

自動車 塗裝 作業場에서의 有機溶劑 曝露에 關한 研究

김 영 식

밀양산업대학교 환경공학과

A Study on Organic Solvent Exposure in Painting Operation of Automobile Manufacturing Industry

Young Sik Kim

Department of Environmental Engineering, Miryang National University

ABSTRACT

A Study was performed in order to measure mixed organic solvent concentrations in air of painting operations during January 5~28, 1991. The mixed organic solvent concentrations were analyzed by the gas chromatography.

The results were as follows :

1. The detection of organic solvent was highest in aromatic hydrocarbon(68%), and followed by aliphatic hydrocarbon (18%), and ketone (14%).
2. The detection of organic solvent by component category was highest in the 2nd class solvent (79.4%), and followed by the 3rd class solvent (20.6%).
3. Number of cases exceeding TLVS of mixed solvent level in air was highest on dipping operation (44%), and followed by spray operation (40%), dry and washing operation (33%), and adhensive operation (12%).

Keywords : Organic solvent exposure, painting operation, aromatic hydrocarbon, aliphatic hydrocarbon, TLV.

I. 서 론

화학공업이 발달함에 따라서 유기용제의 사용량은 해마다 10% 이상 증가하고 있으며, 유기용제를 사용하는 산업현장도 다양화되고 있다.¹⁾ 따라서 산업의 발전에 따른 공업화 과정에서 각종의 유기화학물질이 사용됨에 따라 근로자의 건강보호 문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 특히 다량의 유기용제를 사용하는 도장, 세척작업 등의 증가로 인하여 발생하는 유기용제에 의한 건강장애가 점차 늘어나는 추세에 있으며, 현재 사용중인 유기용제 종류는 약 400여종의 물질이 알려지고 있다.²⁾

유기용제라 함은 용질의 성질을 변화시키지 않고 이를 녹일 수 있는 유기화학물질로서 휘발성이 있는 액체를 말한다. 유기용제는 지방, 기름, 왁스, 안료, 바니시, 고무, 그밖의 여러가지 물질을 용해하고 쉽게 분산시킬 수 있는 능력이 있기 때문에 염료, 접

착제, 인쇄잉크, 수지 등을 제조하고 조합하는데 쓰일 뿐 아니라 유지 제조업, 도장작업, 인쇄 출판업, 신발 제조업, 고무 화학 제조업, 플라스틱 제조업, 그리고 금속, 섬유, 탈지 및 세척 등에 널리 사용되고 있다.^{3,4)}

세계적으로는 수백만명의 근로자가 유기용제에 폭로되고 있으며, 스웨덴의 예를 보면 전 인구의 3~4%, 미국의 경우 약 24만명의 근로자가 특정 유기용제에 폭로되고 있는 것으로 보고 되었다. 우리나라의 경우 최근에 고무신 공장의 n-hexane 중독, 금속 세척작업에서의 trichloroethylene 중독, 레이온사 제조 공장에서의 CS₂ 중독 등 유기용제에 의한 직업병이 보고되고 있으며, 일부 사업장에서는 사망자까지 보고되고 있는 실정으로, 연 6만명의 근로자가 유기용제에 폭로되고 있는 실정으로 유기용제 취급 사업장에 대한 관리 대책 수립이 시급한 현안으로 나타나고 있다.⁵⁾

1990년 우리나라에서 유해물질을 취급하는 근로자를 대상으로 대한산업보건협회에서 실시한 특수건강진단을 받은 근로자는 427,611명이었고 이중 유기용제 취급자는 56,502명이었다.⁶⁾

특수건강진단을 통해 직업병자로 진단된 근로자는 총 8,919명 이었으며, 유해물질 종류별로 보면 분진 6,307명, 소음 2,209명, 특정화학물질 279명, 납 90명, 그리고 유기용제 직업병자가 34명으로 보고 되었다.⁶⁾

유기용제의 만성중독자수는 비교적 적게 나타났으며, 이는 진단이나 인과관계의 증명이 어렵기 때문으로 판단되며, 실제로는 이보다 훨씬 많은 것으로 사료된다.

