



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

트리클로로에틸렌 세척공정에서의
트리클로로에틸렌 노출농도의
일간 변이에 관한 연구

2015년



HANSUNG
UNIVERSITY

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김효진

석사학위논문

지도교수 박두용

트리클로로에틸렌 세척공정에서의
트리클로로에틸렌 노출농도의
일간 변이에 관한 연구

A Study on Daily Variation of Workers' Exposure to
Trichloroethylene in Degreasing Processes

2015년 12월 일

한성대학교 대학원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

김효진

석사학위논문

지도교수 박두용

트리클로로에틸렌 세척공정에서의
트리클로로에틸렌 노출농도의
일간 변이에 관한 연구

A Study on Daily Variation of Workers' Exposure to
Trichloroethylene in Degreasing Processes

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2015년 12월 일

한성대학교 대학원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

김 효 진

국 문 초 록

트리클로로에틸렌 세척공정에서의 트리클로로에틸렌 노출농도의 일간 변이에 관한 연구

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 효 진

본 연구는 2015년 9월 21일부터 11월 13일까지 충남 천안시에 소재한 도금 사업장 2개소에서 TCE 세척작업자의 TCE 노출농도에 대한 일간변이를 파악하기 위해 수행되었다. 각 사업장에는 각각 세척작업자가 1명씩 작업을 하고 있었으며, 한 사업장(A 사업장)은 40일간, 또 다른 사업장(B 사업장)에서는 34일간 작업하는 동안의 시간가중평균 노출농도를 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. A 사업장의 40일간 TCE 노출농도를 측정한 결과, 기하평균은 2.9 ppm, 기하표준편차는 2.29인 것으로 나타났다. 40일간의 TCE 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타낸 결과, 노출농도분포가 3개의 직선상으로 구분됨에 따라 크게 3군의 유사노출군(similar exposure group, SEG)으로 구분되는 것으로 파악되었다. 가장 높은 농도군은 다량작업을 할 때로 40일 중 5일이었으며, 기하평균이 16.6 ppm, 기하표준편차가 1.24이었다. 통상적으로 세척작업을 하는 35일간의 기하평균은 2.2 ppm, 기하표준편차가 1.68로 나타났다. 이 노출군은 1 ppm에서 10 ppm 사이와 1 ppm 이하의 두 농도군으로 구분되는 것으로 보인다.

2. B 사업장의 34일간 TCE 노출농도는 기하평균이 4.5 ppm, 기하표준편차가 2.19인 것으로 나타났다. 34일간의 TCE 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타낸 결과, 노출농도분포는 역시 3개의 직선상으로 구분되었고, 3개의 유사노출군이 있는 것으로 보였다.

B 사업장에서 세척하는 금속판은 2 cm × 2 cm형과 4 cm × 4 cm형의 2가지였다. 2×2형 금속판 세척작업을 하는 7일간의 노출수준은 7.4~16.0 ppm의 범위로 나타났고, 기하평균은 12.3 ppm, 기하표준편차는 1.38이었다. 4×4형 금속판 세척작업을 하는 27일간의 노출 수준은 0.7~8.3 ppm이었으며, 기하평균은 3.5 ppm과 기하표준편차는 1.91이었다. 2×2형의 금속판을 세척할 때는 중간에 꺼내어 고압공기로 기름기나 TCE를 한번 불어냄에 따라 노출농도가 높았던 것으로 보인다.

3. A 사업장 10개 장소에서 측정한 TCE 농도는 2.2~4.3 ppm의 범위로 농도분포가 비교적 일정하였으며, 기하평균은 3.1 ppm, 기하표준편차는 1.34였다. B사업장 10개 지역시료의 TCE 농도는 1.5~5.9 ppm의 범위로 나타났으며, 기하평균은 2.4 ppm, 기하표준편차는 1.61이었다. A 사업장의 경우 개인시료와 지역시료간에는 전혀 상관관계가 나타나지 않았으며 B 사업장에서는 약간의 상관관계가 있었다.

4. 탈지조로부터 0m, 1m, 3m 거리에서 측정한 지역시료는 A사업장 19.73 ppm, 4.21 ppm, 1.36 ppm B사업장 19.20 ppm, 1.67 ppm, 1.24 ppm으로 탈지조로부터 거리가 멀어짐에 따라 급격히 감소하다가 점점 서서히 감소하는 것으로 나타났다.

5. 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기간에는 큰 차이가 나타나지 않았다.

【주요어】 일간 변이, 트리클로로에틸렌, 세척작업, 유기용제 노출, TCE, 탈지작업, 노출변이

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 필요성	1
제 2 장 연구대상 및 방법	3
제 1 절 대상공정	3
제 2 절 측정물질	4
제 3 절 측정위치	5
제 4 절 측정기구	7
제 5 절 측정방법	7
제 6 절 분석방법	8
제 7 절 확산포집기 농도계산법	9
제 3 장 연 구 결 과	10
제 1 절 세척 작업자의 TCE 노출농도 일간변이	10
1) 일간변이의 의의와 추정	10
2) 일간변이의 측정결과	11
3) 세척작업에서의 TCE 노출농도 전체측정결과 총괄	16
제 2 절 작업량 및 작업특성에 따른 노출수준의 변화	17
1) A 사업장에서의 작업량과 노출수준	18
2) B 사업장에서의 작업방법과 노출수준	19
3) TCE 노출농도 분표로 본 TCE 노출수준	20
제 3 절 개인시료와 장소시료와의 관계	23
1) 개인시료와 지역시료와의 관계	23

2) 탈지조로부터 거리별 지역시료의 농도변화	26
제 4 절 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기의 비교	27
제 5 절 기존 법적 작업환경측정 결과와의 비교	28
 제 4 장 결 론	 30
 참 고 문 헌	 32
 ABSTRACT	 35



표 목 차

<표 1 > TCE세척 작업장 공정개요	3
<표 2 > 고용노동부와 ACGIH의 TCE 노출기준	4
<표 3 > 가스크로마토그래피의 분석조건	8
<표 4 > A 사업장 세척공정 작업자의 40일간 TCE 노출농도	12
<표 5 > B 사업장 세척공정 작업자의 34일간 TCE 노출농도	13
<표 6 > 사업장별 TCE 일일측정결과	16
<표 7 > A 사업장의 작업량별 TCE 노출농도	18
<표 8 > B사업장 제품 크기에 따른 한 작업주기의 작업변화	19
<표 9 > B사업장 제품크기에 따른 측정결과	20
<표 10> A와 B 사업장에서의 장소시료의 공기 중 TCE농도	24
<표 11> 거리변화에 따른 TCE 농도변화	26
<표 12> 수동식 시료채취 와 능동식 시료채취 비교	27
<표 13> 연도별 사업장의 작업환경 측정 결과	29
<표 14> A 사업장과 B 사업장의 측정결과 비교	29

그림 목 차

[그림 1] A 사업장의 시료 채취장소	6
[그림 2] B 사업장의 시료 채취장소	6
[그림 3] 세척작업자의 TCE 노출농도의 일간변이	15
[그림 4] 두 사업장 전체의 TCE 노출농도 누적도수분포도	17
[그림 5] A 사업장 TCE 노출농도의 3가지 집단	21
[그림 6] B 사업장 TCE 노출농도 3가지 집단	22
[그림 7] 두 사업장 개인 시료와 지역 시료와의 관계	25



제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 필요성

우리나라 작업환경측정은 대부분 산업안전보건법에 의해 실행되고 있다. 산업안전보건법에 따른 작업환경측정 주기는 기본적으로 6개월에 1회이며, 측정 결과에 따라 측정주기를 일부 조정하도록 하고 있다. 예를 들어 화학물질의 측정결과가 노출 기준을 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.

작업환경 중 공기 중 농도는 변이가 매우 큰 기하분포를 하는 것으로 알려져 있다(백남원 등, 2002). 따라서 1년이나 6개월, 또는 3개월에 1회 측정한 결과를 가지고 그 사업장 또는 해당 근로자의 노출 정도를 판단하는 것이 적절한가에 대한 문제가 제기될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 유사노출집단(Similar Exposure Group; SEG)을 설정하여 동일한 노출집단에 속하는 다수의 근로자를 동시에 측정하는 측정전략이 제시된 바 있다. 즉, 동일노출집단의 여러 근로자의 측정결과로부터 얻는 변이를 가지고 통계적으로 그 집단이 노출기준 초과 가능성을 판단하는 방법이다(Nelson A. Leide, 1977).

이러한 측정전략은 어느 특정한 날의 동일노출집단 변이가 이 집단에 속하는 근로자의 일간변이와 유사할 것이라는 점을 전제로 하고 있다. 이러한 가정은 전통적인 제조업에서는 어느 정도 잘 들어맞을 수 있으나 최근에는 이러한 전략을 적용하기 어려운 경우가 점점 많아지고 있다. 왜냐하면, 하나의 단위작업에 종사하는 작업자의 수가 매우 적어 동일노출집단 개념을 적용할 수 있는 현장이 점점 적어지고 있기 때문이다. 특히 1인 또는 2인의 근로자가 작업하는 경우에는 1회의 측정으로 유사노출그룹의 변이를 파악하는 것이 어렵다.

본 연구의 목적은 대부분 1인 내지는 2인이 작업하는 탈지 작업의 경우 그들의 노출을 제대로 평가하기 위해서 최소한 몇 일정도 측정하는 것이 적절한지를 파악하고자 하는 것이었다. 이를 위해 작업자 1인이 트리클로로에틸렌(trichloroethylene, C_2HCl_3 , 이하 TCE) 세척작업을 하는 탈지공정(degreasing process)에서 작업자의 개인노출이 매일매일 어떻게 다른지 파악하기 위해 2달간 근무를 하는 동안 매일 근로자의 노출농도를 측정하였다. 이 자료로부터 TCE 세척작업의 일간변이를 파악하였고, 이를 바탕으로 근로자의 노출정도를 정확히 파악하기 위한 적정 측정일 수, 또는 단일 측정치로부터 일간변이를 감안한 노출량 범위를 추정하는 방안을 제시하고자 하였다.



