

디메틸포름아미드 취급 사업장의 작업환경 및 보건관리 실태와 노출요인 조사

허수중¹ · 서춘희² · 이채관² · 김정호² · 김대환² · 손병철² · 이창희² · 장구락² · 이종태^{2*}

¹인제대학교 보건대학원

²인제대학교 의과대학 산업의학교실/환경 · 산업의학연구소

Evaluation of Work Environment, Health Care Management and Exposure to Chemicals in the Workplaces Using Dimethylformamide (DMF)

Soo Jong Hur¹ · Chun Hui Suh² · Chae Kwan Lee² · Jeong Ho Kim² · Dae Hwan Kim² · Byung Chul Son²
Chang Hee Lee² · Goo Rak Chang² · Jong Tae Lee^{2*}

¹Graduate School of Public Health, Inje University

²Department of Occupational and Environmental Medicine, College of medicine & Institute of Environmental and
Occupational Medicine, Inje University

This study was aimed to assess the status of working environment, health care management status and cause of exposure in manufactories using dimethylformamide (DMF). For the purpose, airborne concentration of DMF in the workplaces and N-methylformamide (NMF) in worker's urine were measured with job type and process. In addition, management of local exhaust ventilation system (LEV) and personal protective equipment (PPE) was evaluated at 35 work places (107 workers) located in Busan and Gimhae area.

Mean DMF concentrations in work places by job type and process were of high level measured in printing and record media reproduction (5.23 ppm) and flaking process (2.48 ppm). Workers in adhesive job were measured a large amount of urine NMF (21.59 mg/ℓ). 98.1% of DMF handling workers were provided respirators, but 67.3% of those workers used them. The main reasons for not using respirators were inconvenience

and difficulty of breathing. Airborne concentrations of DMF were higher in the workplaces in which LEVs were working abnormally, but there was not statistically significant. In addition, the urine NMF levels were correlated with management of LEV within the workers who did not use the respirators ($p < 0.048$).

These results implied that LEV should be installed and maintained properly to protect the workers from the exposure to DMF. Management of PPE should be also necessary to protect the workers from chemical hazards.

Key Words: Dimethylformamide, N-Methylformamide, local exhaust ventilation system (LEV), personal protective equipment (PPE).

※ 이 논문은 2009년도 인제대학교 학술연구비 보조에 의한 것임

접수일: 2010년 9월 16일, 채택일: 2010년 10월 25일

✉ 교신저자: 이종태(부산시 부산진구 개금동 633-165, 인제대학교 대학원,
Tel: 051-890-6174, H.P: 010-3320-3100, e-mail: pmljt742@inje.ac.kr)

I. 서론

우리나라에서 Dimethylformamide(이하 DMF) 노출에 의한 직업성 질환은 1993년 처음 보고된 이래 2005년 까지 13건의 중독 사례가 보고되었다. DMF 중독을 예방하기 위하여 작업 환경측정 및 DMF 취급근로자들의 건강검진 방법개발 등의 제도개선 노력을 하였다. 그러나 기업주 및 근로자의 인식부족과 현장에서의 관리체계 미비 등의 이유로 2006년에서 2009년까지도 7건의 DMF 중독사고가 발생하였다(한국산업안전보건공단, 2007a; KOSHA Alert No. 2008-1, 2008-2, 2009-1).

DMF는 약한 암모니아 향을 가진 무색의 수용성 액체이며, 극성 및 비극성물질에 잘 녹는다. 그리고 수지류에 대한 용해성이 뛰어나 아크릴 제조, 화학물질 제조 및 의약품 제조 과정에 사용되며 또한 직물 염색, 염료, 페인트 제거 용액, 코팅, 인쇄, 접착 용액 등에서도 수지나 용제로 주로 사용되고 있다. 특히 일반 유기용제와 달리 물에 대한 용해성이 뛰어나 합성피혁 제조, 섬유코팅가공업, 우레탄 섬유나 섬유의 방사등 다공성 제품 제조에 사용된다(한국산업안전보건공단, 2006; NIOSH, 1990).

DMF는 휘발성이 강하여 호흡기 및 피부를 통해 체내로 흡수된다. 흡수된 DMF는 간에서 microsomal 단백질 즉, cytochrome P-450에 의해 대사되어 대부분이 N-(hydroxymethyl)-N-methylformamide(HMMF)로 변환된 후 탈메틸화반응에 의해 N-methylformamide(이하 NMF)로 전환되어 소변으로 배설되며, 간 손상은 활성화된 중간체에 의한 것으로 알려져 있다(김기웅 등, 1999; 이광영 등, 2003). DMF에 의한 간 기능 장애는 노출 초기(1-2개월 내)에 많이 나타난다(한국산업안전보건공단, 1999). 1993년 이래로 DMF에 의한 간독성 발생 사례 11건 중 9건이 입사 후 2개월 이내에 발생한 것으로 보고되어 신규 근로자에서 주로 나타나는 특징이 있다(한국산업안전보건공단, 2007a).

