creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

석 사 학 위 논 문

1-Bromopropane 세척공정에서 공기 중 1-Bromopropane 농도를 평가하기 위한 지역시료와 개인시료의 장단점에 관한 연구

HANSUNG UNIVERSITY

2 0 1 7 년

한성대학교 대학원
기 계 시 스 템 공 학 과
산 업 위 생 공 학 전 공
황 인 호

석 사 학 위 논 문

지도교수 박두용

1-Bromopropane 세척공정에서 공기 중 1-Bromopropane 농도를 평가하기 위한 지역시료와 개인시료의 장단점에 관한 연구

A Case Study on Characteristics of Airborne 1-Bromopropane Concentrations between Area and Personal Samples in a Degreasing Process

HANSUNG UNIVERSITY

2016년12월 일

한성대학교 대학원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

황 인 호

석 사 학 위 논 문
지도교수 박두용

1-Bromopropane 세척공정에서 공기 중 1-Bromopropane 농도를 평가하기 위한 지역시료와 개인시료의 장단점에 관한 연구

A Case Study on Characteristics of Airborne 1-Bromopropane Concentrations between Area and Personal Samples in a Degreasing Process

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2016년12월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
황 인 호

HANSUNG UNIVERSITY

국 문 초 록

1-Bromopropane 세척공정에서 공기 중 1-Bromopropane 농도를 평가하기 위한 지역시료와 개인시료의 장단점에 관한 연구

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
황 인 호

본 연구는 1-Bromopropane이 95% 함유된 세척제(제품명 CleanSafe-606)로 금속부품을 세척하는 공정이 있는 대구광역시에 소재한 근로자 100명 규모의 의료용 기기 제조공장에서 지역시료 채취 방법을 통한 각 장소별 1-Bromopropane의 공기 중 농도를 측정하여 발생수준과 특성을 파악하였다. 이를 바탕으로 작업자가 작업하는 동안 1일 시간가중 평균노출농도를 추정하여 동시에 측정한 개인 노출농도와의 비교를 통해 지역시료로 추정한 개인노출농도의 정확도를 살펴보았다. 세척실은 약 5.5 m^2의 좁은 공간으로 CNC 공정의 한쪽에 위치하고 있었으나 완전히 격리되어 있었다.

지역시료 채취 결과 세척실 내부의 1-Bromopropane 농도는 151±61 ppm 수준으로 노출기준 25 ppm의 약 6배나 높았다. 작업자가 세척실 내부에 머무르는 시간은 평균 7분이었고 최소 2분에서 최대 10분에 불과했다. 세척실 밖의 CNC 공정에서는 평소 1-Bromopropane이 검출되지 않았다. 그러나 세척작업 후 건조가 덜 된 부품은 세척실을 나와 문 앞에서 압축공기로

건조시키는 작업을 하며, 이 경우에는 1-Bromopropane의 공기 중 농도가 약 6~7 ppm인 것으로 확인 되었으며 개인 노출농도를 측정한 결과는 평균 11.7ppm으로 나타났다. 동일한 방법으로 각 장소별로 공기 중 농도를 측정한 결과와 각 장소에 머무르는 시간을 바탕으로 작업자의 1일 평균노출농도를 추정한 결과는 평균 3.8 ppm으로 실제 개인노출농도 측정치의 32.4%에 불과하여 과소평가되는 것으로 나타났다.

개인노출농도를 능동식 시료채위 방법으로 측정한 1-Bromopropane 농도는 19±13.0 ppm이었으나 동시에 수동식 시료채취기로 측정한 것은 11.7±9.6 ppm으로 나타나 큰 차이가 발생했다. 이것은 종종 세척 직후 약 5분 정도의 짧은 시간동안 압축공기를 분사하여 건조시키는 작업이 있는데 이때 1-Bromopropane 순간농도는 400~1,300 ppm까지 치솟는다. 이와 같이 짧은 시간에 고농도로 올라가는 경우, 활성탄을 이용한 능동식 시료 채취 방법은 순간적으로 시료를 포집하는데 아무런 문제가 없지만 수동식 시료채취기는 느린 확산속도 때문에 시료채취가 충분히 되지 못하는 것으로 추측된다. 지역시료채취방법으로 측정한 결과, 오염원 및 확산경로 그리고 개선해야 할 사항 및 지점을 정확히 파악할 수 있었다.

【주요어】 1-브로모프로판, 1-bromorpropane, 개인시료와 지역시료, 개인노출추정, 시간가중 평균노출농도.

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구 필요성 ····· 1

제 2 장 연구대상 및 방법 ····· 3

제 1 절 대상공정 ····· 3
제 2 절 측정물질 ····· 3
제 3 절 측정방법 ····· 4
제 4 절 측정위치 ····· 5
제 5 절 분석방법 ····· 8

제 3 장 연 구 결 과 ····· 9

제 1 절 총괄 ····· 9
1) 세척작업자 작업위치도 ····· 9
2) 장소 및 측정 조건의 파악 ····· 10
제 2 절 지역시료 채취 결과 ····· 13
1) 지역시료 채취 위치별 결과 ····· 13
2) 농도 변이 ····· 19
가) 측정 1일차 ····· 19
나) 측정 2일차 ····· 20
다) 측정 3일차 ····· 21

라) 측정 4, 5일차 ····· 22
제 3 절 지역시료로부터 개인 노출 시간가중평균농도(TWA) 추정 23
1) 노출농도를 고정한 시간변동에 따른 시간가중평균농도(TWA) 24
2) 시간을 고정한 농도변동에 따른 시간가중 평균농도(TWA) ····· 25
3) Worst 시간가중평균농도(TWA) ····· 25
제 4 절 지역시료로부터 개인 노출 95% 신뢰구간 평가 ····· 26
1) 95% 신뢰구간 농도범위 계산 ····· 26
2) Worst 농도, Worst 시간 적용 95% UCL ····· 27
3) 개인시료 채취 결과와 비교 평가 ····· 27
4) 최근 5년간 법적 작업환경측정결과와의 비교 평가 ····· 29
제 5 절 지역시료로부터 개인 노출 수준 평가 문제점 고찰 ····· 30

제 4 장 결 론 ····· 31

참 고 문 헌 ····· 33

ABSTRACT ····· 35

HANSUNG UNIVERSITY

표 목 차

<표 1 > 고용노동부와 각국의 1-Bromopropane의 노출기준 ····· 4
<표 2 > 1-Bromopropane 세척작업 형태 및 내용 ····· 5
<표 3 > 가스크로마토그래피의분석조건 ····· 8
<표 4 > 측정일간 1-Bromopropane 세척작업 내용 ····· 10
<표 5 > 측정일 작업장 내부 외부 온습도 조건 ····· 11
<표 6 > 세척실 내부 1-Bromopropane 측정결과 ····· 13
<표 7 > 세척실 외부 1m지점 1-Bromopropane 측정결과 ····· 15
<표 8 > 세척실 외부 3m지점 1-Bromopropane 측정결과 ····· 16
<표 9 > 세척실 외부 1m, 3m지점 1-Bromopropane 측정결과 ····· 17
<표 10> 1일차 지역시료 측정 결과 ····· 19
<표 11> 2일차 지역시료 측정 결과 ····· 20
<표 12> 3일차 지역시료 측정 결과 ····· 21
<표 13> 4, 5일차 지역시료 측정 결과 ····· 22
<표 14> 1-Bromopropane 세척작업 시간변동 구분 ····· 24
<표 15> 1-Bromopropane 세척작업 농도변동 구분 ····· 24
<표 16> 시간변동에 따른 시간가중평균농도 추정결과 ····· 25
<표 17> 농도변동에 다른 시간가중 평균농도 추정결과 ····· 25
<표 18> 1-Bromopropane 세척작업 농도 및 시간변동 구분 ····· 27
<표 19> 95% 신뢰구간 농도의 범위 계산결과 ····· 27
<표 20> 1-Bromopropane 개인시료채취 측정결과 ····· 28
<표 21> 지역시료 채취와 개인시료채취 결과 비교 ····· 28
<표 22> 최근 5년간 작업환경측정 결과(2011-2015) ····· 29
<표 23> 지역시료 채취결과와 작업환경측정결과 비교 ····· 29
<표 24> 1-Bromopropane 세척 작업별 순간농도
개인시료 채취 측정 결과 ····· 30

