

석사학위논문

트리클로로에틸렌 세척공정 작업자의
공기 중 트리클로로에틸렌 노출농도
일간 변이에 관한 연구

2017년

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 동 찬

석사학위논문
지도교수 주창업

트리클로로에틸렌 세척공정 작업자의
공기 중 트리클로로에틸렌 노출농도
일간 변이에 관한 연구

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

2016년 12월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 동 찬

석사학위논문
지도교수 주창업

트리클로로에틸렌 세척공정 작업자의
공기 중 트리클로로에틸렌 노출농도
일간 변이에 관한 연구

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

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2016년 12월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 동 찬

김 동 찬의 공학 석사학위 논문을 인준함

2 0 1 6 년 12 월 일

심 사 위 원 장 박 두 용 (인)



심 사 위 원 윤 재 건 (인)

A handwritten signature in black ink, likely belonging to Yoon Ja-geon.

심 사 위 원 주 창 업 (인)

A handwritten signature in black ink, likely belonging to Ju Chang-yeop.

국 문 초 록

트리클로로에틸렌 세척공정 작업자의 공기 중 트리클로로에틸렌 노출농도 일간 변이에 관한 연구

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 동 찬

과거 제조업의 특징이 ‘다수 작업자-동일 노동’이라면 최근 작업장의 특징은 ‘소수 작업자-불규칙 작업’이라고 할 수 있다. 대규모 사업장도 개개인의 노출특성이 상당히 다른 경우가 많고 날마다 하는 일이 다르거나 유해요인에 노출되는 특성이 다른 경우가 많다. 이러한 경향은 소규모 사업장일수록 더욱 심하다. 특정 유해요인에 노출되는 작업자가 기껏해야 수명에 불과하다. 많은 경우 1~2명에 불과하며, 1명인 경우도 많다. 작업량이나 환경특성도 날마다 달라지는 등 불규칙하다. 이러한 조건에서는 기존의 ‘무작위의 특정 일(日)-다수 시료채취’라는 방식으로는 정확한 노출 평가가 어렵다. 일간변이가 매우 크기 때문이다.

본 연구는 실제 작업장에서 유기용제 노출의 일간변이와 노출특성을 파악하기 위해 실시하였다. 측정공정은 인천지역에 위치한 자동차부품 생산 사업장의 TCE 자동세척공정이었다. 측정대상자는 자동세척기에 제품을 투입하는 작업자 1명과 세척된 제품을 박스에 담은 작업자 1명 등 2명이었다. 측정일은 2016년 8월 9일부터 2016년 9월 23일까지 총 30일간 1일 평균 노출농도를 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 세척공정 작업자1의 30일간 측정한 1일 평균노출농도는 22.3~212.1 ppm으로 최저와 최고의 차이가 약 10배 정도로 크게 나타났다. 모든 날의 측정치가 우리나라 노출기준 10 ppm을 최소 2배 이상 초과하였으며 높을 때는 노출기준의 20배나 초과하고 있는 것으로 나타났다. 전체 30개 시료의 산술평균 60 ppm은 노출기준을 약 6배였다. 기하평균은 52.5 ppm, 기하표준편차는 1.80이었다.

2. 작업자2의 30일간 노출농도는 5.7~35.3 ppm으로 나타났다. 30일 중 22일(77%)이 노출기준 10 ppm을 초과하는 것으로 나타났다. 산술평균 15.8 ppm은 기준치의 1.6배 초과하고 있었다. 기하평균은 13.9 ppm, 기하표준편차는 1.65이었다.

3. 각 작업자의 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타낸 결과, 작업자1의 노출농도분포는 대략 3개의 직선상이 나타났고, 작업자2는 2개의 직선상이 나타났다. 대수정규분포확률지에 직선상이 나타나는 것은 유사한 노출특성을 나타내는 것이라고 볼 수 있다.

4. 실제 세척작업시 TCE 노출가능성과 수준을 고려하여 작업을 분류하면 작업자1은 저, 중, 고의 3개 군(群)으로 구분할 수 있었다. 저농도 군은 통상적인 세척작업을 할 때의 노출농도를 말하고, 중농도 군은 세척된 제품에 TCE가 남아 있어 작업자가 세척망을 흔들어 TCE를 제거하는 추가건조작업을 하는 경우의 노출농도를 말하며, 고농도 군은 짧은 시간이지만 노출농도가 극히 높은 자동세척기 내부청소를 하는 날의 노출농도군이다.

5. 자동세척기 내부 청소작업을 하지 않는 작업자2는 제품에 남아 있는 TCE를 작업자1이 세척망을 흔들어 제거하는 추가건조작업의 유무에 따라 2개의 노출농도군으로 나누어지는 것으로 나타났다.

6. 두 작업자 간의 TCE 노출농도의 상관관계를 살펴본 결과, 30일 동안의 자료에 대한 상관계수는 0.47로 낮게 나타났으나 청소작업이 있었던 5일을 제외한 25일 동안의 자료에서는 두 작업자간 상관계수가 0.86으로 높게 나타났다.

【주요어】 TCE, 유사노출그룹, 일반건조작업, 추가건조작업, 노출기준

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구 필요성	1
제 2 장 연구대상 및 방법	3
제 1 절 연구대상	3
제 2 절 측정물질	4
제 3 절 측정방법	5
제 4 절 분석방법	6
제 5 절 확산포집방법에 의한 농도계산법	6
제 3 장 연구 결 과	7
제 1 절 일간 변이의 측정결과	7
1) 작업자 1의 일일 TCE 노출 농도 변이	10
2) 작업자2의 일일 TCE 노출 농도 변이	11
3) 작업자1, 작업자2의 일일 TCE 노출 농도 전체 측정결과	12
제 2 절 작업자 작업 특성에 따른 노출 농도 분포	14
1) 작업자1의 TCE 노출 농도 분포	14
2) 작업자2의 TCE 노출 농도 분포	15
제 3 절 작업공정에 따른 TCE 노출 농도	16
1) 작업공정에 따른 TCE 노출 농도	16

2) 작업별 TCE 노출 농도 분포	18
제 4 절 작업자 간의 TCE 노출 상관관계	20
1) 작업자 간의 TCE 노출 상관관계	20
2) 청소작업을 제외한 작업자 간의 TCE 노출 상관관계	21
3) 작업방법에 따른 작업자 간의 TCE 노출 상관관계	22
제 5 절 비정상작업(임시작업) 시 단시간 TCE 노출 농도	24
제 6 절 각 작업자별 노출기준 초과확률	26
제 7 절 법적 작업환경측정 결과와의 비교	27
제 8 절 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기의 비교	28
제 9 절 시료 채취 위치에 따른 비교	29
 제 4 장 결 론	 31
 참 고 문 헌	 33
 ABSTRACT	 36

표 목 차

〈표 1〉 조사대상 사업장 개요	3
〈표 2〉 Trichloroethylene의 직업적 노출기준(ppm)	5
〈표 3〉 가스크로마토그래피의 분석조건	6
〈표 4〉 세척 작업자의 일일 TCE 노출농도	9
〈표 5〉 세척작업자의 TCE 노출농도	12
〈표 6〉 작업자1의 작업별 TCE 노출 농도	17
〈표 7〉 작업자2의 작업별 TCE 노출 농도	17
〈표 8〉 재생기 청소작업 시 TCE 단시간 노출농도	25
〈표 9〉 한국 고용노동부 노출기준 초과 확률	26
〈표 10〉 법적 작업환경측정결과	27
〈표 11〉 법적측정 결과와 본 연구 결과 비교	28
〈표 12〉 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기 비교	29
〈표 13〉 단시간노출 농도 및 일일노출 농도	30
〈표 14〉 시료 채취 위치에 따른 비교	30

그 립 목 차

[그림 1] 작업자1의 일일 TCE 노출 농도 변이	10
[그림 2] 작업자2의 일일 TCE 노출 농도 변이	11
[그림 3] 작업자1, 작업자2 TCE 노출농도 누적도수분포	13
[그림 4] 작업자1 TCE 노출 농도 분포	14
[그림 5] 작업자2 TCE 노출 농도 분포	15
[그림 6] 작업공정에 따른 작업자1 TCE 노출 농도 분포	18
[그림 7] 작업공정에 따른 작업자2 TCE 노출 농도 분포	19
[그림 8] 작업자 간의 TCE 노출 상관관계비교	21
[그림 9] 청소작업일을 제외한 작업자 간의 TCE 노출 상관관계비교	22
[그림 10] 일반건조작업 작업자 간의 TCE 노출 상관관계비교	23
[그림 11] 추가건조작업 작업자 간의 TCE 노출 상관관계비교	23
[그림 12] 재생기 청소작업 시 TCE 단시간 노출농도	25

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 필요성

유해인자로부터 근로자들을 보호하기 위해서 작업환경 내 유해인자의 노출 농도를 파악하는 일은 매우 중요한 일이다. 작업환경 내 유해인자 노출농도 파악이 제대로 이루어질 때 유해인자에 얼마나 노출되었는지 알 수 있고, 유해인자 노출수준을 통하여 유해인자로부터 근로자의 건강을 보호하기 위한 적절한 관리대책을 수립할 수 있다. 그래서 우리나라 산업안전보건법 제 42조 및 동법 시행규칙 제93조에서는 사업주로 하여금 작업환경측정 대상물질 181종에 대하여 연 1~2회 작업환경측정 하도록 의무화하고 있다. ‘작업환경측정’이란 작업환경의 실태를 파악하기 위하여 해당 근로자 또는 작업장에 대하여 사업주가 측정계획을 수립하여 시료의 채취 및 분석, 평가를 하는 것을 말한다(고용노동부, 2012). 이와 같이 작업환경측정은 유해물질의 농도를 측정하여 정보를 입수하고 입수된 정보를 평가하여 대책을 수립, 추진함으로써 근로자 건강을 보호하기 위한 작업환경관리의 첫 걸음이라고 볼 수 있을 것이다(이정인, 2000).

