한국산업위생학회지 제18권 제1호(2008년 3월)
J Korean Soc Occup Environ Hyg 2008;18(1):80-90

디메틸포름아미드(DMF)에 대한 단시간 노출기준 설정의 필요성에 관한 연구 -합성피혁사업장 중심으로-

이선우[1†] · 김태형[1] · 김정만[2]

[1]창원대학교 환경공학과 · [2]동아대학교 예방의학교실

A Study on the Necessity in Establishment of STEL of Dimethylformamide (DMF) - on the focus of the exposure in synthetic leather factories -

Sun Woo Lee[1†] · Tae Hyeung Kim[1] · Jung Man Kim[2]

[1]Department of Environmental Engineering, Changwon National University
[2]Department of Preventive Medicine, Dong-A University

This study was carried out to investigate the correlation of urinary NMF concentration in workers exposed to DMF and concentration of DMF in the workplace. Samples were collected in workers exposed to high dose solvent in the synthetic leather factory by using silicagel tubes for 5-15 minutes, and were analyzed by GC. Geometric mean concentrations of DMF in the workplaces were 4.67 ppm in normal operation and 63.95 ppm in high exposure operation. The concentration of case uppers and machine cleaning process were more than 100 ppm in short time. The correlation of urinary NMF in workers and DMF in workplace was statistically significant in normal operation and high exposure operation. Correlation coefficient are 0.215($p<0.05$) and 0.263($p<0.05$).

The result implied that STEL of DMF should be established in normal operation processes as well as high exposure operation processes.

Key Words : DMF, NMF, normal operation, high exposure operation

Ⅰ. 서 론

디메틸포름아미드(Dimethylformamide, DMF)는 산업현장에서 용제로, 중간화합물로, 그리고 첨가제로 널리 사용되는 유기화합물이다. DMF는 무색 내지 담황색의 약한 아민냄새가 나는 액체로서 냄새 역치가 다양하여 냄새로서는 노출정도를 가늠할 수 없다. DMF의 독성은 1950년대부터 이미 알려져 있으며 주로 문제가 되는 것은 간독성이다(Lauweys, 1980; Redlich 등, 1988). 국내에서 DMF는 주로 합성섬유제조, 합성 및 인조 피혁제조공정에서 용제로 많이 사용되어 왔으

접수일 : 2008년 1월 17일, 채택일 : 2008년 3월 24일
† 교신저자 : 이선우 (부산관역시 서구 동대신동 3가 1번지 동아대학교병원 건강검진센터 산업의학과,
Tel : 051-240-5311, Fax : 051-242-8428, E-mail : lsw2201@hanmail.net)

며 1993년 DMF의 사용으로 인한 독성간염이 처음 발생한 후, 2000년대에 들어서 그 사용량이 더욱 증가함에 따라 독성 영향이 상대적으로 더욱 증가하였다. 우리나라의 경우 2004년 DMF 사용량은 73,385,227Kg으로 여러 직종에서 사용되었으며 약 3,600명의 근로자가 노출되고 있다. 이들 근로자의 취업 업종은 화합물 및 화학제품제조업이 전체 취급 근로자 수의 45.6%로 가장 많았고, 섬유제품제조업(봉제의복제외)이 15.8%로 조사되었다(한국산업안전공단, 2007).