노동부는 2005년 10월 DMF가 노출초기에 급성으로 독성 간염과 간장괴사 등의 장애가 발생하는 특성이 있는 점을 고려하여 배치전 건강진단만을 실시하는 다른 유기용제와는 달리 배치후 1달 이내에 DMF에 대한 특수건강진단을 실시하도록 배치후 건강진단 항목을 신설하였다(노동부, 2005; 한국산업안전보건공단, 2009). 그러나 DMF 노출로 부터 근로자의 건강을 보호하기 위해서는 건강진단제도 개선과 함께 근본적으로 노출을 차단 할 수 있도록 국소배기장치의 설치 및 관리 등의 작업환경개선 노력이 우선되어야 한다. 아울러 DMF 취급 및 관리에 대한 보건교육 등이 병행되어야 한다(김현욱 등, 1998; 백남원 등, 1998; 한돈희, 1998; 정문생 등, 2004). 그러나 국내에서 DMF 취급 사업장에 대한 국소배기장치의 설치 및 관리실태, 그리고 보호구 착용 및 보건교

육 등 작업환경평가 및 관리실태에 관한 조사는 부족한 실정이다.

이 연구는 부산과 김해지역에 소재한 DMF를 취급하는 사업장들을 대상으로 국소배기장치관리, 보호구사용 및 보건교육 실태와 근로자들의 DMF 노출에 영향을 미치는 요인을 조사하여 향후 DMF를 취급하는 사업장의 체계적인 근로자 보건관리방안 마련에 필요한 기초자료로 제공하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 연구기간

대상사업장은 부산 및 김해지역에서 DMF를 취급하고, 2008년도 작업환경측정을 실시한 8개 업종 35개 사업장이었고, 지역별로는 부산지역 소재 DMF 취급 사업장 48개(한국산업안전보건공단, 2007) 중 24개(50%) 김해지역 소재 21개 사업장 중 11개(52%) 사업장이었다. 업종과 조사항목별 대상 사업장수는 Table 1과 같다. 조사 기간은 2008년 1월부터 12월까지 약 12개월 이었으며 조사 대상 사업장의 업종별 분류는 한국 산업 표준 분류의 중분류에 따랐다. 근로자의 보건관리 실태조사를 위한 설문조사 대상근로자는 111명이었고 이들 중 누락된 항목이 없는 107명의 자료를 활용하였다.

2. 연구방법

1) DMF를 포함한 공기 중 유기용제 농도 조사

공기 중 DMF 시료채취에는 실리카겔 (150 mg/75 mg) 흡착 튜브(SKC)를 사용하였으며, 유량은 0.01 - 1.0 l/min, 채취시간은 최소 15분 - 최대 80분이었다. 채취된 시료는 플라스틱 마개로 양쪽 끝을 막은 후 운반하였다. 흡착튜브의 앞 층과 뒤 층을 각각 다른 바이알에 넣고 각각 1 ml 의 메탄올을 가한 후 즉시 밀봉한 후 1시간 동안 초음파 처리하여 탈착시켰다. 농도분석은 FID 검출기가 장착된 가스크로마토그래피를 이용하였다. 탈착효율은 약 88.0-95.5%였으며 검출한계는 약 0.05 mg이었다. 기타 유기용제는 passive sampler(3M) 흡착튜브를 사용하였으며 시료채취 후 사염화탄소를 가하여 탈착시킨 후 FID 검출기가 장착된 가스크로마토그래피로 분석하였다. DMF를 포함한 유기용제의 기중농도 측정건수는 120건이었으며 물질의 종류는 14종이었다.

2) 근로자의 보건관리 실태조사(설문조사)

작업환경관리 현황 및 건강검진 실시 현황을 파악하기 위해 설문조사를 수행하였다. 항목은 근로자의 일반적 특성 외 DMF를 취급하는 하루 평균 작업시간에 관하여 1문항, 보건

Table 1. Distribution of manufacture by type of business

Type of business	No. of participated manufactures		
	Assesment of working environment	Questionnaire	Management status of local exhaust system
Manufacture of textiles	4	1	1
Manufacture of leather and related products	14	6	6
Printing and reproduction of recorded media	1	-	-
Manufacture of chemicals and chemical products	10	3	-
Manufacture of pharmaceuticals, medicinal chemical and botanical products	1	-	-
Manufacture of rubber and plastics products	2	-	-
Manufacture of other non-metallic mineral and plastics products	1	1	-
Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	2	1	-
Total	35	12	7

Manufacture of textiles: 섬유제품제조업

Manufacture of leather and related products: 가죽, 가방 및 신발 제조업

Printing and reproduction of recorded media: 인쇄 및 기록매체 복제업

Manufacture of chemicals and chemical products: 화학물질 및 화학제품 제조업

Manufacture of pharmaceuticals, medicinal chemical and botanical products: 의약품물질 및 의약품 제조업

Manufacture of rubber and plastics products: 고무제품 및 플라스틱제품 제조업

Manufacture of other non-metallic mineral and plastics products: 비금속 및 플라스틱제품 제조업

Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers: 자동차 및 트레일러 제조업

교육에 관하여 2문항, 보호구 지급 및 착용에 관하여 3문항, 건강진단에 관하여 3문항 총 10문항 이었다. 설문조사는 35개 대상사업장 중 설문조사에 응한 12개 사업장, 111명의 근로자를 대상으로 자기기입식으로 수행하였으며 이중 질문 사항 미기재 등으로 사용하기 부적절한 4명의 자료를 제외한 총 107명이 최종 조사대상이었다. 그리고 조사대상 근로자의 요증 NMF 농도는 건강검진결과에 관한 개인정보 보호의 의무(건강검진기본법 시행령, 개인정보보호법)를 준수하기 위하여 근로자본인의 동의를 득한 후 사업장에 보관 중인 특수건강검진결과표를 열람 한 후 근로자가 직접 설문지에 기입토록 하였다.

