

# 인쇄업 종사자의 혼합유기용제 노출로 인한 자각증상 및 위해성 평가

김영미<sup>1</sup> · 김현욱<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>한국산업안전보건공단, <sup>2</sup>가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실

## The assessment of health risk and subjective symptoms of printing workers exposed to mixed organic solvents

Yeong-Mee Kim<sup>1</sup> · Hyunwook Kim<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Korea Occupational Safety and Health Agency

<sup>2</sup>Dept. of Preventive Medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea

In order to check a necessity of health control for the laborers who are in use of mixed organic solvents in the printing industries, this study evaluated the use status of mixed organic solvents, health subjective symptoms on the exposure of the solvents, health hazard for each kind of printings for the employees who work for the printing industries located in Seoul and Gyeonggi. The study analyzed 228 sites and 311 people responded of the total 250 sites surveyed from March to September 2007, and obtained the following results;

1) Estimating the exposure of the mixed organic solvents, the study found that estimation of mixture(EM) was different for each kind of printings at a level of significance, excessiveness of EM was 7.5%, the highest, for gravure printing, 5.6% for screen printing, 4.7% for master printing, 2.9% for offset printing.

2) As to the mean scores of health subjective symptoms for each kind of printings, workers in screen printing showed high

scores in every subjective symptom, of which symptom of central nervous system was 3.75, the highest, and the difference was statistically at a level of significance( $p<0.01$ ).

3) Results of the hazard analysis for carcinogens and non-carcinogens contained in the mixed organic solvents exposed to the workers showed that cancer risk of offset printing workers was  $7.8 \times 10^{-9}$  for benzene, the mean cancer risk was  $2.02 \times 10^{-8}$  from Monte-Carlo simulation, and both risks did not exceed the US EPA permissible standard of  $1 \times 10^{-6}$ . The total hazard indices of the non-carcinogens estimated was 3.523, the highest, for gravure printing, 2.381 for master printing, 1.125 for screen printing, respectively, and all exceeded 1.

**Key Words:** Printing worker, Mixed organic solvents, Subjective symptoms, Risk assessment

## I . 서 론

오늘날 산업, 문화의 발달과정에서 인쇄는 우리에게 매우 밀접하고 유용한 도구로써 일상생활에서 많이 접하고 있으며, 대표적인 인쇄방식으로 옵셋 인쇄, 경인쇄(마스타 인쇄),

그라비아 인쇄, 스크린 인쇄가 있다(변상훈 등, 1998a).

인쇄과정에서 다양한 화학물질에 노출되고 있다( EU, 1996; 김수근 등, 1999). 대표적으로 잉크에 사용되는 유기용제로는 톨루엔, 아세톤, 에틸아세테이트, 이소프로필알콜 등이 있다(변상훈 등, 1998b).

접수일: 2009년 3월 16일, 채택일: 2009년 7월 20일

† 교신저자: 김현욱(서울특별시 서초구 반포동 505번지 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실 137-701,  
Tel: 02-590-1237, Email: hwkim@catholic.ac.kr)

유기용제 노출 근로자에서 신경정신질환이 발생할 수 있음은 잘 알려져 있는데(Triebig G et al., 2001), 급성 유기용제 중독은 고농도의 유기용제에 노출되어, 눈과 목 등의 점막 자극증상과 함께 중추신경 억제증상(나른함, 취하는 느낌, 두통, 구역질 등)이 발생하는 경우로, 심한 경우 급성독성 뇌병증이 발생하여 혼수상태, 의식상실, 경련, 사망까지 발생될 수 있다(Crouch KG과 Gressel MG, 1999). 국내에서 인쇄업에 종사하는 근로자가 유기용제에 노출되어 직업병에 이환된 경우도 보고되고 있다(강성규 등, 1999).

우리나라에서는 인체에 유해한 화학물질에 대한 작업환경평가와 근로자의 건강을 보호하기 위하여 노출기준을 정하고 작업환경측정을 실시하도록 하고 있다(노동부, 2007). 그러나 인쇄업의 경우 전국의 65.5%가 5인 미만이고, 전체 75.1%가 서울과 경기도에 밀집되어 있는 영세한 도시형 산업으로 근로자의 건강보호와 작업환경개선 등을 포함한 각종 산업안전보건 비용을 지불하기 어려운 실정이다(노동부, 2005; 한국산업안전공단, 2001). 다양한 종류의 인쇄 작업이 대부분 좁은 작업장에서 환풍기와 유리창에 의존하는 등 작업환경이 열악하고 근로자들의 건강진단이나 작업환경측정 등이 잘 이루어지지 못하고 있으며, 유기용제 폭로로 인한 중독발생의 위험이 더욱 증대될 것으로 보인다(한국산업안전공단, 2006). 국내에서는 인쇄업 종사자를 대상으로 유기용제에 대한 노출평가 연구가 수행되었으며(정광호 등, 1992; 최호춘 등, 1997; 변상훈 등, 1998c; 김순영, 2000a; 김효규, 2007a), 외국의 경우도 톨루엔 등 유기용제에 대한 노출평가 및 노출농도에 영향을 미치는 요인에 대한 연구가 수행되었다(De Rosa E et al.; Nise G, 1992; Monster AC, 1993; Svendsen K와 Srognen K, 2000). 그러나 대부분 특정 인쇄 방식에 대한 유기용제 노출평가에 관한 연구만 수행되었을 뿐 인쇄업 종사자의 노출농도에 따른 건강자각증상 평가 및 유기용제 사용으로 인한 위해성 평가 연구가 이루어지지 않은

실정이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 인쇄업 75% 이상이 소재하고 있는 서울 및 경기지역 인쇄업체 종사자를 대상으로 혼합유기용제 노출농도 평가 및 노출에 따른 자각증상을 파악하고, 혼합유기용제 노출에 의한 근로자 위해성을 평가하여 향후 인쇄업 종사 근로자의 산업보건학적 관리의 필요성을 파악하고자 하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

연구대상은 2005년도에 작업환경측정을 실시한 서울과 경기도에 소재하고 있는 302개 인쇄업체중 인쇄 종류별로 오프셋 인쇄, 경인쇄(마스타 인쇄), 그라비아 인쇄, 스크린 인쇄를 수행하는 250개소를 선정 하였으나, 응답이 불명료한 22개소를 제외한 228개소였다. 조사기간은 2007년 3월부터 2007년 9월까지 실시하였다. 연구대상 인쇄의 종류 및 인쇄업체 규모는 Table 1과 같다.

