

작업환경측정 자료를 활용한 Dichloromethane 노출 매트릭스 구축에 대한 연구

이재환 · 박동욱* · 홍성철** · 하권철†

창원대학교 보건위생학과, *한국방송통신대학교 환경보건학과, **부산대학교 지역환경시스템공학과
(2010. 7. 20. 접수/2010. 9. 3. 수정/2010. 10. 25. 채택)

Construction of an Exposure Matrix Using a Risk Assessment of Industries and Processes Involving Dichloromethane

Jae Hwan Lee · Donguk Park* · Sungchul Hong** · Kwonchul Ha†

Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University

**Department of Environmental Health, Korea National Open University*

***Department of Regional Environmental System Engineering, Pusan National University*

(Received July 20, 2010/Revised September 3, 2010/Accepted October 25, 2010)

ABSTRACT

A reduction in risk of occupational exposure to chemical hazards within the workplace has been the focus of attention both through industry initiatives and legislation. The aims of this study were to develop an exposure matrix by industry and process, and to apply this matrix to control the risk of occupational exposure to Dichloromethane (DCM). The exposure matrix is a tool to convert information on industry and process into information on occupational risk. The exposure matrix comprised industries and processes involving DCM, based on an exposure database provided by KOSHA (the Korean Occupational Safety and Health Agency), which was gathered from a workplace hazards evaluation program in Korea. The risk assessment of the exposure matrix was performed using Hallmark risk assessment tool. The results of the risk assessment were indicated by a Danger Value (DV) calculated from the combination of hazard rating (HR), duration of use rating (DUR), and risk probability rating (RPR) of exposure to the chemical, and were divided into four control bands which were related to control measures. The applicability of the risk assessment of the exposure matrix was evaluated by a field study, and survey of the employees of the exposure matrix groups. Among 45 industries examined, this study found that greater attention should be paid to two industries: the manufacture of other optical instruments and photographic equipment, and the manufacture of printing ink, and to one process among 47 examined, the packing process in the manufacture of printing ink, because these were regarded as carrying the highest risk. This tool of a risk assessment for the exposure matrix can be applied as a general exposure information system for hazard control, risk quantification, setting the occupational exposure limit, and hazard surveillance. The exposure matrix includes workforce data, and it provides information on the numbers of exposed workers in Korea by agent, occupation, and level of exposure and risk.

Keywords: dichloromethane, JEM (Job Exposure matrix), risk assessment, hallmark risk assessment

I. 서 론

디클로로메탄(Dichloromethane, DCM)은 메틸렌비클로라이드(Methylene bichloride), 메틸렌디클로라이드(Methylene dichloride, MC)라고도 하며 무색의 강한

휘발성을 가진 액체로 공기 중에서 인화성은 없으며 클로로포름과 비슷한 달콤한 냄새가 나는 유기화합물이다. 공업용의 순도는 보통 80%(v/w)이고 보통 메탄올이 섞여 있다.¹⁾ DCM은 휘발성과 다양한 유기물질을 녹일 수 있는 특성 때문에 페인트 박리제, 탈지제, 에어로졸 분무제, 폴리우레탄의 발포제 등으로 산업장의 화학 공정에서 널리 사용되고 있다.²⁾ 우리나라 화학물질 배출량 조사에서 과년과 비교하면 점차 감소되고 있는 추세이나 2007년 기준으로 DCM은 전체 화학물질

†Corresponding author : Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University
Tel: 82-55-213-3553, Fax: 82-55-213-3550
E-mail : kcha@changwon.ac.kr

중 10위에 해당하는 1,202톤이 배출(대부분이 대기로 배출)되고 있는 것으로 조사되어³⁾ 산업보건 측면에서 많은 관심을 가져야 하는 물질이라고 할 수 있다.

염화탄화수소 계통의 화학물질 중 DCM이 가장 독성이 적지만 강한 휘발성으로 인하여 급성 흡입독성을 나타내는 것으로 알려졌다.⁴⁾ 체내에 흡수되면 일산화탄소로 물질대사가 되어 일산화탄소 중독을 일으키며,⁵⁾ 흡입에 의한 급성 노출은 시신경 장애와⁶⁾ 간독성을⁷⁾ 야기한다. 피부에 반복 노출하는 경우 피부의 지방성분을 녹여 피부 자극이나 화학적 화상이 나타난다.⁸⁾ 또한 태반을 통과할 수 있어 임신부가 임신기간 중 노출되면 태아독성을 야기할 수 있으며⁹⁾ 실험동물의 폐, 간, 췌장 등에 암을 발생시켜 발암성이 있는 것으로¹⁰⁾ 알려져 IARC에서는 2B(인체 발암 예측/추정물질)로,¹¹⁾ 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서는 A3(동물 발암성 물질로 제안하고 있으며,¹²⁾ 우리나라의 산업안전보건법에서는 A2(발암성 물질로 추정)로 제안하고¹³⁾ 있다.

DCM의 8시간 시간가중평균치(8-hour time weighted average, 8 hr-TWA)에 대한 노출기준으로 우리나라 고용노동부, ACGIH에서는 50 ppm을,¹²⁾ 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health, OSHA)에서는 25 ppm을 제안하고¹⁴⁾ 있다. 특히 OSHA에서는 단시간 노출기준으로 125 ppm을 제안하고 있다.

많은 근로자들이 정도의 차이는 있지만 건강상에 악영향을 주는 다양한 유해인자에 노출되고 있다. 여러 가지 서로 다른 유해성을 가진 유해인자와 다양한 노출 수준의 노출군에 대해서 동일한 비중으로 평가하고 그에 따른 대책을 수립하는 것은 비용 경제적인 측면에서 효과적이지 못하다. 노출군에 대해 업종 또는 공정별로 노출될 수 있는 유해인자를 파악하고 각 세부 노출군별로 그 위험성을 평가하여 우선순위를 정하고 이에 근거하여 대책을 세우는 것이 더욱 효과적이라고 할 수 있다.^{15,16)}

이에 따라 본 연구에서는 DCM 취급 시 세부 노출군인 노출 매트릭스(Exposure Matrix, EM) 구축을 통해서 근로자의 노출을 체계적으로 관리하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 이를 위하여 먼저 현재 법적으로 측정하여 관리되고 있는 작업환경측정 자료를 활용하여 업종 및 공정별로 노출 매트릭스를 구축한다. 구축된 매트릭스를 대상으로 노출가능성을 중심으로 위험성 평가를 실시하여 우선순위가 높은 고위험 군(high risk exposure matrix)의 구별이 가능토록 한다. 이를 통해 국가적 차원에서 DCM 취급 고위험 군을 집중적