3) 국소배기장치 후드의 제어풍속 측정

산업보건기준에 관한 규칙, 별표2(노동부, 2010)의 내용을 기준으로 국소배기장치 관리, 운영 실태에 관하여 7개 사업장, 58개 작업부서에 대하여 후드의 제어풍속을 측정 하였다. 제어풍속 측정에는 열선풍속계(Digital Air Velocity Meter, 8383-M-GB, TSI)를 이용하였으며 각 공정에 설치된 국소배기장치 후드의 평균유속을 측정한 후 법적기준과 비교하였다.

3. 자료 분석

DMF를 포함한 유기용제의 기증농도 기하평균을 구하여 업종별, 공정별, 유해인자별로 유기용제 노출정도를 평가하였다. 공정별로 근로자의 요증 NMF 농도를 생물학적 노출기준(한국산업안전보건공단, 2007b)과 비교하여 초과 여부를 판정하였다. 국소배기장치 성능에 따른 공기 중 DMF 농도의 비교에는 unpaired t-test를 사용하였다. 요증 NMF 농도에 영향을 미치는 요인 분석을 위하여 호흡기보호구 착용 여부에 따라 층화하여 작업 시간별, 국소배기장치 성능별 DMF 농도를 unpaired t-test를 이용하여 비교하였다. 통계 프로그램은 SPSS(ver. 12K)을 이용하였다.

III. 연구결과

1. DMF를 포함한 유기용제의 농도

총 8개 업종, 35개 사업장, 8개 공정, 120개 시료의 분석 결과 14종의 유기용제가 검출되었다. Toluene과 methyl ethyl ketone(MEK)이 각각 88건(25.7%)으로 가장 많이 검출되었고 이어서 DMF 79건(23.1%), n-Hexane 33건(9.6%), acetone 15건(4.4%) 등의 순이었다(Table 2).

Table 2. Concentration of organic solvents by job type

Type of business §	A	B	C	D	E	F	G	H	Total	Unit: ppm
Name of organic solvent	GM((GSD)(N))									
Dimethylformamide	1.68(1.92)(15)	1.17(3.66)(41)	5.23(-)(2)	2.89(2.32)(10)	1.03(-)(1)	3.27(2.39)(4)	1.04(1.77)(6)	ND*	1.49(1.12)(79)	
Toluene	5.76(3.70)(18)	2.64(4.68)(47)	2.56(-)(2)	3.81(6.54)(16)	0.77(-)(2)	ND	ND	0.57(19.29)(3)	3.05(5.09)(88)	
Methyl ethyl ketone	10.74(4.02)(18)	9.38(3.58)(50)	17.69(-)(2)	7.13(5.39)(17)	2.89(-)(1)	ND	ND	ND	9.16(3.91)(88)	
n-Hexane	0.72(-)(2)	0.64(2.22)(26)	0.72(-)(2)	0.15(1.65)(3)	ND	ND	ND	2.95(-)(2)	0.62(2.56)(33)	
Cyclohexanone	ND*	ND	ND	8.21(-)(2)	ND	ND	ND	ND	8.21(-)(2)	
Cyclohexane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.21(-)(2)	0.21(-)(2)	
Ethylbenzene	ND	ND	ND	0.22(2.03)(9)	ND	ND	ND	0.16(-)(2)	0.21(1.91)(11)	
Xylene	ND	0.113(1)	ND	0.20(1.12)(3)	ND	ND	ND	0.72(-)(2)	0.28(2.15)(6)	
Acetone	ND	6.36(5.42)(4)	ND	0.69(2.88)(3)	24.49(-)(2)	ND	92.71(1.91)(6)	ND	14.27(8.84)(15)	
Ethyl Acetate	ND	2.69(4.24)(3)	ND	0.37(-)(1)	ND	ND	ND	ND	1.64(4.68)(4)	
Isopropyl Alcohol	ND	ND	ND	1.34(-)(2)	ND	ND	ND	ND	1.34(-)(2)	
Methyl Alcohol	ND	7.27(1.35)(4)	ND	ND	4.70(-)(2)	ND	2.32(-)(1)	ND	5.45(1.74)(7)	
Trichloroethylene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.95(-)(2)	0.96(-)(2)	
Methyl Acetate	ND	ND	ND	2.83(-)(2)	ND	ND	ND	ND	2.83(-)(2)	

§A: manufacture of textiles(섬유제품제조업); B: manufacture of leather and related products(가죽, 가방 및 신발 제조업); C: printing and reproduction of recorded media(인쇄 및 기록매체 복제업); D: manufacture of chemicals and chemical products(화학물질 및 화학제품 제조업); E: manufacture of pharmaceuticals, medicinal chemical and botanical products(의약품 제조업); F: manufacture of rubber and plastics products(고무제품 및 플라스틱제품 제조업); G: manufacture of other non-metallic mineral and plastics products(비금속 및 플라스틱제품 제조업); H: manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers(자동차 및 트레일러 제조업).
 *ND: not detected.