그 림 목 차

[그림 1] 세척실 내부 측정위치(A) ····· 6
[그림 2] 세척실 외부 1m, 3m 지점의 측정위치(B) ····· 6
[그림 3] 채취방법의 비교 평가를 위한 세척실 내부 C측정위치 ····· 7
[그림 4] 세척실 외부 3m 반경 측정위치(D) ····· 7
[그림 5] 측정대상 CNC 공장과 1-bromopropane 세척실 위치 ····· 9
[그림 6] 세척작업장 내부 전체환기 설비 ····· 12
[그림 7] 세척작업장 밀폐를 위해 설치된 방화문 ····· 12
[그림 8] 세척실 내부1-Bromopropane 농도 분포도 ····· 14
[그림 9] 세척실 외부 1-Bromopropane 농도 분포도 ····· 18
[그림 10] 세척실 내·외부 1-Bromopropane 농도 분포도 ····· 18
[그림 11] 지역시료로부터 개인노출농도를 추정하기 위한
농도수준과 노출시간의 매트릭스 ····· 23

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 필요성

우리나라에 처음 작업환경측정제도를 도입할 때, 기본적으로 고정된 작업장소에 시료를 채취하는 지역시료 채취를 기본으로 설계되었다. 당시 외국의 제도로는 주로 일본의 작업환경측정 제도를 참고했기 때문이기도 하고, 당시의 측정기구는 개인용 시료를 채취하기에 적합하지 않은 것이 많았기 때문이다. 1980년대 후반 들어서 미국 등과 같이 보다 정확한 개인노출을 평가하기 위해서는 개인시료 채취가 필요하다는 주장이 대두되면서 우리나라 제도도 개인시료 채취를 기본으로 측정하는 방향으로 바뀌었다(윤명조 등, 1993).

현재의 법적 작업환경측정 방법은 2003년도에 개정된 산업안전보건법 시행규칙 제93조의 3에 의거하고 있다. 법적인 작업환경측정을 할 때에는 모든 측정을 개인시료채취방법으로 하되 개인시료채취방법이 곤란할 경우에는 그 사유를 측정결과표에 분명하게 밝히는 것을 전제로 지역시료채취 방법을 허용하고 있다.

지역시료채취방법 및 측정건수에 대한 기준은 고용노동부 고시(작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시; 고용노동부, 2016)에서 제시하고 있지만 측정결과의 평가에 있어서는 지역시료 채취결과와 장시간 개인시료채취결과의 차별화된 평가 방법 및 기준은 제시하고 있지 않다(안전보건공단, 2003).

개인시료는 작업자의 작업내용 및 작업량의 변화, 이동 등에 따라 변하는 개인의 노출량을 보다 정확하게 측정할 수 있다는 장점이 있다. 특히 동일한 장소에서 동일한 작업을 하는 집단이 있을 경우, 무작위로 일정 수 이상의 개인시료를 채취하면 전체 집단의 노출범위와 이로부터 노출초과 확률 등을 산출할 수 있다. 동일한 노출집단에 속하는 다수의 근로자를 동시에 측정하면 유사노출그룹별로 유해물질의 노출농도 범위와 분포를 통계적으로 추정할 수 있기 때문이다(Nelson A. Leide, 1977). 이와 같은 동일 작업 집단을 산업위생학 분야에서는 유사노출집단(Similar Exposure Group; SEG)이라고 한다.

그러나 최근 이러한 방식을 적용하기 어려운 사업장이 급격히 증가하고 있다. 설비의 자동화와 외주화 등으로 인하여 유해물질을 취급하는 단위작업의 근로자 수가 소수로 줄어들었으며, 동일한 유해화학물질을 취급하는 근로자라고 하더라도 각자 맡은 일이 다른 경우가 많아서 개인별로 노출되는 농도가 차이나는 경우가 많다. 또한 각 개인들의 노출농도는 작업량이나 작업내용, 환경 등의 영향으로 매일매일의 노출농도간 변이가 상당히 크다. 즉 일간 변이가 커서 어느 시점에 하루 동안 다수의 개인시료를 측정하여 측정하지 않은 날의 노출정도나 초과노출 가능성을 평가하는 방식이 잘 맞지 않거나 적용하기 어려운 경우가 많아졌다.

본 연구는 단위작업장소가 다소 명확하게 구분되어 있어 공간적 변이가 다소 적고 화학물질 취급 시간이 제한적으로 근로자의 유해화학물질 취급 시간 파악이 용이한 1-Bromopropane 세척작업을 대상으로 지역시료 채취 방법에 의한 측정을 실시하고 그 결과를 통계적으로 평가하여 작업자의 작업시간에 따른 근로자 개인 노출농도 범위와 분포를 추정하는 방안을 제시하고자 하였다.

HANSUNG UNIVERSITY

제 2 장 연구대상 및 방법

제 1 절 대상공정

본 연구의 측정대상은 대구광역시에 소재한 근로자 100명 정도의 의료용 기기 제조업이었다. 이 사업장에는 제품을 세척하는 세척실이 있다. 세척실에서 사용하는 세척제(제품명 Clean Safe-606)는 주성분이 1-Bromopropane으로 함유량은 95%였다. 세척작업은 통상적 1명이 담당하고 있었다. 세척실은 격리되어 있었으나 세척 후 제품을 세척실 밖으로 옮겨 건조하기 때문에 공장에 1-Bromopropane이 오염되고 있었다.

세척작업은 가공된 제품에 묻어있는 금속가공유 및 쇳가루(chip) 등을 제거하기 위해 세척조에서 1차 수동 세척을 한 후, 2차로 자동세척기에 넣어 세척한다. 세척실 크기는 2.4 m(L) × 2.3 m(W) × 3.5 m(H)였고, 수동 세척조는 스테인레스로 된 용기 4개가 트레이에 고정되어 있었다. 각 용기의 크기는 0.35 m(L) × 0.325 m(W) × 0.15 m(H)였다. 자동 세척기는 밀폐형으로 크기는 1 m(L) × 1.1 m(W) × 2 m(H)였다.

세척작업실에서 소모되어 보충해주는 1-Bromopropane의 양은 월 평균 210 L로, 1일 약 10 L정도였다. 증발되는 증기는 대부분 전체환기 설비를 통해 외부로 배출되지만 일부는 작업장 내부공기와 혼합되어 근로자에게 노출되고 있었다.

제 2 절 측정물질

금속가공제품의 탈지나 세척작업에 가장 많이 사용되는 유기용제는 Trichloroethylene(TCE)이다. 본 연구의 측정 대상 물질인 1-Bromopropane은 Trichloroethylene(TCE) 대체물질로 널리 사용된다. 용도는 TCE와 비슷하게 탈지, 스프레이 접착제, 및 코팅 용매 등으로 사용된다. 1-Bromopropane은 무색의 액체로 분자량은 122.99, 끓는점은 71℃, 증기압은 110.8 ㎜Hg(20℃)이다. 상온에서 액체로 존재하지만 증기압이 높아 휘발이 잘 된다.

인체에 호흡이나 피부로 흡수가 되어 눈과 호흡기계 자극 증상 및 다발성 신경병증을 일으킨다는 보고가 있다. 동물실험결과 250 ppm 또는 500 ppm 이상의 고농도 노출 시 생식기 장애가 유발되었다는 보고가 있다(안전보건공단, 2016).

우리나라 고용노동부에서 설정한 1-Bromopropane의 노출기준은 <표 1>과 같이 8시간 시간가중평균치(Tine Weighted Average; TWA)로 25ppm이다. ACGIH의 TLV는 10 ppm이며, 일본은 노출기준이 설정되어 있지 않다.

<표 1> 고용노동부와 각국의 1-Bromopropane의 노출기준

설정기관	TWA	STEL	비고
한국 고용노동부 (2016)	25 ppm	없음	발암성 2, 생식독성 1B
ACGIH (TLV 2015)	10 ppm	없음	동물과 사람에게 발암성 규명 안됨
일본 후생노동성 (2014)	없음	없음	없음

제 3 절 측정방법

본 연구에서는 세척작업의 유형별로 작업시간을 파악하고 세척실 내부에서 이루어지는 수동세척작업과 자동세척작업 시 공기 중 농도를 측정하였다. 또한 세척실 외부에서 압축공기를 불어 세척된 제품을 건조하는 압축공기 건조 작업의 위치에서도 공기 중 농도를 측정하였다.