미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)은 1978년과 1981년에 DMF에 대한 산업보건상의 관리지침을 마련하여 근로자의 건강관리에 도움을 제공하였으며, 유럽의 경우 국가별로 1980년대에 건강관리 지침을 마련하였다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 국제노동기구(International Labor Organization, ILO) 및 국제연합환경계획(United Nations Environment Program, NNEP)과 연대사업으로 "화학안전에 관한 프로그램(International Programme on Chemical Safety, IPCS)"을 1980년부터 운영하여 왔는데, 1991년에 "환경보전기준 114(Environmental Health Criteria 114)"에 DMF를 수록하여 광범위한 검토 자료를 제공하였다. 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 1999년에 DMF를 이전의 Group 2B, 즉 발암성의 가능성이 있는 요인에서 Group 3, 즉 발암성 여부를 확인 할 수 없는 물질로 분류하였다. 근래 2001년도에 세계보건기구는 1991년 자료이후 최근의 실험 및 역학 연구들을 검토하여 "화학물질에 관한 국제평가문서 31-DMF(Concise International Chemical Assessment Documment 31)" 를 마련하였다. 미국이나 유럽의 자료들이 비교적 직업적으로 노출되는 근로자들에 초점을 둔것에 비해 세계보건기구의 자료는 환경적인 측면에서도 풍부히 고찰하고 있다. 우리나라에서는 1993년 DMF로 인한 독성사례가 처음 보고 된 후, 1998년에 한국 산업안전공단 산업보건연구원에서 DMF를 취급하는 전국의 사업장을 대상으로 정밀역학조사를 실시하여, DMF 사용실태와 현황, 건강장애를 일으키는 요인이나 관련인자, 근로자 건강관리방법, 작업환경관리 등을 파악하여 보고서를 제공하였다(한국 산업안전공단, 1999).

우리나라의 경우 유해물질의 취급으로 인해 발생하는 재해나 직업성질환은 주로 중·소규모 사업장에서 발생하는 경우가 많은데 이는 근로자의 부주의나 회사의 관리 소홀도 원인이겠지만, 유해화학물질을 배기시킬 수 있는 산업 환기시스템의 미비나 성능 부족 등이 주요 원인이 될 수도 있다. 직업병 발생 원인 감소를 위하여 공학적인 환기시스템과 같은 작업 공간의 관리도 중요하며 또한 예방적인 차원에서의 건강진단실시 시기 및 주기, 순간적으로 높은 수준에 노출되는 기준의 설정도 중요한 측면이 될 것이다.

본 연구는 현재 우리나라 DMF의 특수건강진단 실시주기가 직업병 발생의 작업경력이나 취급 공정에 따라 적당한지를 파악하기 위해 작업환경측정 농도와 요중 N-메틸포름아미드((N-Methylformamide, NMF)와의 상관관계를 조사하였다. 또한 미국 정부산업위생전문가협의회(American Conference of Govermental Industrial Hygienists, ACGIH) 및 노동부에서의 단시간 노출기준의 기준 설정이 필요함을 재인식하고 그에 따른 기초 자료를 제공하고자 하는데 그 목적을 두었다.

Ⅱ. 연 구 방 법

1. 연구대상

합성피혁은 사용되는 원료에 따라 파이록신계, 염화비닐계, 나일론계, 폴리아미드계, 폴리우레탄계 등 다양 하게 제조되나 DMF를 용제로 사용하는 합성피혁은 폴리우레탄계에 국한되어 이들중 비교적 DMF의 사용 및 발생이 많은 서부 경남지역의 폴리우레탄계 합성 피혁공장 5개 사업장을 대상으로 2005년 3월부터 2007년 4월까지 작업환경조사와 2006년부터 2007년 상반기까지의 특수검진 및 설문조사를 하였다. 측정 대상사업장의 공정은 사업장 마다 공정명이 일부 틀려 작업내용이 유사한 작업은 동일한 공정으로 분류하 였고 작업의 특성에 따라 연속적으로 노출되지 않아도 순간적으로 고농도에 노출될 위험이 있는 원료배합, 기계청소 공정은 부수적으로 측정을 실시하였다.

2. 작업환경측정 및 분석방법

작업환경측정은 개인시료 포집법을 원칙으로 공기 포집장치(Personal low volume air sampler, Gillian)에 실리카겔 흡착튜브(SKC Tube, SilicaGel 150㎎/75㎎, Cat. No., 226-10)를 연결하여 근로자 호흡기 위치에 장착하고 유량은 0.01-1 ℓ/min로 유지하였다.