Table 3. Concentration of organic solvents by type of work process

Type of working process	Input	Mixing	Bonding	Cleaning	Coating	Desquamation	Packing	Others	Total
Name of organic solvent	GM(GSD)(N)								
Dimethylformamide	1.99(2.36)(11)	1.87(3.20)(14)	0.48(3.82)(11)	2.34(-)(2)	1.79(2.97)(27)	2.48(1.94)(8)	0.86(1.03)(3)	0.81(1.28)(3)	1.49(1.12)(79)
Toluene	0.63(2.27)(11)	3.89(4.15)(17)	6.25(3.79)(13)	ND*	4.13(4.75)(28)	1.26(5.72)(8)	3.86(7.66)(7)	3.89(8.63)(4)	3.05(5.09)(88)
Methyl ethyl ketone	4.65(2.99)(11)	11.27(3.81)(17)	11.72(2.48)(15)	ND	11.09(4.99)(27)	5.35(2.27)(8)	7.89(5.85)(6)	9.79(7.45)(4)	9.16(3.91)(88)
n-Hexane	0.112(-)(2)	0.49(1.94)(5)	0.96(2.50)(11)	ND	0.62(1.72)(5)	0.57(3.02)(8)	ND	0.71(-)(2)	0.62(2.56)(33)
Cyclohexanone	ND	8.21(-)(2)	ND	ND	ND*	ND	ND	ND	8.21(-)(2)
Cyclohexane	ND	ND	ND	ND	ND	0.21(-)(2)	ND	ND	0.21(-)(2)
Ethylbenzene	0.13(-)(2)	0.29(1.99)(4)	ND	ND	0.22(2.48)(3)	0.16(-)(2)	ND	ND	0.21(1.91)(11)
Xylene	0.223(-)(1)	0.179(-)(1)	ND	ND	0.16(-)(2)	0.72(-)(2)	ND	ND	0.28(2.15)(6)
Acetone	3.89(-)(2)	19.19(11.54)(6)	ND	ND	23.30(5.68)(4)	ND	ND	9.75(5.98)(3)	14.27(8.84)(15)
Ethyl Acetate	0.368(-)(1)	2.69(4.24)(3)	0.62(-)(1)	ND	2.80(-)(1)ND	ND	ND	11.19(-)(1)	1.64(4.68)(4)
Isopropyl Alcohol	1.34(-)(2)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.34(-)(2)
Methyl Alcohol	7.635(-)(1)	5.25(-)(2)	5.59(-)(1)	ND	4.95(2.02)(3)	ND	ND	ND	5.45(1.74)(7)
Trichloroethylene	ND	ND	ND	ND	ND	0.95(-)(2)	ND	ND	0.96(-)(2)
Methyl Acetate	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.83(-)(2)	ND	2.83(-)(2)

*ND: not detected.

Input: 원료투입; mixing: 배합; bonding: 접착; cleaning: 세척; coating: 코팅; desquamation: 박리; packing: 포장; others: 기타

Table 4. Health management status (N=107)

Item	Content		N(%)
Working time/day		2 hour<	6(5.6)
		2 hour - 4 hour	10(9.4)
		4 hour - 8 hour	18(16.8)
		< 8 hour	73(68.2)
Health education	Dangerousness of DMF	Dangerousness of DMF	104(97.2)
			2(2.8)
Protective equipment (gas mask)	Provide	Yes	105(98.1)
		No	2(1.9)
	Wear	Yes	72(67.3)
		No	35(32.7)
	Main reason for did not wear the gas mask (N=35)	Inconvenience	19(54.3)
		Difficulty of breathing	11(31.4)
Disturbance in working		5(14.3)	
Health examination	Pre-placement health examination		90(84.1)
	Post-placement health examination		91(85.0)
	Special health examination		103(96.2)

N: Numbers of respondent

Pre-placement health examination: 배치전 건강진단

Post-placement health examination: 배치후 건강진단

Special health examination: 특수건강진단

Table 5. Concentration of urinary NMF and excess ratio for permissible concentration by type of working process

Type of working process	NMF		GM (mg/ l)	GSD	Range (mg/ l)
	No. of Detection	No. of excess than permissible concentration (%)			
Input	2	1(50.0)	15.66	1.86	10.09-24.28
Mixing	11	3(27.3)	9.94	2.28	2.37-43.39
Bonding	7	5(71.4)	21.59	3.75	3.15-215.83
Coating	33	12(36.4)	11.37	3.73	1.33-183.35
Desquamation	6	2(33.3)	12.48	5.82	1.59-166.27
Packing	1	-	5.55	-	5.55
Others	3	-	4.41	2.96	1.29-10.03
Total	63	23(36.5)	11.48	1.25	1.29-215.83

Input: 원료투입; mixing: 배합; bonding: 접착; coating: 코팅; desquamation: 박리; packing: 포장; others: 기타

Table 6. Comparison between management of local exhaust ventilation systems (LEV) and concentrations of DMF Mean \pm SD

LEV	Number(%)	Average air velocity(m/sec)	P*	DMF Conc. (ppm)	P*
Pass	20(34.5)	1.42 \pm 0.54	<0.001	1.21 \pm 1.27	0.078
Failure	38(65.5)	0.40 \pm 0.29		1.79 \pm 1.13	

*: by unpaired t test

Table 7. Urinary NMF concentration according to the wearing status of protective equipment and working time Mean \pm SD

Wearing status of protective equipment	Working time	N	NMF concentration (mg/ ℓ)	P*
Wear	>8 hours	51	10.85 \pm 27.35	0.769
	\leq 8 hours	21	8.98 \pm 14.72	
	Total	72	10.30 \pm 24.26	
Did not wear	>8 hours	22	37.53 \pm 67.99	0.081
	\leq 8 hours	13	10.60 \pm 10.04	
	Total	35	27.53 \pm 55.36	

* unpaired t test

Table 8. Urinary NMF concentrations of workers who did not wear respirators according to management of local exhaust ventilation system Mean \pm SD

