



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](#)

석사학위논문

도금업 세척공정 작업자의
트리클로로에틸렌 노출농도 특성 및
일간 변이에 관한 연구



HANSUNG
UNIVERSITY

2016년

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김광훈

석사학위논문
지도교수 박두용

도금업 세척공정 작업자의
트리클로로에틸렌 노출농도 특성 및
일간 변이에 관한 연구

A Study on Characteristics of Workers' Exposure and Daily
Variations to Trichloroethylene in Degreasing Processes in
Two Plating Industries

2016년 6월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 광 훈

석사학위논문
지도교수 박두용

도금업 세척공정 작업자의
트리클로로에틸렌 노출농도 특성 및
일간 변이에 관한 연구

A Study on Characteristics of Workers' Exposure and Daily
Variations to Trichloroethylene in Degreasing Processes in
Two Plating Industries

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2016년 6월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 광 훈

국 문 초 록

도금업 세척공정 작업자의 트리클로로에틸렌 노출농도 특성 및 일간 변이에 관한 연구

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 광 훈

소규모 사업장에서는 날마다 작업량이나 작업내용의 변화가 크다. 따라서 어느 하루치의 작업환경 측정치로 그 작업장 또는 근로자의 노출농도를 평가하는 것은 위험성이 크다. 본 연구는 실제로 작업자에게 노출되는 유해물질의 농도변이를 알아보기 위해 TCE 탈지작업(degreasing processes)을 하는 소규모 도금 사업장 2곳을 선정하여 2015년 10월 21일부터 2015년 11월 4일까지 11일간, 그리고 2016년 03월 14일부터 2016년 04월 07일까지 19일간, 총 30일간 2명을 대상으로 일일 평균 TCE 노출 농도와 세척작업을 하는 동안의 TCE 노출농도를 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

A사업장에서 TCE 세척작업자의 노출 농도를 측정한 결과, 30일간 평균 작업시간은 482분, 표준편차는 119분으로 작업시간의 일간 변이가 상당히 큰 것으로 나타났다. 1일 평균TCE 노출농도는 산술평균은 12.7 ppm, 산술표준편차는 8.8 ppm으로 나타났다. 기하평균은 9.4 ppm이었고 기하표준편차는 2.46이었다. 한편 세척작업을 하는 동안의 시간은 평균 56분, 표준편차는 73분으로 세척작업시간의 일간 변이도 매우 큰 것으로 나타났다. 세척작업을 하

는 동안의 TCE 노출농도는 최소 6.5 ppm에서 최대 278.7 ppm으로 나타났으며, 우리나라 단시간 노출기준인 200 ppm을 초과하는 시료는 1개였지만 ACGIH TLV-STEL 기준인 25 ppm을 초과하는 시료는 시료 28개 중 21개로 무려 75%가 초과하는 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안 TCE 노출농도의 산술평균은 58.0 ppm, 산술표준편차는 56.4 ppm으로 나타났다. 기하평균은 40.2 ppm이었고 기하표준편차는 2.48이었다.

B사업장에서 TCE 세척작업자의 노출 농도를 측정한 결과, 19일간 평균 419분, 표준편차는 46분으로 작업시간의 일간 변이는 A사업장에 비해 변이가 크지 않았다. 1일 평균TCE 노출농도는 최소 3.9 ppm에서 최대 76.4 ppm까지 변이의 폭이 A사업장보다 더욱 큰 것으로 나타났다. 산술평균은 36.1 ppm, 산술표준편차는 22.2 ppm으로 나타났다. 기하평균은 27.6 ppm이었고 기하표준편차는 2.37이었다. 한편 TCE 세척작업을 하는 동안의 시간은 평균 52분, 표준편차는 68분으로 세척작업시간의 일간 변이는 매우 큰 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안의 TCE 노출농도는 최소 13.2 ppm에서 최대 284.6 ppm으로 나타났으며, 우리나라 단시간 노출기준인 200 ppm을 초과하는 시료는 2개였으며, ACGIH의 TLV-STEL 기준인 25 ppm을 초과하는 시료는 19개 중 16개로 무려 84%가 초과하는 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안 TCE 노출농도의 산술평균은 114.4 ppm, 산술표준편차는 72.3 ppm이었으며, 기하평균은 85.9 ppm, 기하표준편차는 2.49였다.

위와 같이 A, B 두 군데 사업장의 결과로 볼 때 도금 사업장의 TCE 세척작업의 일간변이는 매우 큰 것을 알 수 있었다.

A사업장에서의 TCE 노출 농도 분포를 대수정규분포확률지에 나타낸 결과, 농도분포가 4개의 직선상을 보여 4개의 유사노출군(similar exposure group, SEG)으로 구분되는 것으로 추정되었다. 실제 작업상황을 파악한 결과, 세척작업이 거의 없는 경우, 소량작업이 있는 경우, 보통 작업이 있는 경우 그리고 작업물량이 아주 많은 경우로 구분되었다. B사업장에서도 TCE 노출특성은 위와 유사하게 나타났다.

A사업장의 일일 평균 노출농도는 우리나라 노출기준인 50 ppm의 절반인 25 ppm을 초과할 확률이 14.0%로 나타났으며, 노출기준 50 ppm을 초과할 확률은 3.2%였다. 노출기준을 2배 초과할 확률은 0.4%로 나타났다. B사업장의 경우에는 노출기준의 절반인 25 ppm을 초과할 확률이 54.4%, 노출기준 50 ppm을 초과할 확률은 24.5%, 노출기준을 2배 초과할 확률은 6.8%였다. 한편 미국산업위생전문가협회(ACGIH)의 기준인 TLV의 10 ppm을 기준으로 할 때 A사업장의 경우, 노출기준의 절반인 5 ppm을 초과할 확률이 75.8%로 나타났고, 노출기준인 10 ppm을 초과할 확률은 47.2%였으며, 노출기준을 2배 초과할 확률은 20.1%로 나타났다. B사업장의 경우 노출기준의 절반을 초과할 확률이 97.6%, 노출기준 10 ppm을 초과할 확률이 88.1%, 노출기준을 2배 초과할 확률은 64.4%로 A사업장에 비해 높은 수준을 보였다.

2008년부터 2015년도까지 산업안전보건법에 의한 법적 작업환경측정 결과는 A사업장의 기하평균과 기하표준편차가 1.65 ppm과 3.50이고, B사업장은 6.25 ppm과 2.50으로 나타나 본 연구에서 측정한 결과보다 훨씬 낮은 것으로 나타났다.

【주요어】 TCE, Trichloroethylene, 탈지작업, TCE세척, 일간변이, 유사노출그룹

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 필요성	1
제 2 장 연구대상 및 방법	3
제 1 절 연구 대상	3
제 2 절 측정대상물질	4
제 3 절 측정방법	6
제 4 절 분석방법	6
제 5 절 확산포집방법에 의한 농도계산법	7
제 3 장 연구 결과	8
제 1 절 일간 변이의 측정결과	8
1) A 사업장의 일일 TCE 노출 농도 변이	11
2) A 사업장의 단시간 TCE 노출 농도	14
3) B 사업장의 일일 TCE 노출 농도	16
4) B 사업장의 단시간 TCE 노출 농도	17
5) A, B 사업장 일일 TCE 노출 농도 전체 측정결과	18
제 2 절 작업 특성에 따른 노출 농도 분포	20
1) A 사업장의 작업 특성에 따른 TCE 노출 농도 분포	20
2) B 사업장의 작업 특성에 따른 TCE 노출 농도 분포	22
제 3 절 각 사업장의 노출기준 초과확률	24

1) 우리나라 고용노동부 노출기준에 따른 초과확률	24
2) 미국산업위생전문가협회(ACGIH) 노출 기준에 따른 초과확률 ·	25
제 4 절 기존 작업환경측정 결과와 비교	26
 제 4 장 결 론	 28
 참 고 문 헌	 31
 ABSTRACT	 33



표 목 차

<표 1 > 대상 사업장 분류	3
<표 2 > 각 사업장 공정 개요	4
<표 3 > Trichloroethylene의 직업적 노출기준(ppm)	5
<표 4 > 가스크로마토그래피의 분석조건	7
<표 5 > A 사업장 세척 작업자의 일일 TCE 노출농도	10
<표 6 > B 사업장 세척 작업자의 일일 TCE 노출농도	11
<표 7 > 사업장 별 일일 TCE 노출 농도	18
<표 8 > 한국 고용노동부 노출기준에 따른 초과 확률	24
<표 9 > 미국산업위생전문가협회(ACGIH) 노출기준에 따른 초과 확률	25
<표 10> 사업장 별 기준 작업환경측정 결과	27
<표 11> A, B 사업장 기준 작업환경측정 결과 비교	27

그 립 목 차

[그림 1] A 사업장 세척 작업자의 2015년 일일 노출농도 변이	12
[그림 2] A 사업장 세척 작업자의 2016년 일일 노출농도 변이	12
[그림 3] A 사업장 세척 작업자의 2015, 2016년 일일 노출농도 변이	13
[그림 4] A 사업장 세척 작업자의 2015년 단시간 노출농도	14
[그림 5] A 사업장 세척 작업자의 2016년 단시간 노출농도	15
[그림 6] A 사업장 세척 작업자의 2015, 2016년 단시간 노출농도	15
[그림 7] B 사업장 세척 작업자의 일일 노출농도	16
[그림 8] B 사업장 세척 작업자의 단시간 노출농도	17
[그림 9] A, B 사업장 전체의 TCE 노출농도 누적도수분포	19
[그림 10] A 사업장 세척작업자의 일일 노출농도분포	21
[그림 11] A 사업장 세척작업 동안의 단시간 노출농도분포	21
[그림 12] B 사업장 세척작업자의 일일 노출농도분포	23
[그림 13] B 사업장 세척작업 동안의 단시간 노출농도분포	23

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 필요성

최근 빈번한 화학물질 사고와 관련하여 안전보건에 대한 관심이 높아짐에 따라 작업장의 화학물질에 대한 노출과 관리의 중요성이 더욱 높아 있다. 유해 화학물질을 취급하거나 사용하는 작업현장에서의 화학물질 관리는 작업환경측정 평가를 실시함으로써 근로자들의 작업환경개선과 건강한 작업조건을 보장하기 위해서도 중요한 부분이다.