본 연구에서는 유기용제를 다량 사용하는 자동차 도장공장에서 발생하는 공기중의 유기용제의 복합농도를 측정하여 도장 공정별 혼합용제의 허용농도 초과율에 관한 실태조사 및 근로자의 폭로 정도를 파악하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험기기

- ① 개인용 공기 포집기(Personal air sampler)
근로자의 폭로 유기용제 포집용으로서 사용 전후에 유량보정계(pump calibrator)로 유량을 보정하였으며 조사기간 중 유량의 변동은 없었다. 개인용 유기용제 포집기에 부착된 활성탄관(50 mg/100 mg) 홀더(charcoal tube holder)는 근로자의 호흡기 위치에 부착하여 정상시의 작업에 따른 유기용제 폭로량을 측정하여 평가하였다.
사용 기종으로는 MSA(미국)사의 Fixt-Flo Model 1(±5% 이내)과 Flo-lite Pro (±3% 이내)로 일정 유량을 유지하는 자동 보정기능이 있는 장비를 사용하였다.
시료채취 유량은 0.2l/min으로 포집하였다.
- ② 유량보정계(Pump calibrator)
비누거품을 사용하는 soap bubble calibrator로 개인용 공기 포집기의 보정을 MSA사의 Model A로 100~1,000 ml/min 범위에서 0.1 ml/min 까지 유량보정이 가능한 기종이다.
- ③ 가스크로마토그래피(Gas chromatography)
Varian Co., Ltd, USA

2. 실험재료

- ① 활성탄관(Charcoal tube) : Gilian사의 제품을 사용하였으며, Coconut 50 mg/100 mg의 2 Section으로 되어 있다.
- ② 이황화탄소(CS₂) : Chromatographic grade용, Junsei Chemical Co., Ltd
- ③ 톨루엔(Toluene) : Chromatographic grade용, Junsei Chemical Co., Ltd
- ④ 크실렌(Xylene) : Chromatographic grade용, Junsei Chemical Co., Ltd
- ⑤ 노르말헥산(N-hexane) : Chromatographic grade용, Junsei Chemical Co., Ltd
- ⑥ 사이클로헥산(C-hexane) : Chromatographic grade용, Junsei Chemical Co., Ltd
- ⑦ 메틸이소부틸케톤(Methyl isobutyl ketone) : Chromatographic grade용, Junsei Chemical Co., Ltd
- ⑧ 아세톤(Acetone) : Chromatographic grade용, Junsei Chemical Co., Ltd
- ⑩ 펜탄(Pentane) : Chromatographic grade용, Junsei Chemical Co., Ltd

3. 실험방법

본 조사는 도장 사업장에서 발생하는 공기중의 유기용제가 근로에게 폭로되는 농도를 파악하기 위하여 인천시 부평에 소재한 자동차를 생산하는 우리나라 굴지의 단일업체를 대상으로 조사가 가능한 작업 공정별로 조사하였으며, 공장 배치도와 작업 공정 도면을 검토하여 유기용제 발생실태를 파악한 후 근로자의 행동영역과 작업을 고려하여 측정지점을 선정하였고, 1991년 1월 5일부터 28일동안 조사하였다.

조사대상 공정의 작업장은 각 공정별로 국소배기 시설이 설치되어 있었으며 작업환경 조건이 비교적 양호한 개방된 작업장 형태로 작업은 연속적으로 수행되고 있었다.

조사대상 공정은 세척, dipping, 분무, 건조 및 접착공정으로 도장공정 라인은 Fig.1과 같다.

4. 분석방법

근로자들에게 개인용 공기 포집기를 착용시켜 근로자의 호흡영역에 활성탄관(50 mg/100 mg) 홀더

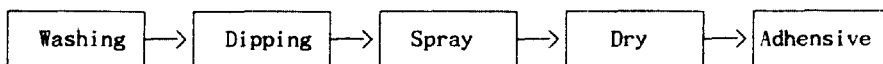


Fig. 1. The process painting operation.

(charcoal tube holder)를 부착시켜 유량을 0.2l/min으로 30분~1시간 동안 포집하였다. 포집이 끝난 후 관의 양쪽을 플라스틱 캡(plastic cap)으로 봉한 뒤 실험실에 운반하여 분석하였다. 분석이 미처 이루어지지 않은 활성탄관은 냉장고에 보관하였다.

