



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 원 저작자를 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 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)



석사학위논문

트리클로로에틸렌 세척공정에서의 장소별
공기 중 트리클로로에틸렌 농도분포와
일간 변이에 관한 연구



한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
정수진

석사학위논문
지도교수 박두용

트리클로로에틸렌 세척공정에서의 장소별
공기 중 트리클로로에틸렌 농도분포와
일간 변이에 관한 연구

A Study on Characteristics of Distribution of
Trichloroethylene Concentrations by Sampling Positions and
Daily Variations in a Degreasing Process

2016년 12월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
정수진

석사학위논문
지도교수 박두용

트리클로로에틸렌 세척공정에서의 장소별
공기 중 트리클로로에틸렌 농도분포와
일간 변이에 관한 연구

A Study on Characteristics of Distribution of
Trichloroethylene Concentrations by Sampling Positions and
Daily Variations in a Degreasing Process

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2016년 12월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
정수진

정 수 진의 공학 석사학위 논문을 인준함

2 0 1 6 년 12 월 일



심사위원장 윤재건

심사위원 김상현

심사위원 박두용

국 문 초 록

트리클로로에틸렌 세척공정에서의 장소별 공기 중 트리클로로에틸렌 농도분포와 일간 변이에 관한 연구

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
정 수 진

본 연구는 트리클로로에틸렌(trichloroethylene, 이하 TCE) 탈지공정에서 장소별 공기 중 TCE 농도를 측정하여 장소별 TCE 농도특성을 파악하고 분석하여 향후 작업환경제도 개선하고, 근로자 노출농도 추정이나 평가하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 수행되었다. TCE 측정은 확산식 시료채취기 (3M 3500)를 사용하였다. 기간은 08월 12일과 11월 1일 사이였고 측정을 한 날짜는 총15일이었다.

공기 중 TCE를 측정한 주요 장소는 자동세척기에 세척할 부품을 투입하는 투입구, 세척된 후 부품이 나오는 배출구, 세척 후 건조가 덜 된 부품을 작업자가 세척망을 흔들어 남아 있는 TCE를 제거하는 추가건조 작업대, 1차 적재장소, 2차 적재 장소 등이었다. 작업장소별로 공기 중 TCE 농도가 가장 높은 곳은 간헐적으로 이루어지는 단시간동안의 정비나 청소작업을 제외하고는 세척 후 건조가 덜 된 부품을 작업자가 세척망을 흔들어 남아 있는 TCE를 제거하는 추가건조 작업대가 있는 곳이었다. 이 작업은 자동세척기 배출구 바로 앞쪽에 위치해 있다. 작업자 추가 건조 작업을 하는 동안 TCE 농도는 110.8 ± 71.8 ppm으로 나타났다(GM 93.1 ppm, GSD 1.8). 추가 건조작업시

간은 필요한 경우에만 불규칙하게 이루어졌으며, 보통 1일 45~60분 정도 이루어지며, 측정을 하는 동안 평균작업시간은 53.5분이었다. 자동세척장치의 배출구 바로 앞에서 10 cm, 40 cm 및 80 cm 떨어진 지점에서 측정한 결과 TCE 농도는 13.7 ± 10.5 ppm, 56.4 ± 41.5 ppm, 그리고 12.8 ± 6.5 ppm으로 나타났다. 이곳에서 작업시간은 10~20cm 지점에서 184분, 40 cm 떨어진 지점에서 285분이었다. 1차 적재장소에서 측정한 TCE 농도는 34.6 ± 23.5 ppm 이었고, 2차 적재장소는 8.2 ± 3.7 ppm이었다. 작업시간은 1차 적재장소에서 38분(32~44분), 2차 적재장소에서는 9.5분(8~11분)이었다. 투입 전 준비작업 장소에서 TCE 농도는 9.6 ± 13.8 ppm이었고, 작업시간은 평균 95분(80~110 분)이었다. 자동세척기에 투입하는 장소에서의 TCE 농도는 8.0 ± 2.5 ppm이었고 작업 시간은 357분(300~414분)이었다. 자동세척장치는 1주일에 1~2회 약 30분간 내부 청소작업을 한다. 이때 자동세척장치 내부의 농도는 301.5 ppm이었고, 출입문 안쪽은 80.3 ppm, 자동세척장치 외부는 26.8 ppm, 배출구에서는 20.1 ppm, 연결통로에서는 8.2 ppm으로 나타났다. 장소시료의 일간변이는 기하표준편차로 1.6~2.1 정도로 나타나 개인시료의 변이보다는 작은 것으로 보였다.

장소별 TCE 농도의 변이를 감안하여 조사된 작업시간을 바탕으로 작업자의 1일 노출농도를 추정한 결과, 배출구 작업자는 25.0~88.3 ppm 으로 투입 구 작업자는 9.3~55.2 ppm으로 추정되었다.

【주요어】 장소시료, 지역시료, TCE, Trichloroethylene, 탈지작업

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구 필요성	1
제 2 장 연구대상 및 방법	2
제 1 절 연구대상	2
1) 조사대상 사업장	2
2) 연구 대상 물질	3
제 2 절 측정 및 분석 방법	4
1) 측정 위치	4
2) 측정 방법	4
3) 분석 방법	5
4) 확산포집방법에 의한 농도 계산방법	6
제 3 장 연구 결과	7
제 1 절 총 론	7
제 2 절 자동세척공정 작업 장소에 따른 TCE 농도	12
1) 투입 전 준비작업	12
2) 자동세척기에 제품 투입작업	13
3) 자동세척 된 제품 배출구 작업	16
4) 추가 건조작업	19

5) 1차 적재작업	21
6) 2차 적재작업	22
7) 자동세척기 내 재생기 청소작업 시 장소별 단시간 TCE 농도	23
제 3 절 자동세척공정 작업장소별 측정결과에 따른	
개인 노출농도 추정	25
1) 투입구 위치 작업자의 작업장소별 TWA	26
2) 배출구 위치 작업자의 작업장소별 TWA	30
제 4 장 결 론	35
참 고 문 헌	37
ABSTRACT	39

표 목 차

〈표 1〉 조사대상 사업장개요	2
〈표 2〉 Trichloroethylene 의 직업적 노출기준(ppm)	3
〈표 3〉 가스크로마토그래피의 분석조건	5
〈표 4〉 자동세척공정 작업장소별 측정 위치 및 시료 수	9
〈표 5〉 자동세척공정 장소별 일간변이 측정결과(ppm)	10
〈표 6〉 준비작업 장소의 공기 중 TCE 농도	12
〈표 7〉 준비작업 시간(min)	13
〈표 8〉 자동세척기 투입구 1 장소의 공기 중 TCE 농도	13
〈표 9〉 자동세척기 투입구 2 장소의 공기 중 TCE 농도	14
〈표 10〉 자동세척기 투입구 위치 작업시간(min)	15
〈표 11〉 자동세척기 배출구 1 장소의 공기 중 TCE 농도	16
〈표 12〉 자동세척기 배출구 2 장소의 공기 중 TCE 농도	17
〈표 13〉 자동세척기 배출구 3 장소의 공기 중 TCE 농도	18
〈표 14〉 자동세척기 배출구 위치 작업시간(min)	19
〈표 15〉 자동세척기 추가건조작업 장소의 공기 중 TCE 농도	20
〈표 16〉 추가 건조 작업시간(min)	21
〈표 17〉 1차 적재장소의 공기 중 TCE 농도	21
〈표 18〉 1차 적재작업시간(min)	22
〈표 19〉 2차 적재 장소의 공기 중 TCE 농도	22
〈표 20〉 2차 적재작업시간(min)	23
〈표 21〉 자동세척기 재생기 청소작업 시 주변 TCE 농도	24
〈표 22〉 투입구 지점 작업자 작업장소별 작업시간	26
〈표 23〉 투입구 작업자 작업장소별 작업시간에 따른 TWA추정	27

〈표 24〉 투입구 작업자 작업장소별 노출농도에 따른 TWA 추정	28
〈표 25〉 투입구 작업자 장소별 노출농도, 작업시간이 가장 높은 작업 조건일 경우 TWA 추정	28
〈표 26〉 배출구 지점 작업자 작업장소별 작업시간	30
〈표 27〉 배출구 작업자 작업장소별 작업시간에 따른 TWA 추정	31
〈표 28〉 배출구 작업자 작업장소별 노출농도에 따른 TWA 추정	32
〈표 29〉 배출구 작업자 장소별 노출농도, 작업시간이 가장 높은 작업 조건일 경우 TWA 추정	33



그 림 목 차

[그림 1] 자동세척공정 작업장 거리 및 측정 위치	8
[그림 2] 자동세척공정 작업장소별 TCE 농도 분포(ppm)	11
[그림 3] 재생기 청소작업으로부터 거리에 따른 TCE 농도변화	24
[그림 4] 투입구 작업자 추정 TWA 분포	29
[그림 5] 배출구 작업자 추정 TWA 분포	34



제 1 장 서 론

제 1 절 연구 필요성

우리나라에서 실시하는 작업환경측정제도는 초기에 일본의 노동안전위생법과 관련 고시 등을 근간으로 마련되었으나 1980년대 중반 이후 미국의 개인시료 개념이 도입되면서 현재는 일본제도와 미국제도가 혼합되어진 형태를 띠고 있다(윤명조 등, 1993). 현재 우리나라에서 법적으로 하는 작업환경측정은 개인시료 채취방법을 기본으로 하고 있다.