<표 2> 1-Bromopropane 세척작업 형태 및 내용

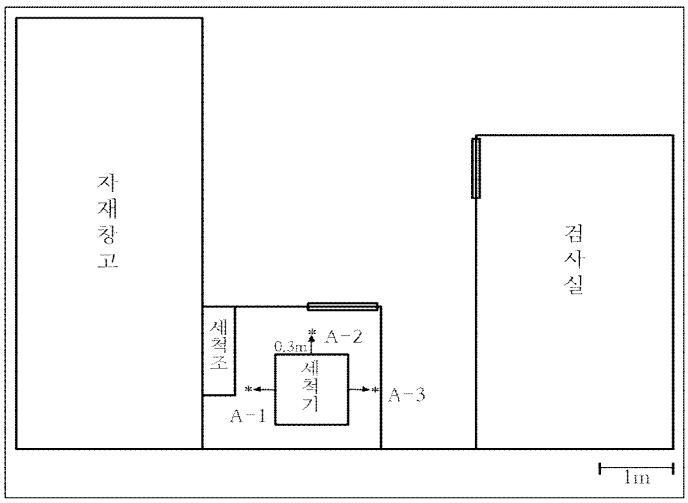
작업위치	작업형태	작업내용	작업시간 / 1일
세척실 내부	수동세척작업	세척조에서 채를 이용 1차 세척	10분 이하
	자동세척작업	자동세척기에 투입	6분 이하
세척실 외부 1m	압축공기 건조	채에 압축공기를 분사 칩을 분리하고 제품을 건조	10분 이하
세척실 외부 3m	제품검사	선별완료된 제품을 검사실로 운반, 검사	30분 이하

지역시료 채취 방법은 작업자 호흡 영역을 고려하여 지상 1.5 m 높이에서 측정하였으며, 개인노출정도를 비교하기 위해 개인시료도 채취하였다.

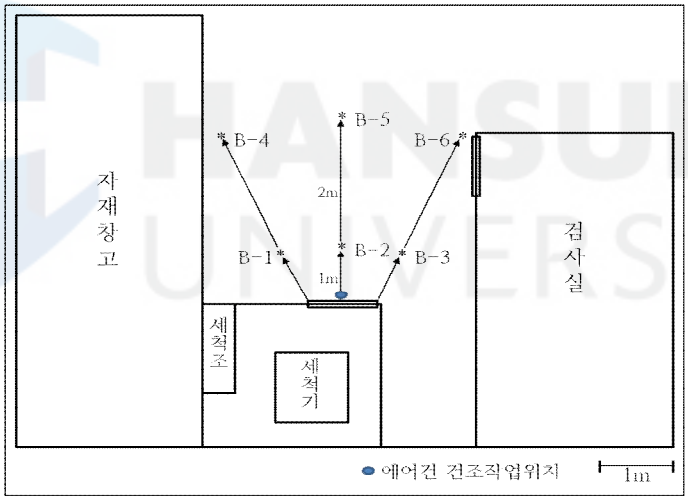
시료채취는 능동식 시료채취 방법을 사용하였다. 저유량 공기포집펌프(Gilian Dual Mode Low Flow Sampler; Model LFS 113D)로 시료를 채취하였고, 시료채취 전후에 용적유량계(Bios Defender 510-M)로 공기 유량을 보정(calibration)하였다. 시료채취 매체로는 활성탄관(미국 SKC사 226-01)을 사용하였다.

제 4 절 측정위치

수동 및 자동세척 작업이 이루어지는 세척실 내부는 [그림 1]과 같다. 시료채취는 자동 세척기기를 중심으로 0.3m 간격으로 채취하였으며 압축공기 건조작업 및 세척실 외부는 [그림 2]와 같이 세척실로부터 1m와 3m 떨어진 지점에서 지역시료를 채취하였다.

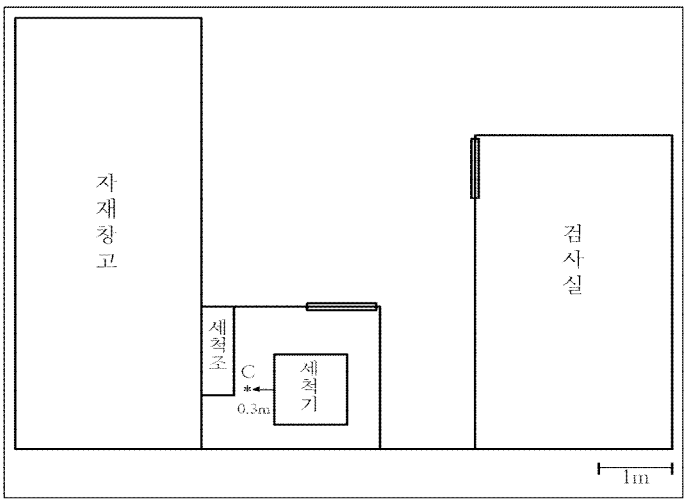


[그림 1] 세척실 내부 측정위치(A).

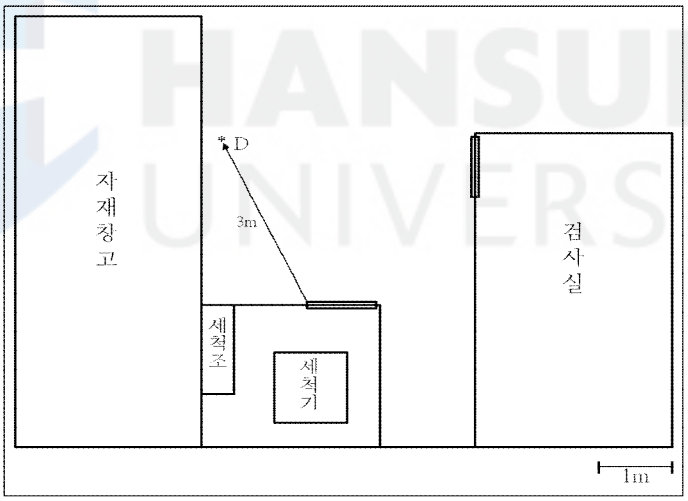


[그림 2] 세척실 외부 1m, 3m 지점의 측정위치(B).

능동시료채취방법과 수동시료채취방법의 비교 평가를 위하여 세척실 내부에 [그림 3]와 같이 세척기와 0.3m 떨어진 기존 A-1위치에 측정을 하였으며 세척 실 외부 B-4측정위치에 [그림 4]와 같이 세척실 외부 3m 떨어진 위치에 측정을 실시하였다.



[그림 3] 채취방법의 비교 평가를 위한 세척실 내부 C측정위치.



[그림 4] 세척실 외부 3m 반경 측정위치(D).

지역시료 채취 방법에 의한 농도 평가 결과와 개인노출농도를 비교 평가하기 위한 개인시료 채취는 근로자의 호흡영역인(Breathing zone) 어깨의 카라 끝에 시료채취기를 장착하였으며 능동식 시료채취기와 수동식 시료채취기는 모두 오른쪽 어깨에 설치하였다.

제 5 절 분석방법

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

<표 3> 가스크로마토그래피의분석조건

Column.	DB-wax(30 m×0.25 mm ID×0.25 um, Agilent)
Column oven Temp.	40 ℃ - 90℃(10 ℃/min, 5min)
Injector Temp.	230 ℃ (Split ratio: 110)
Detector Temp.	250 ℃
Carrier gas.	N2, 1.0 mL/min
Injection volume	1 ㎕

수동식 시료채취기(3M OVM #3500)의 분석은 3M사에서 제공한 'Analysis Guide'를 참고로 하였으며 분석결과 시료의 농도는 (<식 1>)의 방법으로 계산하였다.