### 2. 연구방법

#### 1) 혼합유기용제 노출평가

인쇄업종의 혼합유기용제 노출평가를 위하여 2005년도 작업환경측정 결과를 확보하여 개인시료포집에 참여한 근로자가 근무하고 있는 경우의 결과만을 조사대상으로 선정하였다. 혼합유기용제의 평가는 노동부 작업환경측정 및 정도관리규정에 따라 혼합물질 노출계수(estimation of mixture, EM)를 다음 수식에 의해 산출하여 평가하였다.

Table 1. Summary of workplaces selected by the type of printing(N=228)(%)

Variable	The number of the workplace by the type of printing				Total
	Offset	Master	Gravure	Screen	
Site					
Seoul	37(66.1)	33(67.3)	41(55.4)	31(63.3)	142(62.3)
Kyungki-Do	19(33.9)	16(32.7)	33(44.6)	18(36.7)	86(37.7)
No. of workers					
≤ 4	35(62.5)	24(50.0)	19(25.7)	25(51.0)	103(45.2)
5-49	15(26.8)	20(40.8)	37(50.0)	16(32.7)	88(38.6)
50-99	5(8.9)	4(8.2)	16(21.6)	7(14.3)	32(14.0)
100-299	1(1.8)	1(2.0)	2(2.7)	1(2.0)	5(2.2)

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

C: 화학물질 각각의 측정치

T: 화학물질 각각의 노출기준

## 2) 증상 설문조사

연구대상 인쇄업체에 현재 근무하는 근로자중 작업환경 측정결과에 개인시료포집에 참여한 근로자를 직접 방문하여 참여자의 서면동의서를 작성한 후 가톨릭대학교 생명윤리위원회의 승인(승인번호 KUMC 07U018)을 받은 설문지를 이용하여 면접과 응답자 기입방식을 병행하여 조사하였다. 총 350부의 설문지를 배포하여 336부가 회수되어 96%의 회수율을 보였다. 회수된 설문지 중 응답이 불명료한 22개 인쇄업체의 25부를 제외한 228개 인쇄업체 311명의 응답자를 최종 분석대상으로 하였다(Table 2).

자각증상 관련 내용은 동경대학 의학부 보건학과에서 개발된 건강조사표(Todai Health Index, THI)에서 유기용제와 관련 있는 항목의 문항을 선별하여 사용한 정재식의 연구를 인용하여 중추신경계 증상, 입/구강 증상, 코 증상, 눈 증상, 피부 증상, 호흡기 증상, 기타 증상 등 7개 항목의 37 문항을 선별하여 5점 척도로 질문하여 응답하도록 하여 측정하였다. 자각증상의 Cronbach's  $\alpha$ 값이 0.954로 나타나 각 문항 사이의 연관성이 매우 높아서 측정도구로서의 신뢰성을 확인하였다.

## 3) 위해성 평가

혼합유기용제 건강영향 위해성평가는 미국 환경보건청(U.S. Environmental Protection Agency, US EPA)의 Integrated Risk Information System(IRIS) Guidance Documents를 이용하였다(EPA, 2007). 건강위해성평가는 발암성 물질인 벤젠과 노출빈도 및 노출량이 많은 비발암성 물질 중 톨루엔, 메틸에틸케톤, 크실렌, 2-에톡시에탄올, 2-부톡시에탄올 등 IRIS의

Continuous Exposure Concentration( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$$= \frac{8\text{-hr TWA} \times \text{MW} \times 10^3}{24.45} \times \frac{10\text{m}^3}{20\text{m}^3} \times \frac{5\text{days}}{7\text{days}} \times \frac{25\text{years}}{70\text{years}}$$

TWA: time weighted average

MW: molecular weight

10m<sup>3</sup>: the default human occupational volume of inhaled  
(an 8-hour work shift)

20m<sup>3</sup>: the default human ambient volume of inhaled(a 24-hour day)

$$\text{인체 노출량}(\text{mg}/\text{kg}/\text{day}) = \frac{\text{CA} \times \text{IR} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT} \times 365\text{day}/\text{year} \times 24\text{hr}/\text{day}}$$

CA( $\text{mg}/\text{m}^3$ ): 작업장 공기 중 유해물질의 농도

IR( $\text{m}^3/\text{day}$ ): 1일 평균 호흡률( $20\text{m}^3/\text{day}$ )

ET( $\text{hr}/\text{day}$ ): 일일 근무시간, 노출 시간( $10\text{hr}/\text{day}$ )

EF( $\text{day}/\text{year}$ ): 연간 평균 노출빈도( $240\text{day}/\text{year}$ )

ED(years): 근로자가 작업장에서 근무할 수 있는 평균 노출기간(30 year)

BW(kg): 노출자의 평균 체중(63 kg)

AT(day): 노출인구의 평균 수명(76.4year)

연간 총 일수 및 1일 총 시간:  $365\text{day}/\text{year} \times 24\text{hr}/\text{day}$

**Table 2. Distribution of symptom survey questionnaires by type of printing and by size of workplace(N=311)(%)**

Variable	The number of the workplace by the type of printing				Total
	Offset	Master	Gravure	Screen	
No. of workers					
≤ 4	35(50.7)	24(37.5)	22(20.8)	27(37.5)	108(34.7)
5-49	18(26.1)	24(37.5)	45(42.5)	27(37.5)	114(36.7)
50-99	8(11.6)	8(12.5)	26(24.5)	9(12.5)	51(16.4)
100-299	8(11.6)	8(12.5)	13(12.3)	9(12.5)	38(12.2)

물질 목록에 수록된 물질을 대상으로 하였다.

