. Mean
	Total(n)	0	1	2	3	4	5	
Total(n)	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

<表 12> Surface SWYPE Concentration Scale by Work Tool

Work Tool	Samples by Concentration Scale(n)							Conc. Mean
	Total(n)	0	1	2	3	4	5	
Total(n)	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



3) 설문조사 결과

일반적인 호흡기 증상 설문에서 4명(44.4%)의 작업자가 “자고 일어나면 기침이 나는 날이 5일 이상인 경우”, “일주일에 5일 이상 낮 또는 밤에 기침이 나오는 경우”, “자고 일어난 경우 가래가 나오는 날이 5일 이상인 경우”, “가슴이 죄는 느낌이 들어 숨쉬기 힘든 날이 있는 경우” 등에 대한 질문에 각 1~2명이 ‘예’라고 답변하였다. 그 중 1명의 작업자는 3개월이상 대부분의 날에 기침이 나오며 가래가 나온지 3년이 되었고 일주일에 5일 이상 증상이 지속된다고 답변하였다.

천식증상에 대해서는 1명(11.1%)의 작업자가 숨 쉴 때 가슴에서 썹썹거리는 소리가 지난 1년간 1~3회 발생하였으며 주말이나 휴가를 맞아 근무가 없는 중에도 작업중과 마찬가지로 증상이 지속된다고 응답하였다.

피부증상에 대해서는 “손에 습진이 있다”라고 답변한 작업자가 4명(44.4%)이 있었는데, 그 중 3명은 시멘트 접촉에 의해 손 부위의 습진이 악화되었다고 답변하였다[표 13].

설문 응답자의 수가 매우 제한적이며 대조군이 없어 유의한 결과를 제시하기는 어려우나, 우레탄 방수 작업자들의 호흡기, 천식관련 증상이 일부 근로자들에게서 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

<표 13> Worker's Symptoms by Construction Site

Symptoms	Total(n)	Construction Site		
		B	C	D
Respiratory Symptoms	4(44.4%)	3(33.3%)	-	1(11.1%)
Asthma Symptoms	1(11.1%)	-	-	1(11.1%)
Skin Symptoms	4(44.4%)	-	-	4(44.4%)
Total(n)	9(100%)	4(44.4%)		6(66.6%)



Ⅲ. 고찰 및 결론

우레탄 도료 방수 작업의 경우 이소시아네이트가 포함되어 있는 경화제를 작업자가 직접 혼합하여 사용하기 때문에 이 물질에 노출될 가능성이 크고, 이소시아네이트의 밀도가 다른 유기화합물에 비해 높은 편이어서 공기 중 농도 뿐 아니라 피부로 흡수되는 농도를 평가해볼 필요가 있다.

아파트 건설현장에서의 우레탄 방수작업의 피부노출평가 결과 이소시아네이트의 농도 검출은 시료의 2.8% 수준인 3개의 패드에서 나타났으며 신체부위별로는 손, 이마, 목에서 검출되었다. 그 양은 모두 0.604 $\mu\text{g}/\text{pad}$ 미만의 적은 양으로 추정되었으나 그 시료는 모두 한 사업장에서 채취되었다는 것에 의미가 있었으며, 농도 검출이 확인되었기에 근로자 보호구 교육 시 이 부위에 대한 피부노출에 대해 주의시킬 필요가 있다. 3개 현장에서 일한 작업자의 대부분은 작업복 이외에 장갑, 팔 토시, 마스크 등으로 몸의 대부분을 노출시키지 않고 작업하였고 작업 공간이 개방되어 화학물질의 농도가 낮았을 것으로 예상되었다. 패드에서 이소시아네이트가 검출된 사업장의 경우, 작업자의 일부가 마스크나 손수건으로 얼굴과 목을 가리지 않았기 때문으로 피부노출이 있었던 것으로 추정된다.