개인시료 방법은 근로자의 호흡기 위치에 시료채취기를 부착하여 유해인자를 포집하므로 실제 일하는 동안 개인의 노출을 평가하기에 가장 적합한 방법으로 알려져 있다. 그러나 개인시료는 작업환경을 개선할 때 반드시 필요한 유해물질 발생원과 이동경로, 개선대책의 효과 등에 대한 정보를 파악하는 데는 장소시료보다 취약하다. 또한 작업장의 공기 중 농도는 날마다 변화가 큰데 일반적으로 시간적 변이 특히 일간 변이는 개인시료가 장소시료보다 클 것으로 보인다. 따라서 무작위로 하루정도 측정하는 작업환경 자료를 얻는다면 때에 따라서는 개인시료보다 장소시료 자료가 더 유용할 수도 있을 것이다.

본 연구는 대표적인 유기용제노출 공정인 트리클로로에틸렌(trichloroethylene, 이하 TCE)을 이용한 세척공정에서 2016년 8월 12일부터 11월 1일 사이에 총 15일간 장소시료를 채취하여, 장소시료가 가지는 특성을 파악하고 분석함으로써 향후 작업환경제도 개선 및 근로자 노출농도 추정이나 평가에 대한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

본 연구에서 대상공정으로 TCE세척작업을 선정한 이유는 앞서 언급한대로 공정 특성상 상당히 높은 유기용제에 노출되기 쉬운 대표적인 유해공정이며, TCE 세척공정의 노출농도는 변이가 심한 것으로 알려져 있기 때문이다. 또한 TCE는 중추 신경계에 작용하여 두통, 현기증, 진전, 구토, 졸음 등을 일으키고 심하면 의식불명이나 사망을 일으키는 유해물질이기 때문이다(NIOSH, 1978; ACGIH, 2006).

제 2 장 연구대상 및 방법

제 1 절 연구대상

1) 조사대상 사업장

본 연구는 인천지역에 위치한 모 금속부품 제조업으로 자동차부품, 전자부품을 세척기에 투입 및 세척된 제품을 털어낸 후 박스에 적재하는 작업으로 이때 세척제로 TCE를 사용하고 있다.

세척작업은 매일 8시간 이상, 10가지 이상의 제품을 세척을 하며, 세척하는 제품의 모양에 따라 추가 건조작업이 발생된다.

연구대상 작업장 공정개요는 <표 1>과 같다.

<표 1> 조사대상 사업장개요

항목	특성
업종	자동차 부품 제조업
주요생산품	자동차부품, 전자부품
총 근로자 수	32명
세척제	Trichloroethylene
세척작업자 수	2명

세척작업을 위한 TCE 자동 세척설비는 4.7 m(L) × 9.0 m(W) × 2.95 m(H)이며, 세척망의 크기는 0.4 m(L) × 0.3 m(W) × 0.15 m(H) 이다. 월 TCE 사용량은 600 L 정도였다.

2) 연구 대상 물질

TCE는 무색의 불연성 액체로서 클로로포름과 비슷한 달콤한 냄새가 나며 분자식 C_2HCl_3 분자량은 131.39, 증기압은 25 °C에서 74 mmHg이며, 대기 중의 반감기는 7일이다(ATSDR, 1997).

TCE는 금속기계부품의 탈지 세정제, 금속 표면의 건조, 섬유공업에서의 세척과 염색, 유리나 광학기구의 세척제, 페인트의 신나 등 용제로 널리 사용되는 유기용제이다(NIOSH, 1978). 주요 취급업종은 금속가공 산업, 전기전자 부품제조, 자동차 부품제조 산업 등이다(2004년 작업환경실태 조사).

TCE의 노출기준으로는 우리나라의 고용노동부에서 직업적 노출기준으로 8시간 시간가중평균치(Time Weighted Average; TWA)로는 10 ppm, 단시간 노출기준(Short Term Exposure Limit; STEL) 25 ppm으로 설정하고 있으며, 미국정부산업위생전문가협의회 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH)에서는 8시간 시간가중평균으로 10 ppm을 권고하고 있다(<표 2> 참조).

<표 2> Trichloroethylene 의 직업적 노출기준(ppm)

노출기준	한국 고용노동부 고시 제 2016-41호	ACGIH TLV 2015
TWA	10	10
STEL	25	25
발암성 생식세포 변이원성	발암성 1A 생식세포 변이원성 2	CNS impair ; cognitive decrements ; renal toxicity

TCE는 주로 호흡기 및 피부를 통해 체내에 흡수 되며, 흡수된 TCE는 피부에 자극 및 눈에 심한 자극을 일으키며, 호흡기계자극, 졸음 또는 현기증을 일으킬 수 있으며 유전적인 결함을 일으키는 것으로 의심하고 있다. 낮은 농도에서 장기간 폭로된 경우에는 기억력 감퇴, 의욕상실, 정서불안 등의 신경

계 증상과 간이나 신장에 영구적 장해를 초래할 수 있다(NIOSH, 1978 ; ACGIH, 2006). 특히 여러 보고에서 TCE는 발암물질로 의심되어져 왔으며, 미국국립암협회(U.S. National Cancer Institute, NCI)의 발암성에 대한 경고 때문에 커피 제조업의 카페인 제거 공정에서 TCE 사용을 금지하였다 (NIOSH, 1978).

제 2 절 측정 및 분석 방법

1) 측정 위치

TCE 의 측정위치는 자동세척작업장에서 근무하는 근로자 2명의 작업위치를 중심으로 하여 준비 작업 장소, 투입구, 배출구, 추가건조작업, 1차 적재, 2차 적재 작업위치에 장소시료를 측정하였다.

또한 자동세척설비의 재생기 청소작업 시 TCE 노출농도를 알기 위하여 청소 작업 하는 날 재생기 내부 기준으로 하여 재생기 외부, 배출구, 자동세척기 출입문, 타공정 연결 지점에 장소시료를 측정하였다. 구체적인 측정위치는 연구결과에서 자세히 기술하였다

2) 측정 방법

공기 중 TCE 의 측정은 자동세척작업을 하는 근로자 2명의 작업장소별 수동식 시료채취기(3M OVM #3500)을 이용하여 일일 근무시간동안 시간 가중평균치와 세척기계 재생기 청소작업 시간동안 노출되는 단시간 농도를 측정하였다.

자동세척작업장 측정을 위해 작업장을 방문하여 시료채취기를 장소별 부착하였으며, 작업 종료 후에는 시료채취기의 뚜껑을 닫고 용기에 넣어 냉장보관하도록 하였다. 그리고 매일 작업시간, 작업내용 등을 간략하게 기록하였다.

단시간 측정 시료의 경우, 세척기계 재생기 청소작업시간 동안에 연구자가

직접 현장에 상주하며 수동식 시료채취기를 재생기 청소 작업 장소별 부착하였고 작업시간, 작업내용, 작업방법 등 작업 상황을 기록하였다.

3) 분석 방법

수동식 시료채취기는 시료채취 후 냉장 보관하였으며, 측정 후 2주 이내에 분석 실시하였다. 분석 방법은 3M사에 제공한 'Analysis Guide'를 참고로 하였고 1.5 ml 이황화탄소(99.9%)를 주입하여 30분 동안 탈착시킨 후, 2 ml 유리바이알에 옮겨 담은 후 분석하였다.

실험에 사용한 분석기기는 불꽃이온화검출기(FID)가 부착된 가스クロ마토그래피(Gas Chromatography, CP-3800, Bruker)였다. 분석용 컬럼은 Agilent사 DB-WAX (30 m × 0.25 mm × 0.25 um)였으며, 이동상 가스는 질소(N2)를 사용하였다. 가스クロ마토그래피의 분석 조건은 <표 3>에 나타내었다.

<표 3> 가스クロ마토그래피의 분석조건

Item	Conditions
Column.	DB-wax(30m × 0.25mm ID×0.25 um, Agilent)
Column oven Temp.	35 ° C(10min) – 120 ° C(10 ° C/min, 3min)
Injector Temp.	250 ° C (Split ratio: 110)
Detector Temp.	250 ° C
Carrier gas.	N2, 1.0 mL/min
Injection volume	1 μ l

4) 확산포집방법에 의한 농도 계산방법

수동식 시료채취기로 포집한 공기 중 시료의 농도는 <식 1>을 이용하여 계산하였다.

$$C(\text{ppm}) = \frac{W}{r \times t} \times A \dots\dots\dots \langle \text{식 } 1 \rangle$$

<식 1>에서 회수된 오염원의 무게(mg), r 은 회수율, t 는 측정 시간(min) 그리고 A 는 채취유량을 포함한 ppm 환산에 필요한 계산 상수이다. A는 3M 사에서 TCE 상수값 5.98 cc/min 을 적용하여 계산하였다(3M Technical Data Bulletin – Organic Vapor Monitors).