제 2 장 연구대상 및 방법

제 1 절 대상공정

본 연구의 측정대상은 충남 천안시에 소재한 반도체 장비인 금속부품을 도금하는 소규모 사업장 2개소의 TCE 세척공정이었다. 각 사업장의 특성은 <표 1>과 같다.

탈지공정은 도금 전 밀링 가공한 제품에 묻어있는 금속가공유를 제거하기 위해 TCE 세척조에 제품을 담가 놓아 세척되도록 한 다음, 일정 시간 후 꺼내는 전형적인 탈지작업(degreasing)으로 각 사업장마다 근로자 1명이 이 작업을 담당하고 있었다. 탈지 작업은 물량이나 작업 상황에 따라 매일매일 약간씩 또는 크게 달라지기 때문에 상당히 불규칙하게 진행되었다.

<표 1> TCE세척 작업장 공정개요

사업장명	A사업장	B사업장
업종	도금업	도금업
주요 생산품	반도체 장비부품	산업용 금속부품
총 근로자 수	4명	3명
탈지공정용 세척제	Trichloroethylene	Trichloroethylene
잉크제거용 세척제*	Methyl Ethyl Ketone(MEK)	없음
세척작업자 수	1명	1명

* 탈지공정 전 금속제품에 마킹된 잉크자국을 제거하기 위해 수작업으로 소량의 MEK를 세척제로 사용하고 있었음.

탈지작업을 위한 TCE 세척조는 두 사업장 모두 90 cm(L) x 70 cm(W) x 100 cm(H)였다. 세척조의 TCE 양은 200L이다. 증발 시 부족분을 보충하며 보충량은 A 사업장의 경우 월 60 L, B 사업장의 경우에는 월 150 L 정도였다.

A 사업장에서는 탈지공정 전 금속제품에 표시된 잉크자국을 제거하기 위해 수작업으로 소량의 Methyl Ethyl Ketone(MEK)을 사용하고 있었다. A 사업장의 MEK 월 사용량은 약 20 mL였다.

제 2 절 측정물질

본 연구에서 측정한 물질은 TCE였다. MEK도 측정하고자 하였으나 공기 중 MEK 농도는 검출한계 미만으로 거의 검출되지 않았다.

TCE는 달콤한 냄새를 풍기는 무색의 투명한 액체로 1908년 상업적으로 합성된 이후 사업장에서 금속기계 부품의 탈지(degreasing process)세정제, 금속 표면의 건조, 섬유공업에서의 세척과 염색, 일반 용해제, 라커의 희석제, 유리나 광학기구의 세척제 및 피혁의 지방 제거제 등으로 널리 사용되는 유기용제이다(NIOSH, 1978). 주요 취급업종은 금속가공 산업, 가구와 설비, 전기전자부품 제조, 자동차 부품 제조 산업 등이다(2004년 작업환경실태 조사).

TCE의 노출기준으로는 우리나라의 고용노동부에서 직업적 노출기준으로 8시간 시간가중평균치(Tine Weighted Average; TWA)로는 50 ppm, 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit; STEL)은 200 ppm으로 설정하고 있으며, 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH)에서는 8시간 시간가중평균으로 10 ppm을 권고하고 있다(<표 2>).

<표 2> 고용노동부와 ACGIH의 TCE 노출기준

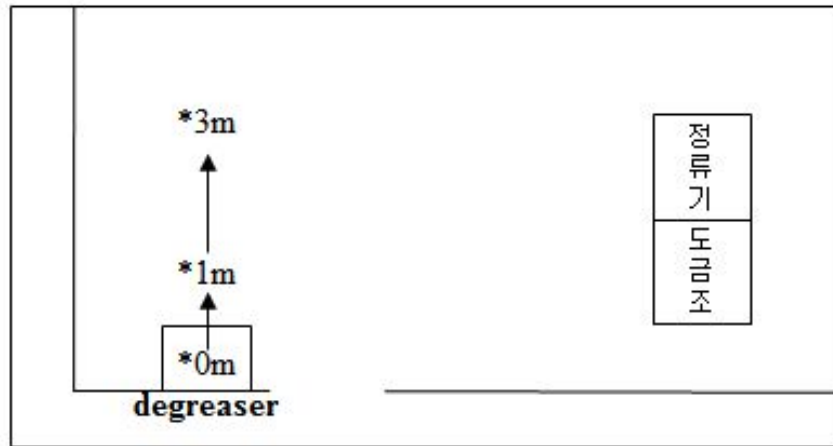
나라명	TWA	STEL	비고
한국 (노동부, 2013-38호)	50 ppm	200 ppm	발암성 1B, 생식세포 변이원성2
미국 (TLV; ACGIH, 2015)	10 ppm	25 ppm	CNS impair; cognitive decrements; renal toxicity

TCE는 녹는점이 -73°C 이고, 끓는점이 87°C 이며 상온에서 액체로 존재하며, 증기압은 20°C 에서 58 mmHg 이다. 대상사업장 2곳 모두 금속부품의 세척을 할 때 온도를 약 80°C 정도로 높여서 사용 하므로 증기압이 상당히 높아 휘발 가능성이 높아진다(고용노동부, 2005).

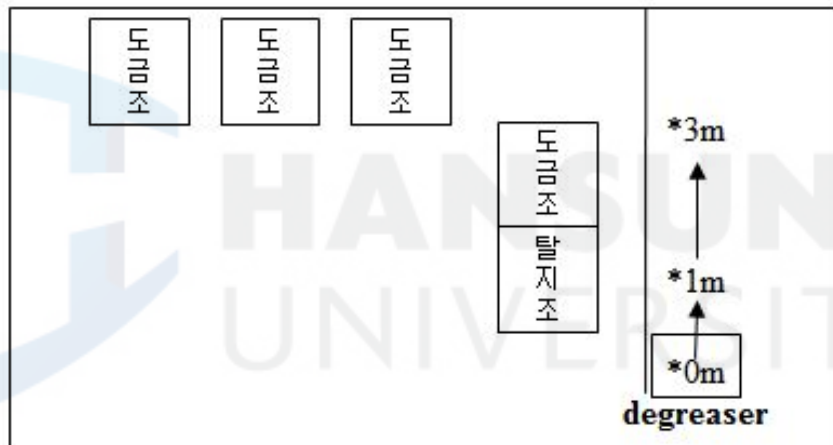
TCE는 주로 증기상태로 확산되어 호흡기 또는 피부를 통해 체내에 흡수된다. 흡수된 TCE는 혈액을 따라 유사 지방질이 많은 중추 신경계에 작용하여 두통, 현기증, 진전, 구토, 졸음 등을 일으키며, 심하면 의식을 잃거나 사망에 이르게 된다(산업안전보건공단, 2007). 낮은 농도에서 장기간 폭로된 경우에는 기억력 감퇴, 의욕상실, 정서불안 등의 신경계 증상을 일으키며 간이나 신장에 영구적 장애를 초래할 수도 있다(NIOSH, 1978;ACGIH, 2006). TCE는 여러 연구에서 발암물질로 의심된다는 연구결과가 나온 바 있다. 특히 미국국립암협회(U.S. National Cancer Institute, NCI)의 발암성에 대한 경고로 인하여 커피 제조업에서 카페인 제거 공정에서 사용하던 TCE의 사용을 전면금지한 바 있다(NIOSH, 1978).

제 3 절 측정위치

TCE의 측정위치는 근로자의 개인노출을 측정하기 위한 개인 시료는 작업장의 호흡위치인 목 근처였다. 장소시료는 [그림 1] 및 [그림 2]와 같이 탈지조 바로 위와 탈지조로부터 1 m 와 3 m 떨어진 지점에서 지상으로부터 약 1.5 m 높이에서 측정하였다.



[그림 1] A 사업장의 시료 채취장소.



[그림 2] B 사업장의 시료 채취장소.

B 사업장 내 탈지조가 2개 설치되어 있으나 실제 사용하는 탈지조에서 시료 채취를 하였다.

제 4 절 측정기구

본 연구에 사용된 확산포집기는 수동식 시료채취기(3M OVM #3500)를 선정하였다. 해당 측정기구의 선정이유는 시료측면이 아주 간편하고 편리하며 시료채취기가 बै지(badge) 형태로 가볍고 크지 않아서 40일간 연속 측정을 하여야 하는 본 연구에 근로자들이 착용하는데 불편함이 없어 선정하였다.

채취유량은 3M사에서 제시한 TCE값 5.98 cc/min을 적용하였다(3M Technical Data Bulletin- Organic Vapor Monitors).

제 5 절 측정방법

시료의 채취는 근로자가 주로 사용하는 손에 해당하는 호흡영역인 (Breathing zone) 어깨의 카라 끝에 수동식 시료채취기를 장착하였다. A 사업장과 B 사업장의 두 근로자 모두 오른손을 주로 사용하여 오른쪽 어깨에 설치하였다.

매일 매일의 작업환경측정은 작업자들 스스로 시료채취기를 착용하도록 하였다. 처음 일주일간은 매일 근로자에게 시료채취기를 연구자가 직접 착용시키면서 수동식 시료채취기 사용법을 교육시킨 후, 그 다음부터는 작업자 스스로 작업 시작 시 시료채취기를 직접 착용하고 그 시간을 기록하도록 하였으며, 작업 후에는 시료채취기를 떼어낸 후 뚜껑을 닫아 냉장보관토록 한 후 그 시간을 기록하도록 하였다.