#### (1) 용량-반응평가

본 연구 대상의 발암성 물질과 비발암성 물질의 용량-반응 평가는 IRIS 독성 자료인 “Unit risk”와 Reference Concentration(RfC)의 자료를 이용하였다.

#### (2) 노출량 평가

인체 위해도를 평가하기 위하여 인쇄업 종사자의 혼합유기용제 노출평가 자료를 사용하였으며 측정된 자료는 작업 중 노출농도이므로 US EPA에서 제공하는 IRIS의 일반 환경 중 농도 변환 절차를 사용하였다.

인쇄업 종사자의 인체 유해물질 노출량은 노출농도, 일일 호흡률, 노출시간, 노출빈도, 노출기간, 체중, 기대수명 등을 고려하여 직접적인 호흡으로 인해 체내로 유입될 수 있는 평균 인체 노출량은 다음 수식에 의해 계산하였다.

#### (3) 발암물질의 위해성평가

발암성 물질의 위해도는 초과발암위해도를 다음 식에 의하여 구하여 평가하였다.

초과발암위해도

$$= \text{오염도}(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{단위위해도}(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$$

#### (4) 비발암물질의 위험 값

비발암물질의 건강 위해도를 평가하기 위하여 US EPA에서 제공하는 IRIS의 RfC(mg/m<sup>3</sup>) 값을 인용하여 비발암물질의 위해도(HQ)를 계산하였다.

HQ = 인체노출량/RfC

- HQ: Hazard Quotient
- 인체노출량(mg/kg/day)
- RfC: Reference Concentration(mg/m<sup>3</sup>)

비발암물질이 복합 물질로 구성되어 노출되는 경우 각 물질의 위험값을 합산하여 총 위험도를 산출하였다.

총위험도(HI)

$$= \sum \text{비발암성 물질의 각 위험 값}$$

개별 물질의 위험값이나 총위험도가 1을 초과하는 경우에는 잠재적인 인체 독성 영향을 유발시킬 수 있는 가능성이 있는 것으로 평가하였다.

#### 4) 불확실성 분석

위해성평가의 각 단계에서 발생할 수 있는 불확실성 및 다양성을 감소시키기 위해 각각의 노출계수에 자료의 특성을 고려하여 적용된 확률분포를 이용하여 확률론적 발암위해도 및 위해도 지수의 평균값, 최대값, 최소값과 25%, 50%, 75%, 95%, 100% 값을 산출하여 발암 및 비발암 위해도의 분포 수준을 파악하였다.

Monte-Carlo simulation은 Crystal ball 7.0 Professional Edition(Decisioneering, Inc)을 이용하여 10,000번씩 모의실험

을 수행하였다.

#### 5) 자료 분석

통계프로그램인 SPSS 12.0을 이용하여 인쇄의 종류별 혼합유기용제 노출 수준, 증상경험을 비교하기 위하여 t-test, ANOVA와 Duncan-test를 하였으며, 자각증상과 관련이 있는 변수를 파악하기 위하여 다중회귀분석을 하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 인쇄 종류별 유기용제 노출평가

#### 1) 공기 중 단일 유기용제 평균농도

유기용제의 종류별 노출농도는 연구대상 사업장의 2005년도 작업환경측정결과를 이용하였으므로 유기용제의 종류별로 시료채취 실시 여부를 확인하기 어려운 제한점이 있어 작업환경측정결과에 기록된 유기용제의 종류별 농도만을 사용하였다. 인쇄 종류별 유기용제의 농도분포는 Table 3과 같다.

톨루엔의 공기 중 농도는 스크린 인쇄작업에서 기하평균 36.66 ppm으로 가장 높았으며, 그라비아 인쇄 작업자 72명중 1건(1.9%)이 우리나라 노출기준을 초과하였다. 톨루엔의 농도는 인쇄의 종류별로 유의한 차이를 보였다(p<0.01).

벤젠은 옅색 인쇄와 경인쇄 작업자에게서만 검출되었으며, 옅색 인쇄 작업자의 기하평균은 0.09 ppm, 경인쇄 작업자의 기하평균은 0.1 ppm으로 나타났으며, 인쇄의 종류별로는 유의한 농도차이는 없었다. MEK의 농도는 경인쇄에서 평균 10.33 ppm으로 가장 높았으며, 2-부톡시에탄올과 2-에톡시에탄올(셀로솔브)의 농도는 그라비아 인쇄에서 각각 평균 5.03 ppm과 6.05 ppm으로 가장 높은 결과를 나타내는 등 인쇄 종류별로 유의한 농도차이를 보였다. 이소프로필알콜은 마스터 인쇄에서 평균 5.92 ppm으로 가장 높은 농도를 보였다.

옅색 인쇄 작업자의 단시간 노출평가 연구(김순영, 2000b)에서는 이소프로필알콜이 평균 3.87 ppm으로 금번 연구와 유사한 결과를 보이고 있었다. 또한 옅색 인쇄 작업자의 유기용제 노출특성 연구(김효규, 2007b)에서는 톨루엔, 이소프로필알콜, 벤젠이 노출기준의 20%이상 나타나는 등 본 연구와 유사한 결과를 보이고 있다. 이러한 결과에 영향을 미치는 요인(EU, 1996)으로 세척제의 종류나 세척시간, 세척방법 등으로 알려져 있으므로 화학물질의 올바른 취급을 통해 작업자의 폭로를 최소화 할 수 있도록 교육 및 작업표준안 등의 마련이 필요 할 것이라 사료된다.