우리나라 작업환경측정은 대부분 산업안전보건법 제 42조에 의해 6개월에 1회 실시하고 있으며, 측정결과에 따라 측정주기를 일부 조정하도록 하고 있다. 예를 들어 화학물질의 측정결과가 노출기준을 2배 이상 초과(단, 발암성 물질의 경우에는 측정결과가 노출기준을 초과하는 경우)에는 3개월에 1회 이상 측정하여야 한다. 반면, 최근 1년간 작업공정의 변화 등 작업환경 측정결과에 영향을 주는 변화가 없는 작업장으로서 측정결과가 최근 2회 연속 노출기준 미만인 경우(발암성 물질 제외)에는 1년에 1회만 측정할 수 있도록 하고 있다(김효진, 2016).

기존의 측정전략은 기본적으로 작업조건이 비교적 일정하고 다수가 유사한 작업을 할 경우, 어느 시점에서 다수의 근로자를 대상으로 시료를 채취하여 그 평균(기하평균)과 편차(기하표준편차)를 산출하여 이로부터 초과위험 수준을 평가하는 것이었다. 그러나 최근 작업이나 공정의 일간 변화가 큰 경우가 많아 어느 하루의 측정치로 그 작업의 안전성을 평가하는 것은 상당한 문제점이 있을 수 있다는 문제가 꾸준히 제기되어 왔다. 더구나 소규모 사업장의 경우 날마다 작업량이나 작업조건이 바뀌는 경우가 많아 하루만 측정하는 것으로는 위험성을 평가하기 상당히 어렵다.

본 연구는 유기용제 노출이 많은 소규모 사업장에서 불규칙하거나 일정 주기로 노출 패턴이 바뀌는 경우에 따라 유사노출집단(Similar Exposure Group, SEG)의 노출평가 방법을 적용하는 것에 대한 의문점을 가지고 해당 사업장의 노출을 제대로 평가할 수 있는가 하는 것을 매일 연속 측정

을 통하여 그 변이를 평가하는 동시에, 실제 작업시간 동안에 단시간으로 노출되는 패턴을 파악하여 그 상관관계를 알아보기 위하여 유기용제를 사용하는 도금사업장 2곳을 선정하여 측정 평가하였다.

본 연구의 목적은 작업환경 관리가 취약한 소규모 도금 사업장을 대상으로 세척공정에서 발생하는 공기 중 TCE(trichloroethylene, TCE, 이하 TCE라 함)의 농도를 일일 단위로 연속으로 측정하여 TCE 세척작업에서의 TCE 노출농도수준과 일간변이에 대한 기초자료를 제공하고자 하는데 있다.



제 2 장 연구대상 및 방법

제 1 절 연구 대상

본 연구에서는 2015년 10월 21일부터 2015년 11월 4일까지 11일간, 2016년 03월 14일부터 2016년 04월 07일까지 19일간, 총 30일간 인천지역에 위치한 도금업 사업장 2곳에서 TCE 세척 작업자의 개인노출농도를 연속으로 측정하였다.

각 사업장에서 TCE 세척작업자들은 연마 작업이 완료된 금속 제품을 입고하여 도금 작업 직전 TCE 세척조에 일정시간 담근 후에 꺼내는 탈지작업(degreasing process)을 실시하고 있었다. 세척작업은 제품이 입고될 때마다 실시하였으므로 작업량이나 작업형태가 상당히 불규칙적이었다.

두 사업장 모두 금속제품을 도금하기 위해 1명의 근로자가 TCE 세척조를 이용하여 탈지작업을 하고 있었다. 두 사업장은 주요 생산품의 크기가 약간 다르기 때문에 세척조의 용량과 제품을 넣는 세척망, TCE의 월 사용량에는 다소 차이가 있었다. 각 사업장의 분류 및 공정개요는 <표 1> 및 <표 2>와 같다.

<표 1> 대상 사업장 분류

사업장명	A 사업장	B 사업장
업종	도금업	도금업
주요 생산품	가구부품, 악세사리	모터커버, 욕실용품
총 근로자 수	11명	8명
탈지공정용 세척제	Trichloroethylene	Trichloroethylene
세척작업자 수	1명	1명

<표 2> 각 사업장 공정 개요

사업장명	A 사업장	B 사업장
사업장크기	132m3	148.5m3
세척기 개수	1개	1개
세척조 용량*	145cm x 30cm x 80cm	220cm x 40cm x 90cm
세척망 크기*	25cm x 15cm x 10cm	44cm x 30cm x 20cm
TCE 농도	99.9%	99.9%
TCE 사용량	100L/월	200L/월
국소배기장치 용량*	180cm x 20cm x 40cm	225cm x 25cm x 40cm
생산물 평균크기*	10cm x 3cm x 0.5cm	15cm x 10cm x 5cm

*세척조의 용량 및 세척망의 크기, 국소배기장치의 용량, 생산품 평균크기는 길이(L) x 넓이(W) x 높이(H) 단위로 표시하였음.

제 2 절 측정대상물질

TCE는 가격이 저렴하고 뛰어난 세정력을 가지고 있어 대부분의 도금업종에서 금속 탈지를 위한 일반적인 세척제로 많이 사용되고 있다. TCE는 에테르 혹은 클로로폼과 유사한 달콤한 냄새가 나는 무색의 액체로 화학식은 C_2HCl_3 , 분자량은 131.40이고, 증기압은 25℃에서 74 mmHg이며, 대기 중의 반감기는 7일이다(ATSDR, 1997). TCE는 증기탈지법에 주로 이용되며, 과거에는 마취제로도 사용된바 있다. 현재는 주로 금속 부품의 탈지세척을 하는 도금업종 및 섬유공업에서의 세척제, 페인트 박리제, 바니시의 원료, 전자 부품 접착용제, 자동차 부품 가공업 등에서 많이 사용된다. 다른 화학물질 생산에서 화학적 중간생성물, 오일, 그리스, 왁스, 타르의 용매추출에도 사용된다(ATSDR, 1997). TCE는 높은 증기압으로 인하여 개방된 세척조에서는 끊임없이 휘발이 일어나므로 TCE 세척작업을 하는 곳에서는 항상 대기 중 증기상태로 존재한다.

우리나라의 고용노동부에서는 8시간 시간가중평균치(Time Weighted Average; TWA) 50 ppm, 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit; STEL) 200 ppm으로 TCE의 노출기준을 설정하고 있으며, 미국정부산업위생 전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH)에서는 8시간 시간가중평균으로 10 ppm, 단시간노출기준 25 ppm을 권고하고 있다(<표 3>).

<표 3> Trichloroethylene의 직업적 노출기준(ppm)

노출기준	한국 고용노동부고시 2013-38호	ACGIH, TLV 2015
TWA(ppm)	50	10
STEL(ppm)	200	25
발암성	발암성 1B, 생식세포 변이원성2	CNS impair; cognitive decrements; renal toxicity

TCE는 주로 호흡기를 통하여 흡입된다. 흡입된 TCE는 혈액을 따라 유사 지방질이 많은 중추 신경계에 작용하여 두통, 현기증, 진전, 구토, 졸음 등을 일으키며, 심하면 의식불명 및 사망을 일으킬 수도 있다. 낮은 농도에 장기간 노출될 경우에는 기억력 감퇴, 의욕상실, 정서불안 등이 신경계 증상과 간이나 신장에 영구적 장애를 초래할 수 있다(NIOSH, 1978; ACGIH, 1986; Craft, 1983). 미국 국립암연구소(National Cancer Institute, NCI)에서는 동물실험결과 TCE는 간암을 일으킨다고 보고하였다(NCI, 1976).

제 3 절 측정방법

공기 중 TCE의 측정은 수동식 시료채취기(3M OVM #3500)를 이용하였다. 시료채취기의 부착위치는 근로자의 왼쪽 어깨와 목 부위 근처였다. 일일 근무시간 동안 시간가중평균치와 실제 TCE 세척작업 시간 동안 단시간 측정을 동시에 실시하였다.

일간 변이를 보기 위해 매일 연속으로 측정해야 했으므로 처음에는 연구자가 직접 시료채취기를 부착하고 작업을 관찰하였으나, 3일째 이후부터는 근로자가 직접 미리 비치한 시료채취기를 부착하고 시작시간을 기록하도록 하였다. 작업 종료 후에는 시료채취기의 뚜껑을 닫고 용기에 넣어 냉장보관 하도록 하였다. 매일 작업시간, 작업내용 등을 간략하게 기록하도록 하였다. 단시간 측정 시료의 경우, 실제 TCE 세척 작업시간 동안에 연구자가 직접 현장에 상주하며 수동식 시료채취기를 장착하였고 작업시간, 작업내용, 작업방법 등 작업 상황을 기록하였다.

제 4 절 분석방법

시료가 채취된 수동식 시료채취기(3M OVM #3500)는 시료채취 후 냉장고에서 냉장보관하였으며, 측정 후 일주일 이내에 분석을 실시하였다. 분석 방법은 3M사에서 제공한 'Analysis Guide'를 참고로 하였고 1.5ml 이황화탄소(99.9%)를 주입하여 30분 동안 탈착시킨 후, 2 ml 유리바이알에 옮겨 담은 후 분석하였다.

실험에 사용한 분석기기는 불꽃이온화검출기(FID)가 부착된 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, CP-3800, Bruker)였다. 분석용 컬럼은 Agilent사의 DB-WAX (30m × 0.25mm × 0.25um)였으며, 이동상 가스는 질소(N₂)를 사용하였다. 가스크로마토그래피의 분석 조건은 <표 4>에 나타내었다.