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

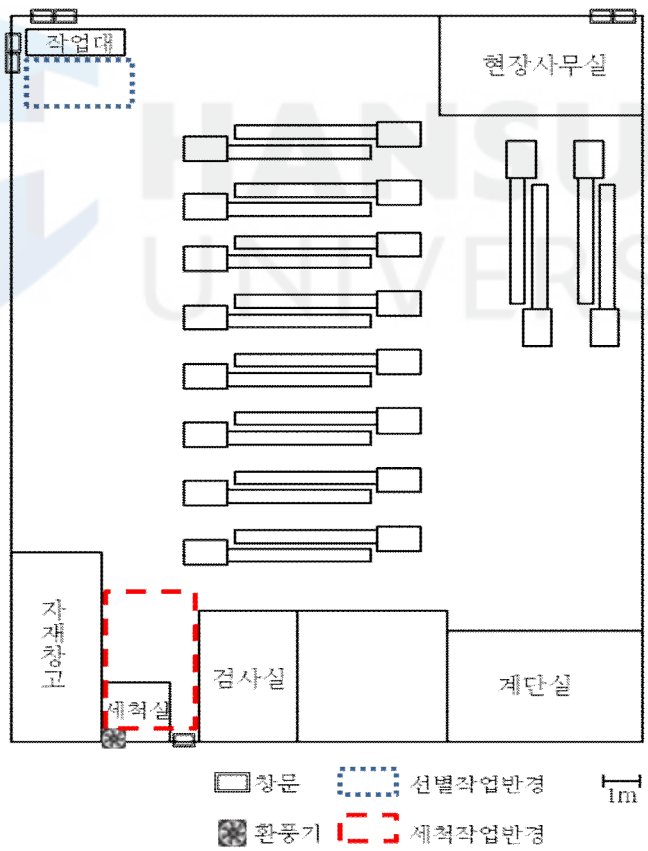
<식 1>에서 회수된 오염원의 무게(mg), r은 회수율, t는 측정시간(min) 그리고 A는 채취 유량을 포함한 ppm 환산에 필요한 계산 상수이다. A는 3M사에서 제시한 값으로 계산하였다.

제 3 장 연 구 결 과

제 1 절 총괄

1) 세척작업자 작업위치도

본 연구대상 작업장은 CNC(computer numerical control)가공 공장이었다. 작업장 전체의 크기 20 m(L) × 26 m(W) × 3.5 m(H)였다. 세척실은 작업장 안쪽의 검사실과 자재창고 사이에 있었으며, 크기는 2.4 m(L) × 2.3 m(W) × 3.5 m(H)였다.



[그림 5] 측정대상 CNC 공장과 1-bromopropane 세척실 위치.

2) 장소 및 측정 조건의 파악

CNC가공 공정의 작업자는 총 15명으로 확인 되었으며, 1-Bromopropane 세척작업은 작업자 1명이 전담하고 있었다. 그리고 세척작업자는 직접 세척작업을 하지 않는 시간에는 주로 세척 후 건조가 완료된 제품을 선별하는 작업을 하였다.

선별작업을 하는 장소는 세척실로부터 약 20m 떨어진 곳이어서 세척기에서 발산된 1-Bromopropane이 검출되지는 않았다. 그러나 세척실로부터 가까운 거리에 있는 검사실로의 운반 또는 검사 작업을 할 때는 1-Bromopropane에 노출되는 것으로 나타났다.

본 연구의 5일 동안 측정하였으며 측정을 하는 동안 세척작업 내용은 <표 4>와 같다.

<표 4> 측정일간 1-Bromopropane 세척작업 내용

측정일	작업내용
05. 09	수동세척 및 압축공기 건조 작업 없음 자동세척작업 1회 2분 검사작업 10분
05. 10	수동세척 6분 압축공기 건조작업 8분 자동세척 2회 4분 검사작업 20분
05. 11	수동세척 5분 압축공기 건조작업 5분 자동세척 2회 4분 검사작업 20분
09. 20	수동세척 4분 압축공기 건조작업 4분 자동세척 2회 5분 검사작업 20분
09. 21	수동세척 2분 압축공기 건조작업 4분 자동세척 2회 5분 검사작업 20분

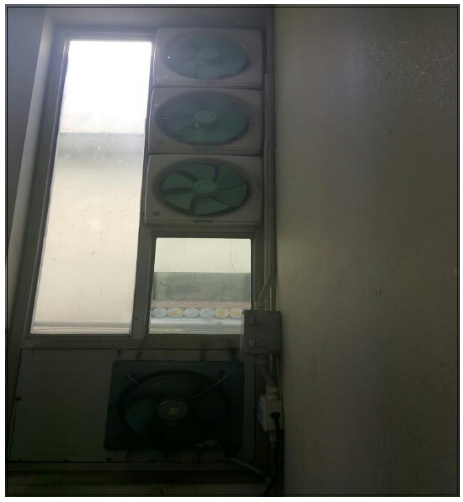
- 5월 9일의 경우 휴일 다음날로 전날 가공 작업이 이루어지지 않아 수동세척작업 및 압축공기 건조 작업이 없는 것으로 확인되었다.

측정하는 동안 세척작업장 내외부 온·습도 조건은 <표 5>과 같다. 5월 10일, 11일, 9월 21일 작업장의 습도가 약간 높아진 것은 당일 비가 내렸기 때문인 것으로 보인다.

<표 5> 측정일 작업장 내부 외부 온습도 조건

측정일	세척실 온도, 습도조건			옥외 온도, 습도조건 (기상청 자료참조)		
	시간	온도(℃)	습도(%)	시간	온도(℃)	습도(%)
2016. 05. 09	09:30	23	40	09:00	19.2	45
	13:30	25	39	13:00	21.5	43
2016. 05. 10	09:30	22	60	09:00	15.4	96
	13:30	23	58	13:00	17.1	98
2016. 05. 11	09:30	23	50	09:00	18.4	71
	13:30	25	42	13:00	22.5	67
2016. 09. 20	09:30	27	45	09:00	20.9	48
	13:30	28	40	13:00	23.1	40
2016. 09. 21	09:30	27	48	09:00	18.8	71
	13:30	28	41	13:00	22.8	54

세척실에는 [그림 6]과 같이 벽면에 산업용 중형 환풍기 1대와 가정용 중형 환풍기 3대가 설치되어 있었다. 이 중 산업용과 가정용 2대가 가동 중이나 산업용 중형 환풍기 배출구가 먼지로 막혀 있고 가정용 환풍기 3대 중 1대가 고장으로 제대로 작동하지 않고 있었다. 따라서 송풍기의 총 배풍 용량은 58 ㎥/min이나 실제 배풍량은 약 18㎥/min(30%)였다. 09월 20일 이후부터는 산업용 중형 환풍기 배출구 청소를 하여 풍량이 23㎥/min로 증가되었다.



[그림 6] 세척작업장 내부 전체환기 설비.

세척실 문은 밀폐설비 방화문으로 크기는 1.3 m × 2.4 m이며, 문 아래쪽에 급기를 위해 60 cm × 10 cm의 개구부를 뚫어 놓았다. 이 개구부로 세척실의 환풍기를 통해 배출되는 공기량만큼 급기가 이루어졌다. 따라서 세척실의 1-Bromopropane이 CNC공정으로 확산되지 않는 것으로 확인 되었다.

[그림 7] 세척작업장 밀폐를 위해 설치된 방화문.