실험실에 운반한 활성탄관의 중심을 절단하여 각각의 활성탄을 테프론(teflon)마개가 달린 유리용기에 옮긴 후 이황화탄소(CS₂) 1.0 ml를 넣어 30분간 방치하여 흡착된 유기용제를 용출시킨 후 가스크로마토그래피[gas chromatography(FID)]을 사용하여 분석하였다.^{7,8,9)}

III. 조사결과

1. 작업 공정별 유기용제 검출

본 측정대상 도장라인을 5개 공정으로 분류하여 유기용제의 검출을 분석한 결과는 Table 1에 나타난 바와 같이 toluene, xylene, n-hexane, c-hexane, methylisobutylketone(MIBK), methylethylketone (MEK), acetone, pentane 등 8개 항목의 유기용제가

검출되었다.

가장 많이 검출된 유기용제 항목을 보면 toluene, xylene, MEK는 전 공정에서 검출되었으며 n-hexane 및 c-hexane은 세척, dipping, 분무공정에서 검출되었다.

MIBK는 세척, 분무, 건조 및 접착공정에서 검출되었으며, acetone은 세척, dipping 분무 및 접착공

Table 1. Frequency of identification of organic solvents by type of material and workplace

Material	Washing	Dipping	Spray	Dry	Adhesive
Toluene	22	9	9	3	5
Xylene	16	7	5	3	5
n-hexane	5	2	4	—	—
c-hexane	5	1	4	—	—
MIBK	3	—	2	1	1
MEK	1	1	1	1	2
Acetone	2	1	1	—	1
Pentane	—	2	—	—	—
Total	54	23	26	8	14

Table 2. The organic solvent concentration of washing operation

Workplace	The concentration of organic solvent(ppm)								Combined Exposure Index	Remark
	Toluene	Xylene	n-hexane	c-hexane	MIBK	MEK	Acetone	Pentane		
A- 1	12.6	10.9	ND	ND	ND	ND	—	—	0.2	
A- 2	5	4	ND	ND	ND	ND	—	—	0.09	
A- 3	6	3	—	—	—	—	—	—	0.09	
A- 4	2	16	ND	ND	—	—	ND	ND	0.2	
A- 5	1.8	ND	9.6	6.5	ND	ND	29.5	—	0.3	
A- 6	0.7	ND	3.3	2.5	ND	ND	4.6	—	0.1	
A- 7	2.6	ND	6.8	5.8	ND	ND	—	—	0.2	
A- 8	9.1	—	9.6	7.6	ND	—	ND	—	0.3	
A- 9	130	105	ND	ND	ND	96	ND	—	2.8	exceed
A-10	160	111	ND	ND	ND	ND	—	—	2.7	exceed
A-11	23	33	ND	ND	ND	ND	—	—	0.5	
A-12	235	148	—	—	—	—	—	—	3.8	exceed
A-13	25	39	—	—	—	—	—	—	0.6	
A-14	61	9	—	—	—	—	—	—	0.7	
A-15	22	9	—	—	—	—	—	—	0.3	
A-16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—	0	
A-17	205	ND	—	—	—	—	—	—	2.0	exceed
A-18	100	20	ND	ND	ND	—	—	—	1.2	exceed
A-19	44	14	—	—	—	—	—	—	0.5	
A-20	2	19	ND	ND	48	ND	—	—	1.2	exceed
A-21	188	83	ND	ND	7	—	—	—	2.9	exceed
A-22	72	67	8	12.7	13	ND	—	—	1.8	exceed
A-23	4	ND	ND	ND	ND	—	—	—	0.04	
A-24	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—	0	

Table 3. The organic solvent concentration of dipping operation

Workplace	The concentration of organic solvent(ppm)								Combined Exposure Index	Remark
	Toluene	Xylene	n-hexane	c-hexane	MIBK	MEK	Acetone	Pentane		
B-1	7	31	ND	ND	ND	10	ND	-	0.4	exceed exceed exceed exceed
B-2	3	62	ND	ND	-	-	-	ND	0.6	
B-3	6.3	ND	10.4	6.0	ND	ND	14.8	-	0.3	
B-4	46	15	ND	ND	-	-	-	ND	0.6	
B-5	92	81	ND	ND	-	-	-	ND	1.7	
B-6	107	45	ND	ND	-	-	-	15	1.5	
B-7	93	23	-	-	-	-	-	-	1.2	
B-8	112	ND	-	-	-	-	-	-	1.1	
B-9	9	3	25	ND	-	-	-	2	0.6	