<표 4> 가스크로마토그래피의 분석조건

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

제 5 절 확산포집방법에 의한 농도계산법

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

$$C(ppm) = \frac{W}{r \times t} \times A \dots \dots \dots <식 1>$$

<식 1>에서 회수된 오염원의 무게(mg), r은 회수율, t는 측정 시간(min) 그리고 A는 채취유량을 포함한 ppm 환산에 필요한 계산 상수이다. A는 3M사에서 TCE 상수값 5.98 cc/min을 적용하여 계산하였다(3M Technical Data Bulletin - Organic Vapor Monitors).

제 3 장 연 구 결 과

제 1 절 일간 변이의 측정결과

본 연구의 측정 대상공정은 두 사업장 모두 도금 작업 전, 연마 가공된 금속제품을 세척하는 탈지공정으로, TCE가 담겨져 있는 세척조에서 일정 시간 초음파 세척을 실시한 후 꺼내는 작업이다. 세척 작업을 진행하는 근로자는 각 사업장 별로 한 명이었으며, 이 근로자를 대상으로 수동식 시료채취기를 착용시켜 세척 작업 시 공기 중 노출되는 TCE를 측정하였다.

측정은 2015년 10월 21일부터 2015년 11월 4일까지 11일간, 2016년 03월 14일부터 2016년 04월 07일까지 19일간, 총 30일 동안 휴무일을 제외하고 정상적인 근무일에 실시하였으며, 작업시간 내 노출되는 패턴을 확인하기 위하여 일부 단시간 측정을 함께 실시하였다.

일간 변이를 확인하기 위한 일일 노출 시료 수는 A 사업장에서는 30일간 30개, B 사업장에서는 19일 간 19개로 총 49개의 시료를 채취하였다. 실제 TCE 세척작업 동안에 측정한 단시간 노출 시료 수는 A 사업장이 30일간 30개, B 사업장이 19일간 19개로 총 49개 시료를 채취하였다. 측정결과는 <표 5> 및 <표 6>과 같다.

A사업장의 30일간 1일의 작업시간은 최소 360분(6시간)에서 최대 740분(12시간10분)이었으며, 평균 482분, 표준편차는 119분으로 작업시간의 일간 변이가 상당히 큰 것으로 나타났다. 1일 평균TCE 노출농도는 최소 1 ppm에서 최대 37.2 ppm까지 큰 폭의 변이가 있었으며, 산술평균은 12.7 ppm, 산술표준편차는 8.8 ppm으로 나타났다. 기하평균은 9.4 ppm이었고 기하표준편차는 2.46이었다.

한편 TCE 세척작업을 하는 동안의 시간은 최소 15분에서 최대 240분까지였으며, 평균 56분, 표준편차는 73분으로 세척작업시간의 일간 변이는 매우 큰 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안의 TCE 노출농도는 최소 6.5 ppm에서 최대 노출농도는 무려 278.7 ppm으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안 우리나라 단시간 노출기준인 200 ppm을 초과하는 시료는 278.7 ppm

의 1개였지만 ACGIH의 TLV-STEL 기준인 25 ppm을 초과하는 시료는 28개 중 21개로 무려 75%가 초과하는 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안 TCE 노출농도의 산술평균은 58.0 ppm, 산술표준편차는 56.4 ppm으로 나타났다. 기하평균은 40.2 ppm이었고 기하표준편차는 2.48이었다.

B사업장의 19일간 1일의 작업시간은 최소 390분(6시간30분)에서 최대 545분(9시간5분)이었으며, 평균 419분, 표준편차는 46분으로 작업시간의 일간 변이는 A사업장에 비해 변이가 크지 않았다. 1일 평균TCE 노출농도는 최소 3.9 ppm에서 최대 76.4 ppm까지 변이의 폭이 A사업장보다 더욱 큰 것으로 나타났다. 산술평균은 36.1 ppm, 산술표준편차는 22.2 ppm으로 나타났다. 기하평균은 27.6 ppm이었고 기하표준편차는 2.37이었다.

한편 TCE 세척작업을 하는 동안의 시간은 최소 15분에서 최대 210분까지였으며, 평균 52분, 표준편차는 68분으로 세척작업시간의 일간 변이는 매우 큰 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안의 TCE 노출농도는 최소 13.2 ppm에서 최대 노출농도는 무려 284.6 ppm으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안 우리나라 단시간 노출기준인 200 ppm을 초과하는 시료는 2개였으며, ACGIH의 TLV-STEL 기준인 25 ppm을 초과하는 시료는 19개 중 16개로 무려 84%가 초과하는 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안 TCE 노출농도의 산술평균은 114.4 ppm, 산술표준편차는 72.3 ppm으로 나타났다. 기하평균은 85.9 ppm이었고 기하표준편차는 2.49였다.

위와 같은 결과로 볼 때 도금 사업장의 TCE 세척작업의 일간변이는 매우 큰 것을 알 수 있었다.

<표 5> A 사업장 세척 작업자의 일일 TCE 노출농도

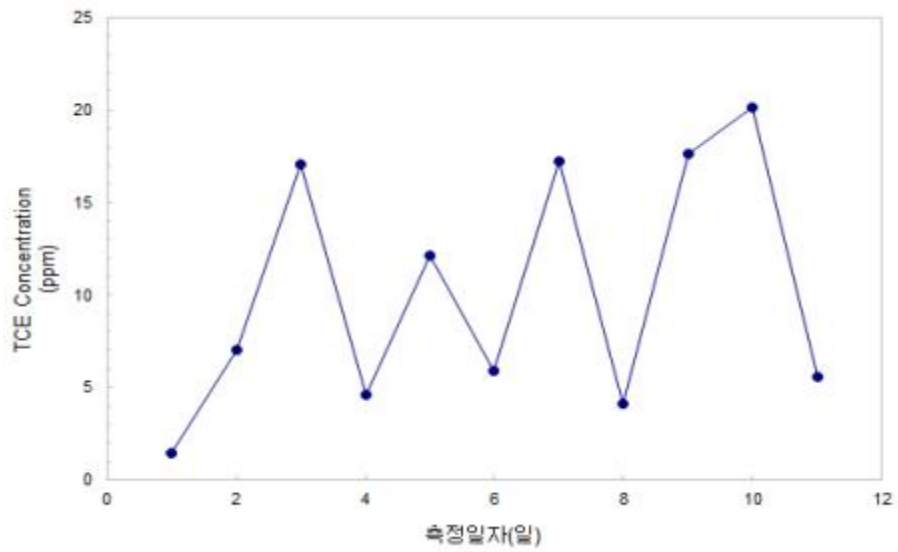
측정일	일일 노출농도		단시간 노출농도	
	측정시간 (min)	TCE 농도 (ppm)	측정시간 (min)	TCE 농도 (ppm)
2015.10.21	585	1.5	35	41.9
2015.10.22	675	7.0	115	11.7
2015.10.23	452	17.1	122	18.3
2015.10.24	740	4.6	230	6.5
2015.10.25	660	12.1	15	68.2
2015.10.26	450	5.9	15	52.0
2015.10.27	690	17.3	30	25.4
2015.10.28	690	4.1	240	7.3
2015.11.02	615	17.6	30	35.6
2015.11.03	680	20.1	180	17.3
2015.11.04	426	5.6	231	10.2
2016.03.14	418	10.5	15	40.5
2016.03.15	420	13.8	15	37.4
2016.03.16	402	3.9	17	—
2016.03.17	397	3.4	17	—
2016.03.18	398	12.6	20	87.1
2016.03.21	398	13.7	15	101.6
2016.03.22	402	10.6	15	64.1
2016.03.23	445	10.7	15	56.2
2016.03.24	397	16.2	15	41.4
2016.03.25	408	18.0	15	44.3
2016.03.28	542	16.4	15	154.2
2016.03.29	450	37.2	15	136.7
2016.03.30	390	1.7	30	46.2
2016.03.31	401	—	15	47.0
2016.04.01	404	34.4	15	278.7
2016.04.04	392	14.6	25	85.8
2016.04.05	407	18.8	135	55.0
2016.04.06	392	18.7	24	30.6
2016.04.07	360	1.0	16	23.9
N	30		28	
AM	482	12.7	58	58.4
SD	119	8.8	74	57.5
GM	—	9.4	—	40.2
GSD	—	2.46	—	2.48

<표 6> B 사업장 세척 작업자의 일일 TCE 노출농도

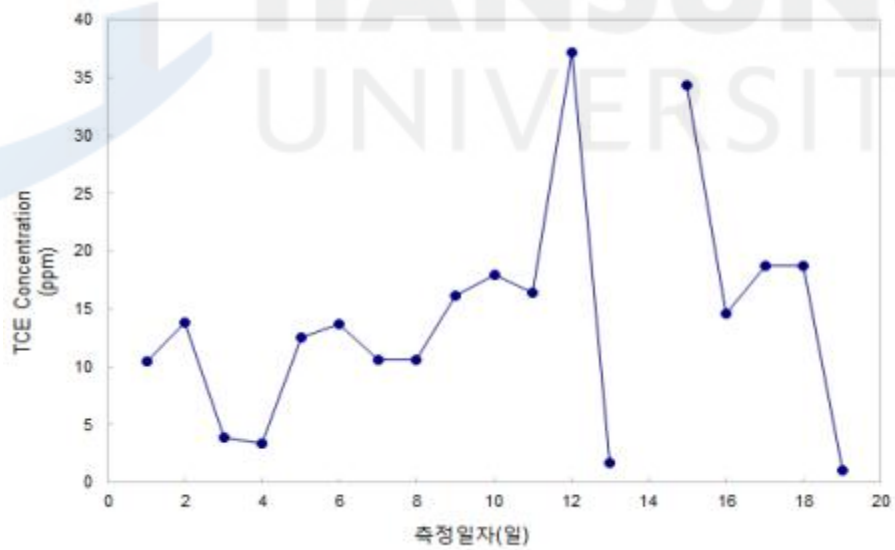
측정일	일일 노출농도		단시간 노출농도	
	측정시간 (min)	TCE 농도 (ppm)	측정시간 (min)	TCE 농도 (ppm)
2016.03.14	545	47.1	15	74.2
2016.03.15	405	50.5	15	284.6
2016.03.16	392	3.9	17	158.7
2016.03.17	465	44.1	150	131.4
2016.03.18	396	20.8	15	130.2
2016.03.21	395	75.3	15	169.6
2016.03.22	394	7.4	15	13.2
2016.03.23	397	17.1	15	185.4
2016.03.24	470	41.0	184	109.7
2016.03.25	390	23.1	25	73.8
2016.03.28	515	41.8	15	60.4
2016.03.29	392	52.1	15	226.6
2016.03.30	410	76.4	30	86.2
2016.03.31	393	6.7	15	14.2
2016.04.01	420	61.0	210	161.6
2016.04.04	392	25.8	32	118.7
2016.04.05	393	34.9	170	79.5
2016.04.06	396	10.9	28	14.0
2016.04.07	394	46.8	16	81.1
N	19		19	
AM	419	36.1	52	114.4
SD	46	22.2	68	72.3
GM	—	27.6	—	85.9
GSD	—	2.37	—	2.49

1) A 사업장의 일일 TCE 노출 농도 변이

A사업장 근로자를 대상으로 2015년 10월 21일부터 2015년 11월 4일까지 11일간, 2016년 03월 14일부터 2016년 04월 07일까지 19일간 측정한 TCE의 일일 노출농도의 일간 변이는 각각 [그림 1] 및 [그림 2]와 같다.