Local exhaust ventilation system	N	NMF concentration (mg/ ℓ)	P*
Managed properly	6	13.87 \pm 13.66	0.048
Managed improperly	9	83.82 \pm 89.41	

* unpaired t test

업종별로 화학물질 및 화학제품 제조업에서 DMF를 포함한 가장 많은 총 11종의 유기용제가 검출되었고 가죽, 가방 및 신발 제조업에서 8종, 자동차 및 트레일러 제조업에서 6종이 검출되었으며, 고무제품 및 플라스틱 제품 제조업에서는 DMF 1종만 검출되었다(Table 2). DMF 평균농도는 인쇄 및 기록매체 복제업(5.23 ppm)이 가장 높았고 이어서 고무제품 및 플라스틱 제품 제조업(3.27 ppm), 화학물질 및 화학제품 제조업(2.89 ppm) 등의 순이었으며 자동차 및 트레일러 제조업에서는 검출되지 않았다(Table 2).

공정별로는 원료투입 공정과 배합공정에서 DMF를 포함하여 총 10개 종류의 유기용제가 검출되었고 코팅 공정에서 9종류, 박리 공정에서 8종류 등의 순으로 검출되었으며 세척 공정에서는 DMF 1종류만 검출되었다(Table 3). DMF 농도는 박리 공정(2.48 ppm)이 가장 높았고 그 다음으로 세척 공정

(2.34 ppm), 원료투입 공정(1.99 ppm) 등의 순이었다(Table 3).

2. 근로자의 보건관리실태 및 요충 NMF 농도

1) 작업환경관리 및 건강진단 실시 현황

조사대상자 107명의 1일 DMF 취급 작업시간은 8시간 이상이 73명(68.2%)으로 가장 높게 나타났고 4시간이상-8시간 미만이 18명(16.8%), 2시간이상-4시간미만이 10명(9.4%)의 순이었다(Table 4). 보건교육 실시 현황은 DMF에 대한 보건교육을 받았다고 응답한 근로자가 104명(97.2%)이었다. 보호구(방독마스크) 지급 및 착용현황은 방독마스크를 지급받았다고 응답한 근로자가 105명(98.1%)으로 조사되어 높은 지급률을 보인데 비해 방독마스크를 착용한다고 응답한 근로자는 72명(67.3%)으로 조사되어 지급률에 비해 착용률은 매우

났었다. 방독마스크를 지급받고도 착용하지 않는다고 응답한 근로자 35명의 착용하지 않은 이유는 착용하기 귀찮고 불편해서라고 답한 근로자가 19명(54.3%)으로 가장 많았고 작업에 방해가 된다고 답한 근로자는 11명(31.4%), 호흡이 곤란해서라고 답한 근로자 5명(14.3%)의 순이었다(Table 4). 건강진단 실시 현황에 관하여 배치전 건강진단을 실시했다고 응답한 근로자는 90명(84.1%)이었고 배치후 건강진단을 실시했다고 응답한 근로자는 91명(85.0%)이었다. 그리고 특수건강진단을 실시했다고 응답한 근로자는 103명(96.2%)이었다(Table 4).

2) 요증 NMF 농도

요증 NMF는 조사대상 총 97명의 근로자 중 63명의 근로자에게서 검출되었다(Table 5). 검출 농도는 최소 1.29 mg/l 에서 최고 215.83 mg/l 까지였다. 공정별로는 접착 작업이 평균 21.59 mg/l 로 가장 높았고 원료투입공정이 평균 15.66 mg/l, 박리공정이 평균 12.48 mg/l, 코팅공정이 평균 11.37 mg/l, 배합공정이 평균 9.94 mg/l, 포장공정이 평균 5.55 mg/l, 기타공정이 평균 4.41 mg/l 의 순이었다(Table 5). 산업안전보건공단 근로자건강진단실무지침(한국산업안전보건공단, 2003)에서 제시한 생물학적 노출기준인 15 mg/l 를 초과하는 공정은 접착공정이었고 그 초과율은 71.4%로 가장 높았으며 이어서 원료투입 공정이 50.0%, 코팅공정이 36.4%, 박리 공정이 33.3%, 배합 공정이 27.3% 순이었으며, 포장 공정과 기타 공정은 초과되지 않았다(Table 5).

3. 국소배기장치 후드의 제어풍속에 따른 공기 중 DMF 농도

7개 사업장, 58개 작업공정의 후드를 대상으로 제어풍속을 측정하여 그 성능을 법의 기준과 비교한 결과 법적 기준치를 상회하는 후드(합격군)는 20개(31.0%)였으며 평균 제어풍속은 1.42 m/sec였다. 그리고 법적 기준치에 미달하는 후드(불합격군)는 38개(69.0%)였으며 평균 제어풍속은 0.40 m/sec이었다. 그리고 제어풍속 합격군과 불합격군간에 평균 제어풍속에 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$). 그러나 후드의 성능(기준에 대한 적합 여부)에 따라 작업환경의 기중 DMF 농도를 비교한 결과 합격군의 평균 DMF 농도가 평균 1.21 ppm으로 불합격군의 평균 농도인 1.79 ppm 보다 낮게 조사되었으나 통계적 유의성은 없었다($p = 0.078$)(Table 6).