#### 2) 공기 중 혼합유기용제의 노출 평가

유기용제가 2종 이상 혼재하는 경우 혼재하는 유해작용은

Table 3. Concentration of solvents in the air by type of printing

Chemical names	Concentrations(ppm)											TLV <sup>†</sup>
	Offset		Master		Gravure		Screen		Total			
	N <sup>†</sup>	GM*(GSD)**	N	GM(GSD)	N	GM(GSD)	N	GM(GSD)	N	GM(GSD)	p <sup>‡</sup>	
Benzene	17	0.09(4.60)	16	0.1(2.22)	-	-	-	-	33	0.09(3.35)	0.80	1
MEK	17	0.87(1.97)	8	9.0(5.23)	18	3.57(5.04)	51	0.17(3.22)	94	1.32(7.80)	0.01	200
Toluene	51	10.33(2.33)	54	2.83(5.03)	72	2.69(6.57)	51	36.66(1.48)	228	7.21(2.42)	0.00	50
Xylene	17	0.35(7.08)	24	0.22(7.61)	72	1.37(5.27)	-	-	113	1.09(2.27)	0.00	100
Ethylbenzene	33	0.16(3.18)	32	0.39(7.72)	51	0.1(6.3)	19	0.65(7.66)	135	0.36(3.35)	0.00	100
Styrene	33	0.38(6.38)	16	0.06(2.46)	72	0.29(4.32)	19	0.57(4.44)	140	0.42(2.33)	0.00	50
n-Hexane	51	0.26(3.63)	25	0.74(4.23)	1	0.16	24	1.12(8.49)	101	0.81(1.14)	0.00	50
Ethylacetate	15	0.26(1.91)	9	0.53(3.92)	51	15.25(5.72)	16	0.12(9.5)	91	0.36(1.35)	0.00	400
IPA	51	5.26(4.55)	48	5.92(5.06)	51	2.43(3.66)	42	0.85(5.88)	164	5.43(5.68)	0.00	200
Methanol	2	0.97(4.12)	-	-	5	3.6(4.42)	3	3.97(1.58)	9	2.5(1.18)	0.72	200
Isoamylalcohol	25	0.25(3.06)	17	0.67(3.4)	-	-	17	2.99(3.14)	59	0.95(1.03)	0.26	100
Cyclohexanol	31	0.13(2.65)	14	0.23(3.45)	-	-	-	-	45	0.22(2.99)	1.0	50
Cyclohexane	47	0.19(2.68)	19	0.46(2.92)	19	0.76(9.81)	3	0.2(1.32)	88	0.32(4.6)	0.00	300
Cumene	13	0.08(2.04)	4	0.07(1.23)	-	-	-	-	17	0.07(1.89)	1.0	50
Chlorobenzene	12	0.08(1.48)	5	0.06(1.21)	9	0.17(1.97)	26	0.1(4.5)	52	0.04(2.18)	0.00	10
2-Butoxyethanol	9	0.29(1.29)	6	0.68(1.21)	46	5.03(2.82)	8	2.57(2.33)	69	1.87(1.91)	0.00	25
MIBK	9	0.08(1.76)	-	-	-	-	3	0.02(24.84)	12	0.06(8.86)	1.0	50
Isobutyl acetate	7	0.09(1.93)	19	2.32(4.19)	-	-	-	-	26	1.37(2.92)	1.0	150
Isobutyl alcohol	48	0.75(5.0)	17	0.67(3.4)	2	1(1.02)	-	-	67	0.76(2.15)	0.70	50
2-MA <sup>‡</sup>	3	0.1(3.9)	4	0.46(1.53)	-	-	8	0.27(10.39)	15	0.25(2.13)	0.00	5
2-Ethoxyethanol	7	2.06(1.54)	2	1(1.02)	15	6.05(7.33)	21	2.69(5.02)	45	2.69(4.21)	0.00	5
n-Heptane	24	0.16(3.8)	5	0.18(1.88)	1	0.13	5	0.55(2.44)	35	0.3(2.38)	0.00	400
Isobutyl acetate	2	0.21(3.27)	-	-	-	-	2	0.05(1.75)	4	0.36(2.99)	1.0	150
2-MEA <sup>§</sup>	5	1.07(1.51)	-	-	-	-	-	-	5	1.07(1.51)	1.0	5

<sup>†</sup>N: Number of samples, \*GM: Geometric mean, \*\*GSD: Geometric standard deviation

<sup>‡</sup>p: By Kruskal-Wallis Test, <sup>†</sup>TLV: Korea Exposure Limit(ppm), <sup>§</sup>2-MEA: Methyl cellosolve acetate,

<sup>‡</sup>2-MA: Cellosolve acetate

Table 4. Results of estimation of mixture exceeding "1" by the type of printing

Type of printing	Estimation of mixture		EM excess ratio(%)
	N <sup>†</sup>	GM*(GSD)**	
Offset	69 <sup>A</sup>	0.33(1.05) §	2/69(2.9)
Master	64 <sup>A</sup>	0.38(1.64)	3/64(4.7)
Gravure	106 <sup>B</sup>	0.69(1.55)	8/106(7.5)
Screen	72 <sup>A</sup>	0.33(1.39)	4/72(5.6)
Total			17/311(5.5)

<sup>†</sup>N: Number of samples, \*GM: Geometric mean, \*\*GSD: Geometric standard deviation

A, B: Different By duncan test(F=3.59, p=0.014), §p-value<0.01

가중되므로 혼합물질 노출계수(Estimation of mixture, EM)를 산출하여 인쇄종류별로 평가한 결과는 Table 4와 같다. 인쇄종류에 따라 EM은 통계적으로 유의한 차이가 있으며, 그라비아 인쇄의 평균 EM이 0.69로 가장 높은 것으로 나타났다( $P<0.01$ ). 인쇄 종류별 EM 초과율은 Table 4와 같다. 그라비아 인쇄가 7.5%로 가장 높았고, 다음으로 스크린 인쇄, 경인쇄, 오프셋 인쇄 순이었다. 인쇄업 종사자는 고농도의 혼합유기용제에 노출되고 있으며, 인쇄의 종류로는 그라비아 인쇄 작업자가 고농도의 혼합유기용제에 노출되고 있음을 알 수 있었으며, 이러한 결과는 그라비아 인쇄 사업장의 EM값이 1.79로 초과하고 있었다. 이로 인해 근로자의 건강상에 상당한 유해작용을 할 것으로 사료된다는 일부 인쇄업 근로자의 작업환경실태를 파악한 연구(변상훈 등, 1998d) 결과와 유사하였다. 본 연구의 조사대상 사업장의 규모는 83.8%가 50인 미만으로 규모가 주로 중소기업이면서 비교적 영세한 사업장으로 작업공간이 협소하고 환기상태가 미흡하여 잉크 및 희석제 등에 함유된 혼합 유기용제로 인하여 건강장해가 발생할 우려가 있으므로 유기용제 발생원에 국소배기장치 설치 등의 대책마련이 필요하리라 판단되었다.