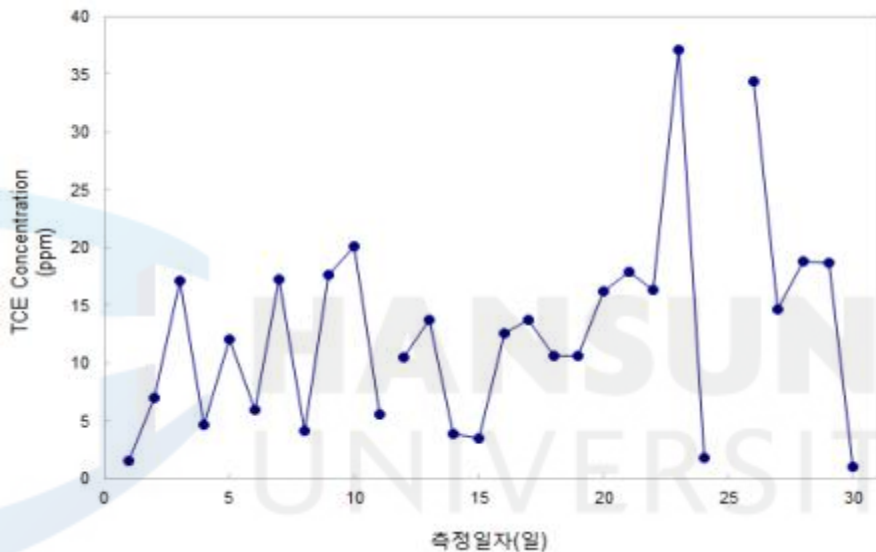
[그림 1] A 사업장 세척 작업자의 2015년 일일 노출농도 변이.



[그림 2] A 사업장 세척 작업자의 2016년 일일 노출농도 변이.

A사업장의 2015년 TCE 측정 결과는 낮은 농도와 높은 농도 두 가지 유형으로 구분할 수 있고, 2016년 측정 결과는 불검출로 평가된 1일을 제외하고 낮은 농도, 중간 농도, 높은 농도의 3가지 유형으로 구분되는 것으로 나타났다.

A사업장의 2015년과 2016년 일일 TCE 노출농도 측정 전체 결과는 [그림 3]에 나타났다.

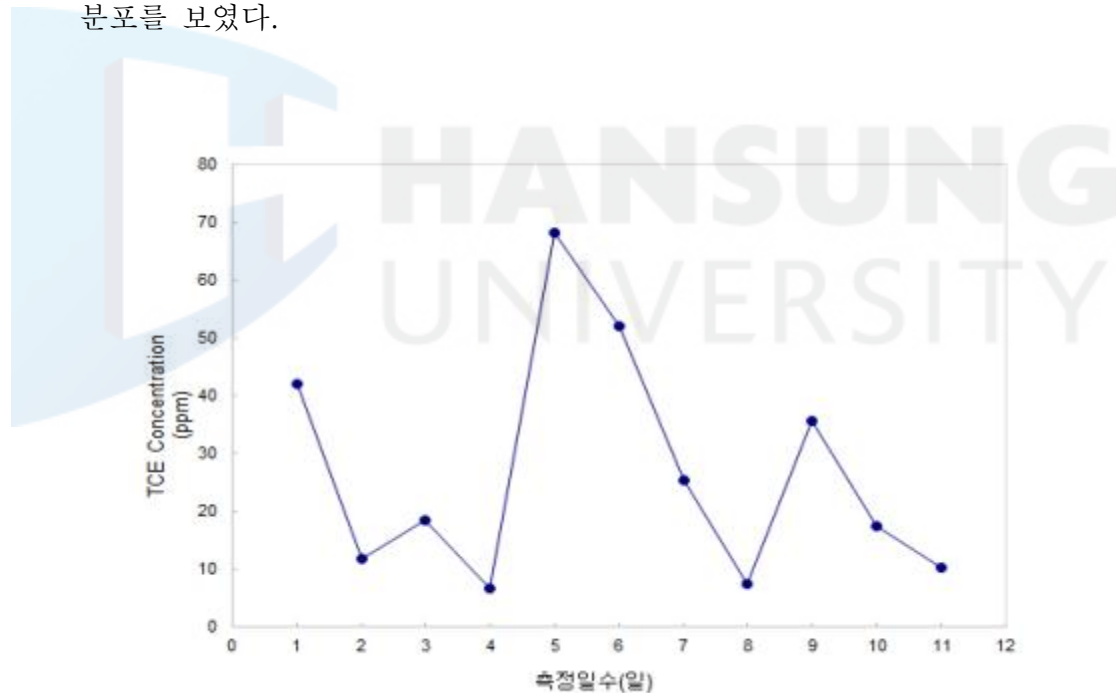


[그림 3] A 사업장 세척 작업자의 2015, 2016년 일일 노출농도 변이.

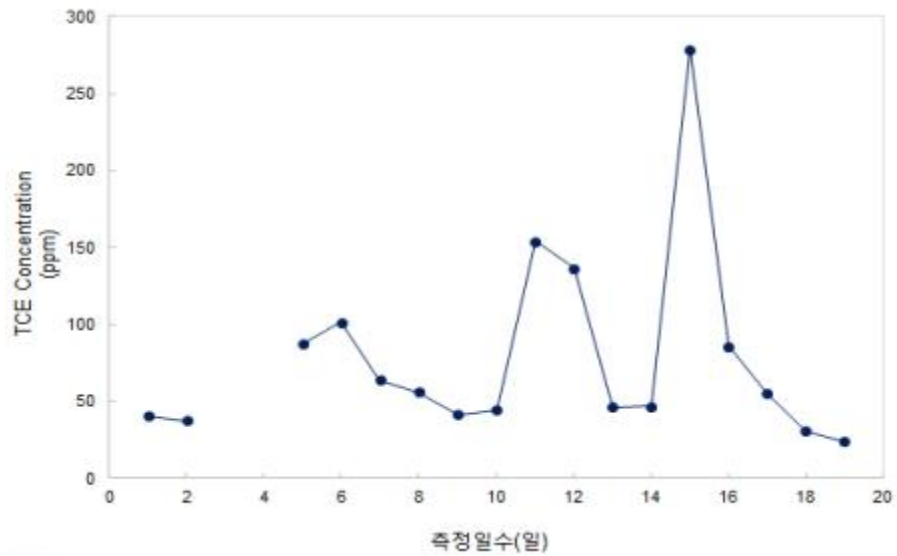
A사업장의 2015년과 2016년 두 가지 측정결과를 합쳐서 살펴보면 4가지 유형의 노출 수준으로 분류 할 수 있다. 노출 수준은 낮은 농도와 중간 농도 수준 2가지, 그리고 높은 농도로 분류하였다. 전체 측정기간 30일 중 불검출로 나온 1일을 제외하고 낮은 농도 수준을 보인 날은 3일로 약 1 ppm에서 1.7 ppm 농도 수준이었고, 10 ppm 이하의 중간 농도는 7일로 3.42 ppm에서 7.01 ppm, 10 ppm 이상의 중간 농도는 10.53 ppm에서 20.12 ppm 농도 수준이었다. 높은 농도는 34.4 ppm에서 37.2 ppm 농도 수준이었다.

2) A 사업장의 단시간 TCE 노출 농도

본 연구에서 단시간 노출 측정은 근로자가 일일 작업시간 동안 실제 TCE 세척 작업을 실시하면서 TCE에 직접적으로 노출되는 패턴을 알아보기 위하여 측정을 진행하려 하였으나 연구자가 작업 현장에 계속해서 상주할 수 없었고, 근로자가 실제 작업 할 때 수동식 시료 채취기를 탈부착을 하는데 어려움이 많아 정확한 측정을 할 수 없었다. 하여 근로자가 TCE를 취급하며 초음파 세척 작업을 하는 임의의 단시간 동안 연구자가 직접 시료채취기를 착용시키고 작업 횟수와 작업 상황을 기록하였으며, 단순히 일일 단시간으로 노출되는 변이를 알아보기 위하여 단시간 측정을 실시하였다. 노출 농도 수준을 살펴보면 [그림 4] 및 [그림 5]와 같이 낮은 농도와 중간 농도, 높은 농도의 분포를 보였다.

