

## 중소기업 도금공정에서의 트리클로로에틸렌 폭로와 발산량에 관한 연구\*

서울대학교 보건대학원

이 경 희·백 남 원

### — Abstract —

#### **A Study on Worker Exposure to Trichloroethylene and Emission Factor for Degreasers in Plating Plants**

**Keoung Hee Lee and Nam Won Paik**

*School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea*

This study was conducted at seven degreasing processes in plating plants located in Seoul, Incheon, Ansan, and Taejeon areas from July 21 to August 27, 1992. This study was performed to assess the TWA exposures to trichloroethylene (TCE) and evaluate factors affecting TCE concentrations in degreasing process. Two-Point Eddy Diffusional Model suggested by Wadden et al. was employed to calculate emission factors according to degreaser type.

Results are summarized as follows.

1. The TWA exposures of the degreasing operators ranged from 1.4 ppm to 123 ppm, and those of three plants out of seven were exceeding 50 ppm of both the Korean and U.S. OSHA standards. Degreasing assistant of Plant B, was exposed to 59 ppm.
2. The average concentrations at the distance 0, 1.5, 3.0 m from the degreasers were 1,014, 24, and 18 ppm, respectively, and showed a significant difference by distance ( $p < 0.01$ ).
3. The emission of TCE was reduced by installing local exhaust systems, condensers, and refrigeration lines at the degreasers ( $p < 0.01$ ).
4. The major factors related to exposure of operators were workload ( $r = .9621$ ,  $p < 0.01$ ) and dimensions of degreasing room ( $r = -.8667$ ,  $p < 0.05$ ).
5. If the air in degreasing room is mixed violently by other factors in addition to diffusion, the emission factors can not be evaluated because the important hypothesis of the Two-Point Eddy Diffusional Model can not be accepted.

※ 본 논문은 1992년 노동부의 직업병 예방을 위한 학술연구 용역사업의 일환으로 연구되었음.

6. The ultrasonic degreaser without the local exhaust system, condenser, and refrigeration lines emitted TCE three times greater than the ultrasonic degreaser with condenser and refrigeration lines only.

**Key words :** Trichloroethylene (TCE), Degreaser, Emission Factor, Condenser, Refrigeration lines, Local Exhaust Ventilation.

## I. 서 론

트리클로로에틸렌(trichloroethylene, 이하 TCE)은 산업장에서 금속기계 공업의 탈유지 세정제, 금속 표면의 건조, 섬유공업에서의 세척과 염색, 일반 용해제, 라커의 희석제, 유리나 광학기구의 세척제 및 피혁의 지방 제거제 등으로 널리 쓰이는 유기 용제이다(NIOSH, 1978; 독일산업안전보건원, 1990). 특히 도금업에서는 도금전의 연마때나 기름기 제거를 위하여 쓰이고, 도금후의 알칼리 같은 용해제나 수분을 제거하기 위한 건조의 목적으로 많이 쓰이는 화학 물질이다.

TCE는 주로 호흡기를 통하여 흡입되며 흡입된 TCE 증기는 혈액을 따라 유사 지방질이 많은 중추 신경계에 작용하여 두통, 현기증, 진전, 구토, 졸음 등이 나타나고, 심하면 의식을 잃거나 사망할 수 있다. 낮은 농도에서는 장기간 폭로된 경우에는 기억력 감퇴, 의욕상실, 정서불안 등의 신경계 증상과 간이나 신장에 영구적 장애를 초래할 수 있다(NIOSH, 1978; ACGIH, 1986; Craft, 1983). 특히 여러 보고에서 TCE는 발암물질로 의심되어져 왔으며 미국국립암협회(U.S. National Cancer Institute, NCI)의 발암성에 대한 경고 때문에 커피 제조업의 카페인 제거 공정에서 TCE 사용을 금지하였다(NIOSH, 1978). 한편 Henschler는 동물 실험에서 TCE에 의한 암 유발 작용은 1-염소-2, 3-에폭시 프로판과 1, 2 에폭시부탄 등의 안정제 성분에 기인한 것이라 주장하기도 하였다(독일산업안전보건원, 1990).

위와 같은 많은 건강위해작용에도 불구하고 TCE가 산업장에서 널리 쓰이는 이유는 기름과 지방 및 수지에 대한 뛰어난 용해성, 휘발성, 불연성과 가격면에서의 경제성 때문이다(ACGIH, 1986).

그동안 우리나라에서의 작업환경중 TCE 폭로에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 1970년의 백남원 등이 최초로 콘덴서 공장 근로자의 TCE 중독에 대한 연구를 했으며(백남원 등, 1970), 1989년 김형아 등이 도금작업장의 공기중 TCE 농도와 근로자의 요중 총삼염화물 농도의 관계를 연구하였고(김형아와 이광목, 1989), 김창엽 등은 총 13개 사업장의 TCE 폭로에 관한 조사를 하였다(김창엽 등, 1989). 그러나 이 연구들은 시료수가 적거나 공기중 TCE 농도와 생물학적 지수와의 상관관계를 고찰한 것이 대부분이며 작업장내 환경농도에 영향을 미치는 요인이나 작업환경 관리개선에 대한 연구는 미흡한 편이다. 그리하여 본 연구에서는 규모나 생산성면에서 영세한 중소도금사업장의 TCE 폭로에 대한 연구를 실시하였다.