Table 4. The organic solvent concentration of spray operation

Workplace	The concentration of organic solvent(ppm)								Combined Exposure Index	Remark
	Toluene	Xylene	n-hexane	c-hexane	MIBK	MEK	Acetone	Pentane		
C- 1	124	65	-	-	-	-	-	-	1.9	exceed exceed exceed
C- 2	64	ND	5.3	6.2	ND	-	-	-	0.7	
C- 3	15	1.8	24.6	13.9	ND	-	-	-	0.7	
C- 4	8.9	ND	17	19	ND	ND	24	-	0.5	
C- 5	8	ND	3	8.8	ND	ND	ND	-	0.1	
C- 6	164	50	-	-	-	-	-	-	2.1	
C- 7	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	0	
C- 8	35	11	ND	ND	ND	ND	-	-	0.4	
C- 9	9.4	ND	ND	ND	52	ND	-	-	1.1	
C-10	68	91	ND	ND	77	100	-	-	3.6	

Table 5. The organic solvent concentration of dry operation

Workplace	The concentration of organic solvent(ppm)								Combined Exposure Index	Remark
	Toluene	Xylene	n-hexane	c-hexane	MIBK	MEK	Acetone	Pentane		
D-1	23	45	-	-	-	-	-	-	0.7	exceed
D-2	6	122	ND	ND	-	-	-	ND	1.2	
D-3	3	3	ND	ND	14	15	ND	-	0.4	

Table 6. The organic solvent concentration of adhesive operation

Workplace	The concentration of organic solvent(ppm)								Combined Exposure Index	Remark
	Toluene	Xylene	n-hexane	c-hexane	MIBK	MEK	Acetone	Pentane		
E-1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	exceed
E-2	12	3	ND	ND	ND	ND	-	-	0.2	
E-3	29	6	ND	ND	-	-	-	ND	0.3	
E-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
E-6	25	22	ND	ND	ND	51	206	-	0.9	
E-7	80	12	ND	ND	ND	-	-	-	0.9	
E-8	128	28	ND	ND	49	41	ND	-	2.7	

정에서 검출되었고, pentane은 dipping 공정에서만 검출되었다.

검출 유기용제수를 작업 부서별로 보면 세척, dipping 및 분무공정에서 각각 7개 항목의 유기용제가 검출되었으며, 건조공정에서는 4개 항목의 유기용제가 검출되었고, 접착공정에서는 5개 항목의 유기용제가 검출되었다.

2. 작업공정에 따른 유기용제 종류별 검출

Table 7의 결과와 같이 방향족 탄화수소류(aromatic hydrocarbon)는 총 126개의 검출 유기용제 중에서 85개인 68%로 거의 대부분을 차지하고 있으며 지방족 탄화수소(aliphatic hydrocarbon)는 23개로 전체의 18%, 케톤류(ketone)는 18개로 14%로 나타났다.

대체적으로 Fig.2에서 보는 바와 같이 전 부서를 통하여 방향족 탄화수소류(aromatic hydrocarbons)가 거의 대부분 검출되었다. 특히 세척공정의 경우, 방향족 탄화수소류(aromatic hydrocarbons)가 38개 검출되었다.

산업안전보건법상의 특징 유기용제 종류별 성분의 검출에서 제 1종 유기용제는 전 공정에서 검출되지 않았으며, 제2종 유기용제는 79.4%로 거의 대부분을 차지하고 있었으며, 제3종 유기용제는 20.6%로 나타나 본 공정별 도장에서 사용되는 유기용제는 제2종 및 제3종 유기용제를 혼합하여 사용하고 있음을 알 수 있었다.

현재 우리나라의 산업안전보건법상 유기용제 중독의 예방 규정에 의거 법적으로 유기용제 구분은 제1종, 제2종, 제3종 유기용제로 구분하여 총 57종이

명시되어 있다.¹⁰⁾ 법정 유기용제 구분의 근거는 일본의 유기용제 중독 예방에 관한 규제를 참고로 한 것이다.¹¹⁾ 즉 유기용제 등을 취급시에 독성, 휘발성 등의 위험성 정도에 따라 위험성이 높은 순위로 제1종에서 제3종으로 구분하였다.