지역시료는 근로자의 주 작업 영역인 탈지조(degreaser)로부터 1 m 떨어진 곳에서 지상에서 1.5 m 위에서 측정하였으며 발생원으로부터 거리별 영향을 파악하기 위해 발생원인 탈지조로부터 0 m, 1 m 및 3 m의 지점에서 측정하였다([그림 1~2]).

수동식 시료채취기의 정확도를 검증하기 위해 수동식 시료채취기와 활성탄관을 동시에 작업자에게 부착시켜 측정하였다. 활성탄관법으로 시료를 채취할 때 개인용시료(personal sampler)는 시료의 채취 전후에 용적유량계(Bios Defender 510-M)으로 공기 유량을 보정(calibration)하였다. 개인용 저유량

공기포집펌프는 Gilian Dual Mode Low Flow Sampler(Model LFS 113D)를 사용하였고 활성탄관은 시중의 사용제품(미국 SKC사 226-01)을 사용하였다.

제 6 절 분석방법

수동식 시료채취기(3M OVM #3500)의 분석은 3M사에서 제공한 ‘Analysis Guide’를 참고로 하여 수동식 시료채취기는 분석 전 cap을 벗겨내고 2 mL 이황화탄소(99.9%)를 주입하여 30분 동안 탈착시킨 후, 2 mL 유리 병에 옮겨 담았다.

실험에 사용한 분석기기는 불꽃이온화검출기(FID)가 부착된 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, CP-3800, Bruker)였다. 분석용 컬럼은 Agilent사의 DB-WAX (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)였으며, 이동상 가스는 질소(N₂)를 사용하였다. 가스크로마토그래피의 분석 조건은 <표 3>에 나타났다.

<표 3> 가스크로마토그래피의 분석조건

Column.	DB-wax(30 m×0.25 mm 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.	N ₂ , 1.0 mL/min
Injection volume	1 μl

제 7 절 확산포집기 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 측정시간(min) 그리고 A는 채취 유량을 포함한 ppm 환산에 필요한 계산 상수이다. A는 3M사에서 제시한 값으로 계산하였다.



제 3 장 연 구 결 과

제 1 절 세척 작업자의 TCE 노출농도 일간변이

1) 일간변이의 의의와 추정

작업을 하면서 유해요인에 노출되는 수준은 매일매일 작업량 등의 작업조건이나 환경상태에 따라 달라지기 마련이다. 특히 공기 중 화학물질의 농도나 이에 대한 노출수준은 그 변이 폭이 매우 큰 기하분포를 하는 것으로 알려져 있다. 여기에서의 기하분포는 어느 시점(특정 측정일)에서 하나의 단위공정에서 작업하는 집단, 즉 유사노출집단(similar exposure group, SEG)의 노출농도 분포를 말하는 것인지 아니면 한 명의 작업자를 매일 연속적으로 측정할 때 그 노출농도 분포가 기하분포를 한다는 것인지 또는 이 두 가지를 모두 합한 노출분포가 기하분포를 한다는 것인지 명확하지 않다.

그 동안 대부분의 작업환경 노출평가는 매우 제한된 날짜에 여러 명을 동시에 측정하여 얻은 자료를 바탕으로 이루어져 왔다. 이러한 평가방법의 기저에는 이와 같이 얻은 자료가 측정하지 않은 다른 날의 노출정도를 반영하고 있다는 것을 가정 내지는 전제하고 있다, 즉 공간적 자료의 대표치와 변이 통계량은 시간적 자료의 대표치와 변이 통계량과 유사할 것이라는 점을 가정하고 있다.

유기용제 노출이 많은 소규모 사업장의 경우 유기용제 취급 작업자 또는 노출될 가능성이 높은 작업자는 1명 내지 2명인 경우가 많다. 그들의 작업도 상당히 불규칙하거나 일정 주기로 노출형태(pattern)가 바뀌는 경우가 많다. 따라서 유사노출집단의 노출평가 방법을 적용하기 어렵다. 현재 측정제도 아래에서는 이러한 사업장이나 공정에 대해서는 단 한 번의 측정으로 노출평가를 하고 있는 실정이다. 문제는 단 한 번의 측정으로 그 사업장 또는 그 작업자의 노출을 제대로 평가할 수 있는가 하는 점이다. 그 다음 문제는 만약 그렇지 않다면 며칠 동안 측정을 하면 비교적 정확한 노출을 평가할 수 있을까 하는 점이다.

2) 일간변이의 측정결과

본 연구에서는 이러한 의문점에 대한 해답의 실마리를 찾고자 대표적인 유기용제 노출사업장인 유기용제로 세척하는 소규모 사업장에서 매일 연속하여 유기용제 노출수준을 평가하였다. 본 연구의 대상사업장은 5인 미만의 소규모 도금사업장 2개소였으며, 측정 대상공정은 각 사업장에서 도금 전 금속제품을 세척하는 탈지공정이었다. 탈지공정은 TCE가 담긴 세척조(degreasing tank)에 금속제품을 담갔다가 일정시간 후 꺼내 건조하는 작업을 말한다. 두 사업장 모두 세척작업은 한 명의 작업자가 수행하고 있었다. 측정한 유기용제는 TCE였고, 2015년 9월 21일부터 11월 13일까지 작업자가 휴무, 외근 등 사정상 측정을 하지 못한 날을 제외하고는 매일 근무를 시작하는 시간부터 근무시간이 종료될 때까지 수동식 시료포집기로 착용하여 시료를 포집하였다.

중간 중간에 비교를 위해 일부 장소시료를 측정하였고 수동식시료채취기의 정확도를 확인하기 위해 수동식 시료채취기와 동시에 활성탄관법으로도 시료를 채취하여 비교하였다.

본 연구에서 채취한 개인 노출시료는 한 개 사업장(이하 'A 사업장'이라 함)에서는 40일간 40개, 또 다른 사업장(이하 'B 사업장'이라 함)에서는 34일간 34개로 총 74개의 시료를 채취하였다. 그 결과는 <표 4> 및 <표 5> 그리고 [그림 3]과 같다.

<표 4> A 사업장 세척공정 작업자의 40일간 TCE 노출농도

연번	측정일	요일	측정시간 (분)	TCE농도 (ppm)	연번	측정일	요일	측정시간 (분)	TCE농도 (ppm)
1	2015. 09. 21	월	480	16.6	21	2015. 10. 20	화	487	4.0
2	2015. 09. 22	화	480	3.8	22	2015. 10. 21	수	467	2.8
3	2015. 09. 23	수	480	3.5	23	2015. 10. 22	목	650	1.5
4	2015. 09. 24	목	480	21.9	24	2015. 10. 23	금	488	2.0
5	2015. 09. 25	금	240	1.9	25	2015. 10. 24	토	541	1.9
6	2015. 09. 30	수	540	1.5	26	2015. 10. 26	월	544	2.6
7	2015. 10. 01	목	600	3.1	27	2015. 10. 27	화	543	1.7
8	2015. 10. 02	금	540	2.6	28	2015. 10. 28	수	602	12.0
9	2015. 10. 05	월	483	2.8	29	2015. 10. 29	목	603	1.3
10	2015. 10. 06	화	543	1.3	30	2015. 10. 30	금	543	3.3
11	2015. 10. 07	수	544	1.8	31	2015. 11. 02	월	604	2.4
12	2015. 10. 08	목	543	1.2	32	2015. 11. 03	화	605	2.5
13	2015. 10. 10	토	485	0.5	33	2015. 11. 04	수	490	3.8
14	2015. 10. 12	월	485	1.4	34	2015. 11. 05	목	487	16.1
15	2015. 10. 13	화	605	17.9	35	2015. 11. 06	금	488	4.4
16	2015. 10. 14	수	540	1.9	36	2015. 11. 07	토	601	2.3
17	2015. 10. 15	목	483	2.6	37	2015. 11. 09	월	603	6.0
18	2015. 10. 16	금	244	2.6	38	2015. 11. 10	화	602	2.6
19	2015. 10. 17	토	422	0.6	39	2015. 11. 11	수	605	3.3
20	2015. 10. 19	월	487	2.1	40	2015. 11. 13	금	360	4.0
N				40					
AM				4.31	GM 2.88				
SD				5.06	GSD 2.29				