현재 실시하고 있는 작업환경측정으로 작업현장 내 유해인자의 노출수준을 정확히 파악할 수 있을지 의문을 가질 수 있다. 왜냐하면 우리가 일하는 작업현장은 수시로 작업조건이나 작업형태가 변화하기 때문이다.

박동욱(1998)은 근로자의 작업일이 1년에 300일 정도라 할 때 외부기관에서 1년에 2회 유해인자에 대해 며칠간 측정한 것이 측정하지 않은 날의 노출 정도나 작업 상황을 대표할 수 있는지, 사업장에서 이루어지는 비정상적인 작업을 추정할 수 있는지 그리고 작업 실태를 파악 할 수 있는지에 대한 의문을 제기하면서 현재의 우리나라 작업환경측정제도의 효율성에 의문을 제기하였다(백남원 등, 2000). 이처럼 우리나라에서 실시하고 있는 작업환경측정 제도로는 해당 사업자의 작업환경을 대표할 수 있는 노출수준이라고 판단하기는 힘들 것이다.

본 연구는 현재 실시하고 있는 작업환경측정제도로 해당 사업장의 작업환

경을 대표할 수 있는 노출수준을 제대로 파악할 수 있는지 확인하고자 한다. 트리클로로에틸렌(Trichloroethylene, 이하 ‘TCE’라 함)을 세척제로 사용하는 사업장 선정, 세척 작업 근로자를 대상으로 하였다. 작업시간 동안 근로자의 개인노출을 일일 단위로 연속적으로 측정하는 동시에 비정상작업(재생기 청소 작업)시 근로자가 노출되는 노출농도를 측정, 평가하여 세척작업 시 작업자의 노출농도수준과 일간변이 및 비정상적인 작업 시 노출되는 단시간노출농도 수준을 파악하여 해당 작업 시 적절한 작업방법 및 호흡용보호구를 제안하고자 하는데 있다.

제 2 장 연구대상 및 방법

제 1 절 연구대상

본 연구는 2016년 8월 9일부터 2016년 9월 23일까지, 총 30일간 인천지역에 위치한 자동차부품을 생산하는 사업장에서 TCE 세척 작업자의 개인노출 농도를 측정하였다.

측정대상 사업장은 300개 이상의 다양한 자동차부품(주요생산품), 전자부품 등을 생산하고 있었다. 측정공정은 가공된 금속부품을 TCE 자동세척기로 세척하는 공정이었다. 측정대상 근로자는 자동세척기에 세척할 금속부품을 넣어주는 작업자 1명과 세척된 후 나오는 부품을 받아 적재장소에 적재하거나 건조가 된 경우 세척망을 흔들어 제품에 남아있는 TCE를 제거하여 건조하는 작업자 1명이었다. 사업장 개요는 <표 1>과 같다. 근무시간은 수요일을 제외하고는 보통 오전 8시부터 오후 8시 40분까지였다. 1일 작업시간은 점심, 저녁, 휴식시간을 제외하고 약 11시간이었다.

<표 1> 조사대상 사업장 개요

업종	자동차 부품 제조업
주요생산품	자동차부품, 전자부품
총 근로자 수	32명
세척작업자 수	2명
세척제	Trichloroethylene
세척기계 크기*	4700mm × 900mm × 2950mm
세척망 크기*	400mm × 300mm × 150mm
TCE 사용량	600L/월

* 세척기계 크기 및 세척망의 크기는 길이(L) × 넓이(W) × 높이(H) 단위로 표시하였음.

제 2 절 측정물질

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). TCE의 밀도는 공기보다 크지만 작업장에서 TCE의 밀도가 무겁다 하더라도 공기와 완전히 섞여 밀으로 가라앉지 않는다(산업안전보건공단, 2007). TCE는 1908년 상업적으로 합성된 이후 뛰어난 탈지작용으로 사업장에서 금속기계 부품의 탈지유세정제, 금속 표면의 건조, 섬유공업에서의 세척과 염색, 일반 용해제, 라커의 희석제, 유리나 광학기구의 세척제 및 피혁의 지방 제거제 등으로 널리 사용되는 유기용제이다(NIOSH, 1978).

TCE의 냄새를 맡을 수 있는 최저 농도는 21.4ppm으로 냄새가 나면 이미 공기 중 농도가 매우 높다고 판단할 수 있다. TCE는 주로 증기상태로 확산되어 호흡기와 피부를 통해 체내에 흡수되며, 흡수된 TCE는 혈액을 따라 유사 지방질이 많은 중추 신경계에 작용하여 현기증, 두통, 구토, 졸음 등이 나타나고, 심하면 의식을 잃거나 사망할 수 있다. 낮은 농도에서 장기간 폭로된 경우에는 기억력감퇴, 의욕상실, 정서불안 등의 신경계 증상과 간이나 신장에 영구적 장애를 초래할 수 있다(NIOSH, 1978; ACGIH, 2006). 특히 여러 보고에서 TCE는 발암물질로 의심되어 왔으며 미국국립암협회(U.S. National Cancer Institute, NCI)의 발암성에 대한 경고 때문에 커피 제조업의 카페인 제거 공정에서 TCE 사용을 금지하였다(NIOSH, 1978).

우리나라 고용노동부에서는 8시간 시간가중평균치(Time Weighted Average; TWA) 10 ppm, 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit; STEL) 25 ppm으로 TCE의 노출기준을 설정하고 있으며, 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH) 또한 8시간 시간가중평균으로 10 ppm, 단시간노출기준 25 ppm을 권고하고 있다. 그리고 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute of Occupational Safety and Health; NIOSH)에서는 10시간, 시간가중평균으로는 25 ppm, 노출 즉시 생명에 위험을 줄 수 있는 농도(Immediately Dangerous to Life or Health; IDLH)를 1000 ppm으로 권고하고 있다.

〈표 2〉 Trichloroethylene의 직업적 노출기준(ppm)

노출기준	고용노동부고시 제2016-41호	ACGIH, TLV 2015	OSHA, PEL 1999	NIOSH, REL 1999
TWA	10	10	100	25
STEL	25	25	-	-
C	-	-	200	-
IDLH	-	-	-	1000

제 3 절 측정방법

공기 중 TCE 농도측정은 수동식 시료채취기(3M OVM #3500)를 이용하였다. 시료채취기의 측정을 위해 근로자의 작업복 왼쪽 옷깃에 부착하였다. 일일 근무시간동안 시간가중평균치와 세척기계 재생기 청소작업 시간동안 노출되는 단시간 노출 농도를 측정하였다. 청소작업의 경우 재생기 온도계가 86° C 이상일 때 이루어지며, 주 1회 이상 실시하고, 작업일정은 다소 불규칙하였다.

일간 변이를 보기 위한 시료의 경우, 매일 작업장을 방문하여 시료채취기를 부착하고 작업 종료 후, 탈착하였다. 그리고 시료채취기의 뚜껑을 닫고 용기에 넣어 미리 준비된 아이스박스에 담아 이동하여 냉장 보관하였다. 그리고 30일 동안의 작업시간을 기록하였다.

단시간 측정 시료의 경우, 청소작업시간 동안 연구자가 직접 현장에 상주하여 수동식 시료채취기를 작업자의 오른쪽 옷깃에 부착하고 작업시간을 기록하였다.

수동식 시료채취기의 정확도를 검증하기 위해 수동식시료 채취기 5개와 활성탄관 3개를 가로 30 cm, 세로 22 cm 합판에 부착하여 지역시료로 동시에 시료를 채취 하였다. 활성탄관법으로 시료를 채취할 때 시료 채취 전·후 용적 유량계로 공기 유량을 보정하였다. 공기포집펌프는 CASELLA CEL Apex Personal Air Sampler를 사용하였고, 활성탄관은 SKC사 226-01을 사용하였다.

제 4 절 분석방법

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 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, CP-3800, Bruker)였다. 분석용 컬럼은 Agilent사 DB-WAX (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm)이었으며, 이동상 가스는 질소(N₂)를 사용하였다. 가스크로마토그래피의 분석 조건은 <표 3>에 나타내었다.

<표 3> 가스크로마토그래피의 분석조건

컬럼.	DB-wax(30 m × 0.25 mm ID×0.25 µm, Agilent)
컬럼 오븐 온도.	35 ° C(10 min) – 120 ° C(10 ° C/min, 3 min)
주입기 온도.	250 ° C (Split ratio: 110)
검출기 온도.	250 ° C
이동상 가스.	N ₂ , 1.0 mL/min
주입 용량.	1 µl

제 5 절 확산포집방법에 의한 농도계산법

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

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

<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 TechnicalData Bulletin – Organic Vapor Monitors).

제 3 장 연 구 결 과

제 1 절 일간 변이의 측정결과

본 연구의 측정 대상공정은 프레스 된 자동차부품 및 전자부품을 TCE로 세척하는 탈지작업으로, 자동세척기에 제품을 투입하여 예비 세척, 초음파 세척, 행굼, 건조된 제품을 박스에 담는 작업이다. 자동세척공정은 자동세척기 배출구 주변에 상주하여 세척된 제품을 박스에 담는 작업자(이하 ‘작업자1’이라 함) 1명과 자동세척기 투입구 주변에 상주하여 세척망에 제품을 담아 자동세척기에 투입하는 작업자(이하 ‘작업자2’라 함) 1명, 총 2명의 근로자가 작업하고 있다.