제 2 절 지역시료 채취 결과

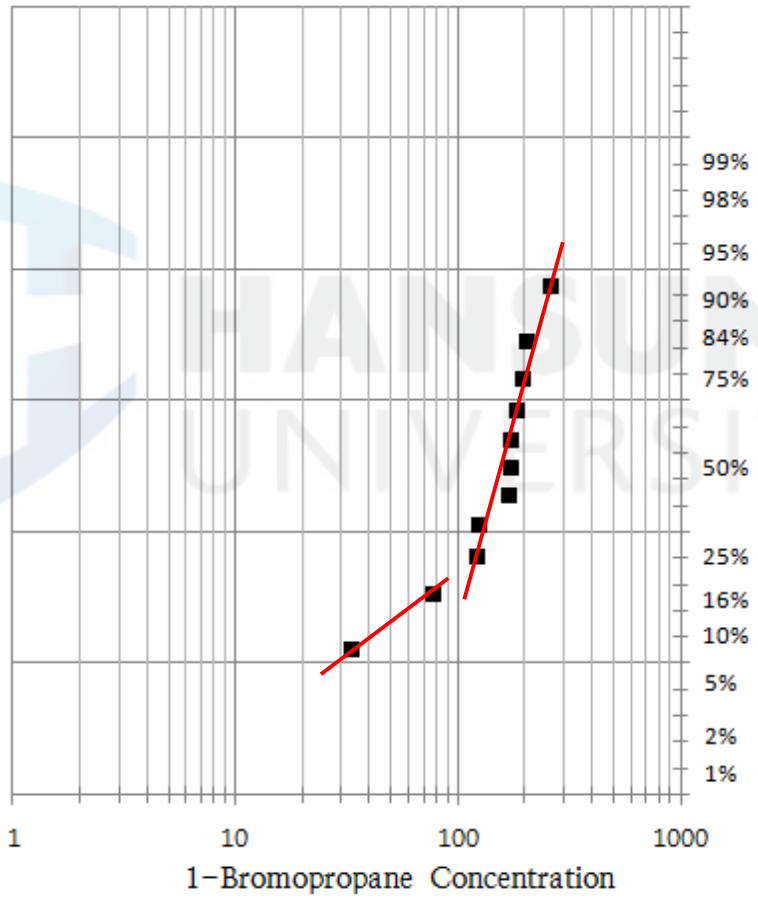
1) 지역시료 채취 위치별 결과

세척실 내부의 1-Bromopropane 측정결과는 <표 6>과 같다. 측정방법은 활성탄관과 공기채취 펌프를 이용한 능동식 시료채취방법이었다. 총 12개 시료의 산술평균은 151 ppm 표준편차는 61 ppm이었다. 기하평균은 136 ppm, 기하표준편차는 1.73이었다.

<표 6> 세척실 내부 1-Bromopropane 측정결과

측정일	시료수	측정시간(min)	측정농도(ppm)
2016. 05. 09	3	09:28-16:31(363)	194
		09:32-16:34(362)	203
		09:29-16:31(362)	171
	평균		189
2016. 05. 10	3	09:30-16:36(366)	170
		09:33-16:37(364)	259
		09:32-16:36(364)	181
	평균		203
2016. 05. 11	3	09:45-16:48(363)	120
		09:46-16:48(362)	171
		09:45-16:48(363)	124
	평균		138
2016. 09. 20	1	09:27-16:31(364)	77
2016. 09. 21	1	09:32-16:37(365)	33
		N	12
		AM	151
		SD	61
		GM	136
		GSD	1.73
		95% UCL	610

세척실 내부 측정결과를 대수확률지에 누적도수분포확률을 그려보면 [그림 8]과 같이 2개의 농도 분포군이 직선상으로 확인되었다. 대수정규분포확률지에서 직선상으로 보이는 농도분포군은 기하정규분포, 즉 유사노출군(similar exposure group; SEG)으로 볼 수 있으므로 120 ppm이상에서 직선상으로 나타나는 9개의 측정결과는 유사노출군으로 보았다. 33 ppm 이상의 2개의 측정결과도 또 하나의 유사노출군으로 작업량의 상관관계보다는 세척실 내부 환기상태에 따라 기하분포군이 나타나는 것으로 추정되었다.



[그림 8] 세척실 내부1-Bromopropane 농도 분포도.

세척실 외부 1m 지역의 1-Bromopropane 측정결과 <표 7>과 같이 총 9건의 시료채취결과 대부분 검출한계 미만으로 평가되었으며 2건만이 검출되었다.

검출된 2건에 대한 산술평균은 1.4 ppm 표준편차 0 기하표준편차 1.00, 로 통계적 평가가 불가능 하였다.

<표 7> 세척실 외부 1m지점 1-Bromopropane 측정결과

측정일	시료수	측정시간(min)	측정농도(ppm)
2016. 05. 09	3	09:35-16:39(364)	ND
		09:35-16:39(364)	ND
		09:32-16:35(363)	ND
2016. 05. 10	3	09:35-16:38(363)	ND
		09:35-16:38(363)	ND
		09:34-16:38(364)	6.1
2016. 05. 11	3	09:49-16:51(362)	ND
		09:49-16:51(362)	ND
		09:48-16:50(362)	6.1
		N	2
		AM	6.1
		SD	0
		GM	6.1
		GSD	1.00
		95% UCL	-

<표 8> 세척실 외부 3m지점 1-Bromopropane 측정결과

측정일	시료수	측정시간(min)	측정농도(ppm)
2016. 05. 09	3	09:37-16:41(364)	ND
		09:38-16:43(365)	ND
		09:41-16:45(364)	ND
2016. 05. 10	3	09:35-16:39(364)	ND
		09:35-16:39(364)	ND
		09:36-16:40(364)	ND
2016. 05. 11	3	09:49-16:52(363)	5.4
		09:49-16:52(363)	7.5
		09:50-16:53(363)	5.2
2016. 09. 20	1	09:28-16:32(364)	ND
2016. 09. 21	1	09:34-16:39(365)	ND
		N	3
		AM	6.0
		SD	1.27
		GM	5.95
		GSD	1.22
		95% UCL	27.8

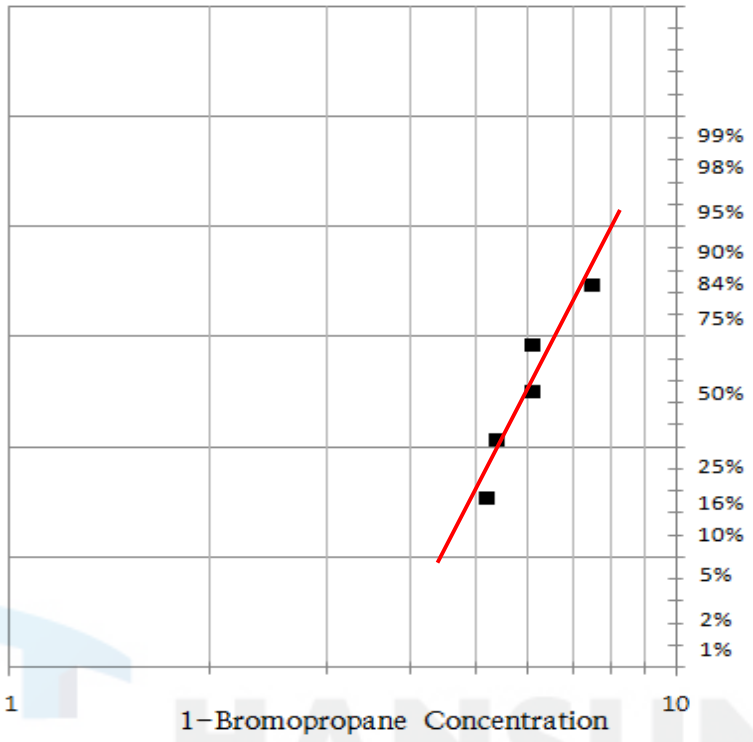
세척실 외부 3 m 지역의 1-Bromopropane 측정결과 <표 8>과 같이 총 11건의 시료채취결과 대부분 검출한계 미만으로 평가되었으며 3건만이 검출되었다.

검출된 3건에 대한 산술평균은 1.6 ppm 표준편차 1.27 기하표준편차 1.22, 95% 상한치 27.8 ppm으로 평가 되었으나 검출된 건수가 적어 통계적 평가가 불가능 하였다.