표면오염평가 결과 이소시아네이트는 채취한 시료의 72.5%(29개)에서 검출되어, 작업 이후 절반 이상의 작업도구에 도료 내에서 미반응된 이소시아네이트가 남아있는 것을 확인 할 수 있었다. 작업 도구별 농도 평가결과 믹서기(mixer)에서 평균색도가 1.58로 가장 높았고, 롤러(roller)(0.94), 파개(opener)(0.67)순이었다. 작업도구의 표면 평가 결과는 사업장에 따라 상이하여 사업장별 작업도구 관리 수준에 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 보호 장갑, 보호의 등을 착용하지 않는 경우, 피부를 통한 잠재적 노출가능성은 확인할 수 있었다.

설문 조사 결과 근로자의 44.4%인 4명에게서 호흡기, 천식 및 피부증상이 나타남을 확인할 수 있었다. 일반적으로 이소시아네이트를 사용하는 작업 시 이러한 증상을 호소하는 근로자는 10% 미만이다. 따라서 이번 연구에서 상당히 많은 근로자가 증상을 호소하였음을 알 수 있었으며 사업장별로 상이한 결과를 나타냄을 확인하였다. 이는 사업장별로 작업 방식 및 교육의 차이로 인한 결과일 수 있으며 이를 알아보기 위한 후속 연구가 필요하다.

이번 연구에서는 4개의 건설현장에서 노출평가를 실시하였으나 3개의 사업장에서 피부노출평가를 실시하였고 외국인 근로자에 대한 설문조사가 불가하여 기본 조사를 실시하지 못하였으며, 사업장별로 채취한 시료 수가 상이하여 비교가 어려웠던 한계가 있었다. 또한 작업도구의 표면오염평가는 실시하였으나 작업복에 잔류하여 작업 이후에 근로자에 영향을 미칠 수 있는 작업복오염평가를 실시하지 못하여 작업자에게 흡수될 수 있는 이소시아네이트의 농도가 저평가되었을 가능성이 있다. 일부의 작업도구에서 이소시아네이트가 검출된 것으로 보아 작업자의 작업 방식이나 작업 도구를 관리하는 수준에 따라서 이소시아네이트에 노출되는 농도가 다를



수 있으며, 이를 줄일 수 있을지에 대한 앞으로의 연구가 필요하다. 또한 작업자의 의복의 차이로 인한 피부노출농도가 다를 것으로 예상되기 때문에 계절별 의복 착용에 따른 피부노출농도에 대한 연구를 추가로 진행하고, 이 연구에서의 한계점을 보완한 평가가 이루어진다면 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

이번 연구에서는 작업자에게 흡수될 수 있는 이소시아네이트의 농도와 연관성을 갖는 인자를 찾을 수 없었으나, 국내에서 거의 연구한 적 없는 우레탄 방수작업자의 피부노출평가를 시도하였으며 도로 내 미반응된 이소시아네이트가 노출될 수 있음을 확인한 것에 그 의의가 있다. 이소시아네이트류는 공기 중 농도가 극히 낮더라도 직업성 천식이 발생될 수 있으며, 발암성 등 작업자의 건강에 중대한 건강장해를 유발할 수 있는 물질로 노출을 최소화하기 위한 노력이 필요하다. 공기 중 노출 및 피부노출을 최소화하기 위해 배합작업 등 도료를 집중적으로 취급하는 작업에 이동식 국소배기장치를 사용하거나, 실내 방수 작업에서는 전체 환기를 위한 환기팬의 사용이 권장된다. 또한 작업 후 배합기(mixer) 및 롤러 등 작업도구에 대한 주기적인 세척 등 관리를 통해 작업자의 피부노출을 최소화할 필요가 있다.