이고 체계적으로 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 연구 방법 및 대상

1. 연구대상

본 연구를 수행하기 위해서 한국산업안전보건공단에서 제공한 2005년도 작업환경측정 자료 DB를 활용하였다. DB는 DCM을 취급하는 전국 사업장 대상으로 한 작업환경측정 자료를 기반으로 만들어 졌으며 이를 이용하여 노출과 관련한 업종, 공정별로 매트릭스를 구축한 후 위험성 평가를 실시하였다. 한국표준산업분류(KSIC)에 따르면 우리나라의 총 업종 수는 1,121개이며,¹⁷⁾ 이 중 DCM을 사용하고 있는 업종은 12.5%에 해당하는 140개 업종이었다(Table 1). 또한 DCM을 취급하고 있는 사업장 수는 536개, 각 업종별 공정 수는 459개, 노출 가능한 근로자 수는 69,512명으로 추정되었으며 DB의 시료 수는 1,661개였다.

2. 연구방법

매트릭스와 관련한 국내의 법규/제도, 우수사례, 참고 문헌 고찰 등을 통해 한국산업안전보건공단에서 제공한 DCM 관련 2005년 작업환경측정 자료 DB를 기초로 업종 및 공정별 노출매트릭스를 설정한 후 그 위험성을 평가하였다. 본 연구에서 활용한 위험성 평가 방법은 AIHA(American Industrial Hygiene Association, 미국산업위생학회)에서 제시하고 있는 컨트롤 밴딩 지침(Guidance for Conducting Control Banding Analysis)의 홀마크 방법(Hallmark risk assessment) 활용하였다.¹⁶⁾ 위험성평가는 물질의 유해성, 취급시간, 노출가능위험성 등을 평가하여 위험값으로 정량화한 후 4단계의 관리수준으로 분류하였다.¹⁶⁾

1) 유해성 등급(Hazard Rating, HR)

유해성 등급은 MSDS에 제시된 화학물질의 인화점(Flash Point), 노출기준(Occupational exposure limit), 독성정보를 토대로 1, 2, 3, 4, 6등급으로 구분된다.¹⁶⁾ 유해성 5등급 대신 6등급을 사용하는 것은 가장 유해한 화학물질의 위험값(Danger Value, DV)에 가중치를

Table 1. Summary of 2005 employees, treated DCM, exposure assessment data base

No. of Industry	No. of Business Place	No. of Process	No. of Exposed Employee	No. of Sample
140	536	459	69,512	1,661

부여하여 관리수준을 높이기 위함이다(부록 1).

2) 취급시간 등급(Duration of Use Rating, DUR)

근로자들이 화학물질 취급 시 노출될 수 있는 시간은 근로자마다 모두 다르다. 취급 노출시간의 차이는 위험성평가를 하는데 매우 중요한 역할을 하고 있다. 홀마크 방법에서는 정확한 평가를 위해 분/일, 시간/주, 일/월, 일/년 등으로 1등급에서 5등급까지 구분하였다. 취급시간 등급은 식 (1)을 적용하여 등급을 결정한다.

$$DUR = 1 + \left(4 \times \frac{\text{근무시간}}{\text{최대노출가능시간}} \right) \quad (1)$$

그러나 DUR의 정확성을 위해서는 취급시간 즉 노출시간이 명확하게 기록되어야 하나 본 연구에서 활용한 작업환경측정 DB(한국산업안전보건공단 제공)에는 대부분의 자료가 취급시간을 8시간으로 표기하고 있어서 DUR은 5등급으로 구분하여 적용하였다.

3) 위험가능성 등급(Risk Probability Rating, RPR)

위험가능성 등급을 계산하기 위해서 식 (2)와 같이 각 측정값을 노출기준(Occupational Exposure Limit)으로 나눈 위험특성비(Risk Characterization Ratio, RCR)를 구하여 검출되지 않았을 경우 0등급, 노출기준의 10% 미만은 1등급, 50% 미만은 2등급, 100% 미만은 3등급, 노출기준을 초과한 값은 4등급으로 구분하였다. 이를 토대로 위험가능성 등급을 0, 1, 2, 3, 6, 10등급으로 나누었다. 위험가능성 등급은 각 업종의 시료 중 7개 혹은 그 이상의 시료가 불검출(not-detected)일 때 위험가능성은 등급 0으로 결정하며, 각 업종의 시료 중 7개 혹은 그 이상의 시료가 노출기준의 10% 미만일 때는 등급 1, 50% 미만일 때는 등급 2, 시료 중 단 하나라도 노출기준의 50%를 초과할 때는 등급 3, 전체 시료의 30% 이상이 노출기준의 50% 초과 시에는 등급 6, 어느 하나라도 노출 기준을 초과하면 등급 10의 값을 적용하였다.¹⁸⁾

4) 위험값(Danger Value, DV)

위험값은 근로자가 화학물질 취급 시 위험정도를 수치화한 것이다. 측정 자료가 있는 경우 유해성등급(HR), 취급시간등급(DUR), 위험가능성등급(RPR) 등을 인자로 하여 위험값인 DV 값을 식 (3)에 의해서 계산할 수 있다.

5) 관리수준(Control Band, CB)

관리수준은 위험값에 의해 결정되고 4단계로 구분된

다. 위험값에 따라 관리수준은 1~4단계로 나눌 수 있다. 위험값이 0~24는 관리수준 1단계, 25~49는 관리수준 2단계, 50~74는 관리수준 3단계, 75~100은 관리수준 4단계로 나타낸다. AIHA에서는 관리수준 등급에 따라 적절한 관리방안을 제시하고 있다.¹⁶⁾

(2) 현장조사

위험성 평가를 통한 EM의 적용 가능성을 확인하기 위하여 DCM을 취급하고 있는 5개의 사업장을 대상으로 공정, 근로자, 작업환경 등에 대한 기초자료를 조사하고, DCM의 공기 중 농도를 NIOSH 공정시험법에 따라 측정하여 근로자의 노출 수준을 평가하였다. 또한 각 공정에서 실행하고 있는 대책을 파악하여 CB에서 위험 수준별로 제안하고 있는 관리 방안과 비교하여 그 실행률을 파악하였다. 상기 노출평가 자료를 근거로 DCM을 취급하는 근로자와 산업위생전문가가 AIHA에서 제시하는 양식에¹⁶⁾ 따라 작업환경에 대한 정성적 위험성 평가를 실시하여 홀마크 방법의 정량적 평가 방법과의 일치도(agreement)를 비교하여 노출 매트릭스를 통한 위험성 평가 방법의 적용 가능성을 파악하였다.