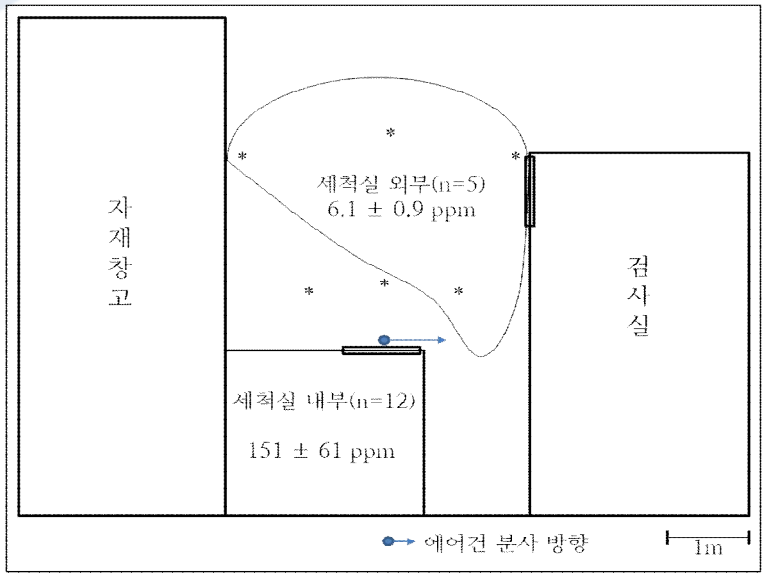
<표 9> 세척실 외부 1m, 3m지점 1-Bromopropane 측정결과

측정일	시료수	측정시간(min)	측정농도(ppm)
2016. 05. 10	1	09:34-16:38(364)	6.1
2016. 05. 11	4	09:48-16:50(362)	6.1
		09:49-16:52(363)	5.4
		09:49-16:52(363)	7.5
		09:50-16:53(363)	5.2
		N	5
		AM	6.1
		SD	0.9
		GM	6.0
		GSD	1.15
		95% UCL	11.0

<표 9>와 같이 세척실로부터 1 m와 3 m 되는 CNC 공장 안쪽 지점에서 측정된 1-Bromopropane 농도를 대수확률지에 누적도수분포확률을 그려본 결과는 [그림 9]과 같다. 이 분포가 대체적으로 직선상을 보임에 따라 농도는 기하분포를 하는 것으로 판단되었다.



[그림 9] 세척실 외부 1-Bromopropane 농도 분포도.



[그림 10] 세척실 내·외부 1-Bromopropane 농도 분포도.

세척실 내부([그림 10] 참조)에서의 측정결과는 151±61 ppm인 것으로 나타났다. 평균은 노출기준 25ppm의 약 6배 수준이었다.

세척실 외부 1 m, 3 m 지점에서 측정한 결과, 압축공기 건조작업이 없을 경우에는 1-Bromopropane은 검출 되지 않았고, 세척 후 건조가 제대로 되지 않아 압축공기로 다시 건조작업을 하는 날에는 압축공기 분사방향 쪽에서 6.1 ppm 정도의 1-Bromopropane이 검출되었다.

2) 농도 변이

가) 측정 1일차

측정 1일차인 5월 9일(월)은 수동세척작업과 압축공기 건조작업이 없었고, 자동세척 작업만 1회(약 2분) 있었다. 검사 작업을 위하여 세척실 외부 3m 반경 내에서 머무르는 시간은 10분 정도로 파악되었다. 월요일은 보통 주말 동안 가공된 제품이 없어 수동세척작업을 할 물량이 없었다.

세척실 내부의 측정결과는 <표 10>과 같다. 수동세척작업이 없었으므로 세척실은 장시간동안 방화문을 닫아 놓은 상태였다. 세척실 내부의 농도는 약 200 ppm 수준으로 높게 나타난 반면, 세척실 외부에서는 1-Bromopropane이 검출되지 않았다.

<표 10> 1일차 지역시료 측정 결과

측정 장소	시료수	측정시간(min)	측정농도(ppm)
세척실 내부	3	09:28-16:31(363)	194.2
		09:32-16:34(362)	203.3
		09:29-16:31(362)	171.1
세척실 외부 1m	3	09:35-16:39(364)	ND
		09:35-16:39(364)	ND
		09:32-16:35(363)	ND
세척실 외부 3m	3	09:37-16:41(364)	ND
		09:38-16:33(365)	ND
		09:41-16:45(364)	ND

나) 측정 2일차

측정 2일차인 5월 10일은 수동세척작업 6분과 압축공기 건조작업이 8분 동안 이루어졌다. 자동세척작업은 2회 총 4분 동안 있었다. 검사 작업을 위하여 세척실 외부 3m 반경 내 상주하는 시간은 20분정도였다.

측정당일 우천으로 인하여 습도가 높았고, 바람은 거의 불지 않았다. 지역시료농도 측정결과는 <표 11>와 같이 세척실 내부의 농도가 수동세척 작업위치에서 258.6 ppm으로 높게 나타났고, 세척실 외부의 경우 압축공기가 나가는 방향의 한 지점에서 6.1 ppm이 측정되었다.

<표 11> 2일차 지역시료 측정 결과

측정 장소	시료수	측정시간(min)	측정농도(ppm)
세척실 내부	3	09:30-16:36(366)	170.3
		09:33-16:37(364)	258.6
		09:32-16:36(364)	181.1
세척실 외부 1m	3	09:35-16:38(363)	ND
		09:35-16:38(363)	ND
		09:34-16:38(364)	6.1
세척실 외부 3m	3	09:35-16:39(364)	ND
		09:35-16:39(364)	ND
		09:36-16:40(364)	ND

다) 측정 3일차

측정 3일차인 5월 11일은 수동세척작업 5분과 압축공기 건조작업을 5분, 자동세척작업은 2회 총 4분간 실시하였다. 그리고 검사 작업을 위하여 세척실 외부 3m 반경 내 상주하는 시간은 20분으로 확인되었다.

<표 10>의 지역시료농도 측정결과에서 세척실 내부의 농도가 수동세척 작업 위치에서 171.1 ppm으로 높았고 세척실 외부의 경우 압축공기 토출 방향에서 6.1 ppm, 세척실 옆 창문으로부터 가공공정 방향으로 형성되는 기류에 의하여 확산되는 것을 확인할 수 있었다.

<표 12> 3일차 지역시료 측정 결과

측정 장소	시료수	측정시간(min)	측정농도(ppm)
세척실 내부	3	09:45-16:48(363)	120.1
		09:46-16:48(362)	171.1
		09:45-16:48(363)	124.4
세척실 외부 1m	3	09:49-16:51(362)	ND
		09:49-16:51(362)	ND
		09:48-16:50(362)	6.1
세척실 외부 3m	3	09:49-16:52(363)	5.4
		09:49-16:52(363)	7.5
		09:50-16:53(363)	5.2

라) 측정 4, 5일차

측정 4, 5일차인 9월 20일과 21일은 세척실 내부 산업용 중형 환풍기 배출구 청소를 통하여 전체환기 효율이 약10% 향상된 상태로 수동세척작업 4분과 압축공기 건조작업을 4분 동안 실시하였으며 자동세척작업은 2회 총 5분간 실시하였다. 그리고 검사 작업을 위하여 세척실 외부 3 m 반경 내 상주하는 시간은 20분으로 확인되었다.

<표 13>의 지역시료농도 측정결과에서 세척실 내부의 농도가 수동세척 작업 위치인 기존 A-1 위치에서 4일차 77 ppm, 5일차 33 ppm 세척실 외부 3 m 기존 B-4 위치에서 3, 4일차 결과 모두 불검출로 확인되었다.

<표 13> 4, 5일차 지역시료 측정 결과

측정 일	측정장소	측정시간(min)	측정농도(ppm)
4일 차	세척실 내부	09:27-16:31(364)	77
	세척실 외부 3m	09:28-16:32(364)	ND
5일 차	세척실 내부	09:32-16:37(365)	33
	세척실 외부 3m	09:34-16:39(365)	ND

제 3 절 지역시료로부터 개인 노출 시간가중평균농도(TWA) 추정

지역시료 측정결과와 근로자의 작업시간 및 위치를 알면 이를 바탕으로 작업자의 1일 시간가중평균농도를 추정할 수 있다.

작업자의 1일 개인노출농도는 <식 2>와 같은 방법으로 추정할 수 있다.

$$TWA = \frac{C_1 \times t_1 + C_2 \times t_2 + C_3 \times t_3 + C_4 \times t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots <식\ 2>$$

이때 장소별 농도는 평균값을 사용할 수도 있고, 평균보다 낮은 값을 사용하거나 높은 값을 사용할 수도 있다. 낮거나 높은 값은 보통 95% 신뢰구간에서 하한값(lower confidence limit, LCL)이나 상한값(upper confidence limit, UCL)을 가정할 수도 있다. 한편 작업시간도 마찬가지이다. 높은 농도의 장소에 머무르는 시간을 평균이나 95%LCL 또는 95%UCL을 가정할 수도 있다.