자동세척공정의 일간변이를 파악하기 위하여 자동세척공정 근로자 2명을 대상으로 수동식 시료채취기를 착용하여 시료를 포집하였다. 측정은 2016년 8월 9일부터 2016년 9월 23일 까지 총 30일간 측정하였으며, 일간 변이를 파악하기 위한 개인노출 시료 수는 작업자1-30개, 작업자2-30개로 총 60개의 시료를 채취하였다. 측정결과는 <표 4>와 같다.

수동식 시료채취기의 정확도를 검증하기 위해 수동식시료 채취기 5개와 활성탄관 3개를 가로 30 cm, 세로 22 cm 합판에 부착하여 지역시료로 동시에 시료를 채취하였다.

작업자1을 대상으로 30일간 측정한 TCE 노출농도를 살펴보면 1일 평균 TCE 노출농도는 최소 22.3 ppm, 최고 212.1 ppm으로 일간 변이가 상당히 큰 것으로 나타났다. 산술평균은 60 ppm, 산술평준편차는 44.1 ppm 이었으며, 기하평균은 52.5 ppm, 기하표준편차는 1.80이었다.

작업자1이 작업하는 동안 노출되는 TCE의 노출농도는 8시간 시간가중평균치(TWA) 10 ppm(고용노동부고시 제2016-41호)을 30개 시료 모두가 초과하고 있으며, 단시간노출기준(STEL) 25 ppm과 비교 하였을 때 30개 시료 중 28개가 초과하는 것으로 나타났다. 이것으로 볼 때 작업자1은 작업시간 동안 매일 고농도의 TCE에 노출되고 있는 것으로 보였다.

작업자2를 대상으로 30일간 측정한 TCE 노출농도를 살펴보면 1일 평균

TCE 노출농도는 최소 5.7 ppm, 최고 35.3 ppm으로 작업자1과 비교 하였을 때 일간변이는 크지 않았다. 산술평균은 15.8 ppm, 산술표준편차는 8.6 ppm이었으며, 기하평균은 13.9 ppm, 기하표준편차는 1.65이었다.

작업자2이 작업하는 동안 노출되는 TCE의 노출농도는 8시간 시간가중평균치(TWA) 10 ppm(고용노동부고시 제2016-41호)을 30개 시료 중 22개 (73%)가 초과하는 것으로 나타났으며, 단시간노출기준(STEL) 25 ppm과 비교 하였을 때 30개 시료 중 5개가 초과하는 것으로 나타났다.

위와 같은 결과로 볼 때 자동세척공정 TCE 세척작업의 일반변이는 매우 큰 것을 알 수 있었다.

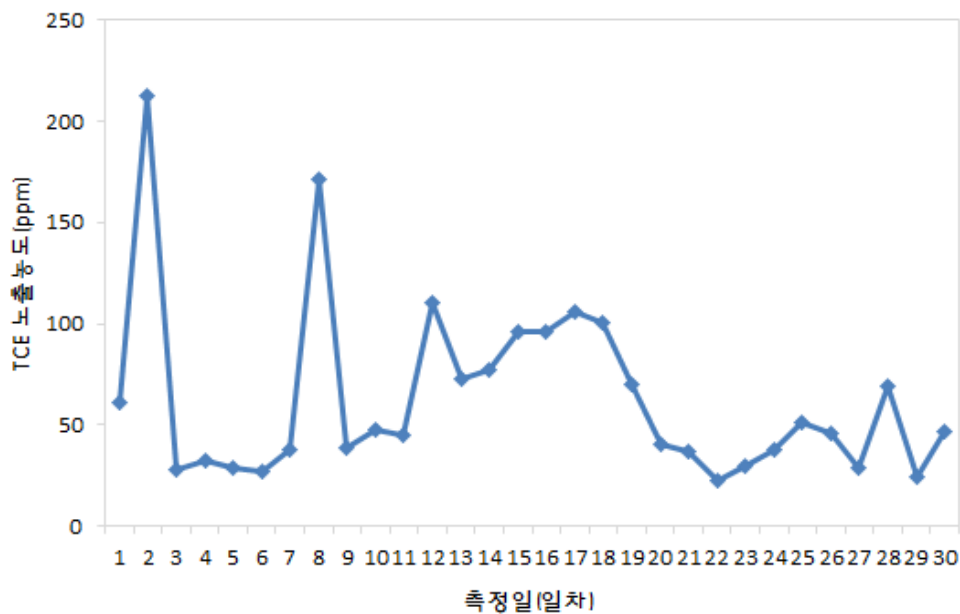
〈표 4〉 세척 작업자의 일일 TCE 노출농도

측정일	작업자 1		작업자 2	
	시간(min)	농도(ppm)	시간(min)	농도(ppm)
08.09	460	61.1	460	23.8
08.10	450	212.1	450	26.0
08.11	550	27.7	550	10.6
08.12	470	32.3	470	8.1
08.16	540	28.9	540	10.6
08.17	470	26.9	470	7.8
08.18	500	37.8	500	10.0
08.19	193	171.2	538	20.1
08.22	475	38.3	475	9.4
08.23	493	48.0	493	12.8
08.24	483	44.6	483	11.8
08.25	473	110.5	473	34.3
08.26	520	72.9	520	19.5
08.29	515	77.0	515	19.7
08.30	495	96.2	495	35.0
08.31	465	95.8	465	29.3
09.01	495	105.8	495	14.8
09.02	475	100.4	475	35.3
09.05	422	70.1	422	14.3
09.06	422	40.8	422	11.6
09.07	477	36.7	477	11.2
09.08	455	22.3	455	5.7
09.09	449	29.9	449	10.4
09.12	452	38.1	452	10.1
09.13	330	50.8	330	17.1
09.19	463	45.4	463	7.8
09.20	450	29.2	450	7.3
09.21	489	69.0	489	14.3
09.22	455	24.3	455	9.3
09.23	463	47.0	463	16.9
AM	470.9	63.0	473.1	15.8
SD	39.6	44.1	40.8	8.6
GM	—	52.54	—	13.9
GMD	—	1.80	—	1.65

1) 작업자 1의 일일 TCE 노출 농도 변이

작업자1을 대상으로 2016년 8월 9일부터 9월 23일까지 30일간 측정한 TCE의 일일 노출농도의 일간 변이는 각각 [그림 1]과 같다.

작업자1의 TCE 측정 결과를 보면 노출수준은 저농도, 중농도, 고농도 3가지 유형으로 구분할 수 있다. 50 ppm이하의 저농도 수준을 보이는 날은 30일 중 18일로 60%였으며, 50 ppm이상 ~ 110 ppm 이하의 중농도 수준을 보이는 날은 10일로 33.3%, 110 ppm이상의 고농도 수준을 보이는 날은 2일로 6.7%이었다. TCE의 노출농도가 110 ppm이상의 고농도 수준을 보이는 날은 재생기청소 작업과 한쪽 면이 막혀 있는 마개형태의 제품을 주로 세척하였기 때문이다. 마개형태의 제품은 TCE가 제품에 남아있어 작업자가 세척망을 흔들어 TCE를 제거하는 작업(이하 ‘추가건조작업’ 이라 함)을 실시한다.

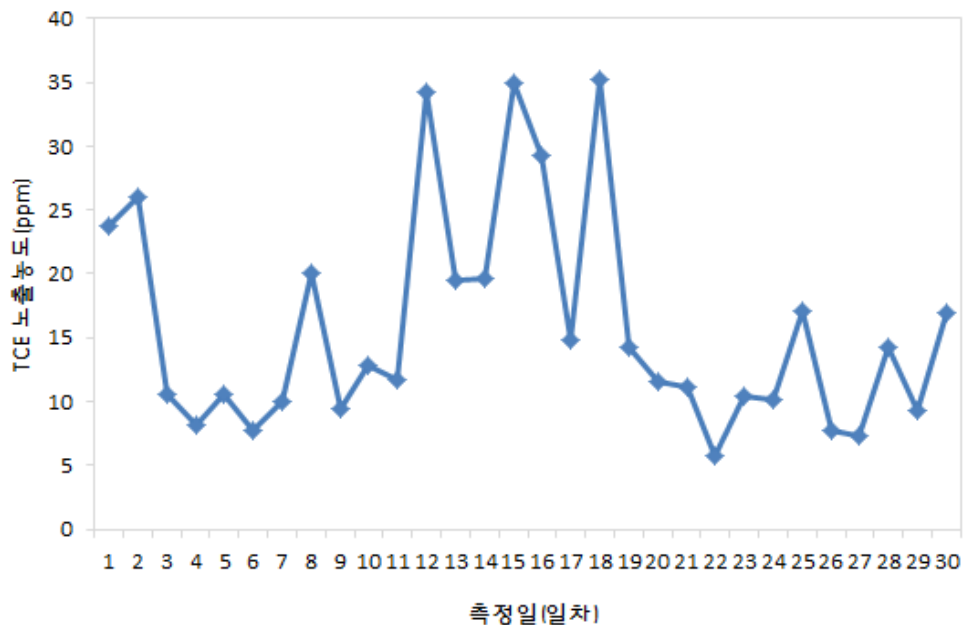


[그림 1] 작업자1의 일일 TCE 노출 농도 변이.

2) 작업자2의 일일 TCE 노출 농도 변이

작업자2를 대상으로 2016년 8월 9일부터 9월 23일까지 30일간 측정한 TCE의 일일 노출농도의 일간 변이는 [그림 2]와 같다.