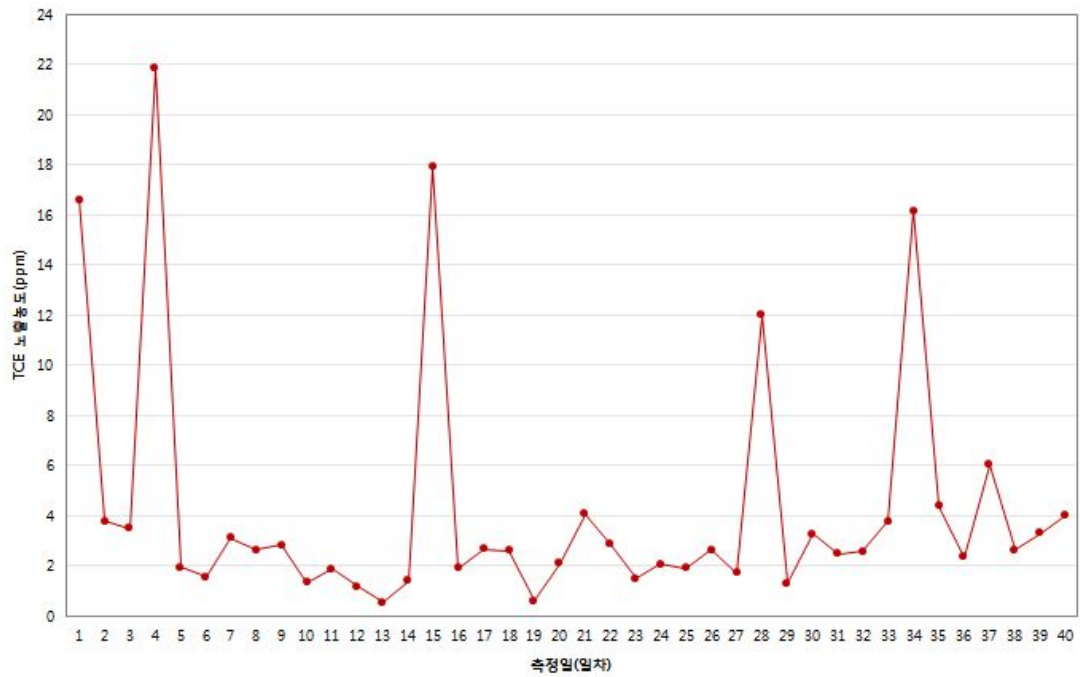
<표 5> B 사업장 세척공정 작업자의 34일간 TCE 노출농도

연번	측정일	요일	측정시간 (분)	TCE농도 (ppm)	연번	측정일	요일	측정시간 (분)	TCE농도 (ppm)
1	2015. 09. 21	월	480	16.1	18	2015. 10. 19	월	428	0.9
2	2015. 09. 22	화	480	14.8	19	2015. 10. 20	화	480	7.7
3	2015. 09. 23	수	480	8.4	20	2015. 10. 22	목	666	4.7
4	2015. 09. 25	금	240	14.9	21	2015. 10. 23	금	487	5.9
5	2015. 09. 30	수	540	7.4	22	2015. 10. 24	토	543	5.3
6	2015. 10. 01	목	600	15.4	23	2015. 10. 26	월	540	2.2
7	2015. 10. 02	금	540	12.7	24	2015. 10. 27	화	541	4.6
8	2015. 10. 05	월	481	8.3	25	2015. 10. 28	수	601	1.6
9	2015. 10. 06	화	540	3.1	26	2015. 10. 29	목	603	3.6
10	2015. 10. 07	수	545	3.4	27	2015. 10. 30	금	544	4.6
11	2015. 10. 08	목	543	7.6	28	2015. 11. 02	월	602	2.3
12	2015. 10. 10	토	487	0.7	29	2015. 11. 03	화	604	2.8
13	2015. 10. 12	월	303	1.1	30	2015. 11. 06	금	423	4.0
14	2015. 10. 13	화	607	5.1	31	2015. 11. 09	월	601	6.6
15	2015. 10. 15	목	543	4.8	32	2015. 11. 11	수	603	4.9
16	2015. 10. 16	금	482	6.9	33	2015. 11. 12	목	602	4.0
17	2015. 10. 17	토	245	2.9	34	2015. 11. 13	금	360	2.4
N				34					
AM				5.91	GM	4.53			
SD				4.28	GSD	2.19			

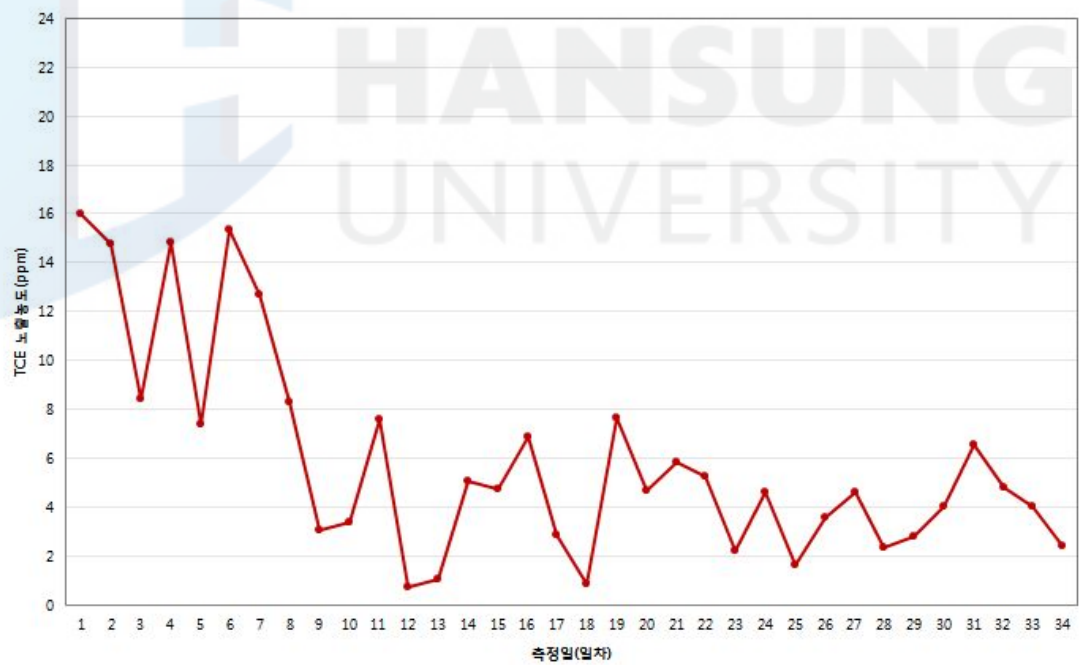
A 사업장 작업자를 대상으로 40일간 측정한 TCE 노출농도를 살펴보면 [그림 3]에서 보는 바와 같이 노출수준은 낮은 농도와 높은 농도의 두 가지 유형으로 구분할 수 있다.

40일 중 낮은 농도 수준을 보이는 날은 35일로 약 87.5%였으며, 노출농도 수준은 약 1~6 ppm 사이였다. [그림 3]에서 피크(peak)로 보이는 5개의 높은 노출농도는 약 10일에 한 번 정도 나타났으며, 농도수준은 12~22 ppm 정도였다. 이와 같이 TCE 노출농도가 높게 나타난 이유는 평상시의 세척작업량보다 많은 양의 세척작업이 이루어졌기 때문이다. 이 사업장의 경우, 세척작업자는 다른 작업을 하면서 그날그날 꼭 필요한 양만큼만 중간 중간에 세척작업을 하다가, 약 10일에 한 번꼴로 그 동안 쌓아 놓았던 물량을 몰아서 하루에 세척작업을 하였다. 본 논문에서는 편의상 이를 통상적인 세척작업과 다량세척작업으로 구분하였고, 작업량에 따른 세부적인 분석한 결과는 제2절에서 기술하였다.

한편 B 사업장의 세척작업자도 높은 농도수준과 낮은 농도 수준으로 구분할 수 있었는데, 낮은 농도수준은 세척작업량이 적었고, 높은 농도수준을 보이는 날은 대체적으로 세척작업량이 많았다. B 사업장의 작업량과 농도분포에 관한 분석도 제2절에서 자세히 기술하였다.



A 사업장 세척 작업자 노출농도.



B 사업장 세척 작업자 노출농도.

[그림 3] 세척작업자의 TCE 노출농도의 일간변이.

3) 세척작업에서의 TCE 노출농도 전체측정결과 총괄

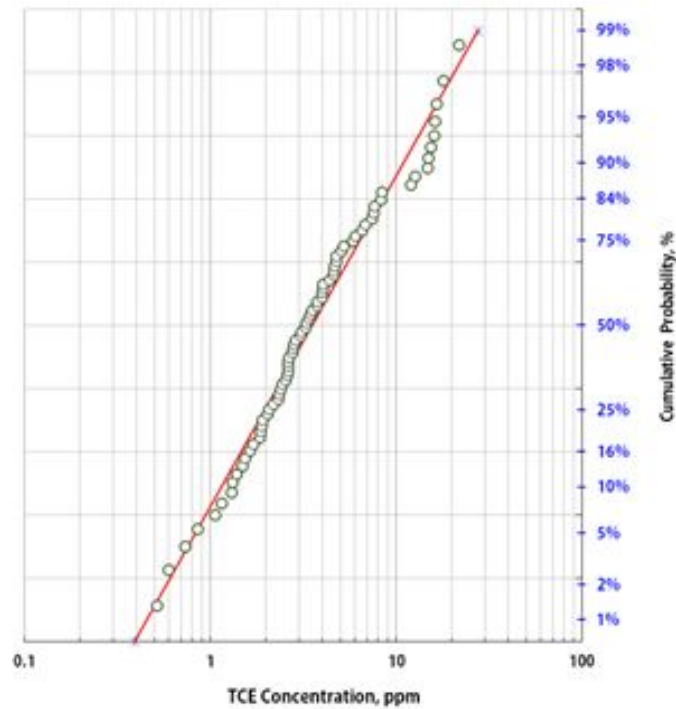
두 사업장에서 두 명의 작업자를 대상으로 각각 40일과 34일 동안 TCE 노출농도를 측정한 결과를 정리하면 <표 6>과 같다.

<표 6> 사업장별 TCE 일일측정결과

	N	AM	SD	GM	GSD
A 사업장	40	4.31	5.06	2.88	2.29
B 사업장	34	5.91	4.28	4.53	2.19
합 계	74	5.05	4.76	3.55	2.31

전체 측정결과를 대수확률지에 누적도수분포확률을 그려보면 [그림 4]와 같이 기하분포를 하는 것으로 나타난다. 그러나 이것은 같은 집단에서 측정한 자료도 아니고 많은 사업장에서 무작위로 추출한 자료도 아니므로 이 자료로 우리나라 TCE 세척작업의 평균노출을 추정하거나 노출기준을 초과하는 확률 등을 말하기는 어렵다.

다만 영세 소규모 사업장에서, 특히 도금사업장에서 TCE 세척조를 이용한 탈지작업을 할 경우 노출될 수 있는 전반적인 노출 농도 수준 및 경향을 파악하는데 기본적인 자료로 활용할 수 있을 것이다.



[그림 4] 두 사업장 전체의 TCE 노출농도 누적도수분포도.