참고문헌

- [1] 정지연. 고분자화합물 취급 공정에서의 유해물질 발생실태 및 개선연구 -폴리우레탄 폼 및 수지 생산 공정 중심으로-, 2015, 산업안전보건연구원
- [2] 이현구, 김영순. 페폴리우레탄 폼의 재활용에 대한 연구, 2002, 6(1):543-546, 응용화학
- [3] 노재훈. TDI 노출 근로자 코호트 구축, 2004, 산업안전보건연구원
- [4] Donatella Talini, Alessandro Ciberti, Dusca Bartoli, Paolo Del Guerra, Tonina Enza Iaia, Maria Lemmi, Andrea Innocenti, Francesco Di Pede, Manuela Latorre, Laura Carrozzi, Pierluigi Paggiaro. Work-related asthma in a sample of subjects with established asthma, 2017, 130: 85-91, Respiratory Medicine
- [5] 안연순, 고동희, 문기태. 이소시아네이트 노출 근로자의 천식에서 이소시아네이트 원인 점유율, 2007, 19(4): 276-284, 대한산업의학회지
- [6] 노재훈. 화학물질 노출기준 개정 연구(톨루엔-2,6-디이소시아네이트), 2005, 고용노동부
- [7] National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH) pocket guide, <https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html>, NIOSH
- [8] ICSC(International Chemical Safety Cards) 0499, 2008, International Programme on Chemical Safety(IPCS)
- [9] 근로자 건강진단 실무지침 제2권 유해인자별 특수건강진단 방법, 2017, 산업안전보건연구원
- [10] American Conference of Governmental Industrial hygienists(ACGIH). 2018, Documentations of the Threshold limit Values & Biological Exposure Indices. Cincinnati Ohio, ACGIH
- [11] 대한천식폐질환학회, <http://www.kseald.org/>



- [12] Dhimiter Bello, Judy Sparer, Carrie A. Redlich, Karim Ibrahim, Meredith H. Stowe, Youcheng Liu. Slow Curing Of Aliphatic Polyisocyanate Paints in Automotive Refinishing : A Potential Source for Skin Exposure, 2007, 4:406-411, Journal of Occupational and Environmental hygiene
- [13] Youcheng Liu, Meredith H. Stowe, Dhimiter Bello, Susan R. Woskie, Judy Sparer, Rebecca Gore, Fred Youngs, Mark R. Cullen, Carrie A. Redlich. Respiratory Protection from Isocyanate Exposure in the Autobody Repair and Refinishing industry, 2006; 3:234-249, Journal of Occupational and Environmental hygiene
- [14] Health and Safety Executive(HSE), MDHS 94/2 Pesticides in air and on surface, 2015, HSE
- [15] Liu Y et al., Skin exposure to aliphatic polyisocyanates in the auto body repair and refinishing industry: a qualitative assessment, 2007, 51(5):429-439, Ann Occup. Hyg.
- [16] Bello et al., Skin exposure to aliphatic polyisocyanates in the auto body repair and refinishing industry: II. A quantitative assessment. 2008, 52(2):117-124, Ann Occup. Hyg.
- [17] 염혜경, 송재석, 김치년, 원종욱, 노재훈. 벤지딘 염산염 및 염료 제조 근로자들의 피부 노출 평가. 1998, 10(1): 83-93, 대한산업의학회지
- [18] 정윤경. 피부 흡수 주의 유기용제에 노출된 근로자에서 테이프 박리법을 이용한 피부 노출 수준 평가; N,N-Dimethylformamide를 중심으로, 2011, 가톨릭대학교 대학원 박사학위논문
- [19] 정지연. 우레탄 폼 제조 사업장 작업자의 디이소시아네이트 피부노출 평가, 2013, 23(2):57-64, 한국산업위생학회지



<부록>

TDI 설문지

I. 응답자 정보

성별/출생 연도	<input type="checkbox"/> 남 <input type="checkbox"/> 여 _____년도
키 / 몸무게	_____cm / _____kg
흡연	<input type="checkbox"/> 편 적 없다 <input type="checkbox"/> 피우다 끊었다 : 하루 _____갑 x _____년 동안 피움 <input type="checkbox"/> 현재 피운다 : 하루 _____갑 x _____년 동안 피움
음주	<input type="checkbox"/> 마시지 않는다 <input type="checkbox"/> 마신다 (주 _____회, 1회당 _____잔)
알레르기 질환	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 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 나오니까?
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 날입니까?

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?