정상 작업수준(Threshold Limit Values(TLV) - Time weighted average (TWA) 기준)의 표본은 6시간 이상 작업시간을 3회 측정하였고, 고농도 위험성의 작업수준 (Threshold Limit Values(TLV) - Short Time Exposure Limit(STEL) 기준)의 표본은 15-30분 정도의 용제취급 작업시간 내에 4회 표본 채취하였다. 포집된 시료는 분석을 위해 튜브의 앞뒤의 구멍을 밀봉하여 운반하였고, 공시료는 시료 셋트당 2-10개의 현장 공시료를 사용했다. 분석은 NIOSH Method 2004의 분석방법에 따라 기체크로마토그래피(HP-5890, GC-FID(HP-1 Capillary column(Agilent, USA))를 이용한 정량 분석을 실시하였다. 분

석 조건은 헬륨 20㎖/min을 이동기체(Carrier gas)로 사용하였다.

3. 설문조사

DMF를 취급하는 근로자 181명을 대상으로 연령, 경력, 유기화합물의 노출에 의해 발생할 수 있는 22개의 증상(특수건강진단시 유기화합물에 대한 문진표에 있는 증상), 간기능 검사, 보호구 착용율 등을 저자가 직접 개인면담을 통하여 조사하였다.

작업환경측정 결과와 관련된 특수건강진단 결과와의 상관관계는 통계 프로그램 SPSS.13-patch를 이용하여 분석하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 공정별 공기중 오염물질의 측정결과

1) 정상 작업수준

(1) 노출되는 수준에서의 공기중 측정농도

Table 1. Geometric mean concentration of DMF during normal operation

No. operation Process		Concentration of normal operation (ppm)		
		Number	GM	Range
Mixing	1. Manhol opening(reaction port)	20	5.24	2.9-10.22
	2. Liquid coating exhaust(reaction port)	20	6.02	3.65-9.49
	3. Normal case(case upper)	15	6.76	3.37-11.24
	4. Molting case(case upper)	20	7.86	4.33-17.42
Cleaning	5. Cleaning process of mixing case (case upper)	15	4.87	2.65-8.24
Coating	6. Cushion knife roll coating machine (drying)(case upper)	15	0.04	0.02-0.09
	7. Knife roll coating machine(dry) (case upper)	15	1.56	1.12-1.90
Dipping	8. Dipping coating machine(wet) (coating machine upper)	15	8.39	3.56-20.26
	9. Dipping machine cleaning process (Dipping machine upper)	20	5.54	3.27-7.55
Convey	10. Convey after coating(materal upper)-tio	15	3.65	2.35-5.23
Solidfication	11. Solidfication port(upper)	15	8.00	5.57-14.12
Cleaning machine	12. Upper inlet	12	8.63	7.85-10.78
	13. Upper central part	12	5.41	4.79-6.26
	14. Upper outlet	12	2.44	1.65-3.28
Drying machine	15. Horizontal type drying machine (in-out let)	20	0.37	0.13-0.78
	16. Vertical type drying machine (roller upper)	15	1.78	1.32-2.46
Printing machine	17. Printing machine cleaning	12	9.82	5.69-18.26
Total		268	4.68	0.02-20.26

정상 작업시 작업장 공기중 농도는 기하평균으로 4.68ppm(0.02-20.26ppm)이었고, 최저치는 코팅공정 쿠션 나이프 롤 코팅기 건식 나이프 상부가 0.04ppm, 최고치는 인쇄공정 인쇄기 세척중 작업이 9.82ppm으로 측정되었다(Table 1).

(2) 연도 및 공정별 공기중 측정농도 비교

공정별 최고농도는 2005년 일반용기 용기상부 작업이 9.14ppm, 2006년 인쇄공정 세척 작업이 9.32ppm, 2007년 인쇄공정 세척중 작업이 13.62ppm의 측정치를 나타내었다.