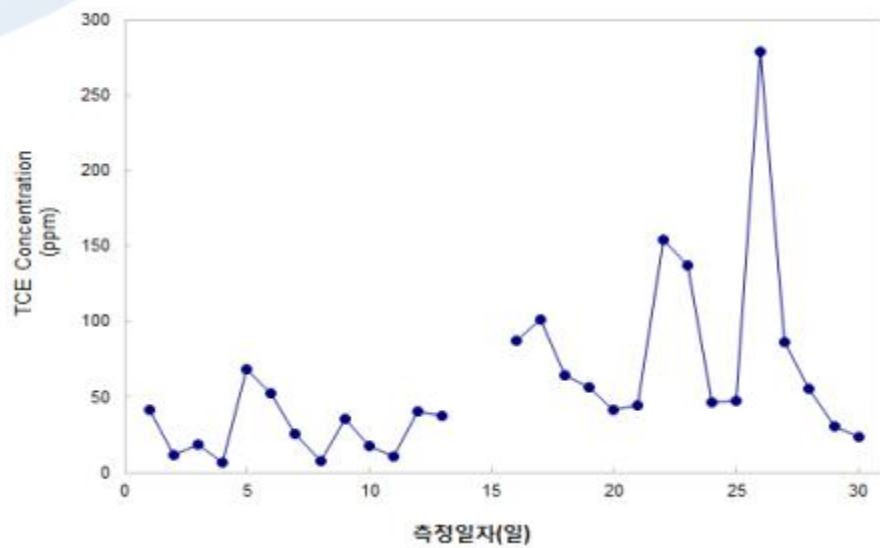


[그림 4] A 사업장 세척 작업자의 2015년 단시간 노출농도.



[그림 5] A 사업장 세척 작업자의 2016년 단시간 노출농도.

A사업장 세척 작업자의 2015년과 2016년 전체 단시간 TCE 노출 농도의 결과는 [그림 6]과 같다.

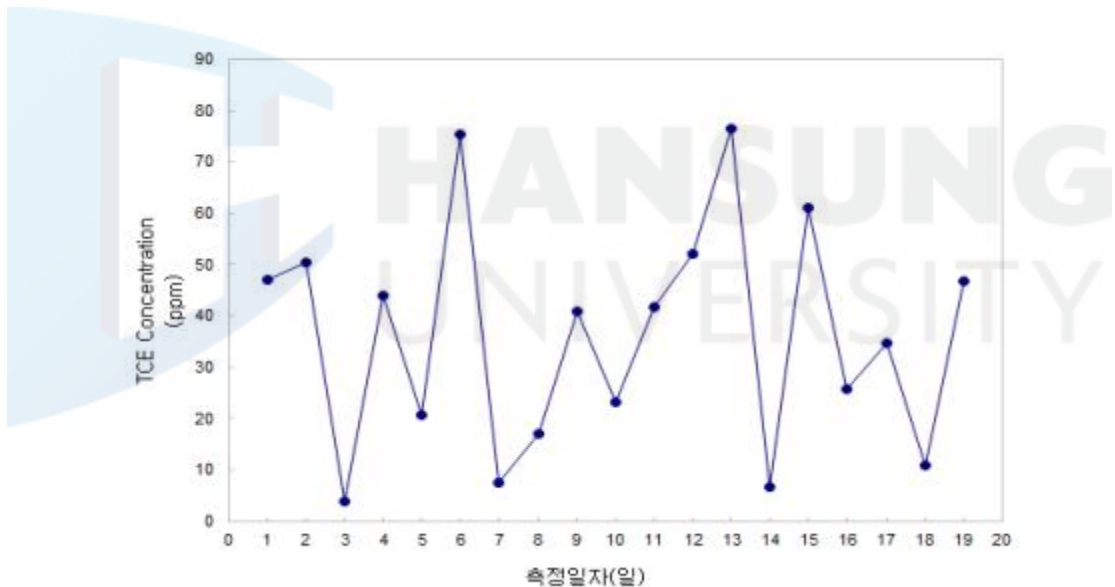


[그림 6] A 사업장 세척 작업자의 2015, 2016년 단시간 노출농도.

3) B 사업장의 일일 TCE 노출 농도

B사업장의 TCE 노출농도는 [그림 7]에서와 같이 A 사업장과 마찬가지로 낮은 농도와 중간 농도, 높은 농도의 3가지 유형으로 구분되었으나, 전체 측정기간 19일 중 낮은 농도는 3.9 ppm에서 7.4 ppm, 중간 농도는 10.9 ppm에서 47.1 ppm, 높은 농도는 50.5 ppm에서 76.4 ppm 수준으로 A 사업장에 비해 비교적 높은 농도 수준을 보였다.

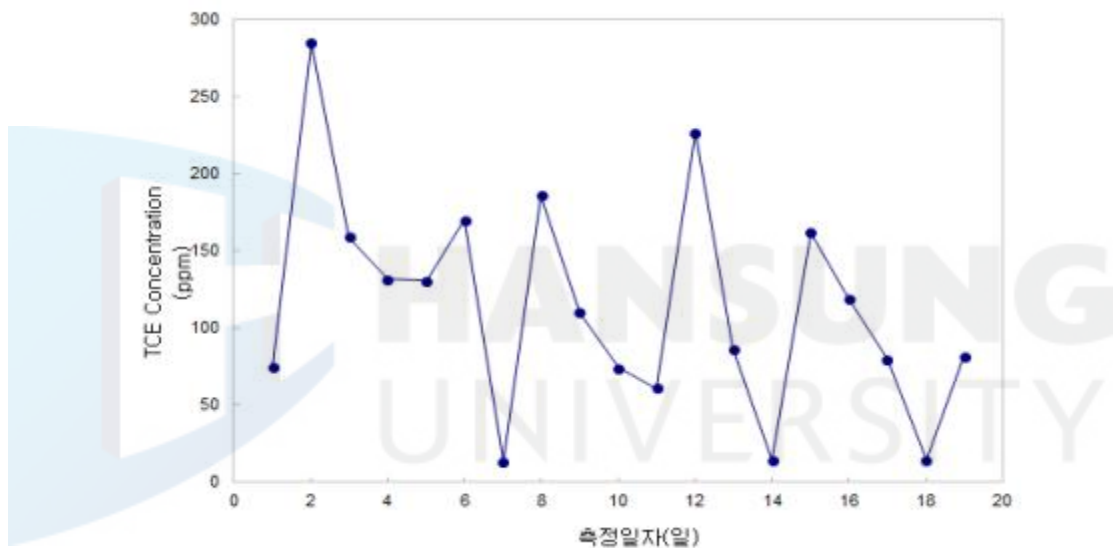
10 ppm 이하의 낮은 농도를 보인 날은 전체 측정일 19일 중 3일에 불과했고, 우리나라 고용노동부 노출기준(TWA=50 ppm)을 초과하는 수준이 전체 측정일 중 5일이나 되었다.



[그림 7] B 사업장 세척 작업자의 일일 노출농도.

4) B 사업장의 단시간 TCE 노출 농도

B사업장의 단시간 TCE 노출농도는 [그림 8]과 같았으며, 노출 농도는 50 ppm 이하와 50 ppm 이상의 두 가지 유형으로 구분되었다. 낮은 농도는 13.2 ppm에서 14.2 ppm 수준이고, 높은 농도는 60.4 ppm에서 248.6 ppm 농도 수준으로 A사업장에 비해 비교적 높은 농도 수준을 보였고, 우리나라 고용노동부 노출기준(STEL=200 ppm)을 초과하는 수준이 2일이 었다.



[그림 8] B 사업장 세척 작업자의 단시간 노출농도.

5) A, B 사업장 일일 TCE 노출 농도 전체 측정결과

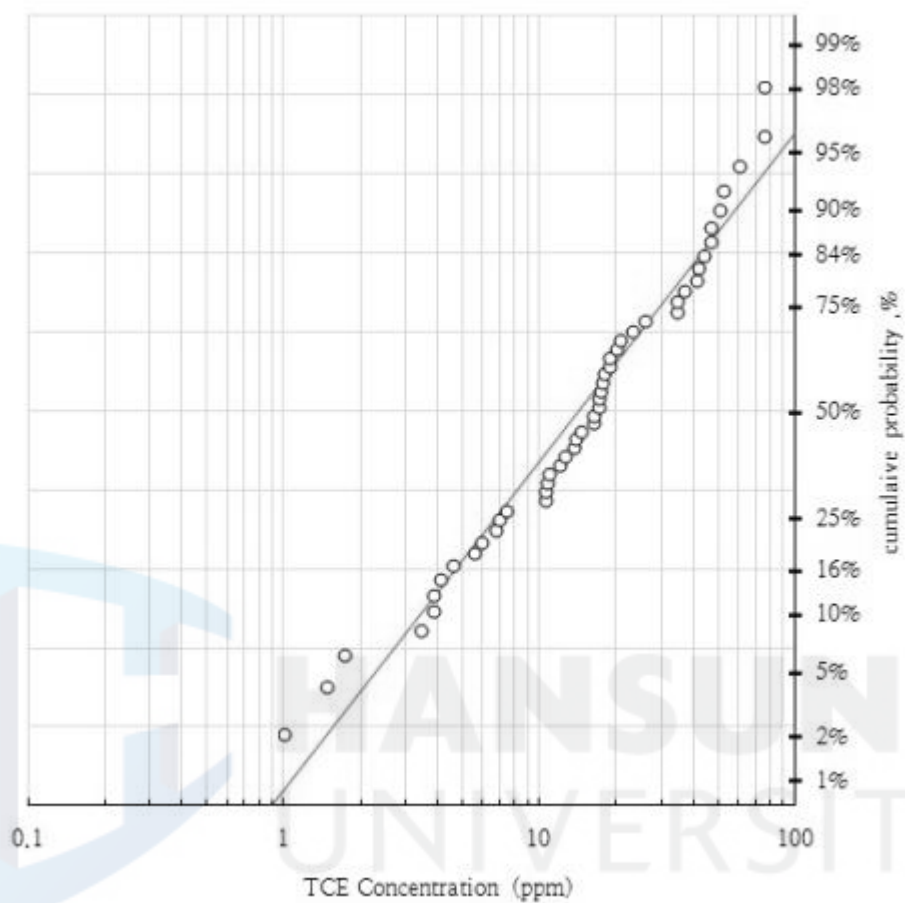
A, B 두 곳의 사업장에서 근로자 2명을 대상으로 각각 30일과 19일 동안 TCE 노출 농도를 측정한 결과는 <표 7>과 같다.