4. 작업시간과 요증 NMF 농도

작업시간과 요증 NMF 농도와의 관련성을 분석을 위하여 조사 대상자들을 호흡기 보호구 착용여부에 따라 층화분석

하였다(Table 7). 보호구 착용군에서는 요증 NMF 농도가 근무시간과 통계적으로 아무런 관련성이 없는 것으로 나타났다. ($p = 0.769$). 그러나 보호구 미착용군에서는 8시간 초과 근로자에게서 NMF 농도가 37.53 ± 67.99 mg/l, 8시간 이하 근로자에게서는 10.60 ± 10.04 mg/l 로 조사되어 근무시간이 많으면 요증 NMF 농도가 높은 것으로 나타났으나 통계적 유의성은 없었다($p = 0.081$).

5. 국소배기장치 성능과 요증 NMF 농도

국소배기장치의 성능과 요증 NMF 농도와의 관련성도 조사대상자들 중 보호구 미착용자를 대상으로 분석하였다(Table 8). 국소배기장치성능 합격군의 평균 요증 NMF 농도는 13.87 ± 13.66 mg/l, 불합격군의 경우 83.82 ± 89.41 mg/l 로 조사되어 국소배기장치 성능 합격군이 불합격군에 비해 요증 NMF의 농도가 낮았으며 통계적으로 유의한 차이($p = 0.048$)를 보였다.

IV. 고찰

2007년 한국산업안전공단의 자료에 의하면 DMF 취급 사업장은 2007년 현재 전국에 546개 이며, 부산지방노동청 관할 부산·경남지역에는 143개 사업장이 있는 것으로 조사되었다(한국산업안전보건공단, 2007a). 2005년도 작업환경측정결과를 근간으로 DMF를 취급하는 203개 사업장에 대하여 업종별 평균 DMF 농도를 평가한 결과 고무 및 플라스틱제품 제조업이 1.47 ppm으로 가장 높게 나타났고 섬유제품 제조업 0.98 ppm, 가죽, 가방 및 신발 제조업 0.95 ppm, 화학물질 및 화학제품 제조업 0.92 ppm의 순으로 평가 되었으며, 노출기준인 10 ppm을 초과하는 사업장은 없는 것으로 조사되었다. 그러나 특수건강검진 결과 요증 NMF의 노출기준인 15 mg/l 를 초과하는 사업장의 비율은 13.0%로 조사되었다(한국산업안전보건공단, 2007a).

유사한 연구로 한국산업안전공단이 실시한 화학물질 유통, 사용 실태조사에서 DMF를 취급하는 전국 60개 사업장을 대상으로 업종별 기중 DMF 농도를 조사한 결과는 섬유제품 제조업이 4.216 ppm으로 가장 높았으며 전자부품, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이 2.274 ppm, 가구 및 기타 제품 제조업이 2.064 ppm, 인쇄 및 기록매체 복제업 1.968 ppm, 고무 및 플라스틱 제품 제조업이 1.958 ppm의 순으로 평가 되었다. 공정별로는 도장공정이 3.23 ppm, 침지공정이 3.05 ppm, 코팅공정이 1.54 ppm 순이었다(한국산업안전보건공단, 2007b).

부산, 김해 지역 35개 사업장을 대상으로 한 본 연구에서

업종별 평균 DMF 농도는 인쇄 및 기록매체 복제업이 5.23 ppm, 고무제품 및 플라스틱제품 제조업이 3.27 ppm, 화학물질 및 화학제품 제조업이 2.89 ppm의 순으로 높게 평가되었고 공정별로는 박리공정이 2.48 ppm, 세척공정이 2.34 ppm, 원료투입공정 1.99 ppm 순으로 높았으며, 노출기준인 10 ppm을 초과하는 사업장은 없는 것으로 조사되었다. 그러나 특수건강검진 결과 요증 NMF의 초과율은 36.5%이었다. DMF에 관한 조사결과들은 조사대상 업종 및 공정 분포 및 사업장 규모와 조사 시기 등의 특성에 따라 기중 DMF 농도뿐만 아니라 요증 NMF의 농도도 많은 차이를 나타내었다. 그러나 전반적으로 공기 중 DMF는 허용농도를 초과하지 않는 반면 요증 NMF의 농도는 2007년 산업안전보건공단 조사에서 13.0%, 본 조사에서 36.5% 초과되는 것으로 조사되었다. 이러한 자료로 보아 작업환경측정에서의 공기 중 DMF 농도 조사결과는 실제 작업환경에서 근로자의 DMF 노출실태를 반영하기에는 자료의 신뢰성이 떨어지는 것으로 생각되며, 작업환경측정 시 개선되어야 할 문제점들이 있는 것으로 생각된다.

2007년 노동부에서 조사한 특수건강진단 실시 현황에서 사업장 실시율은 95.2%, 근로자 실시율은 94.6%이었으며(노동부, 2008), DMF 취급 근로자의 채용 시 건강진단 실시율은 89%로 본 연구에서 조사된 특수건강진단 실시율 96.2%, 배치전 건강진단 실시율 84.1%와 일부 차이를 보였으며, 아직도 DMF 취급 근로자에 대한 특수건강검진이 누락되는 경우가 있음을 알 수 있었고, 이러한 검진 누락은 최근까지도 발생하고 있는 DMF 중독사고의 원인으로 작용할 수 있으므로 특별한 관리대책이 필요하다.