공정별 평균농도는 인쇄공정 세척작업이 9.82ppm, 수세조 상부 유입구가 8.63ppm, 함침조 세척공정 함침조 상부가 8.39ppm, 배합공정 탈포기 용기상부는 7.86ppm의 순으로 노출기준 10ppm에 근접하는 측정치를 나타내었다(Fig. 1).

대부분의 공정에서 공히 2005년, 2006년도에 비하여 2007년도의 공기중 측정농도가 증가하는 경향을 보였다. 특히, 2007년도의 공기중 측정농도중 배합공정 탈포기 용기상부, 함침코팅기 습식 코팅기 상부, 응고조 상부, 인쇄공정 세척작업이 모두 노출기준(TLV-TWA)을 넘는 경향을 보였다.

(3) 연도에 따른 각 회사별 공기중 농도비교

각 회사별 정상작업수준의 작업시 공정별 최고 측정농도는 A사의 경우 수세조 상부 유입구가 8.39ppm, B사의 경우 수세조 상부 유입구는 7.99ppm, C사의 경우 인쇄공정 세척작업은 13.43ppm, D사의 경우 함침 코팅기 습식 코팅기 상부가 13.75ppm, E사의 경우 응고조 상부작업은 9.59ppm이었다.

각 회사의 공정별 평균 농도는 인쇄공정 세척작업이 9.82ppm, 수세조 상부 유입구가 8.63ppm, 함침조 세척공정 함침조 상부의 경우는 8.39ppm, 배합공정 탈포기용기 상부는 7.86ppm의 순으로 높았으나 노출기준을 초과 하지는 않았다(Fig. 2).

각 회사별 공정에서 D사의 경우 공기중 측정 농도중 배합공정 탈포기 용기상부, 함침코팅기 습식 코팅기 상부, 응고조 상부, 인쇄공정 세척작업이 모두 노출기준(TLV-TWA) 10ppm을 넘는 경향을 보였다.