## 2. 혼합유기용제 자각증상 설문조사 결과

### 1) 자각증상별 평균점수

연구대상자의 주관적인 건강자각증상을 측정하기 위해 37문항을 중추신경계 증상, 입/구강 증상, 코 증상, 눈 증상, 피부 증상, 호흡기 증상, 기타 증상의 7가지 항목으로 분류하여 자각증상 호소율을 조사한 결과 건강자각증상별 평균점수는 스크린 인쇄 작업자의 평균점수가 기타 증상을 제외한 모든 자각증상에서 높게 나타났으며, 스크린 인쇄 작업자의 중추신경계 증상의 평균점수가 3.75로 가장 높았고 오프셋 인

쇄 작업자 3.16점, 그라비아 인쇄 작업자 3.07점으로 중추신경계 자각증상의 호소율이 다른 증상에 비해 매우 높게 나타났다(Table 5).

### 2) 혼합유기용제 농도와 자각증상과의 관련성

공기중 발생하는 혼합유기용제와 자각증상과의 관련성을 파악하기 위하여 분산분석을 실시한 결과 EM의 1미만 수준과 1이상 수준으로 구분한 후 7가지 항목으로 분류한 자각증상 호소율을 조사한 결과 중추신경계 증상 등 전반적으로 EM의 1이상 값이 1이하 값보다 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 6).

혼합유기용제중 톨루엔과 크실렌을 대상으로 노출기준의 50%수준 이하와 50%이상 수준으로 구분한 후 자각증상 호소율을 파악한 결과 톨루엔과 크실렌 모두 노출기준의 50% 이상 수준에서 모든 항목에서 높게 나타났으며, 톨루엔 50% 이상 수준은 입/구강 증상, 코 증상, 피부 증상, 호흡기 증상, 기타 증상의 호소율이 유의하게 높게 나타났( $p<0.01$ ).

크실렌 50%이상 수준은 중추신경계증상을 제외한 모든 증상에서 통계적으로 유의하게 높게 나타났( $p<0.05$ ). 이러한 결과는 자동차 정비공의 자각증상에 관한 연구(이광성, 1996)와 건식세탁업자의 유기용제 폭로와 자각증상에 관한 연구(김수영, 1997)에서 근로자들이 작업 시 느끼는 자각증상 중 “머리가 무겁게 느껴진다”와 피로에 대한 증상 호소율이 대조군에 비해 폭로군에서 가장 높은 결과를 나타낸 것과 유사한 결과이다. 또한 항공기 정비 종사자의 자각증상에 관한 연구(정재식, 2005)에서 일반사무실 종사자와 정비 작업자의 주관적 건강자각증상을 분석한 결과 두통, 현기증, 졸음, 수면부족 등을 나타내는 중추신경계증상이 가장 높았고 기억력 장애, 메스꺼움, 소화 장애 등을 나타내는 기타증상이 높았다는 결과와 유사하며 이는 자동차 및 항공기 정비 작업자와 인쇄 작업자가 유사 유기용제 사용에 의한 것으로

Table 5. Average score of subjective symptoms by type of printing

Subjective symptoms	Type of printing(Mean $\pm$ SD)				p-value
	Offset N=69	Master N=64	Gravure N=106	Screen N=72	
CNS	3.16 $\pm$ 0.63	2.43 $\pm$ 0.62	3.07 $\pm$ 0.86	3.75 $\pm$ 0.73	0.001
Mouth	2.37 $\pm$ 0.54	2.68 $\pm$ 0.78	2.40 $\pm$ 0.62	2.88 $\pm$ 0.91	0.001
Nose	2.23 $\pm$ 0.74	2.33 $\pm$ 0.77	2.27 $\pm$ 0.89	2.92 $\pm$ 0.88	0.001
Eye	2.83 $\pm$ 0.80	2.63 $\pm$ 0.75	2.78 $\pm$ 0.82	3.23 $\pm$ 0.79	0.001
Skin	1.97 $\pm$ 0.72	2.08 $\pm$ 0.59	1.95 $\pm$ 0.72	2.66 $\pm$ 0.64	0.001
Respiratory	2.20 $\pm$ 1.09	2.50 $\pm$ 0.71	2.14 $\pm$ 1.09	2.75 $\pm$ 0.84	0.001
Other	1.97 $\pm$ 0.62	2.50 $\pm$ 0.74	1.94 $\pm$ 0.64	2.39 $\pm$ 0.64	0.001

<sup>†</sup>N: Number of samples

생각된다.

다양한 역학 연구에서는 타당성의 방법론적 문제가 많이 발생하는데 본 연구에서는 유기용제 이외의 유해물질 노출에 의해 자각증상이 발생되었는지 알 수 없는 제한점이 있고, 혼합유기용제의 노출 평가와 설문조사와의 시간적 차이로 인한 편견이 작용하지만, 작업환경측정시 개인시료포집에 참여한 작업자를 대상으로 노출과 자각증상에 대한 설문조사가 동시에 병행하여 수행되었으므로 심각하게 편견되지 않았을 것으로 본다.