본 연구의 목적은 중소 도금사업장에서의 TCE 폭로에 관한 조사연구를 실시하여 산업장에서의 TCE 폭로를 관리하기 위한 기초 자료를 제공하는데 있다. 따라서 본 연구에서는 (1) 도금사업장을 대상으로 공기중 TCE 농도를 측정하여 근로자의 폭로실태를 파악하고 (2) 탈지조로부터의 TCE 발산과 세척자 폭로에 영향을 미치는 요인들을 통계적 방법으로 분석하며 (3) 최근 Wadden 등(Wadden 등, 1989)이 제안한 Two-Point Eddy Diffusional Model을 일반 사업장에 적용하여 이 공식의 일반 사업장 적용의 적합성을 고찰하고, 탈지조의 형태와 발산량의 관계를 알아 볼 것이다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 대 상

본 조사는 1992년 7월 21일부터 8월 27일까지

서울, 인천, 안산 및 대전지역에 위치한 50인 이하 중소 도금사업장 7개소를 대상으로 하였다. 이들 사업장에서는 도금전에 금속 표면을 세척하는 용도로 TCE를 사용하거나 도금후 알칼리 같은 용해제와 수분을 제거하는 건조의 목적으로 TCE를 사용하였다.

## 2. 내용 및 방법

### (1) 시료 채취

본 조사의 시료 채취와 분석은 미국 노동성 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)과 미국 국립 산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NOISH)에서 추천하는 공정시험법 'Method No. 1022'에 따라 진행하였다(NIOSH, 1984).

개인용 시료(personal sample)는 시료채취 전후에 비누거품법으로 공기유량을 보정(calibration)한 개인용 저유량 공기포집펌프(Gilian Dual Mode Low Flow Sampler, Model LFS 113D)와 활성탄관(chacoal tube, 미국 SKC사)을 연결하여 0.05-0.15Lpm으로 세척실에서 작업하는 전 근무교대시간동안 포집하였다. 시료채취시간은 파파현상을 막기위하여 1시간에서 3시간 정도로 하였다. 개인용 시료는 근로자의 호흡위치(breathing zone)에서 채취하였고, 장소시료는 탈지조(degreaser)로부터 0m, 1.5m 및 3.0m 거리에서 채취하였다(그림 1참조).

시료채취후 즉시 활성탄관의 양끝에 캡을 씌우고 테플론 필름(teflon film)으로 봉한 후 냉장보

관하여 분석실로 옮겼으며, 시료는 냉동보관하면서 최단 시일내에 분석하였다.

### (2) 시료 분석

현장에서 포집한 활성탄관을 깨뜨려서 유리섬유를 제거한 후 활성탄 앞층 100mg을 미리 준비한 공전 시험관에 넣고 가운데 유리섬유를 제거한 후 활성탄 뒷층 50mg을 다른 공전 시험관에 넣었다. 각각의 공전 시험관에 이황화탄소(CS<sub>2</sub>) 1ml씩 넣고 30분간 흔들어서 주면서 탈착시켰다.

분석은 TCE 분석조건(표 1 참조)에 맞도록 조정된 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, GC, 미국 Hewlett Packard사, Model HP 5890)에 시료액을 미량주사기(microsyringe, ITD Corporation)를 사용하여 5 $\mu$ l를 주입시켜 곡선(peak)의 면적을 구한 후, 표준액의 주입에 의한 면적과 비교하여 농도를 산출하였다. 13개 농도의 TCE 표준액을 만들어 분석한 후 검정선을 그어서 시료의 TCE를 정량하였다.

분석의 정도 관리를 위하여 내부 표준물질(internal standard)로서 옥탄(n-octane)을 이황화탄소에 0.05% 혼합하여 사용하였다. 다섯가지 농도의 TCE를 주입시켜 만든 시료 20개를 분석한 후 탈착효율을 구하여 보정하였다.

### (3) Two-Point Eddy Diffusional Model

#### 1) 이론

실내 오염원으로부터의 오염물 방출량은 오염물에 대한 근로자 폭로의 주요한 결정인자이므로 오염원 발산량(emission factor)의 정량적 예측은

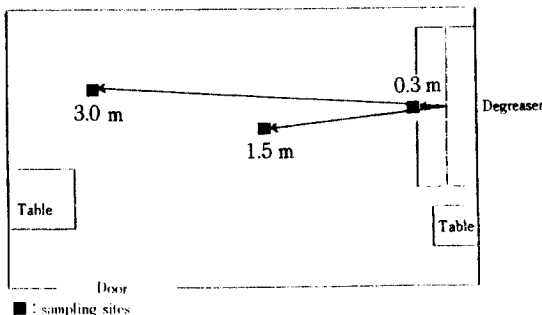


Fig. 1. Degreaser and Sampling Locations in Plant A.

Table 1. Gas Chromatography conditions

Column	OV-101
Detector	FID (Flame ionized detector)
Nitrogen Carrier Gas Flow	30 ml/min
Hydrogen Gas Flow to Detector	30 ml/min(30 psig)
Air Flow to Detector	500ml/min(50 psig)
Injector Temperature	225°C
Detector Temperature	250°C
Column Temperature	60-70°C
Inject Solution	5 $\mu$ l

공학적 관리개선면에서 매우 중요하다(Wadden 등, 1989; Wadden 등, 1991). 오염원인 TCE 탈지조로부터의 TCE 방출은 발산량으로 쉽게 표현할 수 있으며, 발산량의 단위는 단위 시간당 방출량(g/hr), system당 방출량, 생산단위당 방출량으로 나타낼 수 있다. 발산량을 이용하게 되면 각기 다른 장소에서 같은 유형의 오염원에 대한 발산 추정을 가능하게 하며, 공학적인 관리면에서도 적절한 정량적 기초를 제공할 수 있다.