- | | | |
|--|--|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ① 흉부 수술 또는 손상 | <input type="checkbox"/> ② 심장병 | <input type="checkbox"/> ③ 기관지염 |
| <input type="checkbox"/> ④ 폐렴 | <input type="checkbox"/> ⑤ 늑막염 | <input type="checkbox"/> ⑥ 폐결핵 |
| <input type="checkbox"/> ⑦ 기관지 천식 | <input type="checkbox"/> 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 쉼쉼거리는 소리나 휘파람 소리가 난 적이 몇 번이나 있었습니까?

- | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ① 없음 | <input type="checkbox"/> ② 1 ~ 3번 | <input type="checkbox"/> ③ 4 ~ 12번 |
| <input type="checkbox"/> ④ 13번 이상 | | |

4. 지난 12개월 동안 가슴에서 쉼쉼거리는 소리 때문에 잠에서 깨어난 적이 일주일 에 평균적으로 몇 번 있었습니까?

- | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ① 없음 | <input type="checkbox"/> ② 1회/주 이하 | <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> ①	<input type="checkbox"/> ②	<input type="checkbox"/> ③	<input type="checkbox"/> ④
손목/팔뚝 습 진	<input type="checkbox"/> ①	<input type="checkbox"/> ②	<input type="checkbox"/> ③	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> ①	<input type="checkbox"/> ②	(_____)
손목/팔뚝 습 진	<input type="checkbox"/> ①	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> ①	<input type="checkbox"/> ②	(_____)
손목/팔뚝 습 진	<input type="checkbox"/> ①	<input type="checkbox"/> ②	(_____)

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



(손과 손목/팔뚝에 각각 한 개씩 체크해 주십시오)

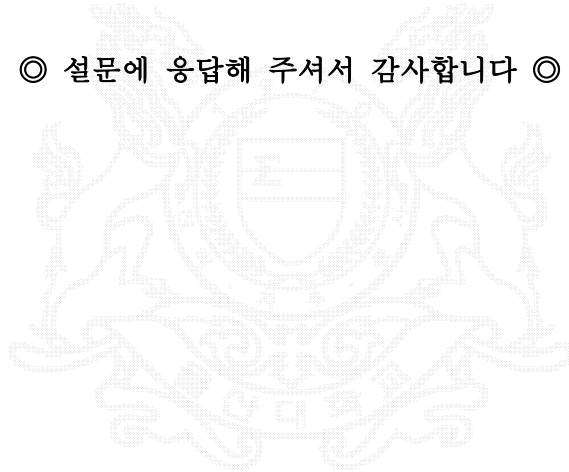
부위	변화가 없이 같다	증상이 더 좋아진다	증상이 더 나빠진다
손 습진	<input type="checkbox"/> ①	<input type="checkbox"/> ②	<input type="checkbox"/> ③
손목/팔뚝 습진	<input type="checkbox"/> ①	<input type="checkbox"/> ②	<input type="checkbox"/> ③

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 ◎





Abstract

Assessment Of Isocyanate Dermal Exposure During Urethane Waterproof Work

Jiwon Ro

The Graduate School of Safety and Health
University of Ulsan

Before the urethane paint waterproof work, operators use a mixture of hardener on the subject paint. Isocyanate which did not react in the hardener, can be directly exposed through the operator's respiratory and skin, and is likely to remain on the work tool.

Research about the concentration of the isocyanate in the air has been steadily conducted. And asthma cases resulting from the exposure of isocyanate have been reported. However there were few studies on concentration of dermal exposure and how to assess it. Therefore, this study has conducted to evaluate the dermal exposure concentration of urethane waterproof workers and from work tools.

Exposure evaluation was carried out by examining the presence of isocyanate on work tool surfaces and worker's skin using the semi-quantitative SWYPE pad. The pad changed color when it reacted with an isocyanate and developing solution. A color concentration scale table was produced to distinguish concentrations with eyes by dropping a certain amount of isocyanate onto the pad. The evaluation was conducted when the workers break time after work in the morning and after work.

2.8% of dermal exposure samples showed positive results. Because workers usually wear long arms and masks. So they did not expose their skin outside. However 72.5% of the measured surface samples detected isocyanate. Therefore the workers have to reduce the possibility of secondary exposure by cleaning and storing work tools after work or wearing protective equipment.