이와 같은 농도수준과 노출시간을 평균, 95%LCL 또는 95%UCL, 어떤 것을 조합으로 하는가에 따라 [그림 11]에서 보는 바와 같이 9개의 경우의 수가 나올 것이다.

구분		농도수준		
		95%LCL	Mean	95%UCL
노출시간	95%UCL	31	32	33
	Mean	21	22	23
	95%LCL	11	12	13

[그림 11] 지역시료로부터 개인노출농도를 추정하기 위한 농도수준과 노출시간의 매트릭스.

1) 노출농도를 고정한 시간변동에 따른 시간가중평균농도(TWA)

먼저 노출농도는 평균으로 고정하고 시간을 95%LCL, 평균, 그리고 95%UCL을 가정하여 작업자 노출농도를 추정해 보았다.

노출농도는 세척작업공간의 세척실 내부와 세척실 외부 1 m구간 및 3 m 구간으로 구분 하였으며 각 작업공간의 노출농도는 <표 15>에서 확인 되듯이 공간의 평균농도인 151 ppm과 6.1 ppm, 6.0 ppm 적용하였다.

시간변동은 5일 동안 조사결과 <표 14>과 같이 확인되었으며 시간변동에 따른 시간가중 평균농도 계산결과는 <표 16>와 같이 평균은 3.3 ppm으로 추정되었고 95% 신뢰구간은 1.0~4.7 ppm으로 추정되었다.

<표 14> 1-Bromopropane 세척작업 시간변동 구분

측정 장소	작업내용	시간변동 구분(분)		
		최대	평균	최소
세척실 내부	수동, 자동세척작업	10	7	2
세척실 외부 1m	압축공기 건조작업	8	4	0
세척실 외부 3m	검사작업	20	16	10
선별작업 부	그 외 작업시간	322	333	348

<표 15> 1-Bromopropane 세척작업 농도변동 구분

측정 장소	작업내용	농도변동 구분(ppm)		
		최대	평균	최소
세척실 내부	수동, 자동세척작업	259	151	33
세척실 외부 1m	압축공기 건조작업	6.1	6.1	0
세척실 외부 3m	검사작업	7.5	6.0	5.2
선별작업 부	그 외 작업시간	0	0	0

<표 16> 시간변동에 따른 시간가중평균농도 추정결과

노출농도 추정결과(ppm)		
min	average	max
1.0	3.3	4.7

2) 시간을 고정한 농도변동에 따른 시간가중 평균농도(TWA)

이번에는 노출시간을 평균으로 고정하고 농도수준을 95%LCL, 평균, 그리고 95%UCL 값으로 가정하여 작업자 노출농도를 추정해 보았다.

세척작업동안 노출시간은 <표 14>과 같이 세척실 내부 평균작업시간인 7분과 세척실 외부 1 m구간 및 3 m 구간 머무름 시간을 각각 4분과 16분으로 고정하고 농도변동은 5일 동안 조사결과는 <표 15>과 같았다.

시간은 평균으로 하고 농도수준을 달리하여 추정한 결과 <표 17>과 같이 평균은 3.3 ppm으로 추정되었고 95% 신뢰구간은 0.9~5.4 ppm으로 추정되었다.

<표 17> 농도변동에 다른 시간가중 평균농도 추정결과

노출농도 추정결과(ppm)		
min	average	max
0.9 ppm	3.3 ppm	5.4 ppm

3) Worst 시간가중평균농도(TWA)

노출시간과 농도수준을 모두 95%UCL 값을 가정하여 작업자 노출농도를 추정한 결과는 7.7 ppm으로 추정되었다.

제 4 절 지역시료로부터 개인 노출 95% 신뢰구간 평가

1) 95% 신뢰구간 농도범위 계산

1-Bromopropane의 지역시료채취결과 위치별 농도값을 바탕으로 95% 신뢰구간을 평가하고자 하였으며 95% 신뢰구간 농도의 범위는 아래 <식 5>와 같이 95% 하한치, <식 6>과 같이 평균 값, <식 7>와 같이 95% 상한치를 구하였다.

$$TWA(95\%\,LCL) = \frac{GM_1 \div GSD_1^{1.96} \times t_1 + GM_2 \div GSD_2^{1.96} \times t_2 + GM_3 \div GSD_3^{1.96} \times t_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

.....<식 5>

$$TWA(\mu\text{평균값}) = \frac{GM_1 \times t_1 + GM_2 \times t_2 + GM_3 \times t_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

.....<식 6>

$$TWA(95\%\,UCL) = \frac{GM_1 \times GSD_1^{1.96} \times t_1 + GM_2 \times GSD_2^{1.96} \times t_2 + GM_3 \times GSD_3^{1.96} \times t_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

.....<식 7>

<표 18> 1-Bromopropane 세척작업 농도 및 시간변동 구분

측정 장소	농도 구분		시간변동 구분(분)
	GM	GSD	
세척실 내부	136	1.73	7.4 ± 3.2
세척실 외부 1m	6.1	1.00	5.3 ± 1.9
세척실 외부 3m	6.0	1.22	18.0 ± 4.5

1-Bromopropane 세척작업의 농도 및 시간변동 구분은 <표 18>과 같으며 95% 신뢰구간 농도범위 계산결과는 95% LCL은 1.2 ppm, 평균값은 3.2 ppm 그리고 95% UCL은 8.7 ppm으로 추정되었다.

<표 19> 95% 신뢰구간 농도의 범위 계산결과

95% LCL	평균값	95% UCL
1.2 ppm	3.2 ppm	8.7 ppm

2) Worst 농도, Worst 시간 적용 95% UCL

95% 신뢰구간에서 노출시간과 발생농도 최악의 수준을 고려한 95% 상한치는 <표 18>에 따른 최대시간과 최대농도 구분을 적용하여 계산한 결과 12.4ppm이었다.

3) 개인시료 채취 결과와 비교 평가

지역시료 채취 기간 동안 작업자 호흡영역에서 개인시료 채취를 동시에 실시하였으며 그 결과는 <표 20>과 같다.

지역시료 채취 결과를 바탕으로 시간가중평균농도 추정 결과와 비교 평가

한 결과 <표 21>과 같이 지역시료 채취결과 평균 농도는 3.8ppm으로 평가되었으나 개인시료채취결과 능동식 시료채취 결과 평균 농도 11.7ppm, 수동식 시료채취 결과 평균농도 19.0ppm 20~30% 수준으로 낮게 평가 되었으며 최저 농도 수준은 1ppm 수준으로 큰 차이가 없었으나 최고 농도 수준에서 최대 23% 수준으로 개인시료채취 결과의 편차 및 기하표준편차가 큰 것으로 평가 되었다.

<표 20> 1-Bromopropane 개인시료채취 측정결과

측정일	측정시간(min)	채취방법(ppm)	
		능동식	수동식
2016. 05. 09	09:26-16:32(366)	1.0	-
2016. 05. 10	09:20-16:41(381)	22.5	26.8
2016. 05. 11	09:47-16:53(366)	21.0	33.0
2016. 09. 20	09:36-16:43(367)	9.2	10.2
2016. 09. 21	09:41-16:46(365)	5.0	5.9

<표 21> 지역시료 채취와 개인시료채취 결과 비교

측정방법		AM	SD	GM	GSD	Min	Max
지역시료채취		3.8	2.4	2.9	2.3	0.9	7.7
개인시료채취	수동식	11.7	9.6	7.4	3.6	1.0	22.5
	능동식	19.0	13.0	15.1	2.3	ND	33.0

4) 최근 5년간 법적 작업환경측정결과와의 비교 평가

연도별 동일 작업환경에 대한 작업환경측정결과는 <표 22>와 같다.

지역시료 채취 시간가중평균농도 추정 결과와 비교 평가한 결과 <표 23>과 같이 지역시료 채취결과 평균 농도는 그 차이기 0.8ppm 수준으로 큰 차이가 없었으나 최고 농도에서 40% 수준으로 작업환경측정결과의 편차 및 기하표준편차가 큰 것으로 평가 되었다.