실내와 실외의 발산원에 의한 실내 농도의 유형을 설명하기 위하여 수학적 모델을 이용할 수 있다. 최근 Wadden 등은 실내 공간의 탈지조에서의 TCE 발산을 추정하는데 Two-Point Eddy Diffusional Model이 적합하다고 보고하였다(Wadden 등, 1989). 이 모델에 사용되는 수학적 기본 공식은 Carslaw 등이 제안하였으며 다음과 같다(Carslaw와 Jaeger, 1959).

$$C = [S / (2\pi Dr)] \operatorname{erfc} [r / (4Dt)^{0.5}] \dots\dots\dots ①$$

C=농도(mg/m<sup>3</sup>)

S=일정상태의 발산율(mg/min)

D=Eddy 확산계수(m<sup>2</sup>/min)

r=반구의 반경(m)

t=시간(min)

erfc=1-error function

위 식은 다수 입자의 확산과정을 설명하기 위하여 그 농도 C(r, t)를 장소(r)와 시간(t)의 함수로 기술한 Fick의 확산 방정식과 질량 수지 방정식(mass balance)을 그 기본으로 한다. 반 무한구에서의 지속적이고 일정한 점 오염원을 가정한 후 일정기간 t에서의 농도 C에 대해서 해를 구한 것이 공식 ①이다.

①식을 시간에 대해서 적분하면 일정시간 동안 포집된 농도(C<sub>av</sub>)를 나타내게 되며, 두개의 시료가 일정시간 동안 다른 거리(r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>)에서 포집되면 위 식은 두개의 식으로 변형된다.

$$C_{av, r_1} = \int [S / (2\pi Dr_1)] \operatorname{erfc} [r / (4Dt)^{0.5}] dt / t_{av} \quad ②$$

$$C_{av, r_2} = \int [S / (2\pi Dr_2)] \operatorname{erfc} [r / (4Dt)^{0.5}] dt / t_{av} \quad ③$$

②, ③ 공식을 연립하여 풀면 확산계수 D와 발산량 S를 구할 수 있다. 이 모델은 오염원으로부터 몇 m 이내에서는 시간에 따른 확산이 실내 농도 유형에 가장 큰 영향을 미친다는 가정과 점 오염원이 반 무한구에서의 주요오염원임을 가정하고 있다.

### 2) 시료채취 방법

시료채취시간은 1시간으로 일정하게 유지하면서 세 장소에서 세 개의 시료를 동시에 포집하였다. 시료채취위치는 탱크의 중심에서부터 측정하였으며 높이는 지상으로부터 1.5m 정도였다. 세 장소는 탈지조로부터 0m, 1.5m 및 3.0m 이며 0m 시료는 현실상 탈지조의 가장자리에서 채취하였다(그림 1참조). 이 모델은 농도의 확산만을 가정하고 있기 때문에 이론상으로는 어느 방향이나 상관없이 있으나 실제 사업장에서는 확산만 존재하는 경우는 극히 드물어 가능하면 일직선 상으로 포집하였다.

### 3) 계 산

수학적 계산은 수학 전용 계산 프로그램인 볼랜드사의 EUREKA version 1.0 Program를 이용하여 trial and error 법으로 풀어내었다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 사업장의 특성과 작업과정

조사 대상 사업장들은 표 2에서 보는 바와 같이 크롬도금을 주로하는 50인 이하의 도금사업장으로서 여러 종류의 볼트, 장식품, 자동차 밸브, 시계줄 및 파이프 등을 도금하는 곳이었다. 대부분의 사업장은 언마때나 기름때를 제거하기 위하여 도금전에 금속 표면을 세척하는 용도로 TCE를 사용하고 있었고, 'E' 공장 만이 도금후 알칼리 같은 용해제와 수분을 제거하는 건조의 목적으로 TCE를 사용하고 있었다. 도금업에서는 최근 TCE의 위해성을 인식하여 사용량이 감소하는 추세이며, 정교한 도금이 필요한 경우에만 TCE 세척을 하고 그 외의 경우에는 물세척만 하거나 독성이 TCE보다 낮은 트리클로로에탄(1,1,1-trichloroethane)을 사용한다.

사업장내에서 TCE 세척을 직접 실시하는 사람

**Table 2.** General Status of Surveyed Factories by Plant

Status	Data by Plant						
	A	B	C	D	E	F	G
No. of Workers	23	50	15	30	46	16	25
No. of Operators	2	1	1	1	1	1	1
No. of Assistants	2	4	1	0	1	1	0
Plating Materials	watch band	faucet	bolt	doorknob	pipe	engine valve	piston ring
Degreasing Oil	TCE	TCE	TCE	TCE	TCE	TCE	TCE
Amount of TCE being Used (L/Month)	250	450	550	160	1000	600	200
Type of Degreaser*	c	c	b	a	c	c	c
Total Vol. of Parts Degreased (L/Day)	108	450	231	1513	34	160	100
Type of Ventilation	slot	no	no	slot	slot	slot	slot

\*a : straight vapor cycle degreaser  
 b : ultrasonic vapor degreaser  
 c : ultrasonic liquid vapor cycle degreaser

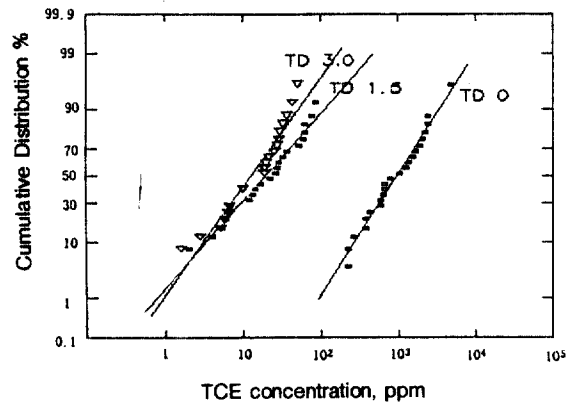
은 사업장 규모와 관계없이 거의 한 명이었으며, 'F' 공장은 세척량이 많지 않아 일정한 세척자가 존재하지 않았다. 세척자 곁에서 세척물을 바꾸니에 담아주거나 세척된 것을 바꾸니에서 꺼내어 도금공정으로 옮겨주는 세척보조자는 없거나 네 명 이하였다.