제 3 장 연 구 결 과

제 1 절 총 론

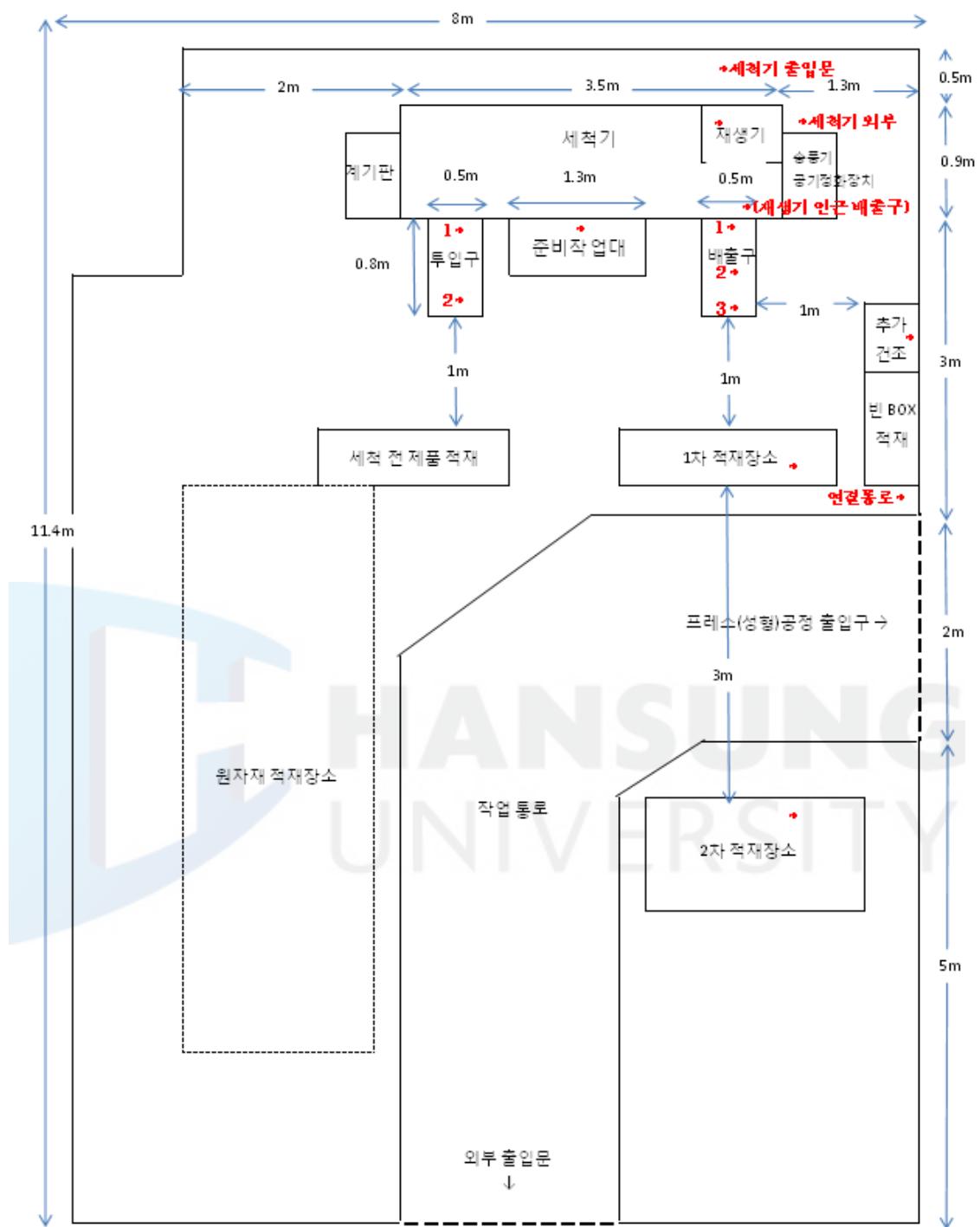
본 연구의 측정대상 공정은 자동차부품, 전자부품이 프레스 성형 작업 후 TCE로 세척하는 탈지작업으로, 자동세척기에 제품을 투입하기 전 준비작업, 제품 투입, TCE 자동세척, 건조작업을 거친 후 배출되는 제품을 적재하는 작업이다.

자동세척기는 가로길이 4.7 mm, 폭 0.9 m, 높이 2.95 m이며 세척기 투입구에 세척망에 담긴 제품을 넣은 후 1차 예비세척, 2차 초음파 세척, 3차 행굼 및 건조 과정을 거쳐 배출구를 통해서 제품이 나오게 된다.

자동세척공정에서 근무하는 근로자는 2명으로 각각 투입구와 배출구 작업장소에 위치하여 주로 작업을 하고 있다.

두 명의 작업자의 작업장소를 중심으로 하여 투입구 위치 작업자 1의 작업장소로 준비 작업 장소, 자동세척기 투입구 위치에 수동식 시료채취기를 부착하여 장소시료를 측정하였으며, 배출구 위치 작업자 2의 작업장소로 자동세척기 배출구, 추가 건조 작업 장소, 1차 적재장소, 2차 적재장소에 수동식 시료채취기를 부착하여 장소시료를 측정하였다.

자동세척공정의 준비작업, 세척기, 투입구, 배출구, 적재 및 건조 작업 장소의 위치와 거리, 측정시료 수는 아래 [그림 1]과 <표 4>와 같다.



[그림 1] 자동세척공정 작업장 거리 및 측정 위치.

〈표 4〉 자동세척공정 작업장소별 측정 위치 및 시료 수

측정위치		세척기로 부터 거리(m)	시료 수(N)	비고
준비작업	준비장소	0.1	4	
	투입구1	0.1	5	
	투입구2	0.8	15	
세척기	배출구1	0.1	7	
	배출구2	0.4	8	
	배출구3	0.8	8	
건조장소	건조	1	9	세척제품에 따라 추가로 건조작업이 발생되며, 이때 건조작업 장소 TCE 농도 파악을 위해 측정.
적재장소	적재1	1.8	10	
	적재2	5	4	
	재생기	0	1	
자동세척기	출입문	0.5	1	자동세척기 내 재생기 청소작업은 1주일
자동세척기	외부	0	1	2회~3회 작업.
배출구 (재생기인근)		0	1	청소작업 시 주변 TCE농도 알고자 단시간 농도 측정
연결통로		3	1	

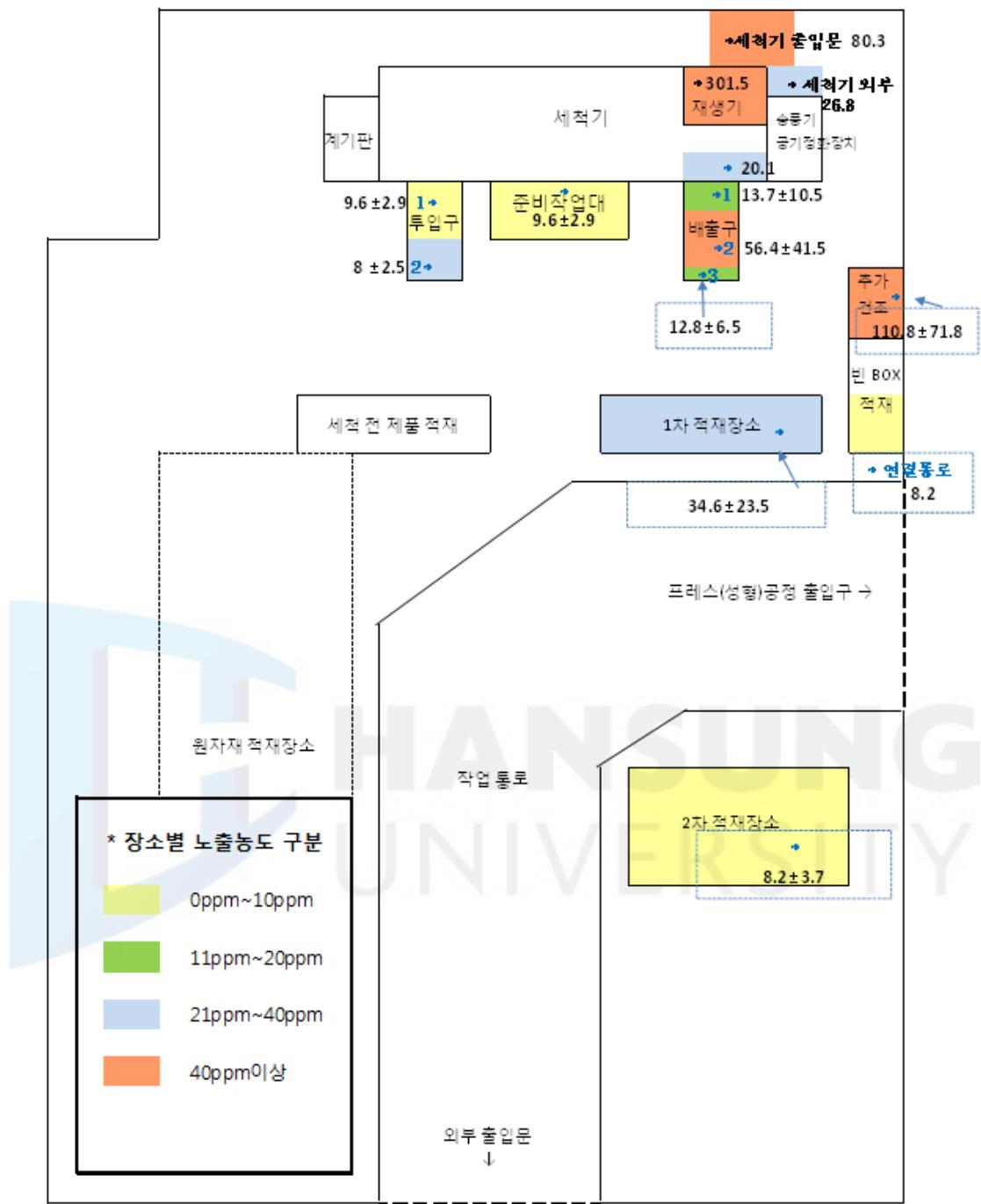
자동세척설비 내부의 온도가 86°C 이상 올라가면 재생기 내부 청소작업을 하게 되며, 1회 청소 작업시간은 30분 내외이다. 재생기 청소작업 시 작업장 주변 TCE 수준을 알아보기 위해, 세척기 내부 재생기를 중심으로 작업장 주변에 수동식 시료채취기를 부착하였다.