작업자2의 TCE 측정 결과를 보면 노출수준 저농도, 중농도, 고농도 3가지 유형으로 구분할 수 있다. 15 ppm이하 저농도 수준을 보이는 날은 30일 중 19일로 63.3%였으며, 16~30 ppm의 중농도 수준을 보이는 날은 8일로 26.7%, 110 ppm이상의 고농도 수준을 보이는 날은 3일로 10%이었다.



[그림 2] 작업자2의 일일 TCE 노출 농도 변이.

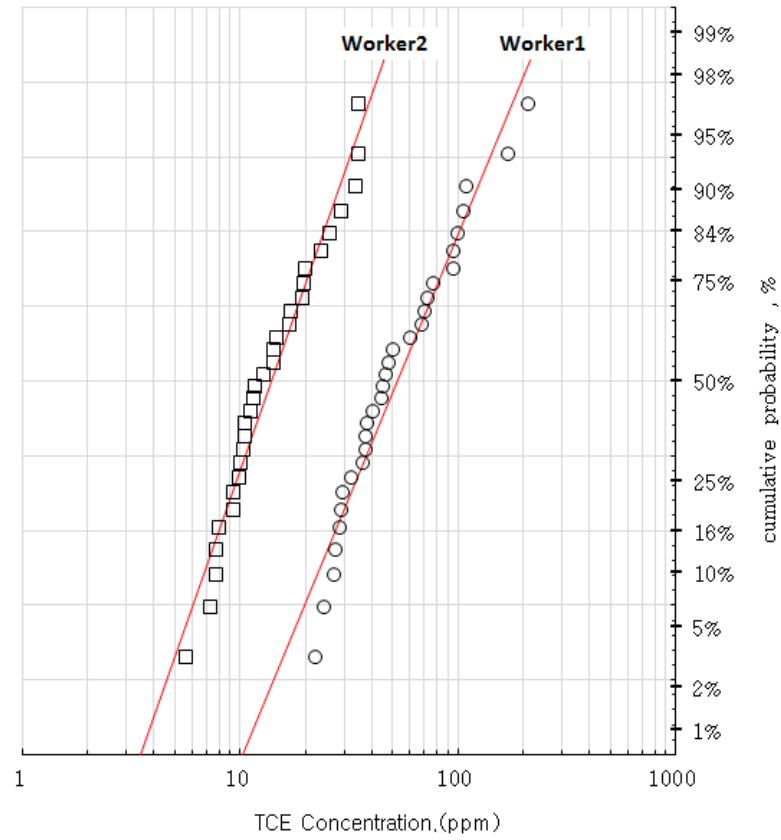
3) 작업자1, 작업자2의 일일 TCE 노출 농도 전체 측정결과

작업자1, 작업자2를 대상으로 30일간 TCE의 노출농도를 측정한 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 세척작업자의 TCE 노출농도

작업자	N	AM	SD	GM	GSD	MIN	MAX
1	30	63	44	52.5	1.80	22.3	212
2	30	15.8	8.6	13.9	1.65	5.7	35.3

두 작업자의 측정결과를 각각 대수분포확률지에 그려보면 [그림 3]과 같이 기하분포를 하는 것으로 나타난다. 하지만 이 자료를 통해서 TCE 자동세척 공정 작업 전체의 평균 노출을 추정하거나 작업환경 결과를 대표하기는 어렵다. 다만 TCE 자동세척기계를 사용하여 탈지 작업을 하는 사업장의 전반적인 노출 농도 수준 및 일간변이를 파악하여 작업장 관리를 위한 기본 자료로 활용할 수 있을 것이다.

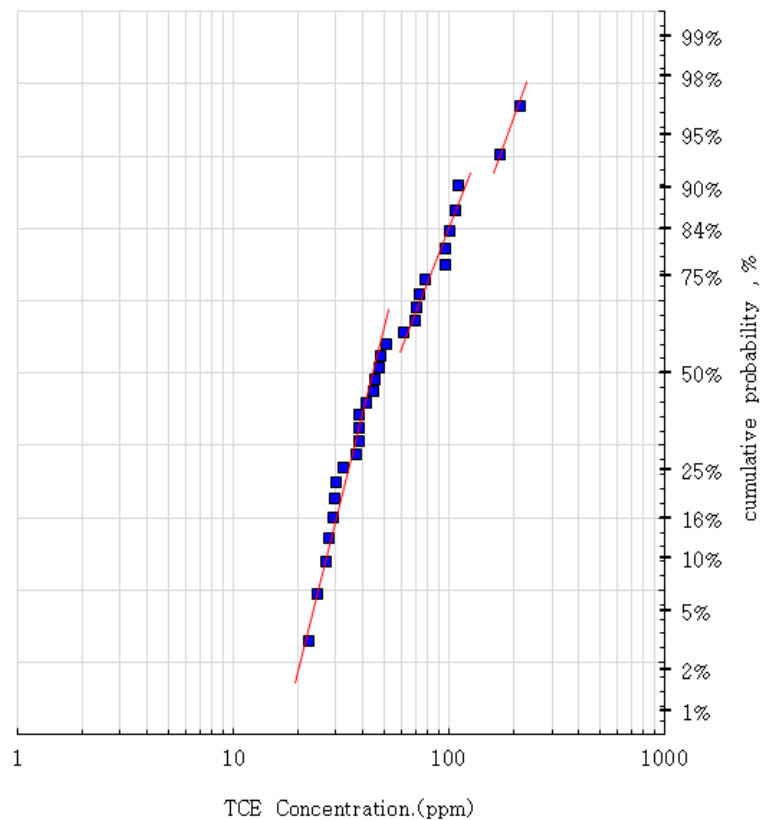


[그림 3] 작업자1, 작업자2 TCE 노출농도 누적도수분포.

제 2 절 작업자 작업 특성에 따른 노출 농도 분포

1) 작업자1의 TCE 노출 농도 분포

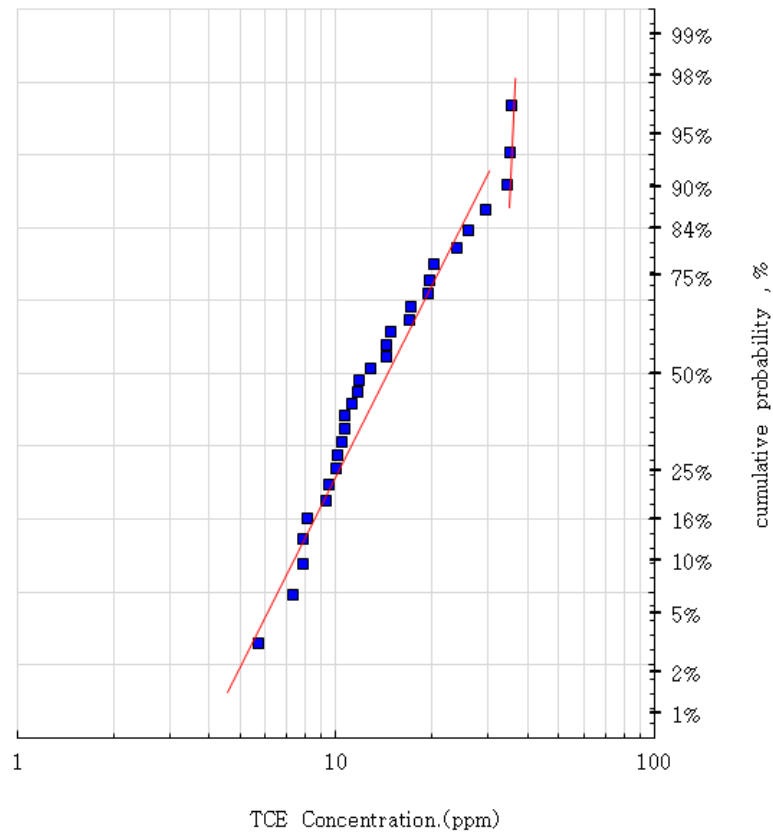
작업자1의 30일간 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타내면 [그림 4]와 같이 나타난다. 대수정규분포확률지에 나타난 농도분포가 직선상을 보이면 그 집단이 기하정규분포를 하는 것으로 볼 수 있다. 이 직선상으로 보이는 농도 분포군이 하나의 기하정규분포, 즉 유사노출군(similar exposure group; SEG)으로 볼 수 있다(김효진, 2016). 작업자1은 3개의 농도분포군으로 나타났으며, 고농도군 171~212 ppm, 중농도군 61~ 110 ppm, 저농도군 22~51 ppm으로 나타났다.



[그림 4] 작업자1 TCE 노출 농도 분포.

2) 작업자2의 TCE 노출 농도 분포

작업자2의 30일간 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타내면 [그림 5]와 같이 나타난다. 작업자2는 2개의 농도분포군으로 나타났으며, 34 ppm 이상의 고농도군과 34 ppm미만의 저농도군으로 나타났다.



[그림 5] 작업자2 TCE 노출 농도 분포.

제 3 절 작업공정에 따른 TCE 노출 농도

본 연구대상 사업장은 300개 이상의 다양한 제품을 생산하며, 제품에 따라 작업방법, 세척시간, 건조 상태에는 약간의 차이가 있었다. 특히 추가건조작업을 실시하는 마개형태의 5종류 제품은 다른 제품과 건조 상태, 작업방법에 차이를 보였다. 추가건조작업은 작업자1이 주로 실시하였고 하루에 짧게는 10분, 길게는 60분 정도 실시하였다. 추가건조작업이 필요한 제품의 세척이 완료되면 박스에 담겨있는 TCE를 자동세척기 창문을 통하여 투입하였다. 그리고 추가건조작업 동안 TCE를 담은 박스에 환기장치나 덮개가 없어 TCE 냄새가 심하게 발생했다.