DMF 중독 사고를 줄이기 위해서는 법규 위반여부를 가리는 작업환경측정이나 근로자의 건강진단도 중요하지만 보다 근본적인 노출차단 대책이 필요하다(김광중 등, 2004). 노출차단 개선책으로는 우선 물질대체, 격리, 환기, 개인보호구 착용 등이 있으며, 이중 유해성이 낮은 물질로 대체하는 방법과 공정을 자동화하여 작업자와 격리시키는 방법은 현실적으로 어려운 점이 많다. 그리고 방독마스크 등 개인보호구를 착용하는 방법은 산업현장에서 쉽게 이용할 수 있지만 작업능률이 저하되고, 근로자들이 착용을 꺼려하는 경우가 많아 보급률에 비해 착용률이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 이유로 산업현장에서 유해물질을 희석하거나 외부로 배출하는 방법인 산업 환기를 보호구와 함께 가장 일반적인 방법으로 사용하고 있다(유재홍, 2009).

2007년 한국산업안전공단의 조사에서 DMF 취급 사업장의 환기시설의 설치율은 조사대상 196개 사업장 중 180개 사업장이 환기시설이 설치되어 있다고 응답했고 그 중 176개 사업장은 DMF 발생원에 대한 국소배기장치가 설치되어 있다고 응답해 매우 높은 설치율을 보였다(한국산업안전보건

공단, 2007a). 산업안전보건법 산업보건기준에 관한 규칙 별표 8에 따르면 관리대상유해물질 중 가스상 물질에 대한 국소배기장치 후드 제어풍속의 기준은 포위식 포위형의 경우 0.4 m/sec 이상이며, 외부식 측방흡인형과 하방흡인형이 경우 0.5 m/sec 이상이고, 외부식 상방흡인형의 경우 1.0 m/sec 이상을 유지해야 한다. 그러나 2006년 한국산업안전공단이 DMF 취급 사업장을 대상으로 시행한 송풍기의 성능과 집진기의 관리 상태에 관한 조사결과 송풍성능과 관리실태가 기준에 미달되는 사업장이 많았으며(한국산업안전보건공단, 2006). 이러한 사실들은 비록 국소배기장치가 설치되었다 하더라도 그 성능이 근로자들의 DMF 노출을 효과적으로 차단시키지 못하고 있는 현실을 반영하였다. 본 연구에서도 조사대상의 69%의 공정에서 후드가 법적 제어풍속을 만족하지 못하는 것으로 평가되었고 공기중 DMF 농도와 국소배기장치의 성능 간의 연관성 또한 성능검사결과 불합격군이 합격군에 비하여 높은 것으로 조사되었다. 다만 조사결과가 통계적 유의성을 나타내지 못하였는데 이는 조사대상 사업장 및 공정의 수가 부족했던 것이 원인으로 생각된다. 그리고 요증 NMF의 농도에 영향을 미치는 요인 분석에서는 보호구에 의한 영향을 배제하기 위해 보호구를 착용하지 않는 근로자를 대상으로 국소배기장치의 성능과 요증 NMF의 농도를 비교하였을 때 두 구간에는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 근로자의 DMF 노출에 국소배기장치의 성능이 중대한 영향을 미친다는 사실을 의미한다. 따라서 근로자의 DMF 노출을 줄이기 위해서는 사업장의 국소배기장치 성능을 법적기준 이상으로 유지하기 위한 보수 및 개선 노력과 함께 노동부나 산업안전공단 등 관련기관의 전문적인 지도 및 감독이 필요할 것이다. 아울러 현실적으로 적극적인 예방대책을 마련하기 어려운 중소기업의 경우 우선적으로 환기시설 점검 및 성능 평가가 필요하며 시설기준에 미치지 못하는 사업장에 대하여는 근로자들의 건강보호를 위하여 시설개선을 위한 지원이 필요할 것이다.

소규모 사업장의 경우 환기설비의 공학적 개선보다는 현실적으로 개인보호구 지급에 의존하는 경우가 많다. 호흡보호구는 근로자를 유해환경에서 보호해 줄 수 있는 최후의 수단 중 하나이므로 근로자들의 호흡기 보호구 사용에 대한 적극적 참여에 의해서만 소기의 성과를 달성할 수 있다(김현욱 등, 1998). 본 연구에서 사업주의 방독마스크 지급률은 97.2%, DMF의 유해성과 보호구의 필요성에 대한 보건교육을 받은 근로자가 각각 97.2%와 98.1%로 높은 비율을 보인 반면 근로자들의 보호구 착용률은 67.3%로 큰 차이를 나타내었다. 보호구 미착용에 대한 이유로는 착용이 귀찮고 불편해서라고 답한 근로자가 54.3%, 호흡이 곤란해서라고 답한 근로자가 31.4%로 대부분을 차지했다. 이런 결과를 볼 때 보

호구의 지급만으로 그 효과를 기대하기에는 한계가 있으며 따라서 근로자의 보호구 착용률을 높이기 위하여 DMF 취급 근로자들에 대하여 위험성과 보호구착용의 필요성에 대한 보건교육의 질적 향상을 위한 교육 프로그램 개발에 힘써야 할 것이며, 아울러 보다 사용이 편리한 보호구 개발에도 관심을 가져야 할 것으로 생각된다.

결론적으로 DMF를 취급하는 근로자들의 건강보호를 위해서는 DMF 발생원의 특성에 맞는 국소배기장치의 설치, 안전검사 등을 통한 국소배기장치의 유지관리와 보호구 착용률을 높이기 위한 보건교육 매뉴얼 개발에 대하여 보다 전문적이고 구체적인 노력이 필요할 것이다.