측정은 08월 12일부터 09월 20일 까지 5일간 1차 측정을 진행하였으며, 이 후 작업환경 변화에 따라 10월 17일부터 11월 1일 까지 10일간, 총 15일 동안 측정하여 장소별 TCE 농도 일간변이를 확인하였다.

작업 위치에 따른 장소시료 일간 변이 측정결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 자동세척공정 장소별 일간변이 측정결과(ppm)

측정위치	시료 수 (N)	AM	SD	GM	GSD
준비 장소	4	9.6	2.9	9.3	1.3
투입구 1	5	8	2.5	7.7	1.3
투입구 2	15	22.5	22.5	16.5	2.1
배출구 1	7	13.7	10.5	11.6	1.8
배출구 2	8	56.4	41.5	44.9	2.1
배출구 3	8	12.8	6.5	11.6	1.6
건조 장소	9	110.8	71.8	93.1	1.8
적재 1	10	34.6	23.5	27.5	2.1
적재 2	4	8.2	3.7	7.6	1.6



[그림 2] 자동세척공정 작업장소별 TCE 농도 분포(ppm).

제 2 절 자동세척공정 작업 장소에 따른 TCE 농도

1) 투입 전 준비작업

자동세척기에 제품을 투입하기 전 준비 작업은 위 <그림 2>에서 준비 장소의 위치에서 작업이 이루어지며 작업내용은 세척망에 제품을 담아 준비하는 작업으로 09월 12일, 09월 13일, 09월 19일, 09월 20일 총 4일간 측정하였으며, 측정결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 준비작업 장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	09. 12	09:35–17:30(475)	8.0
2	09. 13	09:16–14:55(339)	13.8
3	09. 19	09:36–17:53(497)	9.2
4	09. 20	09:40–17:45(485)	7.4
	AM	449	9.6
	SD	73.9	2.9
	GM	—	9.3
	GSD	—	1.3

준비 작업은 1일 작업시간 중 최소 80분에서 최대 110분 정도 작업을 하는 것으로 조사되었으며 평균 작업시간은 95분이다. 투입구에 위치한 작업자가 박스에 담긴 제품을 세척망에 담는 작업을 한다.

〈표 7〉 준비작업 시간(min)

측정위치	최소작업시간 (Min)	최대작업시간 (Max)	평균작업시간 (Am)
준비 장소	80	110	95

2) 자동세척기에 제품 투입작업

준비 작업대에서 세척망에 제품을 담은 것을 자동세척기 투입구에 올려 놓는 작업으로 자동세척기에서 가까운 투입구 1, 자동세척기에서 가장 거리가 먼 투입구 2 위치에 수동식 시료채취기를 부착하여 장소시료를 측정하였다.

투입구 1 위치에서의 측정은 08월 12일부터 09월 20일 중 총 5일간 측정을 실시하였으며, 측정결과는 〈표 8〉과 같다.

〈표 8〉 자동세척기 투입구 1 장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	08. 12	09:35-18:00(505)	6.7
2	09. 12	09:35-17:30(475)	7.4
3	09. 13	09:16-14:55(339)	12.4
4	09. 19	09:36-17:53(497)	6.6
5	09. 20	09:40-17:45(485)	6.8
AM		460	8
SD		68.7	2.5
GM		-	7.7
GSD		-	1.3

투입구 2 위치에서의 측정은 08월 12일부터 11월 1일까지 중 총 15일간 측정을 하였으며, 측정결과는 <표 9>와 같다.

<표 9> 자동세척기 투입구 2 장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	08. 12	09:35~18:00(505)	9.0
2	09. 12	09:35~17:30(475)	9.5
3	09. 13	09:16~14:55(339)	15.7
4	09. 19	09:36~17:53(497)	8.4
5	09. 20	09:40~17:45(485)	9.1
6	10. 17	09:30~17:20(470)	26.3
7	10. 18	09:25~17:15(475)	8.7
8	10. 19	09:25~16:30(425)	14.8
9	10. 20	09:20~17:17(477)	14.6
10	10. 21	09:35~14:05(270)	10.2
11	10. 26	09:25~16:40(435)	11.2
12	10. 27	09:20~17:27(487)	18.2
13	10. 28	09:18~16:50(452)	39.7
14	10. 31	09:25~18:41(556)	81.7
15	11. 01	09:25~18:00(515)	32.5
AM		457	22.5
SD		71	22.5
GM		—	16.5
GSD		—	2.1

투입구 위치에서 작업시간은 측정위치에 따라서 작업자의 작업시간 또는 측정위치에서 투입 작업 이외에도 다른 작업으로 인하여 며무르는 시간을 함께 고려하여 추정하였다.

투입구 1의 위치는 자동세척기 바로 앞 투입구 지점으로 자동세척기와 가장 가까운 지점에서 TCE 농도를 알고자 수동식 시료채취기를 부착하여 확인하였으며, 실제 작업자는 투입구 1의 위치에서 작업하는 경우는 거의 없어 작업시간을 추정하기 어려웠다.

투입구 장소에서의 작업은 대부분 투입구 2 위치에서 작업을 하게 되며 작업내용은 준비 작업대에서 세척망에 담은 제품을 투입구 2 위치에 옮겨주거나 세척준비가 필요한 제품을 정렬 또는 다른 박스 및 세척망에 담는 작업도 한다.

투입구 장소 작업자의 주 작업위치에서의 작업시간은 <표 10>와 같다.

<표 10> 자동세척기 투입구 위치 작업시간(min)

측정위치	최소작업시간 (Min)	최대작업시간 (Max)	평균작업시간 (Am)
투입구 2	300	414	357

3) 자동세척 된 제품 배출구 작업

자동세척기를 통해서 세척된 제품이 배출구를 통해서 나오는 것을 배출구 작업자가 꺼내는 작업으로 자동세척기에서 가장 가까운 배출구 1, 가장 먼 배출구 3, 그리고 배출구에 아크릴 커버를 씌운 배출구 2 위치에 수동식 시료채취기를 부착하여 TCE 농도를 확인하였다.

배출구 1 위치에서의 측정은 08월 12일부터 10월 18일까지 중 총 7일간 측정을 하였으며, 측정결과는 <표 11>과 같다.

<표 11> 자동세척기 배출구 1 장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	08. 12	09:35-18:00(505)	9.1
2	09. 12	09:35-17:30(475)	8.3
3	09. 13	09:16-14:55(339)	13
4	09. 19	09:36-17:53(497)	7.6
5	09. 20	09:40-17:45(485)	7.3
6	10. 17	09:30-17:20(470)	36.9
7	10. 18	09:25-17:15(475)	14
AM		463.7	13.7
SD		56.4	10.5
GM		-	11.6
GSD		-	1.8

배출구 2 위치에서의 측정은 10월 19일부터 11월 1일까지 총 8일간 측정을 실시하였으며, 측정결과는 <표 12>와 같다.

<표 12> 자동세척기 배출구 2 장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	10. 19	09:25-16:30(425)	51.3
2	10. 20	09:20-17:17(477)	83.5
3	10. 21	09:35-14:05(270)	33.2
4	10. 26	09:25-16:40(435)	15.5
5	10. 27	09:20-17:27(487)	22.5
6	10. 28	09:18-16:50(452)	68.2
7	10. 31	09:25-18:41(556)	142.1
8	11. 01	09:25-18:00(515)	34.9
AM		452.1	56.4
SD		85.2	41.5
GM		-	44.9
GSD		-	2.1

배출구 3 위치에서의 측정은 08월 12일에서 10월 19일 까지 총 8일간 측정하였으며, 측정결과는 <표 13>과 같다.