추가건조가 필요한 제품은 작업자와의 상담을 통하여 파악하였으며, 추가건조작업이 있는 날은 세척된 제품을 기재하는 일지를 참고하였다.

1) 작업공정에 따른 TCE 노출 농도

자동세척공정을 공정에 따라 추가건조작업과 일반건조작업을 나누어 2명 작업자의 TCE 노출농도를 살펴 본 결과<표 5> 및 <표 6>과 같다. 총 30일간 측정한 자료 중 재생기 청소작업이 단시간에 고농도에 노출되는 재생기 청소작업일 5일을 제외한 25일 자료를 비교하였다.

대상사업장에서 시료를 채취한 25일 중 일반건조작업은 13일, 추가건조작업은 12일이었다. 일반건조작업에서 작업자1의 노출수준은 최소 22.3 ppm에서 최고 47 ppm의 범위로 나타났고, 기하평균은 31.6 ppm, 기하표준편차는 1.24였다. 추가건조작업의 노출수준은 최소 40.8 ppm에서 최고 100.4 ppm의 범위로 나타났고, 기하평균은 63.7 ppm, 기하표준편차는 1.39이었다.

일반건조작업에서 작업자2의 노출수준은 최소 5.7 ppm에서 최고 16.9 ppm의 범위로 나타났고, 기하평균은 31.6 ppm, 기하표준편차는 1.24이었다. 추가건조작업의 노출수준은 최소 40.8 ppm에서 최고 100.4 ppm의 범위로 나타났고, 기하평균은 63.7 ppm, 기하표준편차는 1.39였다.

〈표 6〉 작업자1의 작업별 TCE 노출 농도

작업공정	N	AM	SD	GM	GSD	MIN	MAX
일반건조작업	13	32.3	6.9	31.6	1.24	22.3	47
추가건조작업	12	66.9	21.9	63.7	1.39	40.8	100.4

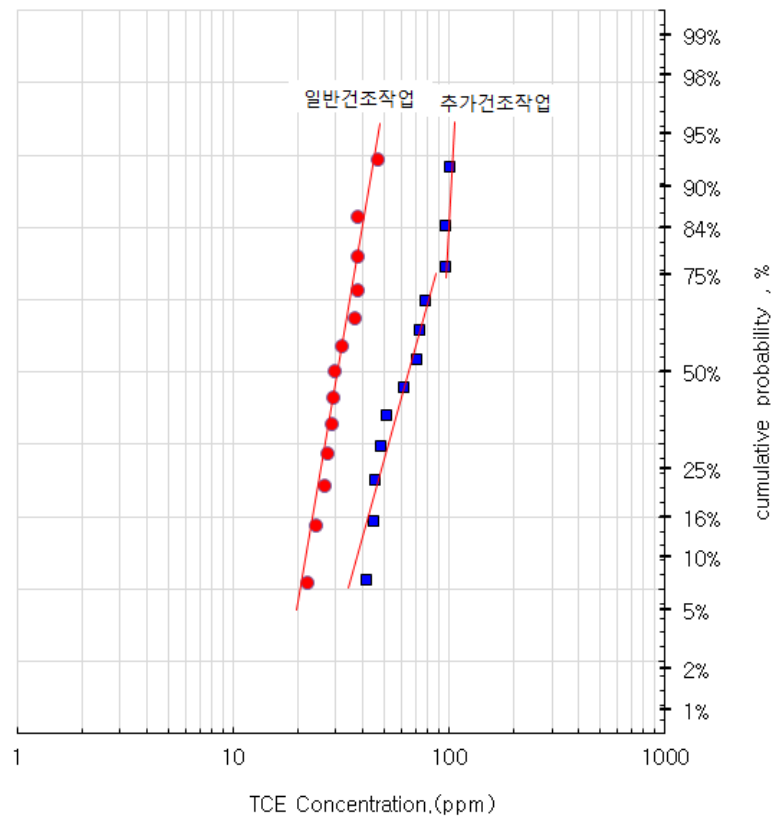
〈표 7〉 작업자2의 작업별 TCE 노출 농도

작업공정	N	AM	SD	GM	GSD	MIN	MAX
일반건조작업	13	9.8	2.7	9.5	1.29	5.7	16.9
추가건조작업	12	19.8	9.3	17.9	1.61	7.8	35.3

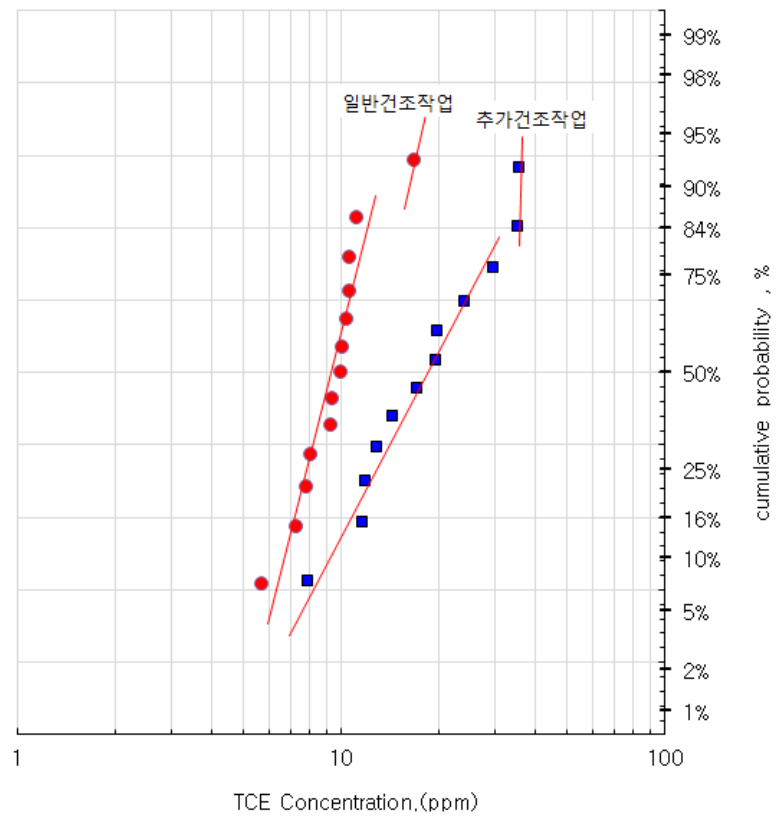
2) 작업별 TCE 노출 농도 분포

작업공정에 따라 일반건조작업과 추가건조작업의 TCE 노출 농도를 대수정규분포확률지에 나타내면 [그림 6] 및 [그림 7]과 같이 나타난다. 작업자1의 측정 시료를 보면 일반건조작업은 1개의 농도분포군을 그리며, 추가건조작업은 2개의 농도분포군을 나타냈다.

작업자2의 측정 시료를 보면 일반건조작업, 추가건조작업 모두 2개의 농도분포군을 나타냈다.



[그림 6] 작업공정에 따른 작업자1 TCE 노출 농도 분포.



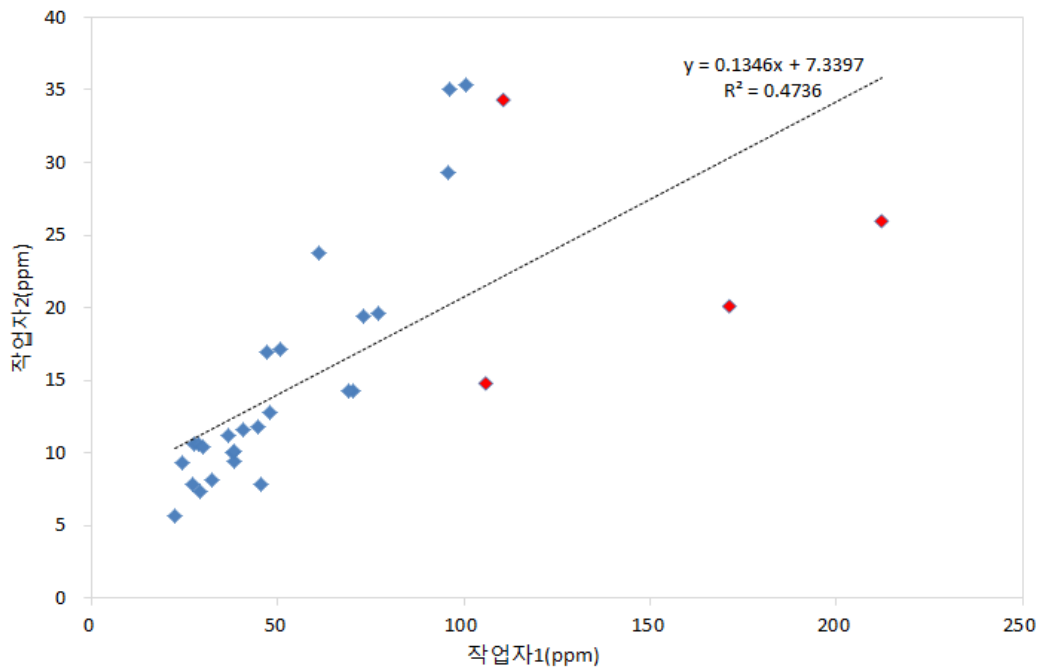
[그림 7] 작업공정에 따른 작업자2 TCE 노출 농도 분포.