### 3. 위해성 평가

연구대상자의 건강위해성의 가능성을 평가하기 위하여 위해성 평가를 수행하였다. Table 7은 연구대상 물질의 발암위해도와 비발암 위해도 평가를 위하여 본 연구에서 조사된

인쇄업 종사자의 인쇄 종류별 공기 중 노출농도를 이용하여 평균 인체노출량을 산출한 결과이다.

#### 1) 발암물질의 위해성 평가

인쇄업 종사자 노출평가를 통하여 측정된 벤젠 농도와 US EPA에서 제시한 벤젠의 발암잠재력(unit risk)을 이용한 단일값 분석에서 옅색 인쇄 작업자의 발암위해도는  $7.8 \times 10^{-6}$ 이었다. 발암위해도의 경우 US EPA에서 제시하는 발암위해도의 허용기준치는  $1 \times 10^{-6}$ 이며, 최고허용기준치는  $1 \times 10^{-4}$ 을 제시하고 있다. 옅색 인쇄 작업자의 벤젠 단일값 분석에서는 동기기준치를 초과하지 않았다. 발암물질인 벤젠의 호흡으로 인한 발암위해도를 확률론적 위해성평가 기법인 Monte-carlo simulation을 이용하여 수행한 결과 옅색 인쇄 작업자의 평균 발암위험도는  $2.02 \times 10^{-8}$ 로 US EPA에서 제시하는 발암위해도의 허용기준치인  $1 \times 10^{-6}$ 을 초과하지 않았다.

#### 2) 비발암물질의 위해성 평가

Table 6. Concentration of solvent in the air and the subjective symptoms of human body in relation to the chemicals handled by the printing jobs

Items	Subjective symptoms(Mean±SD)							
	N	CNS	Mouth	Nose	Eye	Skin	Respiratory	Other
EM* 1≤	294	3.11±0.85	2.55±0.73	2.42±0.87	2.85±0.81	2.15±0.73	2.36±0.37	2.16±0.69
<1	17	3.17±0.97	2.69±0.89	2.46±1.03	2.89±0.93	2.12±0.81	2.37±0.99	2.15±1.10
p-value		0.77	0.45	0.84	0.88	0.87	0.99	0.93
Toluene								
<50%	204	3.05±0.93	2.37±0.62	2.18±0.96	2.81±0.91	1.94±0.77	2.08±1.22	1.91±0.71
50%≤	24	3.14±0.85	2.64±0.78	2.50±0.56	2.90±0.82	2.25±0.72	2.49±0.92	2.28±0.69
p-value		0.45	0.01	0.01	0.37	0.00	0.00	0.00
Xylene								
<50%	98	3.07±0.51	2.20±0.82	2.17±0.51	2.60±0.62	2.00±0.41	2.17±0.85	1.78±0.46
50%≤	15	3.41±0.96	2.79±0.76	2.73±0.86	3.05±0.92	2.49±0.80	2.82±0.92	2.38±0.56
p-value		0.14	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00

\*EM: Estimation of mixture

Table 7. Average daily concentrations of chemicals estimated from the workplace measurement data

Chemical name	Concentration(mg/kg-day)			
	Offset	Master	Gravure	Screen
Benzene	0.508	0	0	-
MEK	0.048	0.164	3.385	0.031
Toluene	0.152	1.342	2.069	5.122
Xylene	0.021	0.030	0.195	-
2-Butoxyethanol	0.005	0.006	0.025	0.147
2-Ethoxyethanol	0.021	0.356	0.096	0.017

Table 8. Hazard quotient and hazard index for non-carcinogenic organic solvents

Chemical name	Hazard quotient			
	Offset	Master	Gravure	Screen
MEK	0.01	0.033	0.677	0.006
Toluene	0.030	0.268	0.414	1.024
Xylene	0.215	0.297	1.951	-
2-Butoxyethanol	0	0	0.002	0.011
2-Ethoxyethanol	0.104	1.782	0.479	0.083
Hazard Index	0.359	2.381	3.523	1.125

Table 9. Hazard index for non-carcinogenic organic solvents in the printing jobs

classification		Fixed point	Monte-carlo simulations							
		Mean	Mean	Max	Min	Percentiles				
						25%	50%	75%	95%	100%
Offset	MEK	0.01	3.26E-02	1.81	9.71E-07	4.90E-04	2.26E-03	1.07E-02	9.83E-02	1.81
	Toluene	0.03	3.08E-02	9.10E-02	-1.41E-02	1.43E-02	2.92E-02	4.62E-02	6.87E-02	9.10E-02
	Xylene	0.26	6.40E-01	108.64	4.51E-05	1.79E-02	6.70E-02	2.51E-01	1.78	108.64
	2-Butoxyethanol	-	4.14E-04	1.09E-03	-2.82E-04	2.74E-04	4.26E-04	5.62E-04	7.39E-04	1.09E-03
	2-Ethoxyethanol	0.10	1.12E-01	1.21	1.99E-03	3.69E-02	7.15E-02	1.38E-01	3.48E-01	1.21
	Hazard Index	0.36	6.40E-01	1.24	8.38E-03	1.43E-01	2.49E-01	5.02E-01	2.08	1.24
Master	MEK	0.03	6.39E-02	4.79	8.11E-06	3.34E-03	1.18E-02	4.02E-02	2.44E-01	4.79
	Toluene	0.27	3.39E-01	6.99	4.65E-04	2.81E-02	8.65E-02	2.58E-01	1.29	6.99
	Xylene	0.30	3.50E-01	3.06	2.54E-05	1.10E-02	4.22E-02	1.71E-01	1.18	3.06
	2-Butoxyethanol	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-Ethoxyethanol	1.78	5.82E-02	3.65	5.05E-05	5.93E-03	1.75E-02	4.92E-02	2.34E-01	3.65
	Hazard Index	2.38	7.89E-01	4.85	9.52E-03	1.56E-01	3.21E-01	7.04E-01	2.56	4.85
Gravure	MEK	0.68	9.6E-01	1.72	3.28E-06	1.27E-02	8.53E-02	5.73E-01	1.01	1.72
	Toluene	0.41	6.57E-01	2.36	5.04E-05	2.13E-02	8.53E-02	3.55E-01	2.65	2.36
	Xylene	1.95	8.7E-01	4.88	2.22E-05	4.87E-02	2.49E-01	1.01	1.31	4.88
	2-Butoxyethanol	2.0E-03	2.04E-03	1.92E-2	5.91E-08	5.95E-04	1.40E-03	2.82E-03	6.14E-03	1.92E-02
	2-Ethoxyethanol	0.48	1.34	1.34	3.81E-05	2.34E-02	1.12E-01	5.35E-01	4.69	1.34
	Hazard Index	3.52	3.67	8.67	1.67E-02	7.47E-01	1.95	3.61	5.92	8.67
Screen	MEK	6.0E-03	6.43E-03	6.73E-02	2.09E-07	1.86E-03	4.48E-03	8.98E-03	1.92E-02	6.73E-02
	Toluene	1.03	1.30	2.20	-3.06E-02	6.82E-01	9.46E-01	1.28	1.35	2.20
	Xylene	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-Butoxyethanol	1.1E-02	1.20E-02	4.35E-01	6.48E-05	3.10E-03	6.64E-03	1.38E-02	4.02E-02	4.35E-01
	2-Ethoxyethanol	8.3E-02	8.33E-02	3.26E-01	-1.57E-01	5.91E-02	8.32E-02	1.07E-01	1.48E-01	3.26E-01
	Hazard Index	1.13	1.13	5.31	7.19E-02	7.83E-01	1.04	1.38	2.06	5.31