<표 22> 최근 5년간 작업환경측정 결과(2011-2015)

측정년도	측정결과
2011상	19.1
2011하	0.3
2012상	ND
2013상	ND
2014상	2.4
2014하	2.6
2015상	1.5
2015하	1.8
AM	4.6
SD	7.1
GM	2.0
GSD	3.9

<표 23> 지역시료 채취결과와 작업환경측정결과 비교

측정방법	AM	SD	GM	GSD	Min	Max
본 연구에서의 측정(지역시료)	3.8	2.4	2.9	2.3	0.9	7.7
법적 측정결과	4.6	7.1	2.0	3.9	0.3	19.1

HANSUNG UNIVERSITY

제 5 절 지역시료로부터 개인 노출 수준 평가 문제점 고찰

본 연구 결과 지역시료 채취결과를 통해 개인 노출 수준을 평가하는데 있어서 문제점은 지역시료는 개인시료보다 50%정도 낮은 결과를 보일 수 있다는 것(Leidel 등, 1977)과 최고 노출 수준에 대한 지역시료 채취 평가가 이루어지지 못하였다는 점이다. <표 24>와 같이 세척작업별 순간농도 개인시료 채취 측정 결과 세척실 외부 1 m 작업반경에 속한 압축공기건조작업에 대한 평가가 최고 노출 수준에 해당 하지만 그 작업 위치에 대한 평가가 이루어지지 못하였다.

<표 24> 1-Bromopropane 세척 작업별 순간농도 개인시료 채취 측정 결과

측정일	측정 내용	측정시간(min)	측정결과(ppm)
2016. 05. 09	자동세척작업	09:53-09:55(2)	ND
2016. 05. 10	수동세척작업	10:43-10:49(6)	394
2016. 05. 11	압축공기건조작업	10:17-10:22(5)	1,342

제 4 장 결 론

본 연구는 1-Bromopropane이 95% 함유된 세척제(제품명 CleanSafe-606)로 금속부품을 세척하는 공정이 있는 대구광역시에 소재한 근로자 100명 규모의 의료용 기기 제조공장에서 각 장소별로 1-Bromopropane의 공기중 농도를 측정하여 농도수준과 특성을 파악하였다. 이를 바탕으로 작업자가 작업하는 동안 1일 시간가중 평균노출농도를 추정하여 실제 측정한 개인별 노출농도와의 비교를 통해 지역시료로 추정한 개인노출농도의 정확도를 살펴보았다. 세척실은 약 5.5 m^2의 좁은 공간으로 CNC 공장의 한쪽에 위치하고 있었으나 완전히 격리되어 있었다.

연구결과는 다음과 같다.

1. 세척실 내부의 1-Bromopropane 농도는 151±61 ppm 수준으로 노출기준 25 ppm의 약 6배나 높았다. 작업자가 세척실 내부에 머무르는 시간은 평균 7분이었고 최소 2분에서 최대 10분에 불과했다.

2. 세척실 밖의 CNC 공장에서는 평소 1-Bromopropane이 검출되지 않았다. 그러나 세척된 부품이 건조가 될 된 경우, 세척실을 나와 바깥쪽 문앞에서 압축공기로 건조시키는 작업을 하는 경우에는 1-Bromopropane의 공기중 농도가 약 6~7 ppm인 것으로 나타났다.

3. 개인 노출농도를 측정한 결과는 평균 11.7ppm으로 확인 되었으며, 동일한 방법으로 각 장소별로 공기 중 농도를 측정한 결과와 각 장소에 머무르는 시간을 바탕으로 작업자의 1일 평균노출농도를 추정한 결과는 평균 3.8 ppm으로 나타나 실제 개인노출농도 측정치의 32.4%에 불과하여 크게 과소평가되는 것으로 나타났다.

4. 개인노출농도를 능동식 시료채취 방법으로 측정한 1-Bromopropane 농도는 19±13.0 ppm이었으나 동시에 확산식 측정기로 측정한 것은 11.7±9.6

ppm으로 나타나 큰 차이가 발생했다. 이것은 종종 세척 직후 약 5분 정도의 짧은 시간동안 압축공기를 분사하여 건조시키는 작업이 있는데 이때 1-Bromopropane 순간농도는 400~1,300 ppm까지의 치솟는다. 이와 같이 짧은 시간에 순간적으로 고농도로 올라가는 경우, 활성탄과 공기채취펌프로 시료를 채취하면 순간적으로 시료를 포집하는데 아무런 문제가 없지만 확산식 측정기는 느린 확산속도 때문에 시료채취가 충분하게 되지 못하기 때문인 것으로 추측된다.

5. 지역시료채취방법으로 측정한 결과, 오염원 및 확산경로 그리고 개선해야 할 사항 및 지점을 정확히 파악할 수 있었다.

HANSUNG UNIVERSITY

참 고 문 헌

1. 국내문헌

고용노동부. (2016). 『산업안전보건법』. 세종: 고용노동부.

고용노동부. (2016). 『산업안전보건법 시행규칙』. 세종: 고용노동부.

고용노동부. (2016). 『화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부고시 제2016-41호)』. 세종: 고용노동부.

고용노동부. (2106). 『작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(노동고시 제2016-39호)』. 세종: 고용노동부.

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

김창현. (2015). 『활성탄관과 수동식시료채취기를 이용한 작업환경측정 정확도 비교연구』. 서울: 한성대학교 대학원.

백남원 등. (2002). 『작업환경측정 및 평가』. 서울: 신광출판사.

한국산업안전보건연구원. (2003). 『화학물질 측정결과에 대한 평가방법의 통계학적 개선』. 인천: 한국산업안전보건공단.

한국산업안전보건연구원. (2016). 『근로자건강진단 실무지침』. 울산: 한국산업안전보건공단.

2. 국외문헌

ACGIH. (2016). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices.* Cincinnati: ACGIH.

Nelson A. Leidel, Kenneth A. Busch, Jeremiah R. Lynch. (1977). *OCCUPATIONAL EXPOSURE SAMPLING STRATEGY MANUAL.* Washington, D.C.: U.S. Department of Health Education and Welfare.

3. 인터넷 웹사이트

일본 후생노동성. <http://www.mhlw.go.jp/>. (2016.12.12. 최종방문).

HANSUNG UNIVERSITY

ABSTRACT

A Case Study on Characteristics of Airborne 1-Bromopropane Concentrations between Area and Personal Samples in a Degreasing Process

Hwang, In-Ho
Major in Industrial Hygiene Engineering
Dept. of Mechanical Systems Engineering
The Graduate School
Hansung University

This study was conducted to evaluate characteristics of airborne 1-bromopropane concentrations in a degreasing Process. Recently it has been increased to use 1-bromopropane as a degreasing solvent in the degreasing process. It is considered as a subsitutie of trichloroethylene (TCE) in industries since TCE has been strictly regulated by the government.

Both area samples and personal samples were collected for 5 days in the workplace in the degreasing room as well as outside of the degreasing unit room.

The results of this study were as follows.

1. Airborne concentrations of 1-Bromopropane in the degreasing room was 151±61 ppm which was 5 times higher than the Korean Occupational Exposure Limit, 25 ppm. Working time in the degreasing

room was between 2−10 min(average was 7 min).

2. No 1−Bromopropane was detected in the CNC processing area which is outside of the degreasing room. The degreasing room was maintained a negative atmospheric pressure. Thus no contamination happened from the degreasing room to CNC processing area. However, when they do drying the parts with a compressed air gun right after the degreasing at the front of door (outside) for further drying the parts, airborne concentrations was ranged 6~7 ppm in the CNC processing area. Therefore it was concluded that there ws no contamination from the degreasing room to CNC process. The main contamination source for the CNC process was the drying process by a compressed gun.

3. Personal exposure measurement using passive samplers showed average TWA was 11.7 ppm. A TWA estimation result by combination of area sampling results and time span for each area was 3.8 ppm, which was revealed highly underestimated.

4. Active sampling results using charcoals and pumps for personal samples were 19±13.0 ppm. However, simultaneous measurement results using passive samplers were 11.7±9.6 ppm, which was also highly underestimated. It was assumed that passive samplers could not collect samples appropriately for the peak concentration for a short time span, During drying with a air gun, the airborne 1−bromopropane reaches 400~1,300 ppm for 5 min. In this case, charcoal with pump collects effectively the chemical contaminants but passive sampler does not.

5. Area samples have advantages to identify sources, dispersion route and control points over the personal samples.

【Keywords】 1−bromopropane, personal samples and area samples, TWA estimation.