<표 7> 사업장 별 일일 TCE 노출 농도

(단위=ppm)

	N	AM	SD	GM	GSD
A 사업장	30	12.7	8.8	9.4	2.46
B 사업장	19	36.1	22.2	27.6	2.37
합 계	49	22.0	19.2	14.40	2.79

A, B 사업장 두 곳 전체의 총 시료수는 49개로 평균 노출 농도는 22.0 ppm, 기하평균은 14.4 ppm, 기하표준편차는 2.79로 나타났다. 작업환경 중 유해물질의 농도분포는 많은 경우에 정규분포보다는 대수정규분포(log-normal distribution)한다고 알려져 있다(ACGIH, 1989). 두 개의 사업장 전체 측정 결과를 누적시켜 대수분포확률지에 그려보면 [그림 9]와 같이 4개 정도의 그룹별로 기하분포를 하는 것으로 나타난다. 하지만 이 자료를 통해 TCE 세척 작업 전체의 평균 노출을 추정하거나 작업환경측정 결과를 대표하기는 어렵다. 다만, 실제 도금 사업장에서 TCE의 반복적인 근로자 노출을 일일 단위로 관찰함으로써 이전의 작업환경측정결과보다 정확히 판단할 수 있으며 다른 소규모 도금 사업장에서 노출되는 노출 특성 및 일간변이를 파악하여 작업장 관리를 위한 기본적인 자료로 활용할 수 있을 것이다.



[그림 9] A, B 사업장 전체의 TCE 노출농도 누적도수분포.

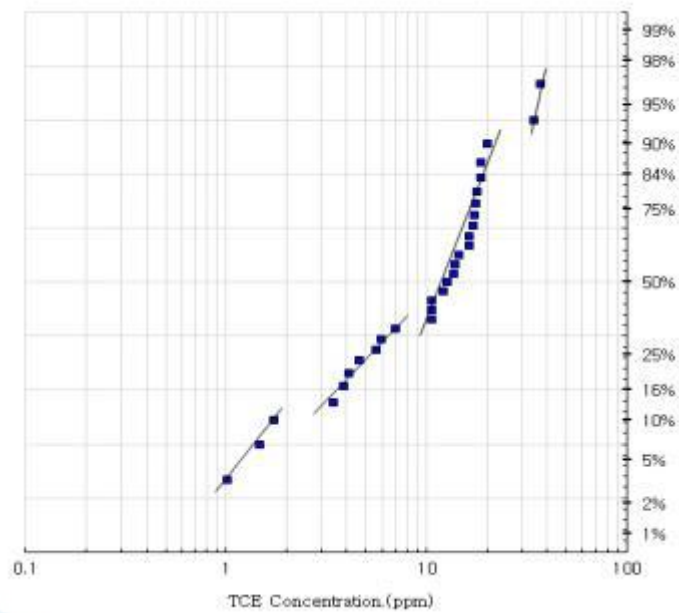
제 2 절 작업 특성에 따른 노출 농도 분포

1) A 사업장의 작업 특성에 따른 TCE 노출 농도 분포

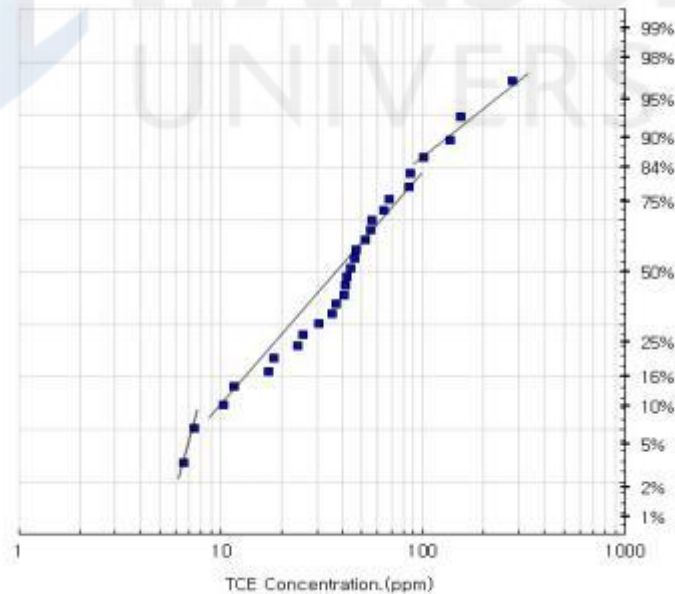
A사업장의 세척작업은 연마작업을 거친 가구 손잡이 및 액세서리 등의 비교적 부피가 작은 금속제품 세척이 이루어 졌다. 세척 제품의 평균 사이즈는 10cm(L) x 3cm(W) x 0.5cm(H) 정도의 길고 얇은 가구 및 서랍장 손잡이가 대부분이었고, 그 외에 4cm(L) x 2cm(W) x 1cm(H) 정도의 문구 액세서리 제품을 수시로 세척하였다.

세척할 제품을 담는 세척망의 크기는 25cm(L) x 15cm(W) x 10cm(H)로, 1회 세척 시 100개에서 200개 정도의 제품을 넣고 세척조에 담가 1차, 2차, 3차 세척을 총 9~10분 정도 실시한 후 작업대에 쏟아 부어 자연 건조 시키는 형태로 하루 평균 30~40회 정도의 세척작업을 실시하였다.

A사업장의 총 30일 간의 노출 농도 분포를 확인하기 위해 대수정규분포확률지에 [그림 10] 및 [그림 11]과 같이 나타냈다. 대수정규분포확률지에 나타난 농도분포가 직선상으로 보이면 그 집단이 기하정규분포를 하는 것으로 볼 수 있다. 이 직선상으로 보이는 농도분포군이 하나의 기하정규분포, 즉 유사노출군(similar exposure group; SEG)으로 볼 수 있다(김효진, 2016). A 사업장의 경우 TCE 세척작업자의 노출 농도는 4개의 농도분포군이 나타났는데 10 ppm 이상 두 개의 직선상과 10 ppm 이하의 두 개의 직선상으로 구분되었다. 가장 높은 농도를 보이는 두 개의 시료는 오전부터 오후까지 계속적으로 집중적인 세척작업이 이루어졌을 때 측정된 시료였다. 중간 농도의 분포군을 보이는 10 ppm 전후의 직선은 보통 A 사업장의 작업자가 평상시 작업을 할 때 노출되는 농도분포 수준으로 사료된다. 가장 낮은 농도 수준의 세 지점은 작업이 없었거나, 연마가 필요 없는 제품이 입고되어 따로 TCE 세척을 하지 않아도 되는 작업일 이었다. 한편 세척작업을 하는 동안의 단시간 노출 농도 분포는 10 ppm 이하와, 10 ppm과 100 ppm 사이, 100 ppm 이상 등 3개의 농도 분포를 나타냈다. 또는 [그림 10]과 같이 4개 수준으로 나타낼 수도 있을 것으로 보인다. 전체적인 노출수준 유형은 일일 평균노출농도 분포 특성과 유사하게 나타났다.



[그림 10] A 사업장 세척작업자의 일일 노출농도분포.

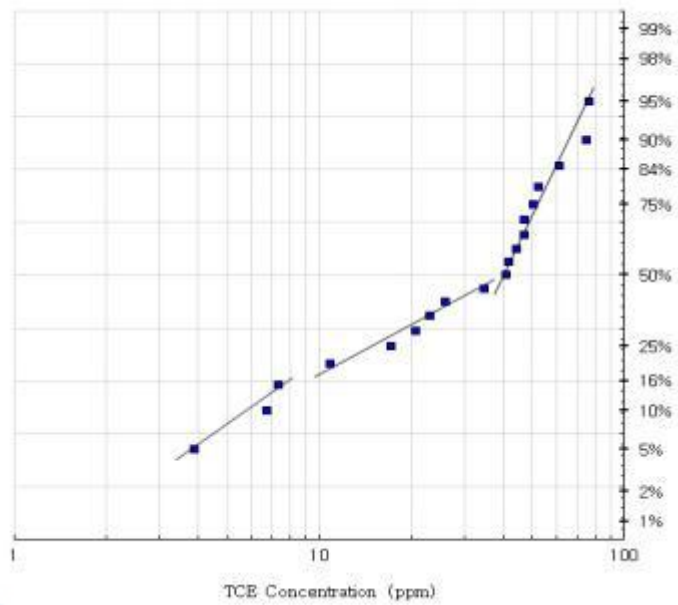


[그림 11] A 사업장 세척작업 동안의 단시간 노출농도분포.

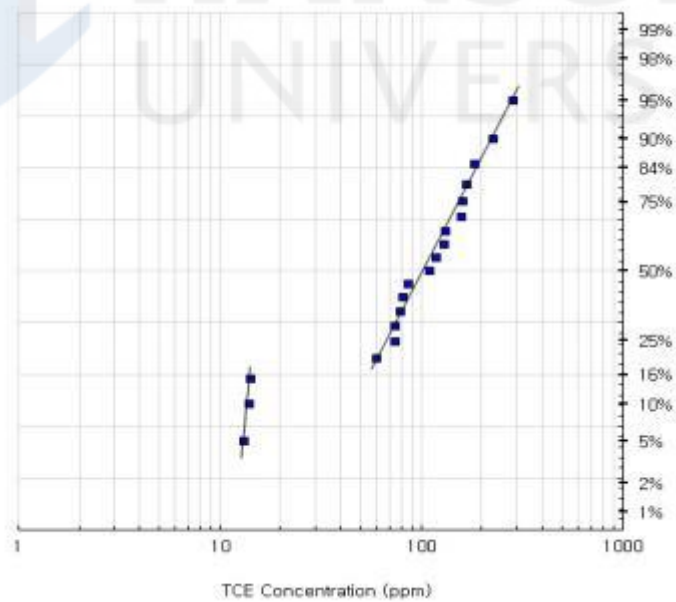
2) B 사업장의 작업 특성에 따른 TCE 노출 농도 분포

B 사업장의 주 생산품은 오토바이 모터커버나 욕실용품 등의 비교적 부피가 큰 금속제품이었다. 근로자가 제품을 1회 세척할 때는 44cm(L) x 30cm(W) x 20cm(H) 크기의 세척망에 평균크기 15cm(L) x 10cm(W) x 5cm(H) 정도의 제품을 10개 이하로 넣고 약 10분 정도 TCE에 담가 놓았다 빼는 세척작업을 반복하였다. 세척 작업은 하루 평균 20-40회 정도 실시하였다.