3. 자료의 통계처리

통계분석은 2005년 DCM 작업환경측정 자료를 Microsoft Excel 2007, Sigma Plot for windows 8.0, SPSS 12.0k for Window 등을 이용하여 DB를 구축한 후 자료의 분포(Cumulative probability distribution), 상관분석(Cohen's kappa 값 포함), 교차분석, 집단별 평균분석, 분산분석 등을 하였다.^{19,20)}

III. 연구 결과 및 고찰

1. DCM 취급 업종별 위험성 평가 결과

업종별 위험성 평가는 신뢰도를 확보하기 위해서 Table 1의 전체 DCM 사용 140개 업종 중 측정 결과 치에 있어서 이상치, 결측치 등을 제외한 후 시료 수가 7개 이하인 95개 업종을 제외시킨 45개 업종을 대상으로 1,407개의 시료를 활용하여 위험성 평가를 실시하였다.

DCM 취급 업종의 위험성을 평가하기 위해서 우선적으로 유해성 등급(HR)을 노출기준과 인화점, 독성정보를 참고하여 결정하였다.¹⁶⁾ DCM의 노출기준이 50 ppm으로 3등급, 인화점은 자연발화점이 55°C로 1등급, 독성정보는 동물에서의 발암성 확인 물질로 4등급이므로 유해성 등급을 4등급으로 결정하였다. 각 업종의 DCM 취급시간은 480분으로 취급하는 모든 업종에서 취급시

Table 2. Risk assessment of exposure matrix for industries treated DCM

Industry	No. of Business Place	No. of Employee	No. of Sample	Risk Probability Rating (RPR)				Danger Value	Control Band		
				RCR Category*, No. of Samples (%)							
				0	1	2	3			4	Rating**
Manufacture of Other Optical Instruments and Photographic Equipment	8	2,657	63	1(1.6)	14(22.2)	17(27)	30(47.6)	1(1.6)	10	67	3
Manufacture of Printing Ink	3	219	15	13(86.6)	0(0)	0(0)	1(6.7)	1(6.7)	10	67	3
Subtotal	11	2,876	78	14(17.9)	14(17.9)	17(21.8)	31(39.7)	2(2.6)			
Manufacture of Wooden Doors and Related Products	5	257	12	0(0)	3(25)	4(33.3)	5(41.7)	0(0)	6	40	2
Subtotal	5	257	12	0(0)	3(25)	4(33.3)	5(41.7)	0(0)			
Manufacture of Other Electronic Valves, Tubes and Electronic Components	43	4,485	99	2(2)	69(69.7)	19(19.2)	9(9.1)	0(0)	3	20	1
Manufacture of All Other Chemical Products	14	486	45	7(15.6)	17(37.8)	17(37.8)	4(8.9)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Wood Furniture for Kitchen and Restaurant	3	141	17	0(0)	11(64.7)	2(11.8)	4(23.5)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Other Parts and Accessories for Motor Vehicles	18	1,904	47	11(23.4)	16(34)	17(36.2)	3(6.4)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Foamed Plastic Products	11	285	23	3(13)	14(60.9)	4(17.4)	2(8.7)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Adhesives and Gelatin	4	74	8	0(0)	4(50)	2(25)	2(25)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Moulding Patterns, Moulds and Industrial Patterns	6	694	9	1(11.1)	4(44.4)	2(22.2)	2(22.2)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Metal Structural Components	7	362	10	1(10)	6(60)	1(10)	2(20)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Other Footwear	5	86	17	0(0)	12(70.6)	3(17.6)	2(11.8)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Medicinal Medicaments	42	4,772	224	39(17.4)	128(57.1)	44(19.6)	13(5.8)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Concrete Pipes, Structural Components and Other Concrete Products for Civil Engineering	1	19	11	1(9.1)	3(27.3)	6(54.5)	1(9.1)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Other Wood Furniture	10	173	16	0(0)	12(75)	3(18.8)	1(6.3)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Other General Purpose Machinery	13	1,501	24	9(37.5)	9(37.5)	5(20.8)	1(4.2)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Synthetic Resin and Other Plastic Materials	6	254	25	2(8)	13(52)	9(36)	1(4)	0(0)	3	20	1
General Repair Services of Motor Vehicles	21	383	31	3(9.7)	22(71)	5(16.1)	1(3.2)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Other Furniture	4	144	10	0(0)	6(60)	3(30)	1(10)	0(0)	3	20	1
Other Printing	31	721	66	9(13.6)	45(68.2)	11(16.7)	1(1.5)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Pharmaceutical Goods Other Than Medicaments	14	807	68	11(16.2)	46(67.6)	10(14.7)	1(1.5)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Explosives and Pyrotechnic Products	1	245	59	17(28.8)	33(55.9)	9(15.3)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Parts and Accessories for Motor Vehicle Body	18	6,343	226	171(75.7)	49(21.7)	6(2.7)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of General Hardware	3	63	8	0(0)	3(37.5)	5(62.5)	0(0)	0(0)	2	13	1