세척작업은 대부분 세척자가 세척물이 담겨진 바꾸니를 탈지조에 5분에서 10분간 넣어 세척하는 수동세척 작업이었으며, 'D' 공장만 바꾸니를 들어올리거나 내리는 작업이 자동화되어 있었다.

탈지조의 형태를 보면 초음파 탈지가 부착된 증기탈지조(ultrasonic liquid vapor cycle degreaser)가 7개 사업장중 5개 사업장에서 사용되고 있었다. 초음파 탈지는 증기조에만 의존하는 탈지보다 속도가 빠르고 효과가 좋기때문에 사용의 빈도가 증가하고 있음을 보여준다(Burgess, 1981).

**2. 세척실의 공기중 트리클로로에틸렌 농도**

그림 2는 대상사업장 전체에서의 거리별 장소 시료들의 농도분포를 나타낸 것이다. 작업환경중 유해물질의 농도분포는 많은 경우에 정규분포보다는 대수정규분포(lognormal distribution)를 한다고 알려져 있다(ACGIH, 1989). 본 조사에서도 TCE의 거리별 장소시료의 농도분포가 대수정규



**Fig. 2.** Distribution of TCE Concentrations by the Distance 0, 1.5, and 3.0m from the Degreaser.

분포를 하고 있음을 그림 2에서 알 수 있다. 이러한 결과와 근로자 폭로 수준에 관한 자료가 일반적으로 대수정규분포를 한다는 보고에 맞추어 본 조사에서는 평균치를 산술평균이 아닌 기하평균으로 구하였다.

본 연구의 조사대상 사업장에서 측정된 공기중 작업환경농도는 표 3과 표 4에 정리되어 있다. 표 3은 사업장별 세척자와 세척보조자 전원에 대한 실측 시간가중평균치(Time-Weighted Average, TWA)와 8시간 기준 시간가중평균치(8 Hour weighted Average, 8-TWA)를 구한 것이며, 각

**Table 3.** Geometric Means of Personal Exposure Levels by Plant and Job Title

Plant	Degreasing Operator		Degreasing Assistant	
	TWA (ppm)	8-TWA (ppm)	TWA (ppm)	8-TWA (ppm)
A	211 (154-290)	99 (80-123)	28	11
B	61	63	37 (27-52)	44 (33-59)
C	11	8.4	12 (8.9-15)	9.8 (6.4-15)
D	20	19	10	8.8
E	55	58	12	12
F	-	-	15	16
G	2.1	1.4	9.1	0.5
Geometric Mean	35	26	16	11
Range	2.1-290	1.4-123	8.9-52	0.5-59

\* Note: Ranges are included in parentheses.

사업장의 평균농도는 기하평균으로 계산하였다.

실측 시간가중평균치는 시료채취기간 동안 포집된 농도를 포집시간에 따라 가중한 농도를 의미하며, 8시간 기준 시간가중평균치는 우리나라 산업안전보건법과 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH)의 허용기준과 비교하기 위하여 8시간 이상이나 이하의 작업시간에 대해 8시간으로 보정한 농도이다(노동부, 1991).

세척자의 경우 사업장별로 8시간 시간가중평균치가 1.4ppm에서 123ppm까지 그 농도범위가 넓었으며 산업안전보건법(노동부, 1991)과 미국정부산업위생전문가협회(ACGIH)(ACGIH, 1991)의 허용기준인 50ppm을 넘는 사업장은 7개소중 3개소였다. 세척보조자의 경우 'B' 공장의 보조자가 59ppm으로 허용기준 50ppm을 초과하였다. 세척자가 폭로되고 있는 8시간 평균 농도는 26ppm으로 김창엽 등의 조사 농도인 83.5ppm보다 낮은 수치를 보이고 있다(김창엽 등, 1989). 이는 당시 조사한 사업장이 도금사업장만이 아니었으며, 현재의 도금사업장이 TCE 세척을 가급적으로 줄여 소규모로 작업하는 경향과 국소배기시설이나 탈지뱅크의 시설을 개선한데서 기인한 것이라 여겨진다.

표 4는 탈지탱크로부터의 거리에 따른 농도로서 세 지점에서 동시에 1시간 동안 1일 수 회 반복 측정된 농도이다. TD 0은 탈지탱크의 가장자리에서 측정된 농도로 기하평균 1,014ppm이었고, TD 1.5는 탈지탱크로부터 1.5m 거리에서 측정된 농도로 기하평균 24ppm이었고, TD 1.5는 탈지탱크로부터 1.5m 거리에서 측정된 농도로 기하평균 24ppm을 나타냈다. TD 3.0은 탈지탱크로부터 3m거리에서 측정된 농도로 기하평균 18ppm으로 전체적으로 거리에 따른 농도차이가 있음을 보여주고 있다( $p < 0.01$ ). 오염물은 오염원으로부터 확산현상에 의해 공기중으로 퍼져나가므로 오염

**Table 4.** Geometric Means (GM) and Ranges by Plant and distance from the Source

Plant	TD 0			TD 1.5			TD 3.0		
	No. of Samples	GM (ppm)	Range	No. of Samples	GM (ppm)	Range	No. of Samples	Gm (ppm)	Range
A	3	512	385-597	3	54	26-114	3	47	21-97
B	3	670	429-1052	3	53	29-87	3	25	18-37
C	4	3768	2465-4813	4	69	61-87	4	21	19-28
D	5	1043	644-2218	5	7.7	4.2-14	5	11.5	6-28
E	3	237	223-263	3	22	12-33	3	18	6.4-32
F	4	1532	1296-1937	4	17	6.1-37	4	15	5.2-43
G	1	379		1	7.0		1	2.8	
No. of Samples	23			23			23		
Geometric Mean	1014			24			18		
Range	223-5378			4.2-114			2.8-97		

원으로부터 멀어질수록 오염물의 농도가 낮아진다는 Two-Point Eddy Diffusional Model의 가정을 일부분 반영하고 있다(Wadden 등, 1989). 'D'공장의 경우 TD 1.5가 TD 3.0보다 농도가 낮는데 이는 시료 채취할 장소가 적당치 않아 탈지조 뒤에서 TD 1.5시료를 채취하였기 때문이다.