제 2 절 작업량 및 작업특성에 따른 노출수준의 변화

본 연구대상의 두 사업장은 반도체 부품이 되는 금속판을 도금하는 사업장이었다. 도금 공정 전에 금속판에 묻어 있는 윤활유 등 기름때를 제거하기 위해 먼저 TCE 용제를 이용한 세척공정을 거친다. 세척공정은 여러 장의 금속판을 탈지조 위에 달린 걸이에 걸은 후, 탈지조 안으로 내려서 금속제품이 TCE에 잠기도록 한 후 약 3분에서 6분 동안 금속제품에 묻어 있는 기름기를 제거하는 작업을 말한다. 세척작업이 끝나면 탈지조에서 금속판을 들어 올린 후, 고압의 공기를 분사하여 금속판에 남아 있는 TCE를 제거(건조)하였다. 탈지조에는 세척이 잘 되도록 초음파 발생기가 부착되어 있었다. 대부분 소규모 사업장에서 이루어지는 세척작업은 납품물량의 수급에 따라 불규칙하게 이루어진다.

1) A 사업장에서의 작업량과 노출수준

A 사업장에서의 세척작업량은 정해진 별도의 규정 또는 규칙이 있는 것이 아니었다. 1회 세척하는 수량은 20개이며, 1일 세척횟수는 도금에 필요한 물량, 납품요구량 및 작업상황 등에 따라 정해진다고 한다.

통상 1일 세척회수는 5회에서 10회 정도로 세척물량은 금속판 수로 1일 100개에서 200개 사이였다. 가끔 (약 열흘에 한번 정도) 한꺼번에 많은 물량을 납품하도록 요구받는 경우도 있는데 이러한 경우 일시적으로 세척 및 도금작업량이 크게 늘어 1일 세척회수가 15회에서 최고 40회까지 늘어나며 이런 날은 납품개수가 500개에서 800개 정도였다.

A 사업장에서 통상적으로 세척작업을 하는 경우와 다량의 세척작업을 하는 경우를 나누어 작업자의 TCE 노출농도를 살펴 본 결과는 <표 7>과 같다. 총 40일간의 측정일 중 통상적인 세척작업을 한 날은 35일이었다. 이때의 노출수준은 0.5 ppm에서 6.0 ppm의 범위인 것으로 나타났고, 기하평균은 2.2 ppm, 기하표준편차는 1.68이었다. 다량의 세척작업이 이루어졌던 5일간의 노출수준은 12.0 ppm에서 21.9 ppm의 범위에 있었고, 기하평균은 16.6 ppm, 기하표준편차는 1.24이다.

<표 7> A 사업장의 작업량별 TCE 노출농도 (ppm)

작업량	N	AM	SD	GM	GSD	Min	Max
통상적 세척작업	35	2.51	1.14	2.24	1.68	0.52	6.03
다량의 세척작업	5	16.90	3.55	16.59	1.24	12.00	21.90

2) B 사업장에서의 작업방법과 노출수준

B 사업장에서 취급하는 부품은 산업용 금속부품으로 도급을 주는 원청이 한 곳이었다. 따라서 납품량이 비교적 일정하다. 따라서 작업물량도 비교적 일정하다. 그러나 B 사업장에서는 작업하는 제품의 크기에 따라 세척작업 형태와 그에 따른 작업자의 노출이 달라짐을 알 수 있었다.

B 사업장에서 세척하는 부품은 여러 개의 구멍이 뚫려 있는 격자형 금속판이었는데 크기가 2 cm × 2 cm형(이하 ‘2×2형’이라 함)과 4 cm × 4 cm형(이하 ‘4×4형’이라 함)의 2 가지가 있었다. 1회 세척하는 수량은 20개이며, 1일 5회에서 10회 정도 세척작업이 이루어지고 있었다.

1회 세척시간은 모두 6분정도였다. 다만 2×2형의 금속판을 세척할 때는 세척과정 중간(약 3분 경과시점)에 금속부품을 들어 올려 고압공기를 분사하여 금속판에 뚫려 있는 여러 개의 작은 구멍 안에 남아 있는 기름기나 TCE를 한번 불어낸 다음, 다시 탈지조 안의 TCE 안으로 담가 약 3분 동안 더 세척이 되도록 하였다. 4×4형은 중간에 꺼내지 않고 6분 동안 세척이 되도록 TCE 조에 담귀 놓았다. 2×2형이나 4×4형 모두 약 6분 후 꺼내어 고압공기를 분사하여 TCE를 건조시키는 것으로 1회의 세척작업은 종료되었다(<표 8>참조).

<표 8> B사업장 제품 크기에 따른 한 작업주기의 작업변화

제품크기	1회 작업주기 시간	1회 작업주기 세척 횟수	고압공기 사용횟수
2 cm×2 cm	6분	2회	2회
4 cm×4 cm	6분	1회	1회

8월 첫째 주에서 10월 2일까지의 취급부품은 2×2형, 10월 3일부터 12월까지는 4×4형이었다. [그림 3]에서 7일차까지는 2×2형, 8일차 이후부터는

4×4형을 세척하는 작업이 이루어졌다. [그림 3]에서 보는 바와 같이 전반적으로 2×2형의 금속판을 세척할 때가 4×4형의 금속판을 세척할 때보다 TCE 노출농도가 높은 것을 알 수 있다. 이것은 2×2형의 금속판을 세척할 때는 세척작업 중간에 금속판을 꺼내어 고압공기를 분사하여 금속판의 작은 구멍 안에 있던 기름기와 TCE를 한번 제거해 주는 작업이 있었기 때문에 TCE 노출농도가 높게 나타난 것으로 보인다.

2×2형 금속판 세척작업을 하는 7일간의 노출수준은 7.4~16.0 ppm의 범위로 나타났고, 기하평균은 12.3 ppm, 기하표준편차는 1.38이었다. 4×4형 금속판 세척작업을 하는 27일간의 노출 수준은 0.7~8.3 ppm이었으며, 기하평균은 3.5 ppm과 기하표준편차는 1.91이었다.(<표 9>).

2×2형 금속판을 세척하는 날에는 ACGIH TLV의 노출기준인 10 ppm을 초과할 확률은 78.8%로 나타났고, 4×4형 금속판을 세척하는 날에는 ACGIH TLV의 노출기준인 10 ppm을 기준의 초과 확률은 5.2%로 나타났다.

<표 9> B사업장 제품크기에 따른 측정결과(ppm)

제품크기	N	AM	SD	GM	GSD	Min	Max
2 cm×2 cm	7	12.79	3.48	12.31	1.38	7.42	15.98
4 cm×4 cm	27	4.13	2.10	3.50	1.91	0.73	8.27

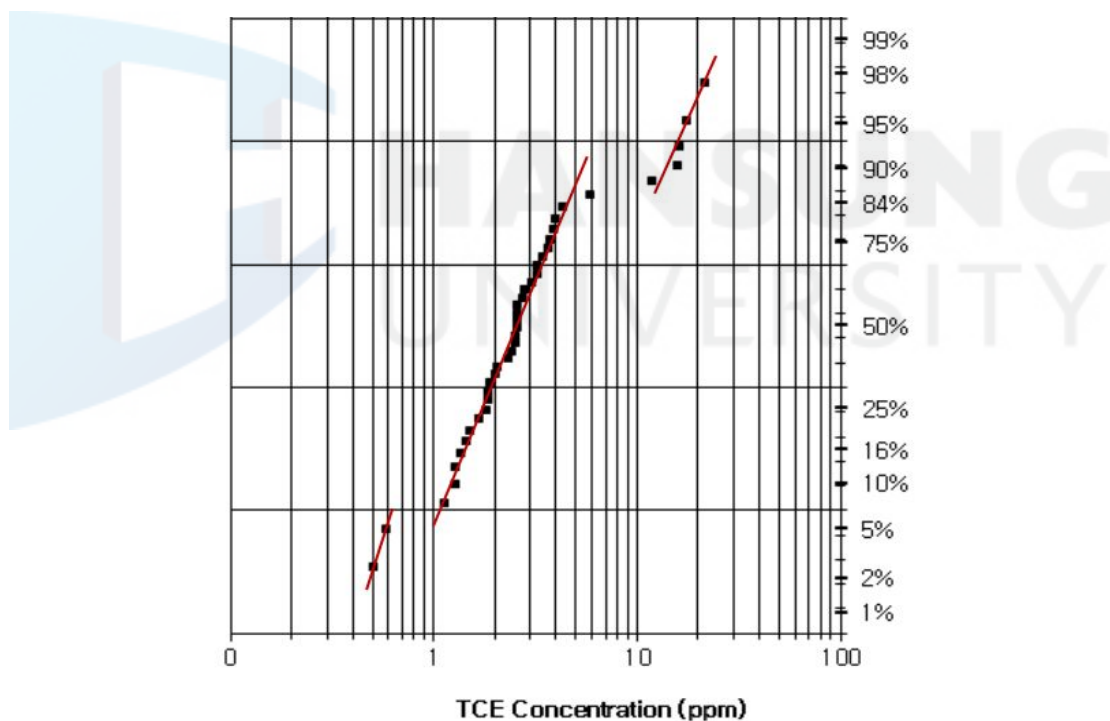
3) TCE 노출농도 분포로 본 TCE 노출수준

A 사업장의 40일간 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타내면 [그림 5]의 B와 같다. 대수정규분포확률지에 나타난 농도분포가 직선상을 보이면 그 집단이 기하정규분포를 하는 것으로 볼 수 있다. 다시 말하면 대수정규분포확률지에서 직선상으로 보이는 농도분포군이 하나의 기하정규분포, 즉 유사노출군