Table 2. Continued

Industry	No. of Business Place	No. of Employee	No. of Sample	Risk Probability Rating (RPR)				Danger Value	Control Band		
				RCR Category*, No. of Samples (%)							
				0	1	2	3			4	Rating**
Manufacture of Threads and Yarns	1	8	10	2(20)	3(30)	5(50)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Other Plastic Products	5	265	11	0(0)	6(54.5)	5(45.5)	0(0)	0(0)	2	13	1
Petroleum Refineries	1	280	14	4(28.6)	5(35.7)	5(35.7)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Rolled, Drawn and Folded Products of Aluminum	2	320	7	1(14.3)	2(28.6)	4(57.1)	0(0)	0(0)	2	13	1
Sawmills	5	185	9	0(0)	6(66.7)	3(33.3)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of All Other Fabricated Metal Products	8	597	14	0(0)	11(78.6)	3(21.4)	0(0)	0(0)	2	13	1
Oil Stations	21	93	30	6(20)	22(73.3)	2(6.7)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Engines for Aircraft	1	1,087	15	0(0)	13(86.7)	2(13.3)	0(0)	0(0)	2	13	1
Coating and Similar Treatment of Metals	7	218	15	2(13.3)	11(73.3)	2(13.3)	0(0)	0(0)	2	13	1
Repair Services of Motor Vehicles Specializing in Parts	14	247	17	1(5.9)	14(82.4)	2(11.8)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Other Structural Non-refractory Clay and Ceramic Products	2	57	12	0(0)	2(16.7)	10(83.3)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Television and Radio Receivers, Sound or Video Recording or Reproducing Apparatuses, and Related Goods	6	3,319	11	6(54.5)	4(36.4)	1(9.1)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Woolen Fabrics	1	250	13	2(15.4)	10(76.9)	1(7.7)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Basic Organic Petrochemicals	10	1,768	23	3(13)	19(82.6)	1(4.3)	0(0)	0(0)	2	13	1
Other Service Activities Related to Printing	3	240	7	0(0)	6(85.7)	1(14.3)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of General Paints and Similar Products	3	591	8	1(12.5)	7(87.5)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7	1
Other Dyeing and Finishing Textiles	5	503	8	2(25)	6(75)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7	1
Manufacture of Synthetic Fibers	4	1,202	7	4(57.1)	3(42.9)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7	1
Manufacture of Other Structural Metal Products	7	246	14	3(21.4)	11(78.6)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7	1
Manufacture of Other Basic Organic Chemicals	2	77	10	0(0)	10(100)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7	1
Research and Experimental Development On Engineering and Technique	2	12,073	19	19(100)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0	0	1
Subtotal	385	47,568	1,317	343(26)	693(52.6)	230(17.5)	51(3.9)	0(0)			
Total	401	50,701	1,407	357(25.4)	710(50.5)	251(17.8)	87(6.2)	2(0.1)			

*Risk Characterization Ratio (RCR, Concentration/OEL) category : 0. Not-detected, 1. < 10% OEL, 2. < 50% OEL, 3. < 100% OEL, 4. exceeded OEL
 **Risk Probability Rating (RPR) : 0. All seven or more samples are not-detected, 1. All samples indicate < 10% of exposure limit, 2. All samples indicate < 50% OEL, 3. One sample was > 50% OEL, 6. More than 50 % of samples were > 50% OEL, 10. One or more samples exceeded exposure limit.

간등급(DUR)을 5등급으로 나타냈다.

각 업종의 위험가능성 등급을 결정하기 위해서 노출 수준을 노출기준인 50 ppm으로 나눈 값인 위험특성비를 구하였다. 위험특성비는 유효 시료 1,407개 중 불검출(0등급) 357개(25.4%), 노출기준 대비 10% 미만(1등급)이 710개(50.5%), 노출기준 대비 50% 미만(2등급)이 251개(17.8%), 노출기준 대비 50% 이상에서 100% 미만(3등급)이 87개(6.2%)로 나타났으며, 기준을 초과(4등급)한 것도 2개(0.1%)가 있는 것으로 나타났다. RPR값은 최대 등급이 10등급으로 기타 광학기기 제조업과 인쇄잉크제조업 등 2개 업종이었으며, 목재문 및 관련제품제조업에서 6등급, 그 외기타 전자부품제조업 등 18개 업종에서 3등급, 화약 및 불꽃제품제조업 등 18개 업종에서 2등급, 일반용 도료 및 관련제품 제조업 등 5개 업종에서 1등급, 공학 및 기술연구개발업에서 측정된 값이 불검출이 되어 0등급으로 나타났다.

위험성 평가의 요소인 HR, DUR, RPR을 고려하여 DCM을 취급하는 사업장 401곳과 근로자 50,701명에 대해 업종별 매트릭스를 구성하여 각 매트릭스에 대한 위험성 평가를 실시한 결과는 Table 2와 같다. 관리수준 1단계에는 385개 사업장, 47,568명(93.8%)의 근로자가 해당되었으며, 관리수준 2단계는 5개 사업장, 257명(0.5%)의 근로자가 해당되었으며, DCM을 취급하는 업종 중 최고 높은 관리 수준인 3단계에는 11개의 사업장, 2,876명(5.7%)이 해당되는 것으로 나타났다. 위험성 평가 결과 기타 광학기기제조업, 인쇄잉크제조업에서 67점의 위험값을 보여 가장 위험한 업종으로 파악되었다.

유해인자인 DCM을 취급하는 업종을 대상으로 한 위험성 평가는 업종별로 유해성 등급과 취급시간 등급은 거의 같은 값을 가지고 있으나 RPR 값이 달라서 전체적인 위험성이 결정되므로 위험성을 결정하는 인자 중

가장 중요한 것이 RPR 값으로 간주된다. 실제로 Fig. 1과 같이 관리등급 3등급인 고위험 군으로 분류된 기타 광학기기제조업(기하평균 12.48 ppm, 기하표준편차: 4.05)은 자료 분포가 매우 다양하며 측정치를 노출기준으로 나눈 위험특성비 값이 1에 가깝게 분포함을 볼 수 있으나 관리등급 1등급으로 비위험 군인 자동차체용 부품제조업(기하평균 5.82 ppm, 기하표준편차: 3.01)의 자료 분포는 이와는 다른 양상을 보여준다.

본 연구에서 활용한 홀마크 위험성 평가는 물질의 유해성, 취급시간, 노출가능위험성 등을 고려하여 위험값으로 평가하는 방법으로 다른 방법과는 달리 정량적 및 정성적인 측면에서 접근할 수 있다는 장점이 있다. 위험값에 따라 4가지 단계의 관리수준으로 분류한 후 AIHA에서 제시하는 단계별 관리방안을 적절하게 사업장에 활용할 수 있다. 세세한 관리방안이 제시된 관리수준 1~3등급과는 달리 가장 위험한 관리수준 4등급에 해당하는 것은 즉각적으로 생산 활동을 멈추고 산업위생전문가의 도움을 받도록 제안하고 있다.¹⁶⁾

2. DCM 취급 공정별 위험성 평가 결과

DCM을 취급하는 업종별 공정 459개 중 신뢰성을 확보하기 위해 이상치 및 결측치 등을 제외한 후 시료수가 7개 이하인 412개의 공정을 제외한 47개 공정, 329개 사업장, 803개의 시료를 대상으로 위험성 평가를 실시하여 그 결과를 Table 3에 나타내었다. DCM의 유해성을 나타내는 유해성 등급은 4등급, 하루 중 사용시간은 대부분이 8시간으로 취급시간 등급은 5등급을 적용하였다.