### 3. 트리클로로에틸렌 폭로농도에 영향을 미치는 요인

TCE 폭로를 효율적으로 제어하기 위해서는 TCE 세척작업장의 공기중 농도에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 것이 매우 중요하다. 기존의 몇몇 보고에서는 국소배기시설의 유무(Burgess, 1981), 탱크의 유형(Burgess, 1981), 작업량(Franke와 Wadden, 1987; Wadden 등, 1991; Scheff 등, 1992), 작업유형(Scheff 등, 1992), 전체환기 정도 등이 오염물 폭로에 영향을 미친다고 하였다.

산업안전보건법 시행규칙에서는 '제1류 물질의 가스나 증기가 탱크로부터 발산되는 것을 막기 위하여 옥내 작업장에는 국소배기시설을 설치하도록 권고'하고 있다(노동부, 1991). 표 5에서 나타

난 것처럼 조사 사업장 7개중 2개 사업장에는 국소배기장치가 설치되어 있지 않았으며, 5개 사업장에는 슬로트 후드가 설치되어 있었다. 국소배기시설의 성능을 평가하기 위하여 미국 ACGIH에서 권장하는 탱크 단위 면적당 필요 환기량,  $125\text{ft}^3/\text{min}/\text{ft}^2$  ( $0.64\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}^2$ )과 비교한 결과 (ACGIH, 1988), 'G'공장을 제외한 모든 공장에서 필요환기량에 미달하였으며 필요환기량의 0%~86%였다.

탱크로부터의 TCE 발산을 막기 위하여 탱크에 설치하는 것이 응축기(condenser)와 냉각기(refrigeration lines)이다(Burgess, 1981). 응축기는  $43^\circ\text{C}$  이하로 온도를 낮추어  $87^\circ\text{C}$  이상에서 증기화된 TCE가 탱크 밖으로 나가지 못하도록 하는 시설이며 냉각기는  $0^\circ\text{C}$  이하로 온도를 아주 낮추어 더욱 강력하게 TCE 증기가 빠져나가지 못하도록 하는 시설이다. 이 시설들은 표 5에 나타난 것처럼 4개 공장에 설치되어 있었으며 응축기와 냉각기의 온도는 위의 조건을 만족하고 있었다. 'B'공장의 경우 국소배기시설은 갖추지 않았지만 응축기와 냉각기를 모두 갖추고 있어 TCE 발산은 어느 정도 막고 있었다.

탈지조에 설치된 국소배기장치와 응축기 및 냉

Table 5. Characteristics of Exhaust Ventilation and Degreaser

Characteristics	Data by Plant						
	A	B	C	D	E	F	G
Type of Ventilation	slot	no	no	slot	slot	slot	slot
Exhaust Volume ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )	0.11	0	0	0.31	0.67	0.44	0.45
Slot Velocity ( $\text{m}/\text{sec}$ )	6.18	—	—	1.33-5.77	4.77-9.70	5.47	11.53
Required Exhaust Vol. ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )	0.41	0.92	0.10	0.63	1.34	0.51	0.41
Ratio (Exhaust vol./Required vol.)	0.27	0	0	0.49	0.48	0.86	1.1
Type of Degreaser*	c	c	b	a	c	c	c
Surface Area ( $\text{m}^2$ )	0.64	1.45	0.16	0.99	2.11	0.81	0.65
Condenser	○	○	×	×	○	×	○
Refrigeration Lines	×	○	×	×	×	×	×
Temperature ( $^\circ\text{C}$ )							
vapor	85	85	85	90	90	90	90
warm liquid (ultrasonic)	82	86			85	73	70
cool liquid	60	50			50	50	28
condenser	32	26			20		26
refrigeration lines		-5					

\* a : straight vapor cycle degreaser

b : ultrasonic vapor degreaser

c : ultrasonic liquid vapor cycle degreaser

각기는 탈지조로부터의 TCE 발산을 억제하는 시설들이다. 위 시설의 영향정도를 알아보기 위하여 위 요인에 따라 분류한 탈지조 가장자리에서의 농도를 일원분산분석법으로 통계분석을 하였다. 실제 사업장들은 위 시설을 모두 갖추고 있는 경우가 별로 없고 위 시설들중 일부를 갖추고 있어 사업장 분류는 국소배기 시설과 응축기를 모두 갖추고 있는 사업장과 둘중 하나를 갖추고 있는 사업장 및 하나도 갖추지 않은 사업장 등으로 분류하였다. 그 결과 표 6에 나타난 것처럼 매우 유의하게 위 시설들이 탈지조의 발산을 막아내는 데 영향을 미치는 것으로 나타났다.

발산량에 관한 몇몇 연구자들의 보고서에서는 세척 바구니의 수, 세척물의 표면적, 작업 유형 등이 탈지조로부터의 TCE 발산에 영향을 미친다고 보고하였다(Franke와 Wadden, 1987; Wadden 등, 1991; Scheff 등, 1992). 기존 보고에 의하면 세척자가 세척 바구니를 탈지탱크에 집어 넣을 때(139-259ppm), 3분에서 10분간 탱크내의 불립조·초음파조·증기조 등으로 바구니를 옮길 때(201-439 ppm) 및 탱크에서 꺼낼 때(236-466ppm) 고농도에 폭로된다(Burgess, 1981). 또한 바구니를 꺼낼 때 TCE를 탱크안에서 충분히 건조시키지 않아 TCE가 바구니에서 뚝뚝 떨어진다면 그 폭로 정도는 더욱 높아질 것이다.