2) 고농도 위험성이 있는 작업의 공기중 수준

(1) 노출되는 수준에서의 측정농도

고농도 위험에 노출되는 수준의 작업장 공기중 평균농도

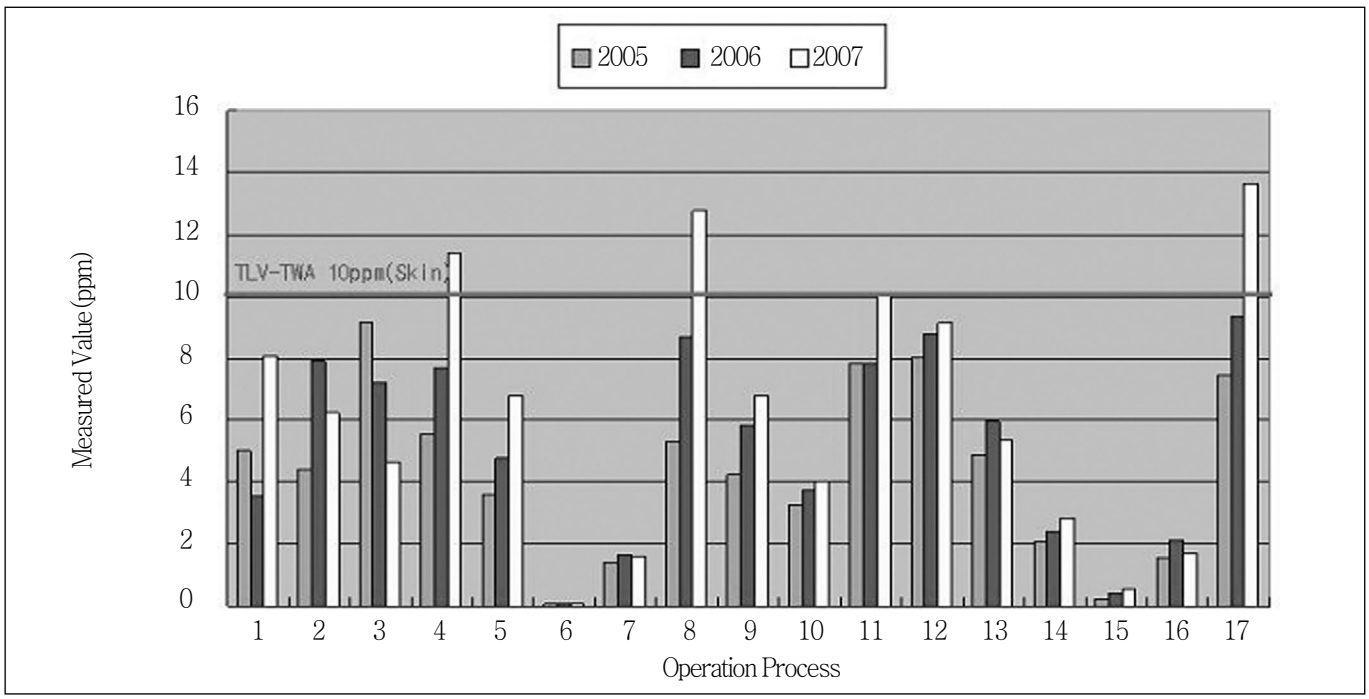

Fig. 1. Geomentric mean concentrations of each operation process between 2005 and 2007

Note : The number of each operation process means the following.
(1) Manhol opening, (2) Liquid coating exhaust, (3) Normal case (case upper), (4) Molting case (case upper), (5) Cleaning process of mixing case (case upper), (6) Cushion knife roll coating machine (drying) (case upper), (7) Knife roll coating machine (dry) (case upper), (8) Dipping coating machine (wet) (coating machine upper), (9) Dipping machine cleaning process (Dipping machine upper), (10) Convey after coating (materal upper), (11) Solidfication port (upper), (12) Upper inlet, (13) Upper central part, (14) Upper outlet, (15) Horizontal type drying machine (in-out let), (16) Vertical type drying machine (roller upper), (17) Printing machine cleaning

는 63.94ppm(4.18-242.26ppm)이었으며, 최저치는 건조공정 수평형 건조기 출입구로 5.49ppm, 최고치는 인쇄공정 인쇄기 세척작업으로 157.25ppm으로 측정되었다(Table 2).

(2) 2007년도의 각 공정별 공기중 측정농도 비교

공정별 측정농도는 인쇄공정 세척작업이 157.25ppm으로 가장 높았고, 함침조 세척공정 함침부 상부가 127.41ppm, 배합용기 세척공정 용기상부는 126.33ppm, 배합공정 일반용기 용기상부는 105.09ppm의 순으로 높았으며 100ppm 이상으로 측정된 공정이 4곳으로 나타났다(Fig. 3).

공기중 측정한 17개의 공정중 코팅공정 쿠션 나이프 롤 코팅기 건식 니이프 상부, 습식 용기 상부, 건조공정 수평형 건조기 출입구, 건조공정 수직형 건조기 로울러 상부 등의 4개 공정을 제외한 13개 공정에서 농도 20ppm을 넘는 경향을 보였다.

(3) 2007년도의 각 회사별 공기중 농도비교

각 회사의 공정별 측정농도는 A사의 경우 인쇄공정 세척작업이 161.33ppm, B사의 경우 인쇄공정 세척작업이 150.76ppm, C사의 경우 함침조 세척공정 함침조상부가 157.41ppm, D사의 경우는 함침조 세척공정 함침조상부가 172.21ppm, E사의 경우는 배합용기 세척공정 용기상부가 143.03ppm으로 각 공정에서 가장 높은 측정치를 나타내었다. 용기상부 및 용기세척 등의 작업시 100 ppm이상의 수준으로 발생하는 용제가 가장 많은 부서로 나타났다.