<표 13> 자동세척기 배출구 3 장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	08. 12	09:35-18:00(505)	8.3
2	09. 12	09:35-17:30(475)	9.4
3	09. 13	09:16-14:55(339)	15.7
4	09. 19	09:36-17:53(497)	8.4
5	09. 20	09:40-17:45(485)	7.5
6	10. 17	09:30-17:20(470)	25.1
7	10. 18	09:25-17:15(475)	8.8
8	10. 19	09:25-16:30(425)	19.1
AM		459	12.8
SD		54	6.5
GM		-	11.6
GSD		-	1.6

배출구 장소에서의 작업시간은 자동세척기에서 가장 가까운 배출구 1 과 배출구 중간지점 배출구 2 위치에서의 작업시간을 나누어서 확인하였다.

자동세척기에서 가장 가까운 배출구 1 위치에서의 작업은 세척되는 제품이 나오기를 기다리는 시간이 대부분이었다.

세척된 제품이 배출구를 통해서 나오면 배출구 2 위치에서 보조도구 또는 직접 세척망을 꺼내어 1차 적재 장소에 있는 박스에 옮겨 담거나, 추가 건조 작업 장소로 이동하는 작업으로 대부분의 작업은 배출구 2 위치에서 이루어지고 있다.

배출구에 위치에서의 작업자의 배출구 장소별 작업시간은 <표 14>와 같다.

<표 14> 자동세척기 배출구 위치 작업시간(min)

측정위치	최소작업시간 (Min)	최대작업시간 (Max)	평균작업시간 (Am)
배출구 1	155	213	184
배출구 2	240	330	285

4) 추가 건조작업

자동차 부품 또는 전자부품의 종류가 300여개 이상을 생산하고 있으며, 일부 생산제품은 병뚜껑과 같이 흠이 있거나 복잡한 모양으로 인하여 TCE 자동세척공정의 마무리 건조 단계과정에서 TCE 가 제대로 건조되지 않고 배출되게 된다.

배출구 작업자는 이러한 제품을 배출구 끝 지점에서 1 m 거리 위치의 장소에서 박스위에 세척된 제품 망을 올려놓은 후 털어내는 작업을 하게 된다. 추가 건조 작업에 대한 측정은 10월 17일부터 11월 1일까지 9일간 건조 작업 장소에 대한 TCE 농도를 확인하였으며, 총 시료 수는 9개 이다.

추가 건조 작업 장소에 대한 측정결과는 <표 15>와 같다.

〈표 15〉 자동세척기 추가건조작업 장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	10. 17	09:30-17:20(470)	212.9
2	10. 19	09:25-16:30(425)	128.5
3	10. 20	09:20-17:17(477)	53.7
4	10. 21	09:35-14:05(270)	62.9
5	10. 26	09:25-16:40(435)	61
6	10. 27	09:20-17:27(487)	239.9
7	10. 28	09:18-16:50(452)	116.8
8	10. 31	09:25-18:41(556)	42.2
9	11. 01	09:25-18:00(515)	78.9
AM		454	110.8
SD		79.9	71.8
GM			93.1
GSD			1.8

배출구에 위치한 근로자가 추가 건조하는 작업은 생산되는 제품에 따라 달라진다. 작업에 따라 건조작업이 없는 날도 발생이 되며, 건조작업이 많을 경우에는 최대 60분 이상 작업이 있다고 하였다.

배출구 위치에서 작업하는 근로자의 추가건조작업이 있는 날을 기준으로 하여 최소작업시간, 최대작업시간, 평균작업시간에 대하여 추정하였으며, 작업시간은 〈표 16〉과 같다.

〈표 16〉 추가 건조 작업시간(min)

측정위치	최소작업시간 (Min)	최대작업시간 (Max)	평균작업시간 (Am)
D	45	62	53.5

5) 1차 적재작업

배출구를 통해 세척된 제품이 나오게 되면 제품이 담긴 세척망을 들어서 배출구 끝 지점에서 약 1 m 뒤쪽 박스 적재 장소에 제품을 옮겨 담는 작업으로 10월 17일부터 11월 1일까지 총 10일간 TCE 농도를 측정하였으며, 총 시료 수는 10개이다. 1차 적재작업의 측정 결과는 〈표 17〉과 같다.

〈표 17〉 1차 적재장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	10. 17	09:30~17:20(470)	62
2	10. 18	09:25~17:15(475)	7.2
3	10. 19	09:25~16:30(425)	19.1
4	10. 20	09:20~17:17(477)	24.4
5	10. 21	09:35~14:05(270)	20.2
6	10. 26	09:25~16:40(435)	15.6
7	10. 27	09:20~17:27(487)	76.4
8	10. 28	09:18~16:50(452)	57.8
9	10. 31	09:25~18:41(556)	20.1
10	11. 01	09:25~18:00(515)	43.2
AM		456.2	34.6
SD		75.6	23.5
GM		-	27.5
GSD		-	2.1

1차 적재 장소에서의 작업시간은 세척망에 담긴 제품을 박스에 담은 후에 제품을 고르게 정렬하는 작업 시간으로 최소작업시간 약 32분, 최대작업시간 약 44분이며, 평균 작업시간 38분으로 추정하였다.

1차 적재 장소에서의 작업시간은 〈표 18〉과 같다.

〈표 18〉 1차 적재작업시간(min)

측정위치	최소작업시간 (Min)	최대작업시간 (Max)	평균작업시간 (Am)
적재 1	32	44	38

6) 2차 적재작업

1차 적재 장소에서 쌓여있는 제품을 약 3 m 정도 떨어진 장소인 적재 2 위치에 제품을 2차적으로 적재 작업을 하는 작업 장소로 9월 12일부터 9월 20일 까지 총 4일간 TCE 농도를 측정하였으며, 총 시료 수는 4개이다. 2차 적재 작업 장소에서의 측정결과는 〈표 19〉와 같다.

〈표 19〉 2차 적재 장소의 공기 중 TCE 농도

연번	측정일	측정시간(min)	측정농도(ppm)
1	09. 12	09:35~17:30(475)	7.3
2	09. 13	09:16~14:55(339)	13.4
3	09. 19	09:36~17:53(497)	7.5
4	09. 20	09:40~17:45(485)	4.5
	AM	449	8.2
	SD	75.6	3.7
	GM	-	7.6
	GSD	-	1.6

2차 적재 장소에서의 작업 시간은 1차 적재된 제품을 이동 대차에 실어서 옮겨 적재하는 작업으로 최소작업시간은 약 8분, 최대작업시간은 11분으로 작업시간이 많지는 않다. 2차 적재 장소에서의 작업시간은 <표 20>과 같다.

<표 20> 2차 적재작업시간(min)

측정위치	최소작업시간 (Min)	최대작업시간 (Max)	평균작업시간 (Am)
적재 2	8	11	9.5

7) 자동세척기 내 재생기 청소작업 시 장소별 단시간 TCE 농도

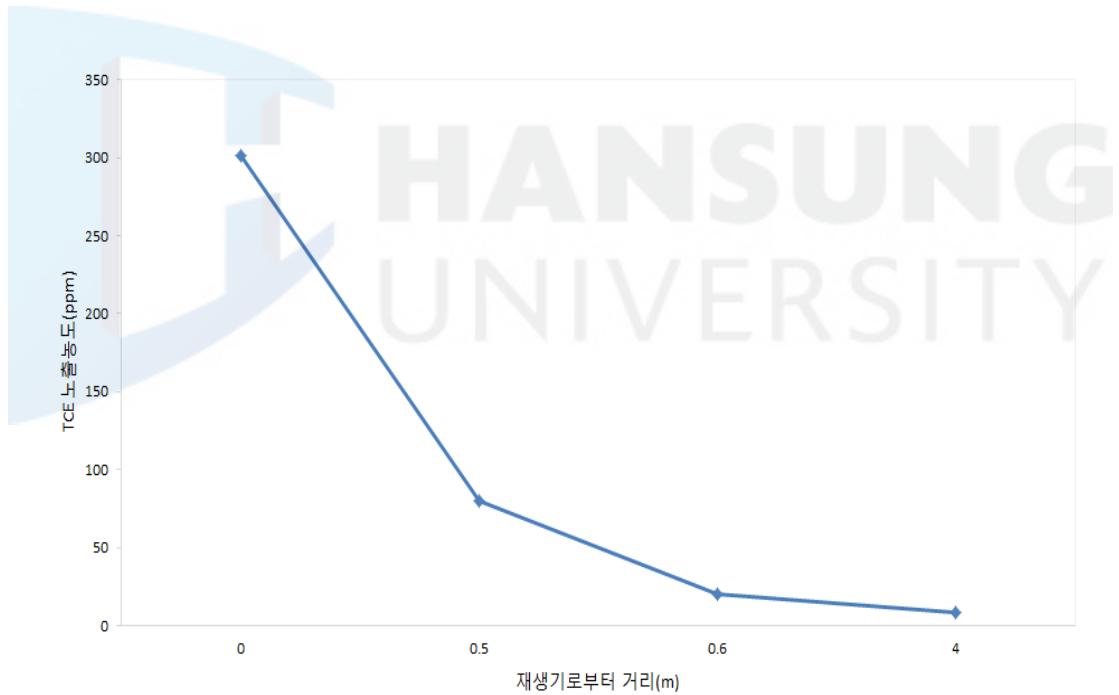
자동세척설비의 재생기(탈지된 기름을 TCE 와 분리시켜 모아주는 장치) 내부의 온도가 86 °C 이상 올라가면 재생기 내부 청소작업을 하게 되며, 작업빈도는 일주일에 2회 ~ 3회 발생되며, 1회 청소작업 시간은 30분정도이다. 재생기 청소작업은 2명의 작업자가 함께 작업을 하며, 한명의 작업자는 재생기 내부청소작업을 하며, 다른 한명은 세척기 외부에서 작업을 도와주고 있다.