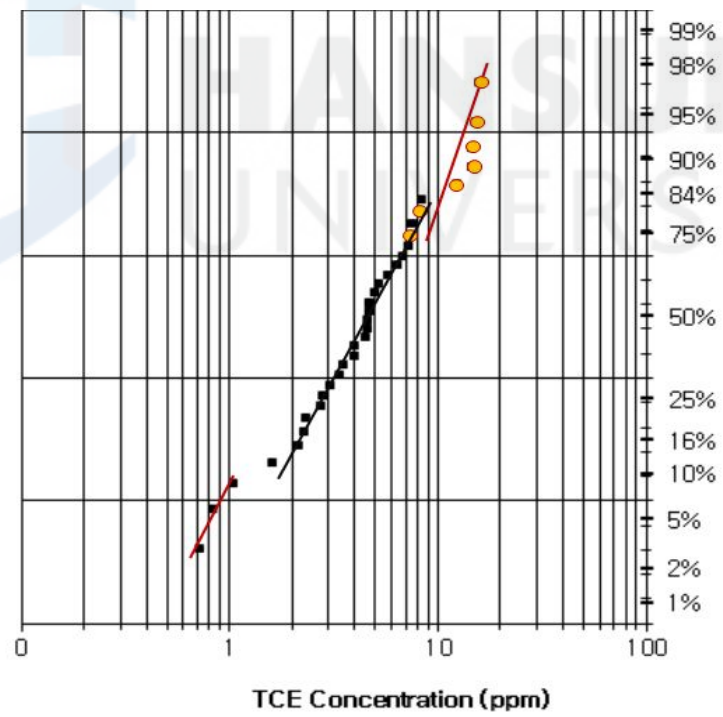
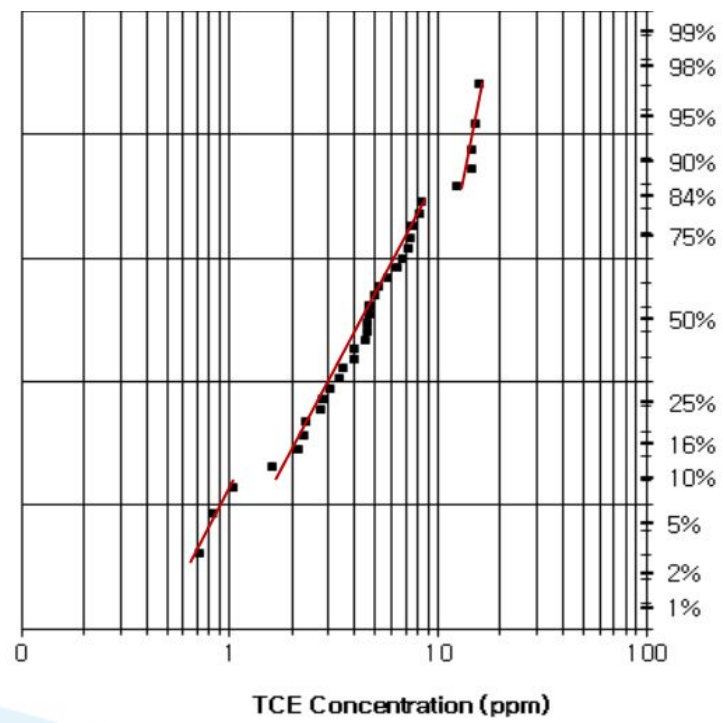
(similar exposure group; SEG)으로 볼 수 있다.

A 사업장은 농도분포도로 볼 때 3개의 농도분포군이 나타났다. 가장 높은 농도군을 보이는 10 ppm이상에서 5개의 노출이 하나의 유사노출군으로 나타났다. 이것은 앞에서 설명한 다량작업을 하는 날들의 노출농도군이다.

통상적으로 작업하는 날에는 1-6 ppm 사이에 하나의 직선상이 나타났고, 1 ppm 이하에서, 비록 측정자료가 2개(측정일이 2일)밖에 되지 않지만, 통상적인 작업일의 노출분포와 다른 특성을 가진 분포군이 하나 나타났다. 1 ppm 이하의 농도로 나타난 이틀간은 세척작업량이 적었거나 노출농도가 낮은 어떤 이유가 있었을 것으로 추측되지만 아쉽게도 작업량이나 작업상황에 대한 기록은 찾을 수가 없었다.



[그림 5] A 사업장 TCE 노출농도의 3가지 집단.



[그림 6] B 사업장 TCE 노출농도 3가지 집단.

한편 B 사업장에서도 [그림 6]에서와 같이 농도분포도로 볼 때 3개의 농도 분포군이 나타나는 것으로 보인다. [그림 6]의 위의 그림을 보면 10 ppm 이상의 5개 노출군이 하나의 유사노출군인 것처럼 보이며, 1 ppm 이상 10 ppm 미만에서 또 하나의 유사노출군이 나타나고, 1 ppm 이하에서도 하나의 유사노출군이 나타난 것으로 보인다.

그러나 앞에서 설명한 바와 같이 같은 작업을 하는 동안의 노출농도군을 묶어 그림으로 표현하면 [그림 6]의 아래의 그림과 같이 원형으로 표시된 7일 측정치가 2×2형 세척작업을 하는 하나의 노출군이며, 나머지가 4×4형 세척작업을 하는 노출군이다. 4×4형의 세척작업일 중 일부는 1 ppm 이하의 배경농도 수준의 노출특성을 보였다.

제 3 절 개인시료와 장소시료와의 관계

1) 개인시료와 지역시료와의 관계

본 연구를 진행하는 동안 일부 측정일동안 개인시료와 장소시료를 동시에 측정하였다. 개인시료와 장소시료를 동시에 측정한 날은 9월 21부터 9월 23일, 9월 25일 그리고 10월 26일부터 10월 30일까지 총 10일이었다.

장소시료는 탈지조(degreasing tank)로부터 1 m 떨어진 지점의 지상 1.5 m 높이에서 측정하였다. 장소시료는 개인시료와 동일하게 수동식 시료채취기를 이용하였으며, 시료채취기의 확산 흡착면이 노출원인 탈지조를 행하도록 하였다.

A 사업장 10개 장소에서 측정한 TCE 농도는 2.2~4.3 ppm의 범위로 농도 분포가 비교적 일정하였으며, 산술평균은 3.2 ppm, 표준편차는 0.92 ppm이었고, 기하평균은 3.1 ppm, 기하표준편차는 1.34였다. (<표 10>).

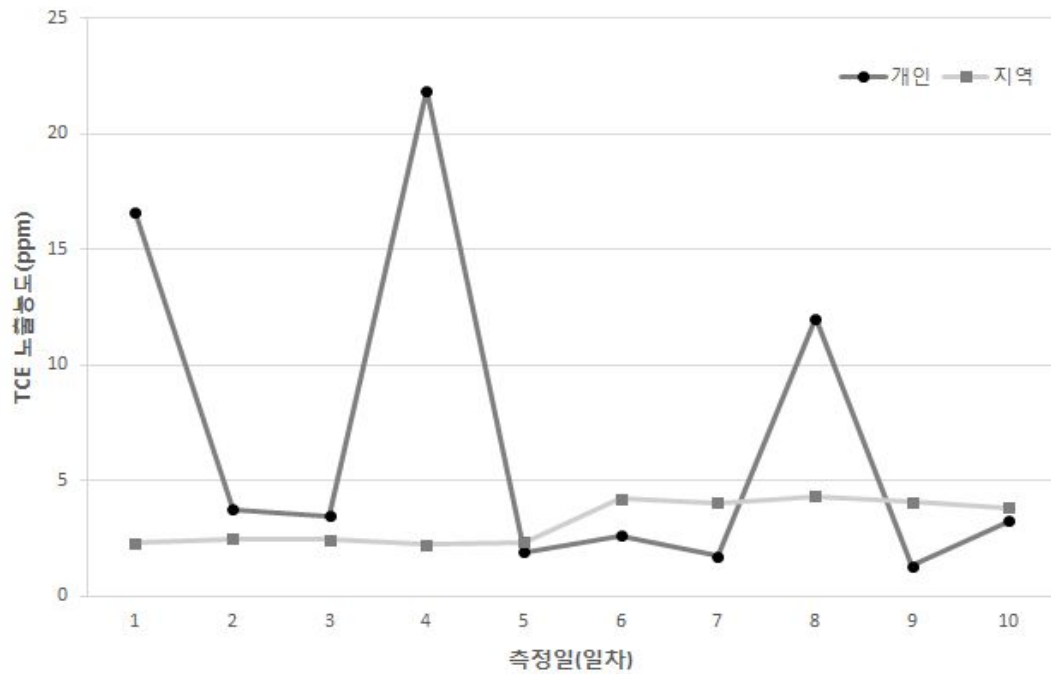
B사업장 10개 지역시료의 TCE 농도는 1.5~5.9 ppm의 범위로 나타났으며, 산술평균은 2.7 ppm, 표준편차는 1.3 ppm이었으며, 기하평균은 2.4 ppm, 기하표준편차는 1.61이었다(<표 10>).

한편 개인시료와 지역시료를 비교한 결과는 [그림 7]과 같다.