제 4 절 작업자 간의 TCE 노출 상관관계

본 연구의 대상공정 TCE 자동세척공정은 총 2명의 작업자가 작업을 진행하였다. 작업자들은 제품 및 세척망에 묻어있는 TCE, 추가건조작업 동안 휘발되는 TCE에 노출되었다. 작업자1의 작업장소는 세척된 제품을 담은 박스가 주위에 있고, 추가건조작업 또한 작업자1의 주변에서 이루어지고 있다. 작업자1 주변에서 발생한 TCE가 작업시간 동안 작업자2에 미치는 영향을 알아보고자 두 작업자간의 상관관계를 비교 분석하였다.

1) 작업자 간의 TCE 노출 상관관계

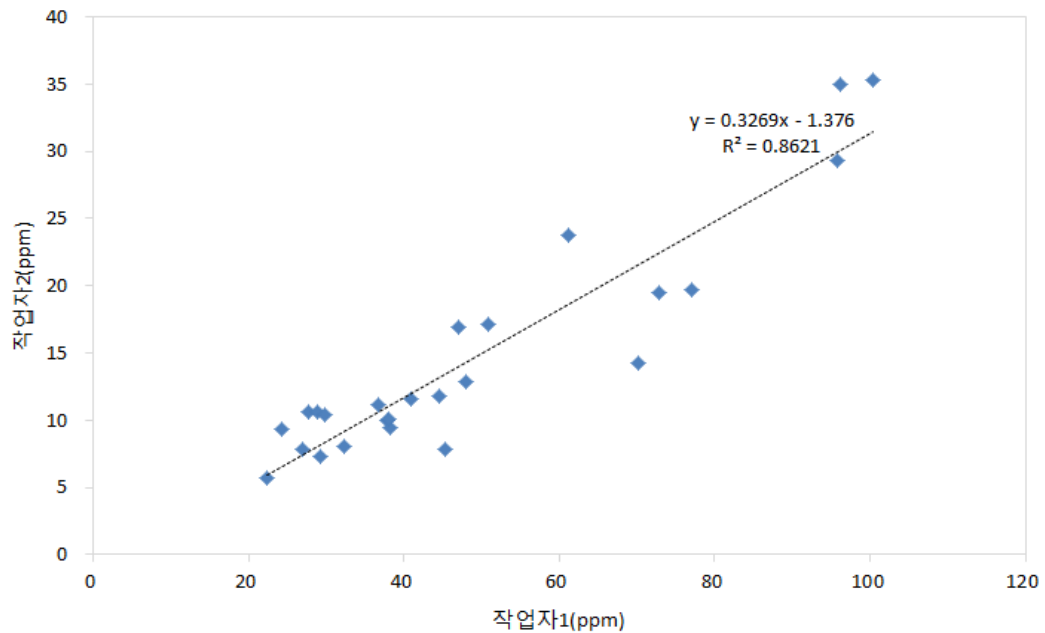
30일 동안 측정한 결과를 회귀분석한 결과, 두 작업자의 상관성은, 상관계수는 0.47로 상관성이 크지 않은 것으로 나타났다. 이것은 보통 2명의 작업이 자동세척기 앞에서 1명은 제품을 넣어주고 다른 1명은 제품이 나오는 것을 받기 때문에 노출농도 차이는 있지만 서로 상관성이 높을 것으로 보인다. 그러나 세척된 부품을 받아 적재하는 작업자1은 일부 제품이 TCE가 완전히 건조되지 않은 채 나오므로 이를 건조시키는 작업을 하는 동안 불규칙하게 높은 농도에 노출되기도 하고 약 10일에 한번은 자동세척기 내부 청소작업을 하는데 이때 매우 높은 농도에 노출된다. 이러한 경우 두 작업자간 노출농도는 완전히 다르므로 상관성이 낮아질 수 있다. 특히 청소작업을 할 경우 작업자1은 자동세척기 안으로 들어가고 작업자2는 밖에 있으므로 두 작업자간 노출농도 차이는 매우 크게 나타난다.



[그림 8] 작업자 간의 TCE 노출 상관관계비교.

2) 청소작업을 제외한 작업자 간의 TCE 노출 상관관계

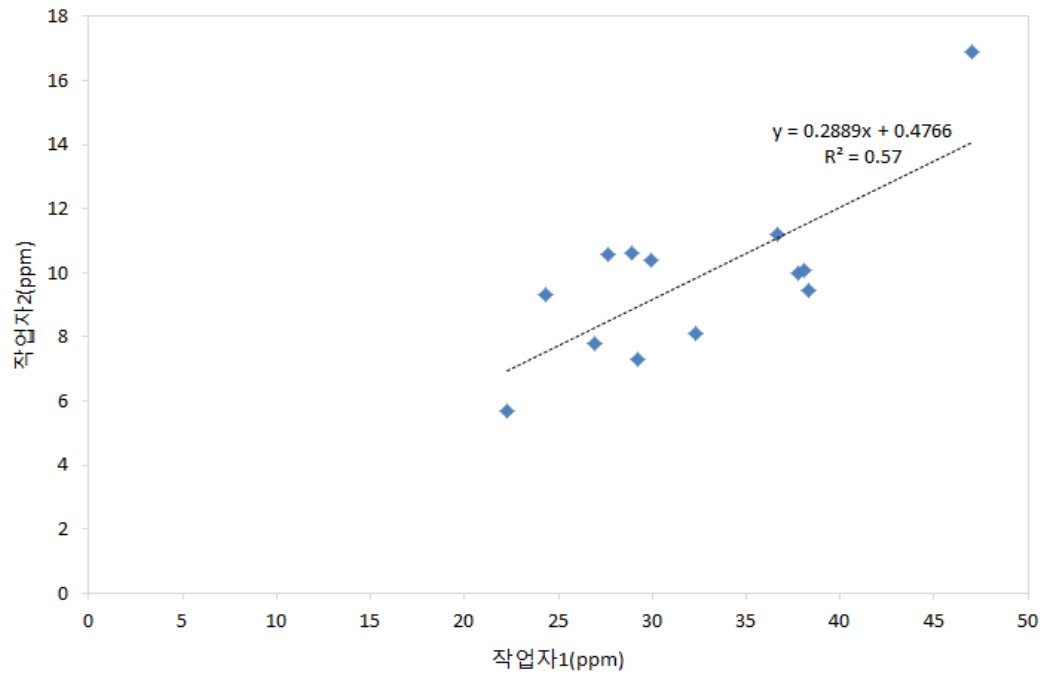
재생기청소작업 등의 비정상작업(임시작업)이 포함된 작업일을 제외하고 작업자간의 상관성을 비교한 결과 상관계수가 0.86으로 나타났다. 정상적인작업 동안 작업자1 주변에서 발생한 TCE가 작업자2의 노출에 영향을 주는 것으로 볼 수 있다.



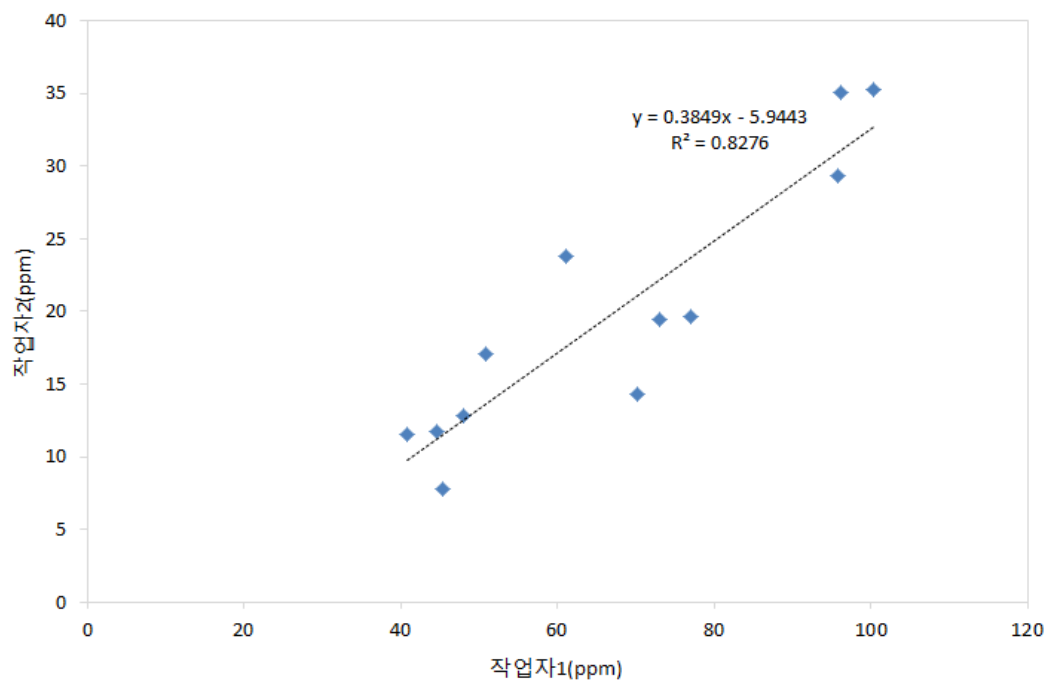
[그림 9] 청소작업일을 제외한 작업자 간의 TCE 노출 상관관계비교.

3) 작업방법에 따른 작업자 간의 TCE 노출 상관관계

작업방법에 따라 작업자 간의 TCE 노출의 상관관계를 비교해 본 결과 일반건조작업의 상관계수는 0.57로 나타났으며, 추가건조작업의 상관계수는 0.83으로 나타났다. 따라서 추가건조작업처럼 작업자1이 고농도의 TCE에 노출될 때 작업자2의 노출에 영향이 큰 것으로 나타난다.