재생기 청소작업 시 TCE 농도가 작업장 주변에 노출되는 수준을 알아보기 위하여, 자동세척설비 내부 재생기를 중심으로 재생기 뒤쪽 자동세척기 출입문, 자동세척기 외부, 배출구(재생기 인근), 타 공정 연결통로 위치에 수동식 시료채취기를 부착하였으며, 정확한 작업장 위치는 [그림 2]를 통하여 확인할 수 있다. 재생기 주변 TCE 농도는 <표 21>과 같다.

〈표 21〉 자동세척기 재생기 청소작업 시 주변 TCE 농도

측정위치	재생기로부터 거리(m)	측정시간 (min)	TCE농도 (ppm)
자동세척기 내 재생기	0	14:15~14:43(28)	301.5
자동세척기 출입문	0.5	14:15~14:43(28)	80.3
자동세척기 외부	0.5	14:15~14:43(28)	26.8
배출구(재생기 인근)	0.6	14:15~14:43(28)	20.1
연결통로	4	14:15~14:43(28)	8.2

자동세척기 내부 재생기 청소작업 시 재생기로부터 거리가 멀어짐에 따라 TCE 농도가 낮아지는 것을 [그림 3]을 통해서 알 수 있었다.



[그림 3] 재생기 청소작업으로부터 거리에 따른 TCE 농도변화.

제 3 절 자동세척공정 작업장소별 측정결과에 따른 개인 노출농도 추정

연구대상 사업장은 자동차부품, 전자부품이 프레스 된 제품을 2명의 작업자가 자동세척기에 투입, 세척된 제품이 배출되어 나오면 생산제품에 따라 건조작업 후 박스에 담아 적재하는 작업으로 각 작업장소마다 수동식 시료 채취기를 부착하여 작업시간 동안 TCE 노출량을 측정하였다.

작업장소별 측정된 TCE 농도를 이용하여 작업자가 장소에 따라 작업시간 또는 해당 장소에서 다른 작업으로 인하여 머무른 시간을 통해 하루 동안 작업자에게 노출된 TCE 농도를 시간가중평균값(TWA)으로 추정해 보았다.

작업자의 작업시간은 자동세척공정의 작업일지를 통하여 1일 작업시간을 확인하였으며, 작업장소별 작업자의 작업시간은 세척공정에서의 작업을 동영상을 촬영하여 각 작업자별로 작업장소별 작업시간, 머무름 시간 등을 계산하여 1일 동안 장소별 작업시간을 확인했다.

시간가중평균값은 아래와 같은 식을 이용하여 계산하였다.

$$TWA(\text{ppm}) = \frac{C_1 \times T_1 + C_2 \times T_2 \dots + C_n \times T_n}{(T_1 + \dots + T_n)} \dots \langle \text{식 } 2 \rangle$$

〈식 2〉에서 C는 장소별 TCE 측정농도(단위=ppm)이며, T는 장소별 작업자 머무르는 시간으로 계산하였다.

1) 투입구 위치 작업자의 작업장소별 TWA

투입구 지점에 위치한 작업자의 경우 자동세척기에 세척이 필요한 제품을 투입하기 전 준비 작업대에서 세척망에 제품을 담는 작업, 세척망에 담긴 제품을 투입구에 옮겨놓는 작업, 그 외 기타작업으로 배출구 작업자에게 세척망을 가져 오는 작업이 있다.

투입구 지점 작업자의 각 작업장소별 최소작업시간, 최대작업시간, 평균작업시간을 추정해보았다.

장소별 작업시간 및 장소별 TCE 평균농도는 〈표 22〉와 같다.

〈표 22〉 투입구 지점 작업자 작업장소별 작업시간

작업위치	TCE 평균 농도(ppm)	노출시간(min)		
		최소작업시간	최대작업시간	평균작업시간
준비 장소	9.6	80	110	95
투입구 2	22.5	300	414	357
배출구 3	11.9	100	136	118

투입구 지점에서의 작업자의 작업장소별 최소작업시간, 최대작업시간, 평균 작업시간을 통하여 장소별 TCE 평균노출농도를 적용하여 TWA 를 각 작업장소별 TWA-Min, TWA-Avg, TWA-Max를 추정하였다.

투입구 작업자 작업장소별 노출시간에 따른 TWA 추정 결과는 <표 23>과 같다.

<표 23> 투입구 작업자 작업장소별 작업시간에 따른 TWA추정

작업위치	TCE 평균노출농도(ppm)	작업시간		TWA (ppm)
		Min	(min)	
준비 장소	9.6	Avg	95	18.2
		Max	110	17.9
		Min	300	17.7
투입구 2	22.5	Avg	357	18.2
		Max	414	18.6
		Min	100	18.4
배출구 3	11.9	Avg	118	18.2
		Max	136	18.0

투입구 지점 작업자의 작업장소별 TCE 노출농도 최소노출농도, 평균노출농도, 최대노출농도를 통하여 장소별 평균 작업시간을 적용하여 TWA 각 작업장소별 TWA-Min, TWA-Avg, TWA-Max를 추정하였다.

투입구 작업자 작업장소별 TCE 노출농도에 따른 TWA 추정 결과는 〈표 24〉와 같다.

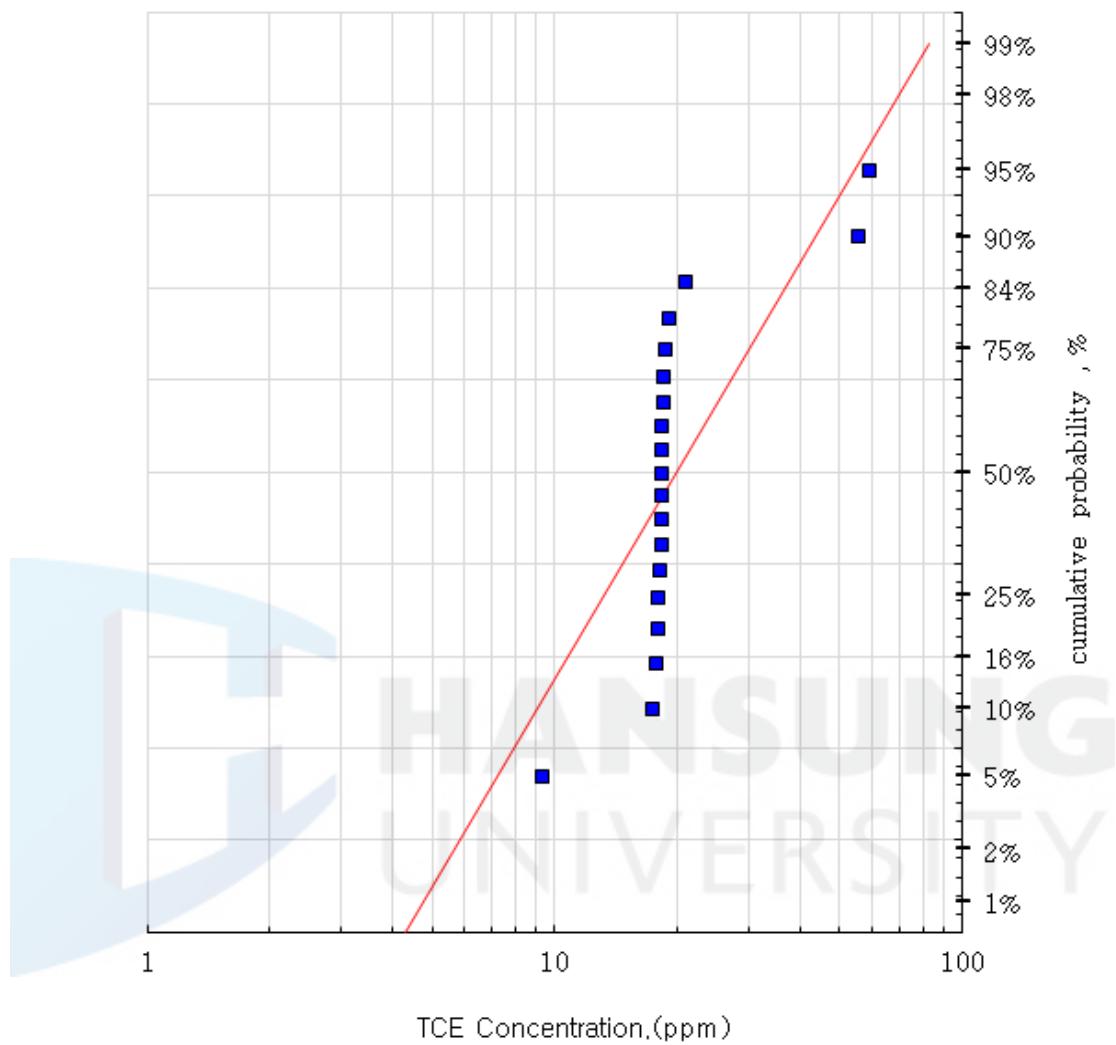
〈표 24〉 투입구 작업자 작업장소별 노출농도에 따른 TWA 추정

작업위치	평균작업시간 (min)	노출농도		TWA (ppm)
		Min	Avg	
준비 장소	95	Min	7.4	17.8
		Avg	9.6	18.2
		Max	13.8	18.9
투입구 2	357	Min	8.4	9.3
		Avg	22.5	18.2
		Max	81.7	55.2
배출구 3	118	Min	7.5	17.2
		Avg	11.9	18.2
		Max	25.1	20.9

투입구 지점에서의 작업자의 작업장소별 작업시간이 가장 길며, TCE 노출농도가 가장 높은 작업 조건을 적용할 경우 투입구 작업자의 TWA를 추정하였으며, 결과는 〈표 25〉와 같다.