1,661개의 시료 중 유효한 803개의 시료를 대상으로 위험특성비를 분석한 결과 불검출 253건(31.5%), 노출기준 대비 10% 미만이 385건(47.9%), 노출기준 대비 10~49%에 해당되는 시료는 117건(14.6%), 노출기준 대비 50% 이상에 해당되는 시료는 47건(5.9%)이었으며, 노출기준을 초과하는 경우는 1건(0.2%)이었다. 47개의 공정 중 관리수준 3단계에 해당하는 것은 1개 공정(0.2%), 2단계에 해당하는 것은 4개 공정(8.5%), 1단계에 해당하는 것은 42개 공정(89.4%)으로 파악되었다.

DCM을 취급하는 업종 중 가장 위험한 업종으로 판단되었던 2개의 업종 중 기타 광학기기제조업의 소성(燒成, firing) 공정은 시료수가 7개 이하로 위험성 평가시 신뢰성을 고려하여 제외되었으며, 인쇄잉크제조업의 총 3개의 사업장에서 운영되고 있는 패키징(packaging) 공정은 총 12개 시료 중 RCR 값이 1등급 10개(83.3%), 3등급 1개(8.3%), 노출기준이 초과된 4등급은 1개(8.3%)로 나타나 위험가능성 등급이 가장 높은 10등

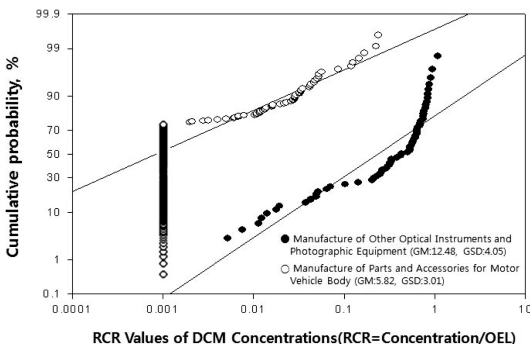


Fig. 1. Cumulative probability distributions of RCR Values of DCM by exposure matrix.

Table 3. Risk assessment of exposure matrix for processes treated DCM

Industry	Process	No. of Business Place	Risk Probability Rating				Danger Control Band				
			RCR Category*, No. of Samples (%)	Rating**							
			0	1	2	3	4				
Manufacture of Printing Ink	Packing	3	12	0(0)	10(83.3)	0(0)	1(8.3)	1(8.3)	10	67	3
Subtotal		3	12	0(0)	10(83.3)	0(0)	1(8.3)	1(8.3)			
Manufacture of Other Optical Instruments and Photographic Equipment	Molding washing	4	10	0(0)	2(20)	1(10)	7(70)	0(0)	6	40	2
Manufacture of Other Optical Instruments and Photographic Equipment	Inspection	5	10	1(10)	2(20)	1(10)	6(60)	0(0)	6	40	2
Manufacture of Other Optical Instruments and Photographic Equipment	Coating	3	8	0(0)	2(25)	1(12.5)	5(62.5)	0(0)	6	40	2
Manufacture of Wood Furniture for Kitchen and Restaurant	Painting	2	12	0(0)	6(50)	2(16.7)	4(33.3)	0(0)	6	40	2
Subtotal		14	40	1(2.5)	12(30)	5(12.5)	22(55)	0(0)			
Manufacture of Medicinal Medicaments	Painting	7	8	3(37.5)	1(12.5)	2(25)	2(25)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Medicinal Medicaments	Granule	8	8	1(12.5)	5(62.5)	0(0)	2(25)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Medicinal Medicaments	Etc.	26	47	7(14.9)	24(51.1)	10(21.3)	6(12.8)	0(0)	3	20	1
Oil Stations	Oiling	16	22	2(9.1)	18(81.8)	0(0)	2(9.1)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Other Electronic Valves, Tubes and Electronic Components	Etc.	14	17	1(5.9)	9(52.9)	5(29.4)	2(11.8)	0(0)	3	20	1
Manufacture of All Other Chemical Products	Stripping	6	12	3(25)	1(8.3)	7(58.3)	1(8.3)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Medicinal Medicaments	Composition	11	22	3(13.6)	12(54.5)	6(27.3)	1(4.5)	0(0)	3	20	1
Repair Services of Motor Vehicles Specializing in Parts	Painting	20	28	1(3.6)	21(75)	5(17.9)	1(3.6)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Medicinal Medicaments	Coating	17	34	4(11.8)	21(61.8)	8(23.5)	1(2.9)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Medicinal Medicaments	Experimentation	20	42	9(21.4)	23(54.8)	9(21.4)	1(2.4)	0(0)	3	20	1
Other printing	Printing	25	44	7(15.9)	32(72.7)	4(9.1)	1(2.3)	0(0)	3	20	1
Manufacture of All Other Chemical Products	Experimentation	6	7	1(14.3)	3(42.9)	2(28.6)	1(14.3)	0(0)	3	20	1
Manufacture of All Other Chemical Products	Packing	5	9	1(11.1)	3(33.3)	4(44.4)	1(11.1)	0(0)	3	20	1
Manufacture of Other Electronic Valves, Tubes and Electronic Components	Painting	8	10	0(0)	7(70)	2(20)	1(10)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Other Electronic Valves, Tubes and Electronic Components	Inspection	5	10	0(0)	8(80)	1(10)	1(10)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Other Structural Non-refractory Clay and Ceramic Products	Mixing	2	7	0(0)	1(14.3)	6(85.7)	0(0)	0(0)	2	13	1
Petroleum Refineries	Experimentation	1	13	4(30.8)	4(30.8)	5(38.5)	0(0)	0(0)	2	13	1
Manufacture of Pharmaceutical Goods Other Than Medicaments	Production	5	24	1(4.2)	18(75)	5(20.8)	0(0)	0(0)	2	13	1