본 연구에서는 세척자가 TCE에 폭로되는 정도에 영향을 미치는 인자로서 국소배기량, 응축기나 냉각기의 유무, 1일 동안의 세척물의 부피, 1일동안 세척하는 바구니 수 및 세척실의 크기(밀폐 정도)등을 가정하여 이에 대한 상관성을 살펴

**Table 6.** GMs of TCE Concentrations at Source by Control Facility

Airborne TCE Concentration, ppm by Control Facility		
with Hood and Condenser	with Hood or Condenser	without any of them
512(Plant A)	1043(Plant D)	3768(Plant C)
670(Plant B)	1532(Plant F)	
237(Plant E)		
379(Plant G)		

Note: Significant difference between groups.  $p < 0.01$

**Table 7.** Correlation Matrix of Operator's TWA Exposure Levels and Exposure Variables

Variables	Correlation Coefficient, r
Local Exhaust Volume	- .2456
Ratio (Exhaust vol./Required vol.)	- .2599
Condenser or not	+ .2751
No. of Baskets/Day	+ .9621**
Volume of Parts Degreased/Day	+ .2783
Dimensions of Room	- .8667*

\*  $p < 0.05$

\*\* :  $p < 0.01$

보았다.

표 7에서 보는 바와 같이 세척자의 폭로에 영향을 미치는 요인으로는 하루 동안 작업하는 세척 바구니의 수와 세척실의 크기가 통계적으로 상관성을 갖는다고 분석되었다. 실제 작업장에서는 작업장내 대류의 형성과 방향, 기후 조건 및 세척자 개인별 작업 유형 등 여러 요인들이 복합적으로 TCE 폭로에 영향을 미칠 것으로 예상되므로 이에 관한 연구가 앞으로 실시되어야 할 것이다.

세척실의 크기는 공간의 크기와 밀폐 정도를 반영하고 있는 변수이다. 특히 조사기간이 여름철이어서 모든 창문과 문을 열어놓고 선풍기를 가동시켜 공간 내에 강한 대류를 발생시키고 있었다. 이로 인해 전체 환기량을 크게 증가시켰으며 공기중 TCE를 희석·교체 시킴으로써 세척자의 폭로를 줄이는 요인으로 작용했다. 그러므로 문을 닫아놓는 겨울철에는 세척자의 TCE 폭로가 크게 늘어날 것으로 예상된다.

1일간 세척하는 세척물의 부피보다 작업하는 바구니의 수가 훨씬 상관성이 높은 것은 바구니의 크기가 사업장마다 크게 차이가 났으며, 세척물의 종류에 따라 바구니에 담겨지는 정도도 차이가 많이 났기 때문이다. 즉 전체 세척물의 부피보다 몇 번 바구니를 들었다, 놓았는가 하는 작업 횟수가 훨씬 TCE 폭로에 영향을 미침을 알 수 있다.

그림 3은 'D'공장의 세척자가 시료포집시간 동안 작업한 바구니의 수와 그 시간 동안의 시간가중평균치의 관계를 나타낸 것이다. 바구니의 수는 하루 세번의 시료채취시간 동안 작업한 바구니의 수를 의미한다. 하루 작업하는 동안에서도



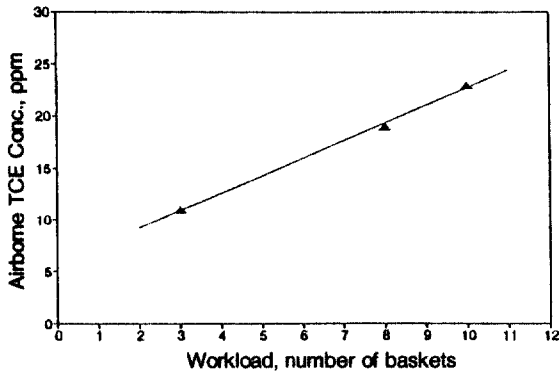


Fig. 3. Personal Exposure Levels by workload.

세척바구니의 수와 폭로량은 높은 상관성이 있음을 알 수 있다.

이상에서와 같이 탈지조에서의 TCE 발산을 억제하기 위해서는 근본적으로 국소배기시설을 갖추고 국소배기량과 슬로트 속도 등을 공학적으로 관리하여야 한다. 또한 탈지조 내에서 국소배기 시설 만큼이나 중요한 역할을 하는 응축기나 냉각기를 설치하는 것도 중요하다. 세척자의 폭로를 최대한 줄이기 위해서는 여름철에는 가급적 모든 문을 열어 놓고, 선풍기의 풍향을 조절하여 TCE 증기를 외부로 뽑아내는 것이 적당하다. 세척자 폭로와 관련하여 다른 요인들 만큼이나 중요한 것이 작업자의 작업 유형이다. 즉 세척자는 탈지조 내에서 세척바구니를 충분히 건조시킨 후 탈지조 밖으로 꺼내도록 하며 세척보조자는 작업 위치를 탱크와 가급적 멀어지게 하거나 풍향의 방향 등을 고려하여 작업 위치를 정하는 것이 TCE 폭로를 줄이는 한 방법이다.

#### 4. Two-Point Eddy Diffusional Model에 대한 고찰

실내 오염원으로부터의 오염물 방출량은 근로자 폭로의 주요한 결정인자이므로 오염원 발산량 (emission factor)의 정량적 예측은 공학적 관리 개선면에서 매우 중요하다(Wadden 등, 1989; Wadden 등, 1991). 일반적으로, 단일 오염원(탈지조)이 작업장내의 오염물 농도를 상승시키는 주요인이라면, 더 높은 농도를 나타낸 경우 그 오염원이 더 높은 발산량을 갖는다고 가정할 수 있다. 덧붙여 특정 발산량의 수치는 오염원에서의

작업량과도 깊은 관련이 있다(Sscheff 등, 1992).