B사업장에서도 [그림 12]과 [그림 13]와 같이 각각 3개, 2개의 농도 분포군이 나타나는 것을 볼 수 있다. B사업장의 TCE 세척작업자의 노출 농도 분포를 보면 10 ppm 이하의 농도 분포군과 10 ppm 이상 두 가지의 농도분포 등 총 세 가지 직선상이 분포한다는 것을 알 수 있다. 또한 세척작업을 하는 동안의 노출농도 분포는 50 ppm 이하와 50 ppm 이상의 두 가지 농도 분포군이 나타났다. B사업장의 농도 수준이 A사업장 보다 높은 농도 수준을 보이는 까닭은 <표 2>에서 보는 바와 같이 세척하는 제품의 사이즈와 TCE 세척조 용량이 A사업장에 비해 크고, 사용하는 TCE의 월 사용량이 두 배 정도 차이가 있었기 때문으로 추측된다.



[그림 12] B 사업장 세척작업자의 일일 노출농도분포.



[그림 13] B 사업장 세척작업 동안의 단시간 노출농도분포.

제 3 절 각 사업장의 노출기준 초과확률

본 연구의 앞 절의 결과에서 A, B 사업장의 노출 농도 분포는 [그림 10] 및 [그림 12]에서와 같이 기하정규분포를 하는 것으로 나타났으며, 농도 분포군 별로 하나의 직선상을 유사노출그룹(SEG)으로 가정할 때, 기하분포에 따른 노출기준 초과 확률을 계산하였다.

기하분포에 따른 계산은 Z-Table을 이용한 통계를 활용하여 노출기준을 초과할 확률을 계산하였고, 노출기준의 50% 초과 확률, 노출기준 1을 초과할 확률, 노출기준 2배 초과할 확률의 값을 각각 구하였다. 노출기준은 한국 고용노동부고시 2013-38호에 따른 TWA 및 STEL 값과 미국산업위생전문가협회(ACGIH, TLV 2015)의 값 두 가지 모두 적용하였다.

1) 우리나라 고용노동부 노출기준에 따른 초과확률

한국 고용노동부에서 정한 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(한국고용노동부고시 제2013-38호)에 의하면 TCE의 노출 기준은 TWA가 50 ppm, STEL 값이 200 ppm으로 명시되어 있으며, 노동부 고시에 따른 각 사업장의 노출기준 초과확률은 <표 8>과 같다.

<표 8> 한국 고용노동부 노출기준에 따른 초과 확률

구분	일일 노출기준 초과확률(%)		단시간 노출기준 초과확률(%)	
	A 사업장 (N=30)	B 사업장 (N=19)	A 사업장 (N=28)	B 사업장 (N=19)
>50%	14.0	54.4	15.4	43.3
1 배이상 초과	3.2	24.5	3.6	17.6
2 배이상 초과	0.4	6.8	0.5	4.6

A사업장의 일일 측정 농도 전체 시료 30개 중에서, 통계적으로 50 ppm의 50% 초과할 확률이 14.0%로 나타났으며, 노출기준 50 ppm을 초과할 확률은 3.2%였다. 노출기준을 2배 초과할 확률은 0.4%로 나타났다. B사업장의 노출기준 초과확률은 50% 초과확률이 54.4%, 노출기준 50 ppm을 초과할 확률이 24.5%, 노출기준을 2배 초과할 확률은 6.8%였다. 한편 각 사업장의 단시간 노출기준 초과확률을 살펴보면 A사업장이 노출기준의 50% 초과할 확률이 15.4%, 노출기준인 200 ppm을 초과할 확률이 3.6%, 노출기준 2배를 초과할 확률은 0.5%로 나타났다. B사업장의 노출기준 초과확률도 각각 43.3%, 17.6%, 4.6%의 순서로 나타났다.

2) 미국산업위생전문가협회(ACGIH) 노출 기준에 따른 초과확률

미국산업위생전문가협회(ACGIH)에서 제시한 TLVs and BEIs에 따르면 TCE의 허용농도는 TWA가 10 ppm, STEL이 25 ppm으로 규정되어 있다. ACGIH의 노출 기준에 따른 초과확률은 <표 9>와 같다.

<표 9> 미국산업위생전문가협회(ACGIH) 노출기준에 따른 초과 확률

구분	일일 노출기준 초과확률(%)		단시간 노출기준 초과확률(%)	
	A 사업장 (N=30)	B 사업장 (N=19)	A 사업장 (N=28)	B 사업장 (N=19)
>50%	75.8	97.6	90.2	98.3
1 배이상 초과	47.2	88.1	69.9	91.2
2 배이상 초과	20.1	64.4	40.5	72.2

ACGIH 기준에 의한 노출기준 초과확률은 A, B 사업장 모두 높은 수준을 보였다. A사업장의 경우, 통계적으로 노출기준의 50% 초과할 확률이 75.8%로 나타났고, 노출기준인 10 ppm을 초과할 확률은 47.2%였으며, 노출기준을 2배 초과할 확률은 20.1%로 나타났다. B사업장의 경우 노출

기준의 50% 초과확률이 97.6%, 노출기준 10 ppm을 초과할 확률이 88.1%, 노출기준을 2배 초과할 확률은 64.4%로 A사업장에 비해 높은 수준을 보였다. 또한 A사업장의 단시간 노출기준 초과확률은 노출기준의 50% 초과할 확률이 90.2%, 노출기준인 25 ppm을 초과할 확률이 69.9%, 노출기준 2배를 초과할 확률은 40.5%로 나타났다. B사업장의 노출기준 초과확률은 노출기준 50% 초과확률이 98.3%, 노출기준을 초과할 확률이 91.2%, 노출기준 2배 초과할 확률은 72.2%로 나타났다.

제 4 절 기 준 작업환경측정 결과와 비교

본 연구의 대상 사업장은 계속적으로 작업환경측정을 진행해 온 사업장이었다. 각 사업장 별로 과거의 TCE 세척 공정의 작업환경측정결과를 확인하면 A 사업장은 2008년부터 2015년까지 횡수조정을 제외한 12번의 측정을 실시하였고, B사업장의 경우 2010년부터 2015년까지 횡수조정을 제외한 총 10번의 작업환경 측정을 실시하였으며, 그 결과는 <표 10>과 같다.

A 사업장의 작업환경측정 결과는 지난 8년간 12번의 측정에서 최하 불검출에서 최고 6.45 ppm으로 나타났고, B사업장은 6년 동안 측정결과가 최하 불검출에서 최대 17.47 ppm이었다.

A사업장의 기하평균과 기하표준편차는 <표 10>에서 보는 바와 같이 각각 1.65 ppm, 3.50이고, B사업장은 6.25 ppm, 2.50으로 B사업장이 A사업장에 비하여 높은 농도 수준을 나타냈다. B사업장의 경우, 본 연구에서 측정한 일일 TCE 농도와 비교했을 때 사용하는 TCE의 양이 A사업장보다 2배 정도 많았고 세척하는 제품의 크기도 A사업장에 비하여 훨씬 더 크기 때문에 TCE 노출 농도가 상대적으로 높았던 것으로 추측된다. 다만, 불검출이나 낮은 농도 수준의 결과는 세척하는 물량이나 작업이 비교적 적었던 날에 측정된 것으로 보인다. 이는 각 사업장 별로 일일 작업량과 작업 특성에 따라 노출되는 수준이 매일 달라져 기존 6개월에 1회 작업환경으로 정확한 노출 평가를 하는데 문제가 있음을 알 수 있다.

<표 10> 사업장 별 기존 작업환경측정 결과

측정년도	작업환경측정 결과(ppm)	
	A 사업장	B 사업장
2008년 하반기	0.39	—
2009년 상반기	0.18	—
2009년 하반기	4.08	—
2010년 상반기	횡수조정	—
2010년 하반기	0.59	17.47
2011년 상반기	5.51	3.75
2011년 하반기	횡수조정	1.19
2012년 상반기	불검출	횡수조정
2012년 하반기	횡수조정	불검출
2013년 상반기	1.67	10.62
2013년 하반기	5.30	불검출
2014년 상반기	불검출	불검출
2014년 하반기	6.45	4.39
2015년 상반기	0.98	8.24
2015년 하반기	2.89	12.39
AM	2.80	8.30
SD	2.37	5.67
GM	1.65	6.25
GSD	3.50	2.50

<표 11> A, B 사업장 기존 작업환경측정 결과 비교

	A 사업장		B 사업장	
	작업환경측정	일일측정	작업환경측정	일일측정
N	12	30	10	19
GM	1.65	9.41	6.25	27.59
GSD	3.50	2.46	2.50	2.37
95% LCL	1.52	35.46	12.26	74.85
95% UCL	25.57	59.40	56.76	95.15
% > OEL	7.53	47.29	30.35	88.02

(*2015년 ACGIH TLV노출기준 10 ppm 기준)

제 4 장 결 론

본 연구는 2015년 10월 21일부터 2015년 11월 4일까지 11일간, 그리고 2016년 03월 14일부터 2016년 04월 07일까지 19일간, 총 30일 간 인천지역에 위치한 2개의 도금 사업장에서 TCE 세척작업을 하는 작업자 2명을 대상으로 일일평균 TCE 노출 농도와 세척작업을 하는 동안의 단시간 TCE 노출 농도를 측정하여 일간 변이 등 TCE 노출 특성을 파악하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. A사업장에서 TCE 세척작업자의 노출 농도를 측정한 결과, 30일간 평균 작업시간은 482분, 표준편차는 119분으로 작업시간의 일간 변이가 상당히 큰 것으로 나타났다. 1일 평균 TCE 노출농도는 산술평균은 12.7 ppm, 산술표준편차는 8.8 ppm으로 나타났다. 기하평균은 9.4 ppm이었고 기하표준편차는 2.46이었다. 한편 세척작업을 하는 동안의 시간은 평균 56분, 표준편차는 73분으로 세척작업시간의 일간 변이도 매우 큰 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안의 TCE 노출농도는 최소 6.5 ppm에서 최대 278.7 ppm으로 나타났으며, 우리나라 단시간 노출기준인 200 ppm을 초과하는 시료는 1개였지만 ACGIH TLV-STEL 기준인 25 ppm을 초과하는 시료는 시료 28개 중 21개로 무려 75%가 초과하는 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안 TCE 노출농도의 산술평균은 58.0 ppm, 산술표준편차는 56.4 ppm으로 나타났다. 기하평균은 40.2 ppm이었고 기하표준편차는 2.48이었다.