Table 3. Risk assessment of exposure matrix for processes treated DCM

Industry	Process	No. of Business Place	No. of Sample	Risk Probability Rating				Danger Control Band		
				RCR Category, No. of Samples (%)	Rating**					
				0	1	2	3	4	Rating**	Value
Manufacture of Parts and Accessories for Motor Vehicle Body	Etc.	11	104	71(68.3)	29(27.9)	4(3.8)	0(0)	0(0)	2	13
Other printing	Etc.	6	7	0(0)	4(57.1)	3(42.9)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Explosives and Pyrotechnic Products	Fuel	1	8	2(25)	3(37.5)	3(37.5)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Other Parts and Accessories for Motor Vehicles	Washing	6	8	4(50)	1(12.5)	3(37.5)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Parts and Accessories for Motor Vehicle Body	Painting	6	60	49(81.7)	9(15)	2(3.3)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Explosives and Pyrotechnic Products	Charge	1	7	1(14.3)	4(57.1)	2(28.6)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Explosives and Pyrotechnic Products	Washing	1	8	2(25)	4(50)	2(25)	0(0)	0(0)	2	13
Repair Services of Motor Vehicles Specializing in Parts	Painting	12	15	1(6.7)	12(80)	2(13.3)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Other Electronic Valves, Tubes and Electronic Components	Washing	11	18	0(0)	16(88.9)	2(11.1)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Explosives and Pyrotechnic Products	Assembly	1	12	8(66.7)	3(25)	1(8.3)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Parts and Accessories for Motor Vehicle Body	Etc.	6	28	22(78.6)	5(17.9)	1(3.6)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of All Other Chemical Products	Etc.	3	7	0(0)	6(85.7)	1(14.3)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Synthetic Resin and Other Plastic Materials	Firing	3	7	1(14.3)	5(71.4)	1(14.3)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Medicinal Medicaments	Refining	6	7	2(28.6)	4(57.1)	1(14.3)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Pharmaceutical Goods Other Than Medicaments	Drying	4	8	1(12.5)	6(75)	1(12.5)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Explosives and Pyrotechnic Products	Molding	1	8	2(25)	5(62.5)	1(12.5)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Pharmaceutical Goods Other Than Medicaments	Etc.	3	8	3(37.5)	4(50)	1(12.5)	0(0)	0(0)	2	13
Manufacture of Medicinal Medicaments	Medicine	9	13	4(30.8)	9(69.2)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7
Manufacture of Foamed Plastic Products	Firing	5	8	1(12.5)	7(87.5)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7
Manufacture of Woolen Fabrics	Experimentation	1	7	1(14.3)	6(85.7)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7
Manufacture of Basic Organic Petrochemicals	Production	5	7	1(14.3)	6(85.7)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7
Manufacture of Pharmaceutical Goods Other Than Medicaments	Coating	4	7	3(42.9)	4(57.1)	0(0)	0(0)	0(0)	1	7
Manufacture of Parts and Accessories for Motor Vehicle Body	Washing	2	8	8(100)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0	0
Research and Experimental Development On Engineering and Technique	Etc.	2	17	17(100)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0	0
Subtotal	42	312	751	252(33.6)	363(48.3)	112(14.9)	24(3.2)	0(0)		
Total	47	329	803	253(31.5)	385(47.9)	117(14.6)	47(5.9)	1(0.1)		

*Risk Characterization Ratio (RCR, Concentration/OEL) category : 0. Not-detected, 1. < 10% OEL, 2. < 50% OEL, 3. < 100% OEL, 4. exceeded OEL
 **Risk Probability Rating(RPR) : 0. All seven or more samples are not-detected, 1. All samples indicate < 10% of exposure limit, 2. All samples indicate < 50% OEL, 3. One sample was > 50% OEL, 6. More than 50 % of samples were > 50% OEL, 10. One or more samples exceeded exposure limit.

급, 위험값은 67점이 되어 관리수준 3단계에 해당되었다. 기타 광학기계제조업의 몰딩 세척(molding washing), 검사, 코팅(coating) 등 3개 공정 및 주방용 및 음식점용 목재가구 제조업의 인쇄 공정을 운영하고 있는 14개 사업장에서 위험값 40점으로 관리수준 2단계로 파악되었다. 의약품 약제품 제조업의 인쇄 공정 등 42개 업종 312개의 사업장에서 위험값이 0에서 20 점까지 분포되어 관리수준 1단계로 나타났다.

업종을 대상으로 한 위험성 평가와 같이 공정별로 유해성등급과 취급시간등급은 거의 같은 값을 가지고 있으나 RPR값이 달라서 전체적인 위험성이 결정되므로 위험성을 결정하는 인자 중 가장 중요한 것이 RPR 값으로 파악되었다. 높은 RCR 값을 가진 공정일수록, 또한 사업장 근로자 수 규모가 작을수록 고위험 값을 갖는 것으로 나타났다($p < 0.01$). DCM을 취급하는 고위험 매트릭스의 가장 큰 문제는 근로자 10명 이하의 소규모 사업장으로 산업보건에 대한 인식이 미흡한데 있다고 할 수 있다. 노출수준과 사업장 근로자 수는 반비례의 관계에 있기 때문에 국가 차원에서 DCM 등 화학물질에 의한 위험성을 관리하기 위해서는 중소기업의 사업장을 집중적으로 지원하고 관리하여야 할 것이다.

본 연구방법에서 활용한 위험성 평가를 통한 CB 관리에서의 문제점은 다른 노출매트릭스에서 지적되고 있는 바와 같이 정확성(validity)에 있다.^{15,21)} 우선적으로 본 연구에서 사용한 작업환경 측정 DB의 신뢰성이 확보되어야 한다. 작업환경측정 DB 자료 중 약 20%는 이상치, 항목 및 단위 누락 등의 사유로 신뢰성에 의심이 가서 제외한 후 매트릭스를 구축하였다. 버려지는 자료를 최소화하고 신뢰성을 높이기 위해서는 신뢰성

있는 항목들을 선정하고, 이를 표준화시켜서 DB를 구축해야 할 것이다. 정확성과 관련한 두 번째 사항은 같은 업종 및 공정이라 할지라도 노출 정도가 다르게 나타나는 노출의 변이(variability) 문제이다. 변이와 오분류(misclassification)를 최소화시키기 위해서 직무(task) 수준에서 접근하는 TEM(Task Exposure Matrix) 방법이 최근 제시되고 있다.²¹⁾