[그림 10] 일반건조작업 작업자 간의 TCE 노출 상관관계비교.



[그림 11] 추가건조작업 작업자 간의 TCE 노출 상관관계비교.

제 5 절 비정상작업(임시작업) 시 단시간 TCE 노출 농도

본 연구대상 사업장은 세척기계 제품을 투입하고 세척된 제품을 박스에 담는 반복적인 정상작업 뿐만 아니라 자동세척기에 설치된 재생기(탈지된 기름을 TCE와 분리시켜 모아 주는 장치)를 청소를 하는 비정상적인 작업이 이루어지고 있다. 이러한 비정상작업에서 고농도의 유해인자에 더욱 노출되기 쉬우며, 비정상작업은 단시간 임시적으로 이루어지는 경우가 많아 우리나라 산업안전보건규칙 제420조 제8호에 따른 임시작업 및 같은 조 제9호에 따른 단시간 작업을 하는 공정은 작업환경측정 대상에서 제외되어 유해인자의 노출수준을 파악하기 어렵다.

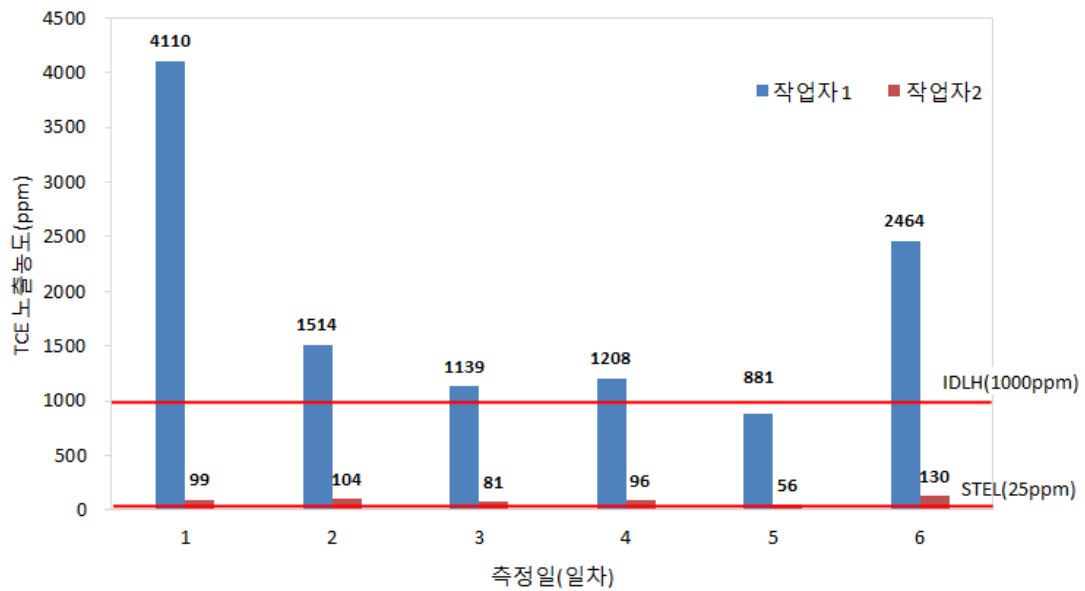
본 연구에서 비정상작업 시 노출되는 단시간 TCE 노출 농도를 파악하기 위하여 재생기 청소작업 동안 수동식 시료채취기를 부착하여 시료를 포집하였다.

재생기 청소작업 시 작업자 2명이 노출되는 TCE 단시간 노출농도의 측정 결과는 <표 8>과 같다.

작업자 2명 모두 단시간노출기준(STEL) 25 ppm을 모두 초과하고 있으며, 작업자1의 경우는 노출 즉시 생명에 위험을 줄 수 있는 농도(IDLH) 1000 ppm 총 6개의 시료 중 5개가 초과하고 있으며, 최고 4배 이상 초과하고 있다.

〈표 8〉 재생기 청소작업 시 TCE 단시간 노출농도

측정일	노출시간 (min)	노출농도(ppm)	
		작업자 1	작업자2
1	25	4110	99
2	30	1514	104
3	30	1139	81
4	35	1208	96
5	30	881	56
6	28	2464	130
AM	29	1886	94
SD	1.00	1220	25
GM	—	1627	92
GMD	—	1.77	1.33



[그림 12] 재생기 청소작업 시 TCE 단시간 노출농도.

제 6 절 각 작업자별 노출기준 초과확률

본 연구대상인 자동세척공정 작업자의 TCE 노출 농도 분포는 기하정규분포를 보이고 있어, 기하분포에 따른 노출기준 초과 확률을 계산 하였다. 작업자1의 기하평균 52.54 ppm, 기하표준편차 1.80이며, 작업자2의 기하평균 13.94 ppm, 기하표준편차 1.65이다.

기하분포에 따른 계산은 Z-Table을 이용한 통계를 활용하여 노출기준을 초과할 확률을 계산하였고, 노출기준 50%를 초과할 확률, 노출기준 100%를 초과할 확률, 노출기준 200%를 초과할 확률, 노출기준 500%를 초과할 확률을 각각 구하였다. 노출기준은 고용노동부고시 2013-38에 따른 TWA를 적용하였다.

한국 고용노동부에서 정한 TCE의 노출기준은 TWA(8시간 시간가중평균치)는 10 ppm이다. 하지만 본 연구대상 사업장은 하루평균 9.6시간 주 48시간 작업하고 있다. 이에 노출기준을 Brief & Scala의 보정방법으로 보정하였다. 보정한 노출기준은 7.8 ppm이며, 노출기준 초과확률은 <표 9>과 같다.

<표 9> 한국 고용노동부 노출기준 초과 확률

작업자	N	GM	GSD	노출기준 50% 초과확률	노출기준 100% 초과확률	노출기준 200% 초과확률	노출기준 500% 초과확률
1	30	52.54	1.80	100	99.9	98.1	69.5
2	30	13.94	1.65	99.5	74.5	41.3	2.0

일일 작업시간 동안 자동세척공정 작업자의 측정결과를 보면 전체 30개의 시료 중 노출기준 50%초과 확률을 보면 작업자1 100%, 작업자2 99.5%, 노출기준 100%초과 확률은 작업자1 99.9%, 작업자2 74.5%, 노출기준 200%초과 확률은 작업자1 98.1%, 작업자2 41.3%, 노출기준 500%초과 확률은 작업자1 69.5%, 작업자2 2.0%로 나타났다.

제 7 절 법적 작업환경측정 결과와의 비교

본 연구대상 사업장은 1년 2회 법적으로 작업환경측정을 하고 있는 사업장이다. 대상 사업장의 세척작업은 작업자가 세척조에 제품을 투입하여 세척하는 수동세척작업에서 2014년 5월 이후 자동세척기 작업으로 변경되었다. 따라서 자동세척기를 사용하여 세척작업을 시작한 2014년 하반기부터 2016년 상반기까지의 법적측정결과와 본 연구결과 농도를 비교하였다.

자동세척공정의 2년간 4회 측정 결과를 보면 작업자1은 최소값 5.2 ppm, 최대값 39.2 ppm, 기하평균 11.8 ppm, 기하표준편차 2.51로 나타났으며, 작업자2는 최소값 불검출, 최대값 23.6 ppm, 기하평균 7.2 ppm, 기하표준편차 3.95로 나타났다. 작업자1,2의 법적측정결과 작업자1의 농도가 더 높은 수준을 나타내었다.

〈표 10〉 법적 작업환경측정결과

측정년도	측정치	
	작업자1	작업자2
2014 하반기	5.2	1.6
2015 상반기	18.8	9.9
2015 하반기	39.2	23.6
2016 상반기	7.2	불검출
AM	18	12
SD	16	11
GM	11.8	7.2
GMD	2.51	3.95

기존 법적 작업환경측정결과와 본 연구결과의 비교는 〈표 11〉과 같다. 비교결과를 보면 작업자1의 법적측정결과의 기하평균은 11.8 ppm, 본 연구결과의 기하평균은 52.5 ppm으로 40.7 ppm의 농도차이를 보였고, 작업자2의 법적측정결과의 기하평균은 7.2 ppm, 본 연구결과의 기하평균은 13.9 ppm으로

6.7 ppm의 농도차이를 나타냈다. 비교 결과를 볼 때 작업자1의 법적측정결과는 과소평가 되었고, 법적측정결과의 농도 분포가 [그림 4]의 작업자1 TCE 노출 농도분포군에서 저농도군으로 나타났다.

〈표 11〉 법적측정 결과와 본 연구 결과 비교

구분	작업자1		작업자2	
	법적측정결과	본연구결과	법적측정결과	본연구결과
N	4	30	4	30
GM(ppm)	11.8	52.5	7.2	13.9
GSD	2.51	1.8	3.95	1.65
95% LCL(ppm)	2.3	47.3	8.1	12.7
95% UCL(ppm)	33.7	78.8	15.9	18.9
% > OEL	60.9	99.8	40.6	74.7

제 8 절 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기의 비교

본 연구에서 시료채취는 모두 수동식 시료채취기를 사용하여 측정하였다. 이러한 수동식 시료채취기의 경우 능동식 시료채취기에 비해 정확도가 떨어진다는 연구결과들이 있었다. 선행 연구결과를 보면 노말헥산의 경우 50 ppm 미만과 벤젠 10 ppm 미만에서는 수동식 시료채취기가 과소평가될 수 있고, 그 이상의 고농도에서는 과대평가 될 수 있다고 한다(최현기, 2003). 따라서 본 연구에서 사용할 수동식 시료 채취기의 정확도를 검증하기 위하여 수동식시료 채취기 5개와 활성탄관 3개를 가로 30 cm, 세로 22 cm 합판에 부착하여 지역시료로 동시에 시료를 채취하였다. 그 결과는 〈표 12〉와 같다.