2. B사업장에서 TCE 세척작업자의 노출 농도를 측정한 결과, 19일간 평균 419분, 표준편차는 46분으로 작업시간의 일간 변이는 A사업장에 비해 변이가 크지 않았다. 1일 평균 TCE 노출농도는 최소 3.9 ppm에서 최대 76.4 ppm까지 변이의 폭이 A사업장보다 더욱 큰 것으로 나타났다. 산술평균은 36.1 ppm, 산술표준편차는 22.2 ppm으로 나타났다. 기하평균은 27.6 ppm이었고 기하표준편차는 2.37이었다.

한편 TCE 세척작업을 하는 동안의 시간은 평균 52분, 표준편차는 68분

으로 세척작업시간의 일간 변이는 매우 큰 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안의 TCE 노출농도는 최소 13.2 ppm에서 최대 284.6 ppm으로 나타났으며, 우리나라 단시간 노출기준인 200 ppm을 초과하는 시료는 2개였으며, ACGIH의 TLV-STEL 기준인 25 ppm을 초과하는 시료는 19개 중 16개로 무려 84%가 초과하는 것으로 나타났다. 세척작업을 하는 동안 TCE 노출농도의 산술평균은 114.4 ppm, 산술평준편차는 72.3 ppm이었으며, 기하평균은 85.9 ppm, 기하표준편차는 2.49였다.

위와 같이 A, B 두 군데 사업장의 결과로 볼 때 도금 사업장의 TCE 세척작업의 일간변이는 매우 큰 것을 알 수 있었다.

3. A사업장에서의 TCE 노출 농도 분포를 대수정규분포확률지에 나타낸 결과, 농도분포가 4개의 직선상을 보여 4개의 유사노출군(similar exposure group, SEG)으로 구분되는 것으로 추정되었다. 실제 작업상황을 파악한 결과, 세척작업이 거의 없는 경우, 소량작업이 있는 경우, 보통작업이 있는 경우 그리고 작업물량이 아주 많은 경우로 구분되었다.

B사업장에서도 TCE 노출특성은 위와 유사하게 나타났다.

4. A사업장의 일일 평균 노출농도는 우리나라 노출기준인 50 ppm의 절반인 25 ppm을 초과할 확률이 14.0%로 나타났으며, 노출기준 50 ppm을 초과할 확률은 3.2%였다. 노출기준을 2배 초과할 확률은 0.4%로 나타났다. B사업장의 경우에는 노출기준의 절반인 25 ppm을 초과할 확률이 54.4%, 노출기준 50 ppm을 초과할 확률은 24.5%, 노출기준을 2배 초과할 확률은 6.8%였다. 한편 미국산업위생전문가협회(ACGIH)의 기준인 TLV의 10 ppm을 기준으로 할 때 A사업장의 경우, 노출기준의 절반인 5 ppm을 초과할 확률이 75.8%로 나타났고, 노출기준인 10 ppm을 초과할 확률은 47.2%였으며, 노출기준을 2배 초과할 확률은 20.1%로 나타났다. B사업장의 경우 노출기준의 절반을 초과할 확률이 97.6%, 노출기준 10 ppm을 초과할 확률이 88.1%, 노출기준을 2배 초과할 확률은 64.4%로 A사업장에 비해 높은 수준을 보였다.

5. 2008년부터 2015년도까지 산업안전보건법에 의한 법적 작업환경측정 결과는 A사업장의 기하평균과 기하표준편차는 1.65 ppm과 3.50이고, B사업장은 6.25 ppm과 2.50으로 나타나 본 연구에서 측정한 결과보다 훨씬 낮은 것으로 나타났다.



참 고 문 헌

1. 국내문헌

고용노동부. (2013). 『작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시 (고용노동부고시 제2013-39호)』. 경기: 고용노동부.

고용노동부. (2013). 『화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고용노동부고시 제2013-38호)』. 경기: 고용노동부.

김효진. (2016) 『트리클로로에틸렌 세척공정에서의 트리클로로에틸렌 노출농도의 일간 변이에 관한 연구』. 서울: 한성대학교 대학원.

문영한, 노재훈, 이경중, 송창의. (1992). 트리클로로에틸렌 취급 근로자의 건강장해. 『대한산업의학학회지』, 4(1), 14-19.

박태원. (2014). 『건강근로자 효과 보정 전후의 메타 분석 결과 비교 : 직업적 트리클로로에틸렌 노출과 암의 연관성』. 서울: 한국방송통신대학교 대학원.

백남원 등. (1993). 우리나라 중소기업 도금공정 근로자의 크롬 및 세척제 폭로에 관한 연구. 『한국산업위생학회지』, 3(1), 110-126.

이경희, 백남원. (1993). 중소기업 도금공정에서의 트리클로로에틸렌 폭로와 발산량에 관한 연구. 『한국산업위생학회지』, 3(1), 3-13.

이정주. (2009). 『TCE 위해성 평가시 노출계수에 미치는 민감도 영향』. 경기: 용인대학교 대학원.

최연기. (2003). 『원유정제공정에서 발생하는 유기용제 측정을 위한 확산포집기와 능동포집기의 비교 연구』. 서울: 서울대학교 보건대학원.

한국산업안전공단 산업안전보건연구원. (2003). 『화학물질 측정결과에 대한 평가방법의 통계학적 개선』. 경기: 한국산업안전공단.

한국산업안전공단 산업안전보건연구원. (2007). 『수동식 유기용제 시료채취기 최적조건 연구』. 경기: 한국산업안전공단.

2. 국외문헌

ACGIH. (2016). *TLV & BEL*. Cincinnati: ACGIH.

ACGIH. (2016). *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants*. Cincinnati: ACGIH.

Nakayama T, Yamanoshita O, Kamijima M, Kish R, Ichihara G. (2003). Generalized skin reaction in relation to Trichloroethylene exposure : A review from the view point of drug-metabolizing enzyme. *J occup Health*, 45, 8-14.

Nelson A. Leidel, Kenneth A. Busch, Jeremiah R. Lynch. (1977). *OCCUPATIONAL EXPOSURE SAMPLING STRATEGY MANUAL*. Cincinnati: Public Health Service.

NIOSH. (2016). *Manual of Analytical Methods(NMAM) 5th Edition*. Atlanta: NOISH.

Mary Eide. (2004). *Determination of the Sampling Rate Variation for SKC UMEx 100 Passive Samplers*. NW, Washington DC: OSHA.

ABSTRACT

A Study on Characteristics of Workers' Exposure and Daily Variations to Trichloroethylene in Degreasing Processes in Two Plating Industries

Kim, KwangHoon

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

There are a lot of variations in work loads and tasks in many workplaces especially in small and medium sized industries. Therefore it is risky to conclude work environment safety based a single day measurement. This study was conducted to evaluate workers' exposure characteristics and daily variations in 2 degreasing processes. The personal samples were collected from 21 October 2015 to 4 November 2015 (11 days) and again from 14 March 2016 to 7 April 2016 (19 days). Thirty samples for daily TWA and 28 samples for short term TWA for degreasing work in A industry were collected and

Nineteen samples for daily TWA and 19 samples for short term TWA for degreasing work in B industry were collected.

There was a big variation of working hour in A industry but

relatively B industry showed a smaller daily working hour variation. Average working hour per day was 482 minutes and standard deviation was 119 in A industry. Average working hour per day was 419 minutes and standard deviation was 46 in A industry.

Daily TWA exposure to TCE in A industry were shown as follows. Arithmetic mean(AM) for 30 days was 12.7 ppm and standard deviation(SD) was 8.8 ppm. Geometric mean(GM) was 9.4 ppm and geometric standard deviation(GSD) was 2.46. For short term TWA while doing degreasing tasks for 28 days, AM and SD were 58.0 ppm and 56.4 ppm respectively and GM and GSD were 40.2 ppm and 2.48.

Daily TWA exposure to TCE in B industry were shown as follows. Arithmetic mean(AM) for 19 days was 36.1 ppm and standard deviation(SD) was 22.2 ppm. Geometric mean(GM) was 27.6 ppm and geometric standard deviation(GSD) was 2.37. For short term TWA while doing degreasing tasks for 19 days, AM and SD were 114.4 ppm and 72.3 ppm respectively and GM and GSD were 85.9 ppm and 2.49.

On the log-normal probability papers, the exposure concentration distributions showed 4 straight lines. Therefore it was assumed that there were four similar exposure groups. This pattern was appeared similarly both in A and B industries.

Probability exceeding the Korean Occupational Exposure Limit of 50 ppm was estimated to 3.2% in A industry and to 24.5% in B industry based on log-normal probability. If ACGIH-TLV(10 ppm) applies, excess probability was 47.2% and 88.1% in A and B industries

respectively.

GM and GSD of the mandatory workplace monitoring results by the regulation were 1.65 ppm and 3.50 in A industry, 6.25 ppm and 2.50 in B industry respectively.

【Keywords】 TCE, trichloroethylene, degreasing, daily variation,
simialr expsoure group