본 연구에서는 비발암물질의 건강 위해성을 평가하기 위하여 US EPA에서 제공하는 IRIS의 RfC(mg/m<sup>3</sup>) 값을 인용하여 비발암물질의 위해도를 계산하였으며, 또한 비발암물질이 복합 물질로 구성되어 노출되고 있으므로 총 위험도를 산출하여 위험도 평가를 실시하였다(Table 8).

비발암물질의 위해도 평가 결과 톨루엔의 경우 스크린 인쇄 작업자의 위해도 지수가 1.024로 “1”을 초과하였다. 또한, 그라비아 인쇄 작업자의 크실렌 노출에 따른 위해도 지수가 1.951로 “1”을 초과하였으며, 2-에톡시에탄올은 마스터 인쇄 작업시 위해도 지수가 1.782로 “1”을 초과하고 있는 것으로 나타나 잠재적인 인체독성 영향을 유발시킬 수 있는 가능성이 있는 것으로 나타났다.

복합물질의 총위험도 산출 결과 그라비아 인쇄의 위해도 지수가 3.523으로 가장 높았으며, 마스터 인쇄 2.381, 스크린 인쇄 1.125로 복합물질의 위해도가 “1”을 초과하고 있는 것으로 나타났다.

비발암성물질의 호흡으로 인한 위해도를 확률론적 위해성평가 기법인 Monte-carlo 분석법을 이용하여 건강위해성평가를 수행한 결과는 Table 9와 같다.

Monte-carlo simulation 결과 마스터 인쇄의 2-에톡시에탄올의 위해도 평균이 1.78로 “1”을 초과하고 있으며, 그라비아 인쇄의 크실렌 평균 위해지수가 1.95, 스크린 인쇄의 톨루엔 평균 위해지수가 1.03으로 “1”을 초과하여 인쇄 작업 시 건강 위해도가 큰 것으로 나타났다(Table 9).

독성이나 유해성이 크다고 반드시 위해성이 큰 것은 아니다. 산업위생에서 관리해야 할 유해인자의 특성은 독성이나 유해성 그 자체가 아니고 근로자의 노출 가능성을 고려한 위해성이다. 위해성이 큰 유해인자일수록 더 자주, 신속하게, 더 많은 주의를 가지고 관리하여 위해성을 줄여야 한다. 위해성이 감소되었다고 판단되면 노출평가의 빈도는 적어진다. 위해성이 낮은 유해인자는 보호구 지급, 교육 등 간단한 관리대책만으로 효과적일 수 있다(박동욱 등, 2003).

현재 국내의 작업환경관리기준인 TLV는 그 기준설정에 있어 질적 수준(Ruden C, 2003)과 독성역치보다 경제성, 기술적 편이를 바탕으로 설정됨에 따라 건강장해의 예방을 완벽하게 이루지 못한다는 비판(Rappaport SM, 1993)과 TLV가 거의 모든 근로자에게 있어 건강장해가 없음을 바탕으로 하지만 TLV 기준 이하의 농도라 할지라도 개인의 다양한 감수성으로 인하여 소수일지라도 건강장해가 발생할 수 있음(Kotseva K, 2001)을 고려하면, 톨루엔 취급자의 건강위해성평가 연구(강지훈, 2004)에서와 같이 노출량을 평균 또는 최대값 등의 단일값에 의존하여 평가하기 보다는 Monte-carlo simulation을 이용한 분포값을 제시하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 단, 본 연구의 발암성 및 비발암성 위해성평가

수행 시 모든 유기용제의 노출 경로는 호흡만을 고려하였다.

그러나 실제 유해화학물질이 사람에게 노출되어지는 경로는 호흡 이외에도 섭취나 피부접촉 등 여러 경로를 통하여 노출이 이루어지고 있다. 대상 유기용제의 특성에 따라 인체에 나타나는 위해도가 호흡, 섭취, 피부접촉 등의 노출 경로에 따른 차이가 존재할 수 있음을 고려할 때 본 연구의 수행을 통해 산출된 위해도는 인쇄업 종사자 전체 위해도를 표현하지 못하였음을 의미한다 할 수 있다.