〈표 25〉 투입구 작업자 장소별 노출농도, 작업시간이 가장 높은 작업 조건일 경우 TWA 추정

작업위치	노출농도(ppm)	작업시간(min)	TWA(ppm)
준비 장소	13.8	110	
투입구 2	81.7	414	58.7
배출구 3	25.1	136	



[그림 4] 투입구 작업자 추정 TWA 분포.

2) 배출구 위치 작업자의 작업장소별 TWA

배출구에서 작업하는 작업자는 자동세척기에서 제품이 세척, 건조되어서 배출구를 통해 제품이 나오면 세척망을 꺼내어 적재 장소에 옮기는 작업을 한다. 일부 자동세척공정의 건조과정에서 제품의 모양에 따라 건조가 완전히 이루어지지 않을 경우 작업자가 세척망을 흔들어 제품을 추가 건조시키는 작업을 한다.

배출구 쪽 작업자의 주 작업장소로는 세척된 제품이 배출구로 나오기 전 까지 세척기 앞 배출구 1 위치 또는 배출구 2 위치에서 제품을 기다리며, 세척된 제품이 나오면 제품을 꺼내어 TCE 세척 정도에 따라 추가건조작업 장소에서의 작업, 1차 적재 장소, 2차 적재 장소로 구분할 수 있다.

배출구 쪽 작업자의 각 작업장소별 TCE 노출시간은 실 작업시간, 머무름 시간, 등을 고려하여 산정하였으며, 1일 최소작업시간, 최대작업시간, 평균작업시간으로 확인하였다. 장소별 작업시간 및 장소별 TCE 평균농도는 <표 26>과 같다.

<표 26> 배출구 지점 작업자 작업장소별 작업시간

작업위치	TCE 평균노출농도	노출시간(min)		
		최소작업시간	최대작업시간	평균작업시간
배출구 1	13.7	155	213	184
배출구 2	56.4	240	330	285
건조 장소	110.8	45	62	53.5
적재 1	34.6	32	44	38
적재 2	8.2	8	11	9.5

배출구 지점에서의 작업자의 작업장소별 최소작업시간, 최대작업시간, 평균 작업시간을 통하여 장소별 TCE 평균노출농도를 적용하여 TWA를 각 작업장소별 TWA-Min, TWA-Avg, TWA-Max를 추정해 보았다.

배출구 작업자 작업장소별 작업시간에 따른 TWA 추정 결과는 <표 27>과 같다.

<표 27> 배출구 작업자 작업장소별 작업시간에 따른 TWA 추정

작업위치	평균노출농도 (ppm)	작업시간		TWA (ppm)
		Min	(min)	
배출구 1	13.7	Avg	184	45.5
		Max	213	43.9
		Min	155	47.2
배출구 2	56.4	Avg	285	45.5
		Max	330	46.3
		Min	240	44.5
건조 장소	110.8	Avg	53.5	45.5
		Max	42	44.1
		Min	62	46.4
적재 1	34.6	Avg	38	45.5
		Max	44	45.3
		Min	32	45.6
적재 2	8.2	Avg	9.5	45.5
		Max	11	45.3
		Min	8	45.6

배출구 지점 작업자의 작업장소별 TCE 노출농도 최소노출농도, 평균노출농도, 최대노출농도를 통하여 장소별 평균 작업시간을 적용하여 TWA 각 작업장소별 TWA-Min, TWA-Avg, TWA-Max를 추정해 보았다.

배출구 작업자 작업장소별 TCE 노출농도에 따른 TWA 추정 결과는 〈표 28〉과 같다.

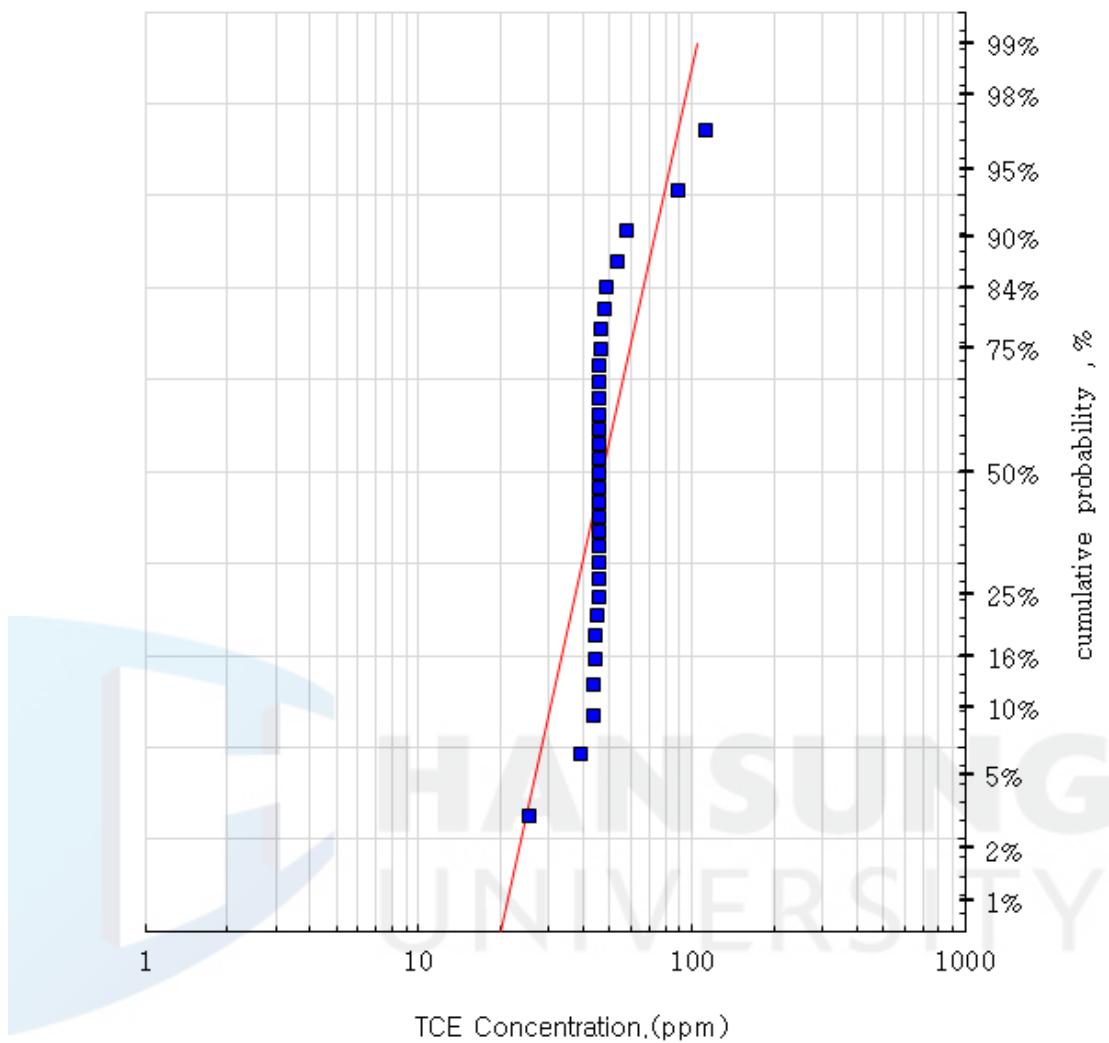
〈표 28〉 배출구 작업자 작업장소별 노출농도에 따른 TWA 추정

작업위치	평균작업시간 (min)	노출농도 (ppm)		TWA (ppm)
		Min	Avg	
배출구 1	184	7.3	43.4	
		13.7	45.5	
		36.9	52.9	
배출구 2	285	15.5	25.0	
		56.4	45.5	
		142.1	88.3	
건조 장소	53.5	42.2	39.0	
		110.8	45.5	
		239.9	57.6	
적재 1	38	7.2	43.6	
		34.6	45.5	
		76.4	48.3	
적재 2	9.5	4.5	45.4	
		8.2	45.5	
		13.4	45.6	

배출구 지점에서의 작업자의 작업장소별 작업시간이 가장 길며, TCE 노출 농도가 가장 높은 작업 조건을 적용할 경우 배출구 작업자의 TWA를 추정 해보았으며, 결과는 <표 29>와 같다.