3. 공기중 혼합용제별 허용농도 초과 여부

작업 부서별 공기중 혼합용제별 허용농도인 1.0을 초과한 작업장수는 Table 9와 같다.

혼합물 유기용제 폭로지수는 다음 식을 적용하여 계산하였다.^{2,3)}

폭로지수가 1.0보다 크면 허용기준을 초과한 것

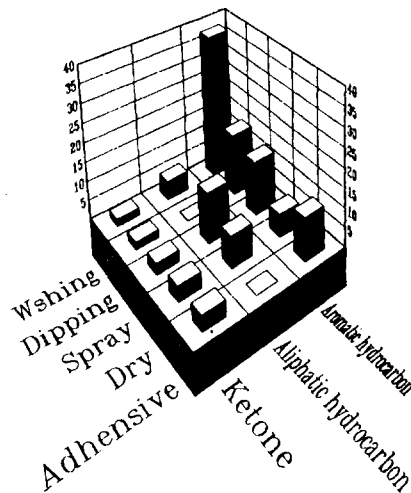


Fig. 2. Detection of organic solvent by operation.

Table 7. Distribution of organic solvent detected in comonent category and workplace

Operation Solvent by category	Washing	Dipping	Spary	Dry	Adhesive
Aromatic hydrocarbon	38	16	14	6	11
Aliphatic hydrocarbon	5	—	13	8	—
Ketone	2	2	3	4	4
Total	45	18	30	18	15

Table 8. Distribution of organic solvent detected by regulatory category and workplace

Operation Solvent by category	Washing	Dipping	Spary	Dry	Adhesive
The 1st class solvent	—	—	—	—	—
The 2nd class solvent	41	18	18	8	15
The 3rd class solvent	13	5	8	—	—
Total	54	23	26	8	15

이고 1.0보다 작으면 허용기준 미만을 뜻하므로 본 조사 성적의 평가에 있어서 단독물질의 허용농도와 혼합물의 허용농도가 모두 만족되는지의 여부를 확인하였다.

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

단, C_n: 유기용제의 각각 측정농도
T_n: 유기용제의 각각 허용농도

Table 9. Distribution of workplaces exceeding TLV by organic solvent

Operation	Washing	Dipping	Spray	Dry	Adhesive
Toluene	6	2	2	—	1
Xylene	—	—	—	1	—
n-hexane	—	—	—	—	—
c-hexane	—	—	—	—	—
MIBK	—	—	2	—	—
MEK	—	—	—	—	—
Acetone	—	—	—	—	—
Pentane	—	—	—	—	—
Mixture	2	2	—	—	—
Total	8	4	4	1	1

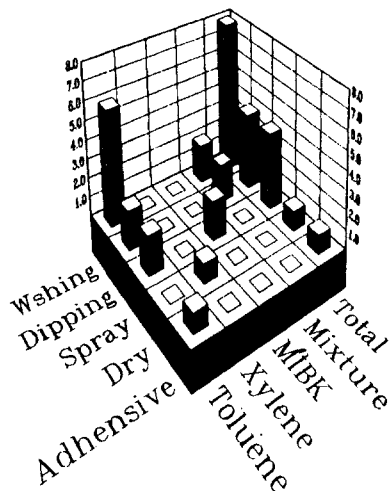


Fig. 3. Distribution of cases exceeding TLVs by operation.

Table 10은 미국의 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)¹²⁾ 유기물질의 허용기준을 나타낸 표로 이 허용기준에 적용하여 총 54개 도장 작업장 중 공기중 혼합용제별 허용농도 초과율은 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 dipping 공정은 총 9개 지점에서 4지점이 초과하여 초과율은 44%, 분무공정은 총 10개 지점에서 4지점이 초과하여 초과율은 40%, 건조공정은 총 3개 지점에서 1개 지점이 초과하여 초과율은 33%, 접착공정은 총 8개 지점에서 1지점이 초과하여 초과율은 12%로 각각 나타났다.