## IV. 결 론

본 연구는 인쇄업 종사자의 혼합유기용제 노출에 의한 인쇄 종류별로 건강자각증상을 파악한 결과 저 농도의 혼합 유기용제에도 자각증상을 호소하였다. 혼합유기용제 노출농도를 이용한 위해성을 평가하여 잠재적인 인체독성 영향을 평가한 결과 발암물질인 벤젠은 문제가 되지 않았으나, 비발암물질인 저 농도의 혼합유기용제의 위해성이 높다는 결과는 특히 소수 민감 그룹은 참고치 미만의 농도일지라도 평균값 중앙값을 상회하는 농도에서 유해영향을 일으킬 수 있으며, 위해성이 1인 경우 유해영향 발생은 5/10,000에서 3/1,000의 범위인 것으로 추정(Castorina R 등, 2003)하고 있어 작업환경에서의 건강장해 예방을 위해서는 유해화학물질의 정확한 노출정도를 파악하고 참고치에 근접한 고 노출을 확인하고 제어하는 등 작업환경이 노출기준 이하로 양호한 현직에 종사하는 인쇄업 근로자에게도 건강관리에 대한 체계적인 산업보건학적 관리가 필요한 것을 시사한다. 이러한 연구결과는 향후 저 농도 혼합유기용제에 폭로되는 인쇄업 종사자의 산업보건학적 관리의 필요성과 쾌적한 작업환경조성을 통한 인쇄업 종사자의 삶의 질 향상을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- 변상훈, 유인성, 손종렬. 일부 인쇄업 근로자의 유기용제 및 소음 노출에 관한 연구. 한국위생학회지 1998;13(2):66-71.
- 김수근, 임현술, 김정만, 박동현, 하은희. 사업장보건관리를 위한 산업별, 공정별, 작업종류별 표준산업보건일람표 작성연구. 산업안전보건연구원, 1999.
- EU. Research in Health & Safety at work, Organic solvent, Euro Review 1996.
- Triebig G, Hallermann J. Survey of solvent related chronic

- encephalopathy as an occupational disease in European countries. *Occup Environ Med* 2001;58(9):575-81.
- Crouch KG, Gressel MG. The control of press cleaning solvent vapors in a small lithographic printing establishment. *Appl Occup Environ Hyg* 1999;14:329-38.
- 강성규, 김규상, 김양호, 최정근, 안연순. 8년간 산업안전보건 연구원에 의뢰된 직업병 심의 사례 분석. *한국산업위생학회지* 1999;12(2):292-301.
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부 고시 제2007-25호 2007.
- 노동부. 산업안전보건법 2007.
- 노동부, 2004년 전국제조업체 작업환경실태조사 2005.
- 한국산업안전공단 산업보건연구원. 한국사회의 산업안전보건 정책 연구 2001.
- 한국산업안전공단 서울지역본부. 인쇄업 종사자의 작업형태에 따른 화학물질 노출실태 및 폭로저감방안에 관한 연구 2006.
- 정광호, 문덕환, 이채언, 김성천, 백낙환. 그라비아 인쇄공장의 작업환경실태 및 유기용제 폭로에 의한 건강장해. *Inje Med J*. 1992;13(4):533-43.
- 최호춘, 김강윤, 안선희, 정규철. 일부 그라비아 인쇄업 근로자의 혼합유기용제 노출농도. *한국산업위생학회지* 1997;7(1):71-85.
- 김수영. 단시간 노출농도 측정을 통한 옅은 인쇄작업장의 유기용제 노출평가. 고려대학교 보건대학원 2000.
- 김효규. 옅은 인쇄업 작업자들의 유기용제 노출특성에 관한 연구. 서울대학교 대학원 2007.
- De Rosa E, Brugnone F, Bartiucci GB, perbellini L, Bellomo ML, Gori GP, Sigon M, Chiesura P. The validity of urinary metabolites as indicators of low exposure to toluene. *Int Arch Occup Environ Health* 1985;56(2):135-45.
- Nise G. Urinary excretion of o-cresol and hippuric acid after toluene exposure in rotogravure printing. *Int Arch Occup Environ Health* 1992;63(6):377-81.
- Monster AC, Kezic S, Van de Gevel I, de Wolff FA. Evaluation of biological monitoring parameters for occupational exposure to toluene. *Int Arch Occup Environ Health* 1993;65(1):159-62.
- Svendsen K, Srognnes K. Exposure to organic solvents in the offset printing industry in Norway. *Am Ind Hyg Assoc J*. 2000;44(2):119-24.
- EU. Research in Health & Safety at work, Organic solvent, Euro Review 1996.
- U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System Guidance Documents. 2005.
- 김수영. 건식세탁업자의 유기용제폭로와 자각증상. 충남대학교 석사학위논문 1997.
- 이광성. 자동차 정비공의 혈액 및 뇨검사 소견과 자각증상에 대한 조사. 충남대학교 석사학위논문 1996.
- 정재식. 항공기 정비조종사의 건강자각증상과 VOC 노출 위해도에 관한 연구. 연세대학교 대학원 2005.
- 박동욱, 박덕목, 정광수, 윤충식, 김태형, 노영만, 이경남, 이송권, 김현욱. 위험성 평가에 의한 업종별 위험의 구분. *한국산업위생학회지* 2003;13(2):126-34.
- Ruden C. Scrutinizing ACGIH Risk Assessments: The trichloethylene case. *Am J Ind Med* 2003;44:207-213.
- Rappaport SM. Threshold limit values, permissible exposure limits, and feasibility. The bases for exposure limit in the United States. *Am J Ind Med* 1993;23(5):683-694.
- Kotseva K. Occupational exposure to low conc of cabon disulfide as a risk factor for hypercholesterolaemia. *Int Arch Occup Environ Health* 2001;74:38-42.
- 강지훈. 톨루엔 취급 근로자의 건강위해성평가. 전북대학교 석사학위논문 2004.
- Castorina R, Woodruff TJ. Assessment of potential risk levels associated with U.S Environmental Protection Agency reference values. *Environ Health Perspect* 2003;111(10):1318-1325.