표 8은 조사 사업장들에 대해서 Two-Point Eddy Diffusional Model을 적용하여 B, C 및 F 사업장의 확산도와 발산량을 구한 것이다. 표에 나타나듯이 'B'공장의 첫번째 시료채취와 'F'공장의 시료채취에 대해서는 계산상의 error율이 높아 확산도와 발산량을 구하지 못하였다. 이 시료들은 1.5m거리에서의 농도와 3m거리에서의 농

Table 8. Average Concentrations ( $C_{av}$ ), Diffusivities(D), and Emission Factors (S) for Degreaser

Plant	TCE Concentration, ppm			D ( $m^2/min$ )	S (gTCE/min)
	Run	$C_{av,edge}$	$C_{av,r1}$		
Plant B					
Run 1		429	29	18	-
Run 2		667	60	25	1.44
Run 3		1052	87	37	1.61
Plant C					
Run 1		2465	87	19	0.13
Run 2		5378	58	20	0.43
Run 3		4813	75	28	0.62
Run 4		3161	61	19	0.30
Plant F					
Run 1		1402	37	43	-
Run 2		1296	22	19	-
Run 3		1937	17	13	-
Run 4		1568	6.1	5.2	-

Note: r1=1.5m from the source  
r2=3.0m from the source

Table 9. Average Emission Factors

Plant	Run	Emission Factors, S	
		gTCE/min	gTCE/ ( $m^2 \cdot min$ )*
Plant B			
	Run 1	-	-
	Run 2	5.34	3.68
	Run 3	8.60	5.93
Average Emission Factor		6.97	4.81
Plant C			
	Run 1	1.11	6.94
	Run 2	1.77	11.06
	Run 3	3.13	19.56
	Run 4	1.39	8.69
Average Emission Factor		1.85	11.56

\* Emission factors corrected by surface area of tank.

도 차이가 크게 나지 않았다. 이런 경우는 확산만이 아닌 다른 요인에 의해 작업실내 공기가 빠른 속도로 이동하여 혼합된다는 것을 의미한다. 이는 이 모델의 중요한 가정인 오염원으로부터 몇 m 이내에서는 시간에 따른 확산이 실내 농도 유형에 가장 큰 영향을 미친다는 전제를 만족시키지 못하는 환경임을 알 수 있다. 실제 사업장에는 많은 문과 창문이 존재하거나 대형 선풍기 등의 가동으로 강한 대류를 일으키는 요인들이 존재한다. 그러므로 이 모델은 위의 가정을 잘 따르는 적절한 공간에 적용하여 발산량을 구해야 하며 다른 외부 조건이 많은 일반 사업장에 그대로 적용하여 발산량을 산출하는 것은 한계가 있다.

표 8에서 구하여진 발산량을 일반화하기 위하여 탱크 면적으로 보정하여 평균 발산량을 구한 것이 표 9에 나타나있다. 'B' 공장은 국소배기시설은 없고 응축기와 냉각기만 갖추고 있는 초음파 탈지조였으며 'C' 공장은 국소배기 시설과 응축기 및 냉각기를 모두 갖추지 않은 초음파 탈지조였다. 'C' 공장의 탈지조는 그 발산량이 응축기와 냉각기를 갖춘 'B' 공장에 비해 무려 세 배나 많은 TCE를 발산하고 있음을 알 수 있다.

미국 환경보호기구(Environmental Protection Agency, EPA)는 증기조 탱크의 뚜껑이 없는 탈지조에 대한 발산량이  $30.3g/(m^2 \cdot min)$ 이라고 보고하였으며(EPA, 1979), Carryout은  $24.45g/(m^2 \cdot min)$ 를 보고하였고, Burgess는  $16.3g/(m^2 \cdot min)$ 를 보고하였다(Burgess, 1981). Wadden 등은  $30.94g/(m^2 \cdot min)$ 를 무개탈지기에 대해서 보고하였다(Wadden 등, 1989). 그러나 본 연구에선  $4.81g/(m^2 \cdot min)$ 과  $11.56g/(m^2 \cdot min)$ 의 발산량이 구하여져 기존의 연구 결과보다 그 수치가 낮음을 알 수 있다.

이는 기존의 연구대상이었던 탈지조에는 TCE의 발산을 막기위한 응축기나 냉각기를 갖추지 않았으나 본 조사의 'B' 사업장 탈지조는 응축기와 냉각기를 모두 가지고 있어 TCE의 발산을 강력하게 억제하고 있었다. 'B'사업장의 발산량이  $4.81g/(m^2 \cdot min)$ 이라는 것은 Wadden등(Wadden 등, 1989)이 보고한 국소배기시설 밖에서의 발산량  $2.07g/(m^2 \cdot min)$ 보다 약간 큰 수치이며 이는

국소배기 시설보다 냉각기의 효율이 약간 떨어짐을 간접적으로 보여주고 있다. 냉각 응축기에 대한 연구 결과에 의하면 냉각기는 유기용제의 손실을 방지하고 국소배기 장치의 필요성을 배제시킨다고 주장하였다(Burgess, 1981). 'C' 사업장의 탈지조는 TCE 발산을 억제하는 아무 시설도 없었으나 탈지조의 크기가 매우 작았으며 또한 탈지조내의 증기가 탈지조밖으로 넘치지 않도록 세척자가 계속 신경을 쓰고 있었기 때문에 발산량이 다른 연구결과보다 낮은 것으로 여겨진다. 이외에 작업량의 차이에 의해서도 발산량은 크게 달라진다는 것이 보고된 바 있다(Wadden 등, 1991, Scheff, 1992).