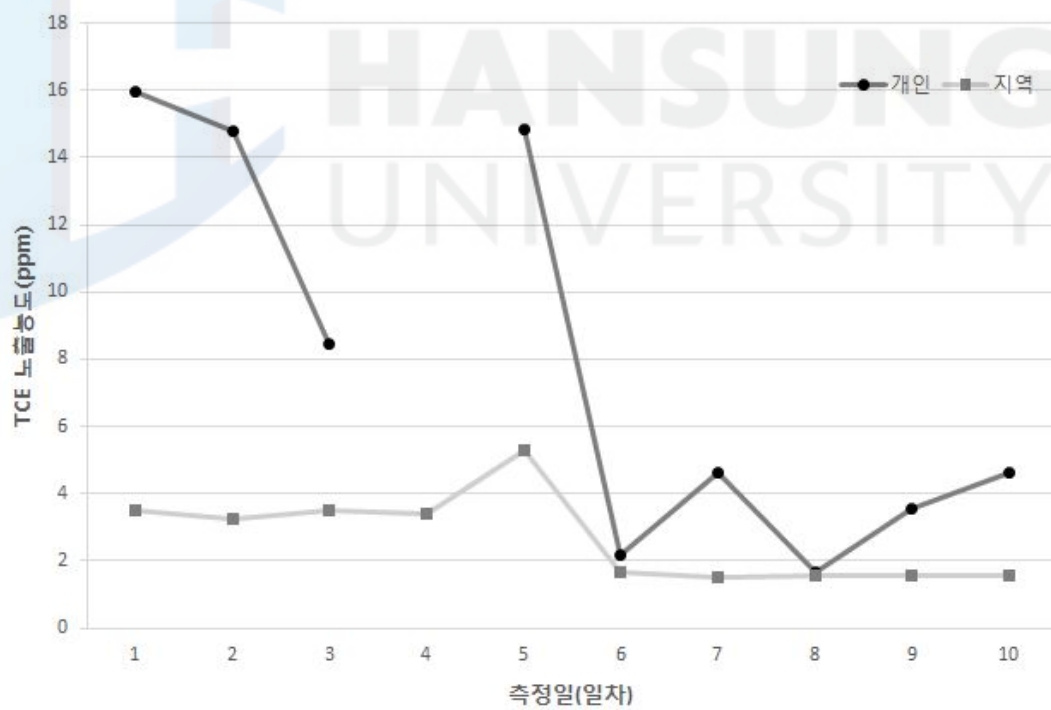
지역시료는 개인노출량과 상관없이 일정한 농도를 보였다([그림 7]). 지역시료의 농도는 일일 작업량과 크게 상관이 없는 것으로 나타났다.

<표 10> A와 B 사업장에서의 장소시료의 공기 중 TCE농도(ppm)

연번	측정일	요일	A 사업장		B 사업장	
			개인노출 농도	지역시료 농도	개인노출 농도	지역시료 농도
1	2015. 09. 21	월	16.6	2.3	16.1	3.5
2	2015. 09. 22	화	3.8	2.5	14.8	3.2
3	2015. 09. 23	수	3.5	2.4	8.4	3.5
4	2015. 09. 24	목	21.9	2.2	—	3.4
5	2015. 09. 25	금	1.9	2.3	14.9	5.3
6	2015. 10. 26	월	2.6	4.2	2.2	1.7
7	2015. 10. 27	화	1.7	4.0	4.6	1.5
8	2015. 10. 28	수	12.0	4.3	1.6	1.6
9	2015. 10. 29	목	1.3	4.1	3.6	1.6
10	2015. 10. 30	금	3.3	3.8	4.6	1.5
	AM		6.86	3.22	7.87	2.67
	SD		7.31	0.92	5.88	1.30
	GM		4.41	3.10	5.85	2.41
	GSD		2.85	1.34	2.36	1.61



A 사업장 개인 시료와 지역 시료와의 관계.



B 사업장 개인 시료와 지역 시료와의 관계.

[그림 7] 두 사업장 개인 시료와 지역 시료와의 관계.

2) 탈지조로부터 거리별 지역시료의 농도변화

실내 오염원으로부터의 오염물 방출량은 근로자 노출의 주요 결정인자이므로 오염원으로부터 오염물질의 발생량과 그로부터 공기 중 농도를 예측하는 것은 공학적 관리 및 개선에서 매우 중요하다(Wadden 등, 1989; Wadden 등, 1991). 본 연구에서도 탈지조에서 거리별로 멀어짐에 따라 공기 중 TCE 농도가 어떻게 변하는지 알아보기 위해 탈지조로부터 각각 0 m, 1 m, 3 m의 지점에서 동시에 지역시료를 채취하였다.

시료채취의 위치는 [그림 1] 및 [그림 2]와 같이 탈지조 바로 위와 탈지조로부터 1 m와 3 m 떨어진 지점에서 지상으로부터 약 1.5 m 높이였다.

측정결과는 <표 11>와 같다. TCE의 발생원인 탈지조 위에서는 A사업장과 B사업장 각각 19.7 ppm과 19.2 ppm으로 매우 유사하게 나타났다. 거리가 1 m 떨어진 지점에서는 A 사업장의 경우 4.2 ppm으로 떨어졌으며, 3 m 지점에서는 1.4 ppm으로 떨어졌다. B 사업장의 경우 거리가 1 m 떨어진 지점에서는 1.7 ppm으로 떨어졌으며, 3 m 지점에서는 1.2 ppm으로 떨어졌다.

<표 11> 거리변화에 따른 TCE 농도변화 (단위:ppm)

	0m	1m	3m
A 사업장	19.73	4.21	1.36
B 사업장	19.20	1.67	1.24

제 4 절 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기의 비교

본 연구는 주로 수동식 시료채취기를 사용하여 측정하였다. 수동식 시료채취기의 경우 능동식 측정기에 비해 정확도가 떨어진다는 우려가 있을 수 있다. 따라서 수동식 시료측정기의 정확도를 확인하기 위해 A 사업장과 B사업장에서 각각 1번씩 개인시료를 채취할 때 수동식채취기와 능동식 채취기를 동시에 부착하여 측정하였다. 그 결과는 <표 12>와 같다, TCE의 경우 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기의 결과에는 거의 차이가 없었다.

<표 12> 수동식 시료채취 와 능동식 시료채취 비교

구분	채취방법(ppm)		오차(%)
	수동식	능동식	
A사업장	6.55	6.16	1.5
B사업장	6.02	5.93	6.2

선행 연구를 보면 노말헥산의 경우 50 ppm 미만과 벤젠 10 ppm 미만에서는 수동식 시료채취기가 과소평가될 수 있고, 두 물질 모두 그 이상과 고농도에서는 수동식 시료채취기법이 과대평가 될 수 있다고 한 바 있다(최연기, 2002). 또한 에틸벤젠, 스티렌, 톨루엔, 메틸에틸케톤, 에틸아세테이트 및 크실렌 등 6종의 유기용제를 측정한 자료를 분석한 결과, 수동식 채취기와 능동식 채취기의 측정결과는 상당한 차이가 있었다고 하였다(김창현, 2015). 그러나 본 연구에서 TCE의 측정결과는 6 ppm 수준에서 거의 차이가 없었다.

제 5 절 기존 법적 작업환경측정 결과와의 비교

본 연구의 대상 사업장은 모두 법적인 작업환경측정 대상 사업장이다. A 사업장은 2010년부터 2015년까지 2명의 작업자를 대상으로 측정한 법적 작업환경측정 결과를 확인할 수 있었다. 2명의 근로자에게 연 2회씩 총 12번의 작업환경측정 결과는 <표 13>과 같다. A 사업장의 2015년 9월 중순까지 2명의 근로자가 세척작업을 하였으나 물량이 감소하여 작업자 1이 퇴사하고 본 연구가 진행되는 동안에는 1명의 작업자(작업자 2)만이 세척작업을 하고 있었다.

A사업장에서의 지난 5년간 24개의 작업환경측정결과는 최하 불검출에서 최고 21 ppm까지 나타났다. 기하평균 6.87 ppm과 산술평균 9.71 ppm 이다. B 사업장의 경우 2014년 하반기 개업하여 총 3번의 작업환경측정을 하였다. B사업장 3개 시료의 노출 수준은 16.46~24.26 ppm이었고, 기하평균은 6.87 ppm, 산술평균 9.71 ppm이었다(<표 13>).

<표 13>에서 나타난 바와 같이 A 사업장에서의 측정은 무작위로 이루어졌다고 가정할 때, 과거에는 물량이 많았거나 TCE 노출농도가 상대적으로 높았던 날이 많았던 것이 아닌가 추정된다. 특히 세척작업자가 2명이었다는 것으로 보아도 세척작업이 지금보다 많았을 것으로 추정된다.

다만 중간 중간에 낮은 농도로 측정된 적도 있었는데, 이것은 세척물량이 비교적 적었던 날에 측정된 결과로 보인다.

한편 2013년 하반기와 2014년 하반기에는 불검출 또는 0.5~ 0.8 ppm으로 나타났는데, 아마도 측정일에 세척작업이 거의 없었던 것이 아닌가 추측된다. 무작위로 어느 특정한 날에 측정을 하면 그날의 작업량에 따라 노출수준이 크게 달라져 정확한 작업환경이나 노출수준을 평가하는데 문제가 있다는 것을 알 수 있다.

<표 13> 연도별 사업장의 작업환경 측정 결과

(단위:ppm)

측정년도	A 사업장		B 사업장
	작업자 1	작업자 2	작업자 C
2010상	12.08	16.58	—
2010하	10.56	10.98	—
2011상	10.12	3.64	—
2011하	10.58	10.63	—
2012상	3.64	2.15	—
2012하	13.27	9.41	—
2013상	2.30	1.79	—
2013하	0.86	0.59	—
2014상	20.09	12.10	—
2014하	불검출	불검출	24.26
2015상	14.41	14.08	16.46
2015하	20.98	12.78	18.50
AM	10.81	8.61	19.74
SD	6.58	5.57	4.05
GM	7.94	5.94	19.48
GSD	2.71	2.98	1.22

<표 14> A 사업장과 B 사업장의 측정결과 비교

	A 사업장		B 사업장	
	작업환경측정	일일측정	작업환경측정	일일측정
N	22	40	3	34
GM	6.87	2.62	19.48	3.85
GSD	2.80	2.29	1.22	2.32
95% LCL	0.91	0.51	13.19	0.73
95% UCL	51.68	13.29	28.76	20.03
% > OEL	35.76	6.671	99.96	15.652

(*2015년 ACGIH TLV노출기준 10ppm 기준)

제 4 장 결 론

본 연구는 2015년 9월 21일부터 11월 13일까지 충남 천안시에 소재한 도금 사업장 2개소에서 TCE 세척작업자의 TCE 노출농도에 대한 일간변이를 파악하기 위해 수행되었다. 각 사업장에는 각각 세척작업자가 1명씩 작업을 하고 있었으며, 한 사업장(A 사업장)은 40일간, 또 다른 사업장(B 사업장)에서는 34일간 작업하는 동안의 시간가중평균 노출농도를 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. A 사업장에서 TCE 세척작업자의 40일간 TCE 노출농도를 측정한 결과, 기하평균은 2.9 ppm, 기하표준편차는 2.29인 것으로 나타났다. 40일간의 TCE 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타낸 결과, 노출농도분포가 3개의 직선상으로 구분됨에 따라 크게 3군의 유사노출군(similar exposure group, SEG)으로 구분되는 것으로 파악되었다.