3. 현장 조사 결과

2005년 전국 사업장 대상 DCM 관련 작업환경측정 결과 자료를 활용하여 위험성 평가를 실시한 후 홀마크 방법을 통한 위험성 평가의 신뢰성을 확보하기 위해서 DCM을 사용하고 있는 5개 사업장을 대상으로 현장조사(field survey)를 실시하여 그 적용 가능성을 파악하였다. 조사 시 첫째, DCM 취급 공정을 대상으로 기존 작업환경측정 결과를 확인하고 공기 중 DCM 측정을 통한 근로자의 노출수준 평가, 둘째, 사업장 근로자와 전문가가 AIHA에서 제시하는 양식¹⁶⁾ 이용하여 정성적으로 위험성 평가를 실시한 후 홀마크 방법 등 평가방법에 대한 일치도 비교, 셋째, 환기, 개인보호구 착용 등 CB에서 제시하고 있는 관리 단계별 대책방안의 실행 정도 파악 등 크게 세 가지 측면에서 조사하여 그 결과를 Table 4에 나타내었다.

현장조사를 통한 작업환경측정 결과 2005년 대비 약 87%의 일치도를 보였다. 근로자와 전문가가 정성적으로 위험성을 평가를 실시하여 EV(exposure value) 값을 계산하였으며 이를 통해 위험값을 도출하였다.¹⁶⁾ 세 가지 위험성 측정 도구의 일치도를 평가하는 Cohen's Kappa 값을 조사한 결과 작업환경측정 자료를 이용한

Table 4. Risk assessment using the questions classified by workplace

Business Place	Industry	Task	HR	Field	Employees			Expert			CB	
				Study	DV		RPR		DV		CB	Action
				DV	EV	RPR	DV	EV	RPR	DV	ratio (%)	
A	Manufacture of Other Rubber Products	Welders and flamecutters	4	17.8	2	2	16.7	2	2.5	20.8	1	52.2
B	Manufacture of Other Machinery and Equipment	Metal finishing- plating- and coating-machine operators	4	33.3	4	2	33.3	4	2	33.3	2	65.5
C	Manufacture of Other Machinery and Equipment	Metal finishing- plating- and coating-machine operators	4	33.3	2	4	33.3	2	4	33.3	2	48.3
D	Manufacture of Parts and Accessories for Motor Vehicles and Engines	Metal finishing- plating- and coating-machine operators	4	33.3	4	2	33.3	4	2	33.3	2	65.5
E	Manufacture of Industrial Ceramic Ware	Coating- machine operator	4	41.7	3	3	37.5	3	4	50	3	25.9

정량적 위험성 평가법이 0.8, 근로자와 전문가가 수행한 정성적 위험성 평가 방법이 각각 0.11과 0.76으로 나타나 법적으로 실행되고 있는 작업환경 측정 자료 DB를 활용하여 홀마크 방법을 통해 화학물질에 대한 위험성을 매트릭스별로 평가하는 것은 대체적으로 일치(moderate agreement)하고 있다고 판단할 수 있다.

영국 보건안전청(HSE)에서는 CB 등급에 맞게 대책 방안을 세밀하게 제시하고 있다. CB 1등급에는 대분류 9가지, 세분류 22가지, 2등급에는 대분류 8가지, 세분류 27가지, 3등급에는 대분류 9가지, 세분류 27가지의 대책방안을 실행하여야 하나,¹⁶⁾ 고위험 매트릭스에 대한 현장 조사를 통해 파악한 실행률은 25.9~65.5%에 불과하였다. 매트릭스 별로 해당 등급에 대한 대책 방안을 실행할 수 있도록 하여 노출을 저감시킬 수 있도록 하여야 한다.

위험성평가와 CB를 통해 근로자의 노출력을 평가하고 그 위험성 정도를 업종과 공정 수준에서 예측하는 방법은 많은 강점이 있는 것으로 평가된다(Benke, 2002). 가장 큰 강점은 화학물질을 사용하는 근로자가 직접 위험성 평가를 통해 노출되고 있는 위험에 대해 평가할 수 있으며 여기에 산업보건전문가가 참여한다면 더 높은 정확도를 제공할 수 있다는 점이다. 근로자의 직무기록만 잘 작성하더라도 직업성 노출력을 70% 수준까지 설명할 수 있으므로 매트릭스를 통한 접근법은 산업보건 관리에 매우 유용한 도구가 될 수 있을 것이다. 본 연구에서 활용한 위험성 평가 방법은 지금까지 위험성 평가의 가장 큰 단점으로 지적되어 왔던 노출수준의 정성적인 평가를 한국산업안전공단에서 보유한 작업환경측정 DB를 사용하여 정량적으로 평가하였다는 점을 들 수 있다. 이를 통해 주관적으로 평가되었던 사항을 최대한 객관화하여 접근할 수 있다. 본 연구를 모델로 하여 한국산업안전공단에서 보유한 작업환경측정 DB를 핀란드(FINJEM), 스웨덴과 같이 매트릭스 형태로 발전시켜서 직업 노출력을 관리하게 되면 산업안전보건의 정책 결정, 노출기준 설정, 모니터링 추이 등 다양한 목적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 DCM을 취급하는 업종 및 공정에 대해 문헌조사를 토대로 2005년 작업환경측정 자료 DB를 중심으로 우리나라의 표준산업분류 체계에 따라 매트릭스를 설정하여 위험성 평가를 실시하였다. 위험성 평가 결과 나타난 고 위험군을 중심으로 화학물질을 취

급하는 사업장에 대한 현장 실태조사를 통해서 매트릭스를 통한 위험성 평가 방법의 적용 여부를 확인하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, DCM의 유해성 등급은 4등급이었으며, 우리나라 전체 업종 수 1,120개 중 140개의 업종(12.5%)에서 69,512명이 노출될 수 있으며, 홀마크 방법을 통한 위험성 평가 결과 기타 광학기계제조업과 인쇄잉크제조업에서 위험값이 가장 높아 관리수준 3단계에 해당되는 것으로 파악되었다. DCM을 취급하는 사업장 401곳과 근로자 50,701명에 대해 업종별 매트릭스를 구성하여 위험성 평가를 실시한 결과 최고 높은 관리 수준인 3단계에는 11개의 사업장, 2,876명(5.7%)이 해당되는 것으로 나타났다.