<표 29> 배출구 작업자 장소별 노출농도, 작업시간이 가장 높은 작업 조건일 경우 TWA 추정

작업위치	노출농도 (ppm)	작업시간 (min)	TWA (ppm)
배출구 1	36.9	213	
배출구 2	142.1	330	
건조 장소	239.9	62	110.8
적재 1	76.4	44	
적재 2	13.4	11	



[그림 5] 배출구 작업자 추정 TWA 분포.

제 4 장 결 론

본 연구는 대표적인 유기용제노출 공정인 트리클로로에틸렌(trichloroethylene, 이하 TCE)을 이용한 세척공정에서 장소시료를 채취하여 장소시료가 가지는 특성을 파악하고 분석함으로써 향후 작업환경제도 개선 및 근로자 노출농도 추정이나 평가에 대한 기초자료를 제공하고자 수행되었다. 측정대상 공정은 자동차 및 전자부품을 TCE로 세척하는 자동탈지공정이었다. TCE 측정은 화산식 시료채취기(3M 3500)를 사용하였다. 기간은 08월 12일과 11월 1일 사 이였고 측정을 한 날짜는 총15일이었다.

그 결과는 다음과 같다.

1. TCE 자동세척공정에서 주요 작업장소는 자동세척기에 세척할 부품을 투입하는 투입구, 세척된 후 부품이 나오는 배출구, 세척 후 건조가 덜 된 부품을 작업자가 세척망을 흔들어 남아 있는 TCE를 제거하는 추가건조 작업대, 1차 적재장소, 2차 적재 장소 등이었다.
2. 작업장소별로 공기 중 TCE 농도가 가장 높은 곳은 세척 후 건조가 덜 된 부품을 작업자가 세척망을 흔들어 남아 있는 TCE를 제거하는 추가건조 작업대가 있는 곳이었다. 이 작업은 자동세척기 배출구 바로 앞쪽에 위치해 있다. 작업자 추가 건조 작업을 하는 동안 TCE 농도는 110.8 ± 71.8 ppm으로 나타났다(GM 93.1 ppm, GSD 1.8). 추가 건조작업시간은 필요한 경우에만 불규칙하게 이루어졌으며, 보통 1일 45~60분 정도 이루어지며, 측정을 하는 동안 평균작업시간은 53.5분이었다.
3. 자동세척장치의 배출구 바로 앞에서 10 cm, 40 cm 및 80 cm 떨어진 지점에서 측정한 결과 TCE 농도는 13.7 ± 10.5 ppm, 56.4 ± 41.5 ppm, 그리고 12.8 ± 6.5 ppm으로 나타났다. 이곳에서 작업시간은 10~20cm 지점에서 184분, 40 cm 떨어진 지점에서 285분이었다.
4. 적재장소에서 측정한 TCE 농도는 1차 적재장소가 34.6 ± 23.5 ppm이었고, 2차 적재 장소는 8.2 ± 3.7 ppm이었다. 작업시간은 1차 적재장소에서 38분(32~44분), 2차 적재장소에서는 9.5분(8~11분)이었다.
5. 투입 전 준비작업 장소에서 TCE 농도는 9.6 ± 13.8 ppm이었고, 작업시

간은 평균 95분(80~110분)이었다.

6. 자동세척기에 투입하는 장소에서의 TCE 농도는 8.0 ± 2.5 ppm이었고 작업 시간은 357분(300~414분)이었다.

7. 자동세척장치는 1주일에 1~2회 약 30분간 내부 청소작업을 한다. 이때 자동세척장치 내부의 농도는 301.5 ppm이었고, 출입문 안쪽은 80.3 ppm, 자동세척장치 외부는 26.8 ppm, 배출구에서는 20.1 ppm, 연결통로에서는 8.2 ppm으로 나타났다.

8. 장소별 TCE 농도의 변이를 감안하여 조사된 작업시간을 바탕으로 작업자의 1일 노출농도를 추정한 결과, 배출구 작업자는 25.0~88.3 ppm 으로 투입구 작업자는 9.3~55.2 ppm으로 추정되었다.

9. 장소시료의 일간변이는 기하표준편차로 1.6~2.1 정도로 나타나 개인시료의 변이보다는 작은 것으로 보였다.



참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 고용노동부. (2013). 『작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제 2013-39호)』. 세종: 고용노동부.
- 고용노동부. (2013). 『화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고용노동부고시 제 2016-41호)』. 세종: 고용노동부.
- 김광훈. (2016). 『도금업 세척공정 작업자의 트리클로로에틸렌 노출농도 특성 및 일간변이에 관한 연구』. 서울: 한성대학교 대학원.
- 김효진. (2016). 『트리클로로에틸렌 세척공정에서의 트리클로로에틸렌 노출농도의 일간 변이에 관한 연구』. 서울: 한성대학교 대학원.
- 문영한, 노재훈, 이경종, 송창의. (1992). 트리클로로에틸렌 취급 근로자의 건강장해. 『대한산업의학학회지』, 4(1), 14-19.
- 백남원. (1993). 우리나라 중소기업 도금공정 근로자의 크롬 및 세척제 폭로에 관한 연구. 『한국산업위생학회지』, 3(1), 110-126.
- 이경희, 백남원. (2008). 중소기업 도금공정에서의 트리클로로에틸렌 폭로와 발산량에 관한 연구. 『한국산업위생학회지』, 3(1), 3-13.
- 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. (2003). 『화학물질 측정결과에 대한 평가방법의 통계학적 개선』. 인천: 한국산업안전공단.
- 한국산업안전보건공단. (2003). 『복합유기용제의 발생과 유해성 평가』. 인천: 한국산업안전공단.
- 한국산업안전보건연구원. (2007). 『수동식 유기용제 시료채취기 최적조건 연구』. 인천: 한국산업안전공단.
- 한국산업안전보건공단. (2015). 『트리클로로에틸렌에 대한 작업환경측정·분석 기술지침 (A-24-2015)』. 울산: 한국산업안전공단.

2. 국외문헌

- ACGIH. (2016). *TLV & BEL*. Cincinnati : ACGIH.
- ACGIH. (2016). *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants*. Cincinnati: ACGIH.
- NIOSH. (2016). *Manual of Analytical Methods(NMAM) 5th Edition*. Atlanta: NOISH.
- Nelson A. Leidel, Kenneth A. Busch, Jeremiah R. Lynch. (1977). *OCCUPATIONAL EXPOSURE SAMPLING STRATEGY MANUAL*. Cincinnati: Public Health Service.



ABSTRACT

A Study on Characteristics of Distribution of Trichloroethylene Concentrations by Sampling Positions and Daily Variations in a Degreasing Process

Jeong, Su-Jin

Major in Industrial Hygiene Engineering
Dept. of Mechanical Systems Engineering
The Graduate School
Hansung University

This study was conducted to evaluate airborne trichloroethylene (TCE) concentrations at different area in a TCE degreasing process. Area samples provide useful information for industrial hygienists to introduce control measures. Area samples were taken at different positions around the automatic TCE degreasing facility for 15 days between 12th August and 1st November 2016 using 3M nadge(OVM#3500).

At the area for after-drying task with remove remaining TCE, TCE concentrations were 110.8 ± 71.8 ppm and working time was 53.5 minutes(45~60 min) a day. At 10, 40 and 80 cm away from the outlet of TCE degreasing facility, TCE concentrations were 13.7 ± 10.5 ppm, 56.4 ± 41.5 ppm, and 12.8 ± 6.5 ppm respectively. Work time here was 184 min at the distance of 10–20cm from the opening of outlet of the

degreasing facility, and 285 min at 40 cm.

TCE concentrations at the first loading area were 34.6 ± 23.5 ppm and at secondary area 8.2 ± 3.7 ppm. Working time at the first loading area was 38 min(32~44 min), at the secondary loading area 9.5 min(8~11 min). TCE concentrations and working time at the preparation area before degreasing was 9.6 ± 13.8 ppm and 95 min(80~110min), at the insert opening to facility 8.0 ± 2.5 ppm and 357 min(300~414 min). During cleaning inside the degreasing facility at least once a week, the concentration reached up to 301.5 ppm inside the facility. TCE concentration at the gate was 80.3 ppm, and at the distance of 50 cm outside 26.8 ppm and at 60 cm, 20.1 ppm and at the 4 m away the concentration was 8.2 ppm.

Geometric standard deviation for daily variations ranged in 1.6~2.1, which is believed to be lower than personal samples.

Based on airborne TCE concentrations at each area, two workers' TWA was estimated as 25.0~88.3 ppm and 9.3~55.2 ppm respectively

【Keywords】 TCE, Trichloroethylene, TCE degreasing, area sampling, area sample.