V. 결 론

부산과 경상남도 김해에 소재한 Dimethylformamide(이하 DMF)를 취급하는 35개 사업장들을 대상으로 업종 및 공정별 DMF 농도와 요증 N-methylformamide(이하 NMF)농도를 조사하고, 보호구 착용 및 보건교육 실시, 그리고 건강검진 실시 현황(배치전, 배치후, 특수건강진단)등에 관한 설문조사(107명)와 함께 국소배기장치의 성능을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 업종별 DMF 평균농도는 인쇄 및 기록매체 복제업(5.23 ppm)이 가장 높았고, 고무제품 및 플라스틱제품 제조업(3.27 ppm), 화학물질 및 화학제품 제조업(2.89 ppm) 등의 순이었다.
2. 공정별 DMF 평균농도는 박리공정(2.48 ppm)이 가장 높았고 세척공정(2.34 ppm), 원료투입공정(1.99 ppm) 등의 순이었다.
3. 공정별 근로자의 요증 NMF 평균 농도는 접착 작업 근로자군(21.59 mg/ℓ)에서 가장 높았고, 원료투입(15.66 mg/ℓ), 박리(12.48 mg/ℓ), 코팅(11.37 mg/ℓ) 등의 순이었다.
4. DMF 취급 근로자의 1일 평균 작업시간은 8시간 이상이 가장 많았고, DMF 및 보호구에 대한 교육을 받았다고 대답한 근로자는 각각 97.2%와 98.1%였다. 보호구를 지급 받은 근로자의 비율은 98.1%로 높았던 반면 보호구를 착용하는 근로자는 67.3%에 불과하였고, 보호구를 착용 하지 않는 이유로는 착용하기 귀찮고 불편하다는 이유가 가장 높았다.
5. DMF 취급 근로자의 건강진단 실시율은 특수건강진단이 96.2%, 배치전 건강진단이 84.1%, 배치 후 건강진단이 85.0%이었다.
6. 사업장의 국소배기장치의 성능에 따른 공기 중 DMF 농도는 국소배기장치의 성능이 우수한 군에서 낮았다.
7. 요증 NMF 농도는 작업시간이 길수록 높았고, 국소배기장치 성능 부적합군에서 적합군에 비해 유의하게 높았다.

이상의 연구 결과로 보아 근로자들의 DMF 노출은 국소 배기장치 성능에 따른 기중농도와 보호구 착용 여부에 영향을 받았으며 따라서 DMF 노출로부터 근로자의 건강을 보호하기 위하여 국소배기장치 성능을 법적기준 이상 유지하기 위한 관리 대책이 필요하며, 아울러 보호구 착용률을 높이기 위하여 근로자들이 사용하기에 불편한 점을 보완한 호흡기 보호구의 개선 또는 개발이 필요하다.

REFERENCES

김광중, 김정만, 김태형, 김현욱, 노영만, 노재훈 등. 산업위생. 신광출판사; 2004 (p528).

김기용, 최병순, 강성규, 문영한. 합성피혁제조업체 근로자들에 있어서 N- methylformamide 배설속도에 관한 연구. 대한산업의학회지 1999;11:106-112.

김현욱, 김형아, 노영만, 장성실. 우리나라 소규모사업장 근로자들의 호흡보호구 사용실태 및 착용기피 원인 분석. 한국산업위생학회지 1998;8:133-145.

노동부. 2007년 특수건강진단 실시결과. 노동부 2008.

노동부. 산재분석현황. 2008.

노동부. 특수건강진단의 시기 및 주기 별표 12의 3(신설 2005.10.7). 노동부 2005.

노동부. 산업안전보건법, 산업보건기준에관한규칙 [별표2]. 노동부 2010.

백남원, 이영환, 윤충식. 우리나라 산업장 근로자의 유기용제 폭로에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1998;8:88-94.

유재홍. 알기 쉬운 산업환기. 산업보건 2009;1:55-59.

이광영, 변주현, 송혜란, 김진하, 고광욱, 이용환. 합성피혁제조업체 근로자들의 요증 N-Methylformamide 농도의 계절적 변이. 대한산업의학회지 2003; 15:62-172.

정문생, 김치년, 김광중, 노재훈, 김현수. 화학물질 취급 근로자의 산업보건 실천에 영향을 미치는 요인. 한국산업위생학회지 2004;14:77-85.

한국산업안전보건공단 산업보건국. 화학물질 유통, 사용 실태조사 결과보고서 -디메틸포름아미드-. 한국산업안전공단 2007b p46.

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 근로자 건강진단 실무지침 제3권. 한국산업안전공단 2009.

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 디메틸포름아미드 취급 근로자의 급성 중독 예방 및 관리대책 연구. 2007a p39-55, p104-129.

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 유기용제 취급 사업장의 공정별 유기용제 사용실태와 폭로평가에 관

한 연구. 한국산업안전공단 1999.

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 유해인자에 의한 건강영향과 관리 -디메틸포름아미드- 한국산업안전공단 2003 p3-4, p31.

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 유해화학물질 사용 중 · 소규모 사업장 산업 환기실태조사 및 개선에 관한 연구. 2006. p1-24.

한돈희. 일부 탈지세척 및 도금공정 국소배기장치의 성능점검과 개선방안. 한국산업위생학회지 1998;8:178-185.

NIOSH. Preventing adverse health effects from exposure to dimethylformamide (DMF). NIOSH Alert. DHHS (NIOSH) Publication No. 1990 p90-105.