각 회사별 평균 농도중 100ppm을 초과하는 장소는 일반용기 용기 상부작업이 105.09ppm, 배합용기 세척공정 용기상부는 126.33ppm, 함침조 세척공정 함침조 상부는 127.41ppm, 인쇄공정 인쇄기 세척중 작업이 157.25ppm의 측정치를 나타내었다(Fig. 4).

각 회사별 공정에서 모든 회사가 17개 공정중 13개가 20ppm을 초과하는 공정이고, D사가 타사에 비하여 높은 측정수준을 나타내는 경향을 보였다.

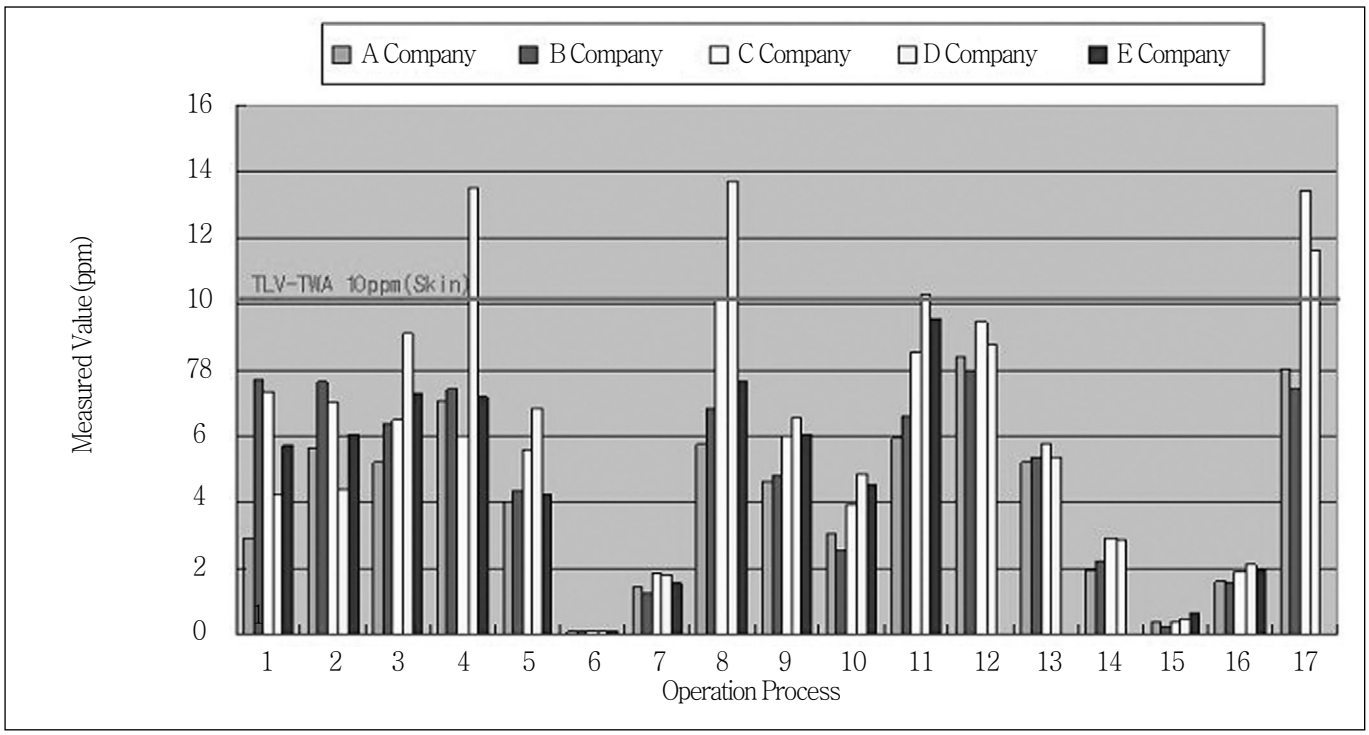

Fig. 2. Geomentric mean concentrations of each company between 2005 and 2007

Note : The number of each operation process means the following
(1) Manhol opening, (2) Liquid coating exhaust, (3) Normal case (case upper), (4) Molting case (case upper), (5) Cleaning process of mixing case (case upper), (6) Cushion knife roll coating machine (drying) (case upper), (7) Knife roll coating machine (dry) (case upper), (8) Dipping coating machine (wet) (coating machine upper), (9) Dipping machine cleaning process (Dipping machine upper), (10) Convey after coating (materal upper), (11) Solidfication port (upper), (12) Upper inlet, (13) Upper central part, (14) Upper outlet, (15) Horizontal type drying machine (in-out let), (16) Vertical type drying machine (roller upper), (17) Printing machine cleaning

Table 2. Geometric mean concentration of DMF during high exposure operation

No. operation Process		Concentration of high exposure (ppm)		
		Number	GM	Range
Mixing	1. Manhol opening(reaction port)	20	54.46	35.66-110.03
	2. Liquid Coating exhaust (reaction port)	20	85.81	68.96-100.24
	3. Normal case(case upper)	20	105.09	55.63-200.33
	4. Molting case(case upper)	20	69.46	29.33-115.73