한편 작업량으로 구분해 볼 때는 A 사업장의 세척작업은 통상작업과 다량작업으로 구분되었다. 통상작업은 1일 5회에서 10회 정도 세척작업을 하며, 1회에 금속부품을 20개씩 세척한다. 다량작업을 하는 날에는 1일 8회에서 40회까지 횟수가 증가했다. 다량작업을 하는 날은 40일 중 5일로 기하평균이 16.6 ppm, 기하표준편차가 1.24로, 모두 ACGIH의 TLV인 10 ppm을 초과하는 것으로 나타났다. 이것은 대수정규분포확률지에서 하나의 가장 높은 노출군을 형성하고 있는 것으로 나타났다.

통상적으로 세척작업을 하는 35일간의 기하평균은 2.2 ppm, 기하표준편차가 1.68로 나타났으며, 모두 10 ppm이하였다. 대수정규분포확률지에서는 2개의 노출군으로 나뉘어지는 것으로 보인다. 하나는 1 ppm에서 10 ppm 사이의 것으로 대다수를 차지했다. 다른 하나는 1 ppm 이하의 매우 낮은 농도군으로 그 수가 많지는 않았지만 농도수준이 매우 낮은 날이 일부 있는 것으로 나타났다.

2. B 사업장에서는 34일간 세척작업자의 TCE 노출농도를 측정한 결과, 기하평균은 4.5 ppm, 기하표준편차는 2.19인 것으로 나타났다. 34일간의 TCE 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타낸 결과, 노출농도분포는 역시 3개의 직선상으로 구분됨에 따라 크게 3군의 유사노출군이 있는 것으로 파악되었다.

B 사업장에서 세척하는 금속판은 2 cm × 2 cm형과 4 cm × 4 cm형의 2가지였다. 1회 세척하는 수량은 20개이며, 1일 5회에서 10회 정도 세척작업이 이루어지고 있었다. 1회 세척시간은 모두 6분정도였지만 2×2형의 금속판을 세척할 때는 중간에 꺼내어 고압공기로 기름기나 TCE를 한번 불어낸 다음, 다시 탈지조 안의 넣은 과정이 한 번 더 있었다.

2×2형 금속판 세척작업을 하는 7일간의 노출수준은 7.4~16.0 ppm의 범위로 나타났고, 기하평균은 12.3 ppm, 기하표준편차는 1.38이었다. 4×4형 금속판 세척작업을 하는 27일간의 노출 수준은 0.7~8.3 ppm이었으며, 기하평균은 3.5 ppm과 기하표준편차는 1.91이었다.

3. A 사업장 10개 지역시료의 TCE 농도는 2.2~4.3 ppm의 범위로 농도분포가 비교적 일정하였으며, 기하평균은 3.1 ppm, 기하표준편차는 1.34였다. B사업장 10개 지역시료의 TCE 농도는 1.5~5.9 ppm의 범위로 나타났으며, 기하평균은 2.4 ppm, 기하표준편차는 1.61이었다. A 사업장의 경우 개인시료와 지역시료간에는 전혀 상관관계가 나타나지 않았으며 B 사업장에서는 약간의 상관관계가 있었다.

4. 탈지조로부터 0 m, 1 m, 3 m 거리에서 측정한 지역시료는 A사업장 19.73 ppm, 4.21 ppm, 1.36 ppm B사업장 19.20 ppm, 1.67 ppm, 1.24 ppm으로 탈지조로부터 거리가 멀어짐에 급격히 감소하다가 점점 서서히 감소하는 것으로 나타났다.

5. 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기간에는 큰 차이가 나타나지 않았다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 법률 제11862호. (2015). 『산업안전보건법』 .
- 고용노동부. (2015). 『산업안전보건법 시행규칙』 . 고용노동부.
- 고용노동부. (2013). 『화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부고시 제 2013-38호)』 . 고용노동부.
- 고용노동부. (2103). 『작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시 (노동고시 제2013-39호)』 . 고용노동부.
- 한국산업안전공단. (2003). 『복합유기용제의 발생과 유해성 평가』 . 한국산업 안전공단.
- 한국산업안전보건연구원. (2007). 『수동식 유기용제 시료채취기 최적조건 연구』 . 한국산업안전공단.
- 한국산업안전보건연구원. (2003). 『화학물질 측정결과에 대한 평가방법의 통계학적 개선』 . 한국산업안전공단.
- 김창현. (2015). 『활성탄관과 수동식시료채취기를 이용한 작업환경측정 정확도 비교연구』 . 한성대학교 대학원
- 최연기. (2003). 『원유정제공정에서 발생하는 유기용제 측정을 위한 확산포집기와 능동포집기의 비교 연구』 . 서울대학교 보건대학원
- 백남원 등. (1993). 우리나라 중소기업 도금공정 근로자의 크롬 및 세척제 폭로에 관한 연구. 『한국산업위생학회지』 , 3(1), 110-126.
- 이광용, 박두용, 정지연. (2004). 확산식 시료채취기에서 기류제어 막 공극 크기에 따른 시료채취율의 변화특성에 관한 연구. 『한국산업위생학회지』 , 14(2), 125-133.

이선웅, 김은아, 김대성. (2008). 직업적 노출에 의한 스티븐스-존슨 증후군에서 트리클로로에틸렌의 노출수준 - 3예의 사례와 문헌고찰을 중심으로. 『대한산업의학회지』, 20(2), 132-146.

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



2. 국외문헌

ACGIH. (2015). 『TLV & BEL』

Nelson A. Leidel, Kenneth A. Busch, Jeremiah R. Lynch. (1977).
『OCCUPATIONAL EXPOSURE SAMPLING STRATEGY
MANUAL. (NIOSH Contract CDC-99-74-75)』, 118-121.

Mary Eide. (2004). 『Determination of the Sampling Rate Variation for
SKC UMEx 100 Passive Samplers.Sandy UT 84070-6406』

Wallace LA, Pellizzari ED, Hartwell TD, Davis V, Michael LC. and
Whitmore RW.(1989) The influence of personal activities on
exposure to volatile organic compounds. 『Environ Res』, 50(1),
37-55.

W. H. Phoon, Magdalene O. Y. Chan. (1984). Stevens-Johnson syndrome
associated with occupational exposure to trichloroethylene.
『Contact Dermatitis』, 10(5), 270-276.

NIOSH: Manual of Analytical Methods, www.cdc.gov/niosh/

NIH(U.S National Library of Medicine) Toxicology data network ,
<http://toxnet.nlm.nih.gov/>

ABSTRACT

A Study on Daily Variation of Workers' Exposure to Trichloroethylene in Degreasing Processes

Kim, Hyo-Jin

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

This study was conducted to evaluate daily variation of workers' exposure to trichloroethylene (TCE) in degreasing processes. Workers' exposure monitoring were made in two degreasing processes in two small-sized industries where one worker worked for degreasing process at each industry. The personal samples for daily exposure were obtained for 40 days in Industry A and 34 days in Industry B from September 21 to November 13 2015.

The results were as follows.

1. Geometric mean (GM) and geometric standard deviation (GSD) for 40 daily exposures were 2.9 ppm and 2.29 respectively in Industry A. It was found that the 40 daily exposure data were able to be divided into 3 exposure groups based on the linear distribution on the log normal probability paper. Each group is believed to be a similar exposure group. The highest exposure group was found for 5 days when the amounts of

degreasing work were higher than those during normal workdays. GM and GSD of the highest group were 16.6 ppm and 1.24 respectively. They were 2.2 ppm and 1.68 for normal workdays.

2. GM and GSD in Industry B for 34 days were 4.5 ppm and 2.19. Exposure groups are divided into 3 groups based on linear distribution on the log normal probability paper. There are two types of degreasing objects. One is 2 cm $\times$ 2 cm metal panel and the other one is 4 cm $\times$ 4 cm. During the degreasing process for 2 cm $\times$ 2 cm metals GM was 12.3 ppm and GSD was 1.38 and for 4 cm $\times$ 4 cm metals, GM was 3.5 ppm and GSD was 1.91. Since there was one more blowing with high pressured air to remove organics in the small hole of 2 $\times$ 2 metal panels during degreasing process, TCE exposure level was higher in the 2 $\times$ 2 panel degreasing process than 4 $\times$ 4 panel degreasing process.

3. GM and GSD were 3.1 ppm and 1.34 for 10 area samples in Industry A. They were 2.4 ppm and 1.61 for 10 area samples in Industry B. No correlation was found between personal and area samples in Industry A but a weak correlation was found in Industry B.

4. At the distance of 0 m, 1 m, 3 m from degreasing tank, TCE concentration were measured as 19.73 ppm, 4.21 ppm, 1.36 ppm in Industry A and 19.20 ppm, 1.67 ppm, 1.24 ppm in Industry B.

5. There was no significant differences between passive samplers and charcoal samplers.

【Keywords】 Daily variation, Exposure Variation, Geometric Standard Deviation, Trichloroethylene, TCE, Workers' exposure.