발산량을 구하려는 시도는 사용되는 탈지조의 형태나 작업량과 일정한 관계를 갖는 발산량을 정량화하여 공학적 관리나 향상적인 작업장 환경농도의 모니터링에 응용하려는 것이다. 또한 발산량을 이용하게 되면 각기 다른 장소에서 같은 유형으로부터의 발산 추정이 가능하게 되어, 공학적인 관리면에서 일정한 정량적 기초를 제공할 수 있다. 앞으로의 연구에서는 일반산업장의 여러 요인을 더욱 정밀하게 반영할 수 있는 모델링 공식이 개발되어져야 할 것이며, 여러 탈지조 형태에 따른 발산량의 차이를 알아내어 TCE 폭로에 대한 적절한 관리개선을 하여야 하겠다.

#### IV. 결 론

본 조사는 1992년 7월 21년부터 8월 27일까지 서울, 인천, 안산 및 대전지역에 위치한 50인 이하 중소 도금사업장 7개소를 대상으로 하여 세척실에서의 공기중 트리클로로에틸렌(TCE) 폭로에 대하여 조사하였다. 시간가중평균치(Time-Weighted Average, TWA)와 TCE 농도의 분포를 알아보았고, TCE 세척 작업장의 공기중 농도에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 또한 Wadden 등이 보고한 Two-Point Eddy Diffusional Model을 일반사업장에 적용하여 탈지조 형태에 따른 발산량을 알아보았다.

1. 세척자의 경우 사업장별로 8시간 시간가중평균치가 1.4ppm에서 123ppm까지 그 농도범위가

넓었으며, 대상사업장 7개중 3개 사업장이 우리나라와 미국정부의 법적기준인 50ppm을 초과하였다. 세척보조자의 경우 'B' 공장에서 59ppm으로 허용기준 50ppm을 초과하였다.

2. 탈지조로부터 0m, 1.5m 및 3.0m 거리에서 측정된 농도들은 1,014ppm, 24ppm 및 18ppm으로 거리에 따른 농도차이가 있음을 보여주고 있다( $p < 0.01$ ).

3. 탈지조에서의 국소배기장치와 응축기 및 냉각기는 탈지조로부터의 TCE 발산을 억제하는데 매우 유의하게 영향을 미치는 요인들임이 확인되었다( $p < 0.01$ ).

4. 세척자의 폭로와 상관성이 깊은 요인으로는 하루 동안 작업하는 세척바구니의 수( $r = .9621$ ,  $p < 0.01$ )와 세척실의 크기( $r = -.8667$ ,  $p < 0.05$ )이다.

5. 확산이외의 다른 요인에 의해 작업실내 공기가 빠른 속도로 이동하여 혼합되는 경우 Two-Point Eddy Diffusional Model의 가정을 만족시키지 못하여 발산량을 구할 수가 없다.

6. 국소배기시설과 응축기 및 냉각기를 모두 갖추기 않은 초음파 탈지조는 국소배기시설은 갖추지 않고 응축기와 냉각기만 갖추고 있는 초음파 탈지조에 비해 세 배나 많은 TCE를 발산하고 있었다.

## 참 고 문 헌

김창엽, 조정진, 김양호, 박두용, 백남원 : 탈지 작업 근로자의 트리클로로에틸렌 폭로에 관한 조사. 한국 산업의학 1989; 28(4) : 127-137

김형아, 이광목 : 트리클로로에틸렌을 취급하는 근로자의 요중 총삼염화물 농도와 공기중 트리클로로에틸렌의 농도. 한국의 산업의학 1989; 28(1) : 9-13

노동부 : 산업안전보건법, 노동부, 1991

노동부 : 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제 91-21호, 노동부, 1991.

독일산업안전보건원 : 클로로 탄화수소류 세정물질의 안전취급, 한국산업안전공단, 1990, 18-22

백남원, 맹광호, 최영태 : 모 콘덴서 제조 공장 세척실에서의 트리클로로에틸렌 중독. 한국의 산업의학 1970; 9(2) : 4-8

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants*, Cincinnati, OH, ACGIH, 1989, 21-33

ACGIH : *Documentations of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, Cincinnati, OH, ACGIH, 1986, 595-597

ACGIH : *Industrial Ventilation- A Manual of Recommended Practice*, 20th ed., Lansing, Mich, ACGIH, 1988

ACGIH : *TLVs Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1991-1992*, Cincinnati, OH, ACGIH, 1991

Burgess WA : *Recognition of Health Hazards in Industry*, New York, John Wiley and Sons Inc., 1981, 20-33

Carlaw HS, Jaeger JC : *Conduction of Heat in Solids*, 2nd ed, London, Oxford University Press, 1959, 260-261

Craft BF : *Solvents and Related Compounds*, In Rom WN (Ed), *Environmental and Occupational Medicine*, U.S.A., Little Brown Pub., 1983, 520

Franke JE, Wadden RA : *Indoor contaminant emission rate characterized by source activity factors*. *Env Sci Tech* 1987; 21 : 45-51

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : *NIOSH Manual of Analytical Methods*, Cincinnati, Ohio, DHHS (NIOSH) Publication No. 84-100, 1984

NIOSH : *Special Occupational Hazard Review with Control Recommendations Trichloroethylene*, U.S. Dept. of Health Education and Welfare Public Health Services, 1978, 1-59

Scheff PA, Friedman RL, Franke JE, Conroy LM, Wadden RA : *Source activity modeling of freon<sup>®</sup> emissions from open-top vapor degreasers*. *Appl occup Env Hyg J* 1992; 7(2) : 127-134

U.S. Environmental Protection Agency : *Organic Solvent Cleaners-Background Information for Proposed Standard*, (EPA cl50/2-78-045a), 1979

Wadden RA, Scheff PA, Franke JE : *Emission factors for trichloroethylene vapor degreasers*. *Am Ind Hyg assoc J* 1989; 50(9) : 496-500

Wadden RA, Hawkins JL, Scheff PA, Franke JE : *Characterization of emission factors related to trichloroethylene degreasing and chrome plating processes*. *Am Ind Hyg Assoc J* 1991; 52(9) : 349-356