Cleaning	5. Cleaning process of mixing case (case upper)	20	126.33	88.73-216.88
Coating	6. Cushion knife roll coating machine (drying)(case upper)	20	6.68	5.12-9.13
	7. Knife roll coating machine(dry) (case upper)	20	17.1	14.26-20.89
Dipping	8. Dipping coating machine(wet) (coating machine upper)	20	89.93	78.65-100.13
	9. Dipping machine cleaning process (Dipping machine upper)	20	127.41	78.26-242.26
Convey	10. Convey after coating(materal upper)	20	79.07	69.25-88.97
Solidfication	11. Solidfication port(upper)	20	76.96	59.88-98.78
Cleaning machine	12. Upper inlet	16	75.59	55.02-97.32
	13. Upper central part	16	47.16	42.31-50.13
	14. Upper outlet	16	40.58	34.59-47.16
Drying machine	15. Horizontal type drying machine (in-out let)	20	5.49	4.18-6.461
	16. Vertical type drying machine (roller upper)	20	0.88	9.15-14.26
Printing machine	17. Printing machine cleaning 30 minutes progress	16	157.25	147.33-175.26
	after cleaning finished	16	48.07	22.26-84.52
Total		340	63.94	4.18-242.26

2. 건강진단결과와 측정치의 상관관계

1) 건강진단 결과의 NMF농도 분포

DMF 사용 근로자 181명을 대상으로 한 특수건강진단 결과 대표적 대사산물인 NMF의 분포는 0.001-5.000㎎/ℓ의 범위에서 폭로군중 136명(75.14%)로 가장 많은 분포를 나타내었다.

181명의 폭로군중 180명은 노동부 NMF의 참고치인 0-15.000㎎/ℓ의 범위 내에서의 많은 검출 결과를 보이고, 폭로대상중 1명은 25.02㎎/ℓ의 최고값을 나타내었다(Fig. 5).

2) 정상 작업과 고농도 위험성작업에서 NMF농도의 상관관계

작업환경 측정시 정상작업과 고농도 위험에 노출되는 작업에서의 측정치와 이에 따른 특수건강진단의 결과와의 상관관계는 NMF와 정상작업과는 상관계수(r)가 0.215($p<0.05$), NMF와 고농도 위험에 노출되는 작업과의 상관계수(r)는 0.263($p<0.05$)로 약한 양적 선형관계를 보였다.