수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기의 차이를 비교하기 t-test를 시행하였다. 수동식 시료채취기의 분석결과 4.13 ± 0.09 ppm이었으며, 능동식 시료채취기 분석 결과 4.24 ± 0.89 ppm이었다. 수동식 시료채취기보다 능동식

시료채취기로 측정한 농도가 더 높게 분석되었지만, t-test 결과는 통계적으로 유의하지 않았다(p=0.791). 이는 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기의 결과에는 차이가 없다고 할 수 있다.

〈표 12〉 수동식 시료채취기와 능동식 시료채취기 비교

실험횟수	수동식		능동식	
	N	TCE(ppm)	N	TCE(ppm)
1	5	3.99	3	4.24
		4.15		
		4.15		5.12
		4.13		
		4.24		3.35
AM		4.1		4.2
SD		0.09		0.89
t		-0.278		
p-value		0.791		

제 9 절 시료 채취 위치에 따른 비교

본 연구에서 8월 10일 측정한 단시간노출 농도 및 일일 노출농도 결과인 〈표 13〉를 보면, 재생기 청소작업 시 노출시간 25분 동안 노출농도는 4109 ppm이며, 노출시간 450분 동안 일일노출 농도는 212 ppm이다. 재생기 청소작업 시 노출농도를 450분 동안 노출시간으로 보정하면 228 ppm으로 일일 노출 농도 212 ppm 보다 높게 나타났다.

재생기 청소 작업 후 시료를 탈착하여 TCE 노출을 막고자 아이스박스에 보관하였으며, 세척기 청소 작업 시 TCE 노출 시료는 우측 옷깃, 일일노출 농도 시료는 좌측 옷깃에 부착하였다. 따라서 시료 채취 위치에 따른 차이가 있을 것으로 판단되어 재생기 청소 작업시간 동안 작업자1에게 수동식 시료채취기를 좌·우 2개씩 부착하여 시료를 측정하였고 측정결과는 〈표 14〉과 같다.

측정결과를 좌·우 비교 하였을 때 우측시료의 농도가 높게 측정되었으며, 평균 4.91%의 차이가 있었다. 이는 작업자가 오른손을 주로 사용하여 우측에 부착한 시료가 재생기 쪽으로 향해 있어 농도가 높게 나온 것으로 추측된다.

〈표 13〉 단시간노출 농도 및 일일노출 농도

측정일	세척기청소(우)		TWA(좌)	
	노출시간(min)	노출농도(ppm)	노출시간(min)	노출농도(ppm)
2016. 8. 10	25	4109	450	212

〈표 14〉 시료 채취 위치에 따른 비교

시료번호	채취위치(ppm)		차이(%)
	좌(A)	우(B)	
1	2383	2464	3.29
2	2572	2746	6.34
AM	2477	2605	4.91

제 4 장 결 론

본 연구는 인천지역에 위치한 자동차부품 생산 사업장의 TCE 자동세척공정에서 2016년 8월 9일부터 2016년 9월 23일까지 30일간 TCE 노출농도를 측정하여 일간변이 특성을 파악하였다. 측정대상자는 자동세척기에 제품을 투입하는 작업자 1명과 세척된 제품을 박스에 담은 작업자 1명 등 2명이었다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 세척공정 작업자1의 30일간 측정한 1일 평균노출농도는 22.3~212.1 ppm으로 최저와 최고의 차이가 약 10배 정도로 크게 나타났다. 모든 날의 측정치가 우리나라 노출기준 10 ppm을 최소 2배 이상 초과하였으며 높을 때는 노출기준의 20배나 초과하고 있는 것으로 나타났다. 전체 30개 시료의 산술평균 60 ppm은 노출기준을 약 6배였다. 기하평균은 52.5 ppm, 기하표준편차는 1.80이었다.

2. 작업자2의 30일간 노출농도는 5.7~35.3 ppm으로 나타났다. 30일 중 22일(77%)이 노출기준 10 ppm을 초과하는 것으로 나타났다. 산술평균 15.8 ppm은 기준치의 1.6배 초과하고 있었다. 기하평균은 13.9 ppm, 기하표준편차는 1.65이었다.

3. 각 작업자의 노출농도를 대수정규분포확률지에 나타낸 결과, 작업자1의 노출농도분포는 대략 3개의 직선상이 나타났고, 작업자2는 2개의 직선상이 나타났다. 대수정규분포확률지에 직선상이 나타나는 것은 유사한 노출특성을 나타내는 것이라고 볼 수 있다.

4. 실제 세척작업시 TCE 노출가능성과 수준을 고려하여 작업을 분류하면 작업자1은 저, 중, 고의 3개 군(群)으로 구분할 수 있었다. 저농도 군은 통상적인 세척작업을 할 때의 노출농도를 말하고, 중농도 군은 세척된 제품에 TCE가 남아 있어 작업자가 세척망을 흔들어 TCE를 제거하는 추가건조작업을 하는 경우의 노출농도를 말하며, 고농도 군은 짧은 시간이지만 노출농도가 극히 높은 자동세척기 내부청소를 하는 날의 노출농도군이다.

5. 자동세척기 내부 청소작업을 하지 않는 작업자2는 제품에 남아 있는 TCE를 작업자1이 세척망을 흔들어 제거하는 추가건조작업의 유무에 따라 2

개의 노출농도군으로 나누어지는 것으로 나타났다.

6. 두 작업자 간의 TCE 노출농도의 상관관계를 살펴본 결과, 30일 동안의 자료에 대한 상관계수는 0.47로 낮게 나타났으나 청소작업이 있었던 5일을 제외한 25일 동안의 자료에서는 두 작업자간 상관계수가 0.86으로 높게 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.
- 권영규. (2013). 『작업환경측정 시료 채취기의 부착 위치에 따른 유기화합물의 농도 비교 연구』. 서울: 한양대학교 대학원.
- 김광훈. (2016). 『도금업 세척공정 작업자의 트리클로로에틸렌 노출농도 특성 및 일간 변이에 관한 연구』. 서울: 한성대학교 대학원.
- 김효진. (2016). 『트리클로로에틸렌 세척공정에서의 트리클로로에틸렌 노출 농도 일간 변이에 관한 연구』. 서울: 한성대학교 대학원.
- 백남원, 박동욱, 윤충식, 신용철. (2002). 『작업환경측정 및 평가』. 서울: 신광출판사.
- 안진수. (2016). 『모 조선업 도장작업자 유기용제 노출 농도의 특성 및 일간 변이에 관한 연구』. 서울: 한성대학교 대학원.
- 이광용, 박두용, 정지연. (2004). 확산식 시료채취기에서 기류제어 막 공극 크기에 따른 시료채취율의 변화특성에 관한 연구. 『한국산업위생학회지』, 14(2), 125-133.
- 이정인. (2000). 『작업환경측정의 신뢰성 확보 방안에 관한 연구』. 경상북도: 경산대학교.
- 최연기. (2003). 『원유정제공정에서 발생하는 유기용제 측정을 위한 확산포집기와 능동포집기의 비교 연구』. 서울: 서울대학교 보건대학원.

한국산업안전공단. (2007). 『화학물질 유통·사용 실태조사 결과보고서, 트리클로로에틸렌』. 인천: 한국산업안전보건공단.

한국산업안전공단. (2007). 『수동식 유기용제 시료채취기 최적조건 연구』. 인천: 한국산업안전보건공단.

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.

Mary Eide. (2004). *Determination of the Sampling Rate Variation for SKC UMEx 100 Passive Samplers*. Sandy UT 84070-6406. NW, Washington DC: OSHA.

ABSTRACT

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

Dong Chan Kim

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

One of the issues in industrial hygiene field is how to evaluate the worker's exposure when a few of workers are conducting irregular tasks or when their tasks are varied irregularly along the time. This study was conducted to evaluate daily variations of workers' exposure to trichloroethylene (TCE) in a degreasing process at a small sized industry where various metal parts are produced.

Workers' exposures to TCE were measured for 30 days from 9th August to 23rd September 2016 for 2 workers who work at an automatic TCE degreasing machine in a metal industry.

Daily time weighted average exposure levels to TCE was 22.3~212.1 ppm for the Worker 1 who works to move the metal parts from the outlet of the degreasing machine to loading area right after the degreasing. Sometimes Worker 1 has to remove TCE liquid from the metal parts by shaking before loading right after degreasing since TCE

liquid remained on the surface of metal parts sometimes. While doing this task, Worker 1 was exposed to high concentration of TCE because TCE was easily evaporated into the breathing zone during this task.

All data of the time weighted average (TWA) for Worker 1 exceeded the Korean Occupational Exposure Limit (K-OEL) at least twice to 20 times. Average of TWAs for the Worker 1 for 30 days was 60 ppm. Exposure levels for Worker 2 was 5.7~35.3 ppm for 30 days. The daily TWAs for 22 days(77%) exceeded the K-OEL. Average of 30 days was 15.8 ppm.

The workers' exposure data for 30 days showed a log-normal distribution. Geometric mean(GM) was 52.5 ppm and geometric standard deviation(GSD) was 1.80 for Worker 1. GM and GSD was 13.9 ppm and 1.65 for Worker 2.

【Keywords】 Trichloroethylene, TCE, Degreasing, Inter-day variation,
Daily variation