위의 결론에서 나타난 바와 같이 초과율이 높은 dipping 공정은 큰 용적의 페인트조에 차체를 담그므로 타 공정에 비하여 유기용제 발산량이 많기 때문에 초과율이 높았으며, 반면에 접착공정의 경우 접착제를 이용하여 차량에 부속부품을 장착하기 때문에 타 공정에 비하여 초과율이 비교적 적게 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 자동차 도장 공정에서 발생하는 공기중의 유기용제가 근로자에게 폭로되는 농도를 파악하기 위하여 자동차를 생산하는 업체를 대상으로 세척, dipping, 분무, 건조, 접착공정 등의 도장라인 별로 시료를 채취하여 가스크로마토그래피(gas chromatography)를 사용하여 분석한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- ① 검출 유기용제류를 도장공정별로 보면 세척, dipping 및 분무공정에서 각각 7개 항목의 유기용제가 검출되었으며, 건조공정에서 4개 항목의 유기용제가 검출되었고, 접착공정에서는 5개 항목의 유기용제가 검출되었다.

Table 10. The ACGIH TLVs of organic solvent

Solvent	Toluene	Xylene	n-hexane	c-hexane	MIBK	MEK
TWA	100 ppm	100 ppm	50 ppm	500 ppm	50 ppm	200 ppm
STEL	150 ppm	150 ppm	—	1000 ppm	75 ppm	300 ppm

TWA : Time Weighted Average.

STEL : Short-Term Exposure Limit.

- ② 방향족 탄화수소류(aromatic hydrocarbon)는 총 125개의 검출 유기용제 중에서 84개인 68%로 대부분을 차지하고 있으며 지방족 탄화수소류(aliphatic hydrocarbon)는 23개로 전체의 18%, 케톤류(ketone)는 18개로 14%로 나타났다.
- ③ 산업안전보건법상의 특정 유기용제 종류별 성분의 검출에서 제1종 유기용제는 전 부서에서 검출되지 않았으며, 제2종 유기용제는 79.4%로 거의 대부분을 사용하고 있었으며, 제3종 유기용제는 20.6%로 나타나 본 대상공정별 도장에서 사용하는 유기용제는 제2종 및 제3종 유기용제를 혼합하여 사용하고 있음을 알 수 있었다.
- ④ 총 54개 도장 작업장 중 공기중 혼합용제별 허용농도 초과율은 dipping 공정은 총 9개 지점에서 4지점이 초과하여 초과율은 44%, 분무공정에서는 총 10개 지점에서 4지점이 초과하여 초과율은 40%, 건조공정은 총 3개 지점에서 1개 지점이 초과하여 초과율은 33% 그리고 집착공정은 총 8개 지점에서 1지점이 초과하여 초과율은 12%로 각각 나타났다.
- ⑤ 향후 도장작업장에 관한 작업환경관리를 위하여 도장작업 방법, 유기용제 사용량, 국소배기시설 성능, 작업장의 크기, 실내온도 등의 요인에 대한 검토가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 한국산업은행 조사부 : 한국의 산업. 한국산업은행, 1979.
- 2) 이은영 : 유기용제 취급 사업장 실태. 안전보건, 산업안전관리공단, 1990.
- 3) 윤명조, 이정환 : 산업위생관리. 신광출판사, 1988.
- 4) 조규상 : 산업보건학. 수문사, 1987.
- 5) 김순덕 : 유기용제 취급에 따른 직업병 발생. 안전보건, 산업안전관리공단, 1990.
- 6) 대한산업보건협회 : 특수건강진단종합연보. 대한산업보건협회, 1990.
- 7) 노동부 : 유해물질의 허용농도 및 작업환경측정방법. 1990.
- 8) Eller, Peter M. pH. D. : CIH, NIOSH Manual of Analytical Methods National Institute for Occupational Safety and Health, 1984.
- 9) James P. Lodge : Method of Air Sampling and Analysis. Lewis Publisher, Inc., 1989.
- 10) 노동부 : 산업안전관련법규. 동화기술, 1992.
- 11) 中央勞動災害防止協會 : 有機溶劑의作業者健康管理勸告案, 中央勞動災害防止協會, 1983.
- 12) ACGIH : Documentation of the Threshold Limit Valus and Biological Exposure Indices. American Conference of Government Industrial Hygienists Inc., 1991-1992.