둘째, DCM을 취급하는 업종별로 47개 공정, 803개의 시료를 대상으로 위험성 평가를 실시하여 인쇄잉크 제조업의 총 3개의 사업장에서 운영되고 있는 패키징(packaging) 공정에서 노출기준을 초과하고 있어 위험가능성 등급이 가장 높은 10등급이었으며 관리수준 3단계에 해당되었다.

셋째, 높은 위험특성비 값을 가진 매트릭스일수록, 또한 사업장 근로자 수 규모가 작을수록 고위험 값을 갖는 것으로 나타나($p < 0.01$) 국가 차원에서 DCM 등 화학물질에 의한 위험성을 관리하기 위해서는 중소기업의 사업장을 집중적으로 지원하고 관리하여야 할 것이다.

넷째, 홀마크 방법에 따른 위험성 평가 방법의 신뢰성을 파악하기 위해서 현장을 방문하여 실시한 정성적 위험성 평가 방법과 약 84% 정도의 일치율을 보였으며, 측정도구의 일치도를 평가하는 Cohen's Kappa 값은 0.11~0.8까지 분포하고 있어 법적으로 실행되고 있는 작업환경측정 자료를 활용하여 위험성을 평가하는 것은 신뢰성이 있다고 할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 한국산업안전보건연구원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Rossberg, M. : "Chlorinated Hydrocarbons" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
2. Office of Environmental Health Hazard Assessment, "Dichloromethane", Public Health Goals for Chemicals in Drinking Water, California Environmental Pro-

tection Agency, Available from (URL): <http://www.oehha.ca.gov/water/phg/pdf/dcm.pdf>, 2009.

3. Ministry of Environment, PRTR (Pollutant Release and Transfer Registers), Available from (URL) : http://ncis.nier.go.kr/total/triopen/default.jsp?sort=4&sub_sort=1, 2009.
4. Rioux, J. and Myers, R. : Methylene chloride poisoning: a paradigmatic review. *Journal of Emergency Medical* **6**(3), 227-238, 1988.
5. Fagin, J., Bradley, J., Williams, D. : Carbon monoxide poisoning secondary to inhaling methylene chloride. *British Medical Journal* **281**(6253), 1461, 1980.
6. Kobayashi, A., Ando, A., Tagami, N. and Kitagawa, M. : Severe optic neuropathy caused by dichloromethane inhalation, *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics* **24**(6), 607-612, 2008.
7. Cordes, D. H., Brown, W. D. and Quinn, K. M. : Chemically induced hepatitis after inhaling organic solvents. *The Western Journal of Medicine* **148**(4), 458-460, 1988.
8. Wells, G. and Waldron, H. : Methylene chloride burns. *British Journal of Industrial Medicine* **41**(3), 420, 1984.
9. Bell, B., Franks, P., Hildreth, N. and Melius, J. : Methylene chloride exposure and birthweight in Monroe County, New York. *Environmental Research* **55**(1), 31-39, 1991.
10. USDHHS (U.S. Department of Health and Human Services), Toxicological Profile for Methylene Chloride, Available from(URL): <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp14.pdf>, Retrieved 2006-09-10, 2006.
11. IARC (International Agency for Research on Cancer), Lists of IARC Evaluations; Available from (URL): <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol17/004-dichloromethane.html>, 2010.
12. American Conference of Governmental Industrial Hygienists ACGIH), 2010 TLVs & BEIs, threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices, ISBN 978-1-882417-79-7, 2010.
13. Ministry of Employment and Labor, Occupational Exposure Limits for Chemical and Physical Hazard, Ministry of Employment and Labor Standard No. 2010-44, 2010.
14. OSHA(Occupational Safety and Health Administration), Occupational Safety and Health Standards, Standard No. 1910.1052, Available from(URL): http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10094, 2010.
15. Benke, G., Sim, M., Frinchi, L. and Aldred, G. : Beyond the job exposure matrix (JEM): the task exposure matrix (TEM). *The Annals of Occupational Hygiene* **44**, 475-482, 2000.
16. AIHA (American Industrial Hygiene Association), Hallmark Risk Assessment Tool in Guidance for Conducting Control Banding Analysis, AIHA, 2007.
17. Statistics Korea, Korean Standard Industrial Classification(KSIC), 9th revision, 2001.
18. Hass, J. M. : Industrial hygiene ABCs. *Professional Safety* **50**(3), 38-41, 2005.
19. Ha, K. C. : A study on Volatile Organic Compounds (VOC) in Environmental Tobacco Smoke (ETS) at indoor office environments. *Journal of Korean Society of Environmental Health*, **27**(3), 1-112, 2001.
20. Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), Application of Matrix and Risk Assessment of Industries, Processes, and Job, Research Report, 2008.
21. Pukkla, E., Guo, J., Kyyronen, P., Lindbohm, M. L., Sallmem, M. and Kauppinen, T. : National job-exposure matrix in analysis of census-based estimates of occupational cancer risk. *Scandinavian Journal of Work Environmental Health* **31**(2), 97-107, 2005.

Appendix 1. Hazard Ratings (HR) and Descriptions

HR	Rating Description
1	Negligible: Essentially non-irritating or mild skin/eye/lung irritation, even with multiple exposures. Products labeled non-reactive or non-toxic. Flash point > 200 °F (93.3°C). Exposure limits of > 500 ppm or 5 mg/m ³
2	Minor: Reversible n'but harmful or irritating effects to skin/eyes/lungs from a single exposure event. Vapors causing dizziness/drowsiness. Products labeled combustible. Exposure limits from 250-500 ppm or 2.5-4.9 mg/m ³
3	Moderate: Irreversible or harmful effects on a single exposure. Includes strong corrosives, severely irritating, simple asphyxiants, skin absorptive. Flash points 100-250 °F (37.8~121°). Exposure limits from 50-249 ppm or 1-2.5 mg/m ³
4	Major: Known and suspect animal carcinogens, skin sensitization/reactions, chemical asphyxiants, reproductive hazards, harm to breast-fed babies. Flash points 20-100 °F (-6.7~37.8°C). Exposure limits of 10-49 ppm or 0.1-0.9 mg/m ³
6	Extreme: Known and suspect human carcinogens, asthma, damage to fetus, genetic damage, very toxic upon a single exposure, serious irreversible effects. Flash points < 20 °F (-6.7°C). Exposure limits < 100 ppm or < 0.1 mg/m ³