3) DMF특수건강진단 조사시 설문내용

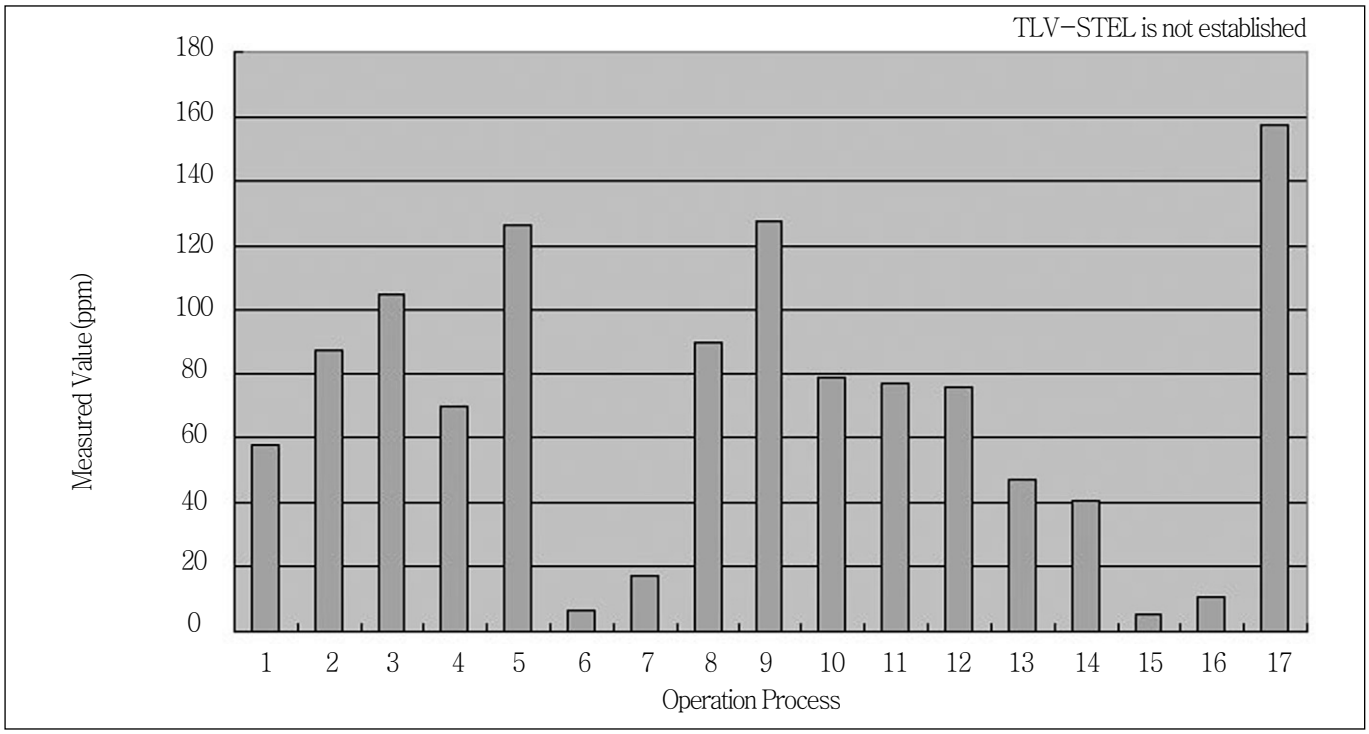

Fig. 3. Distribution of concentration each operation in 2007

Note : The number of each operation process means the following
(1) Manhol opening, (2) Liquid coating exhaust, (3) Normal case (case upper), (4) Molting case (case upper), (5) Cleaning process of mixing case (case upper), (6) Cushion knife roll coating machine (drying) (case upper), (7) Knife roll coating machine (dry) (case upper), (8) Dipping coating machine (wet) (coating machine upper), (9) Dipping machine cleaning process (Dipping machine upper), (10) Convey after coating (materal upper), (11) Solidfication port (upper), (12) Upper inlet, (13) Upper central part, (14) Upper outlet, (15) Horizontal type drying machine (in-out let), (16) Vertical type drying machine (roller upper), (17) Printing machine cleaning

특수건강진단시 유기화합물의 DMF 취급 근로자 문진표 설문조사는 기존 21가지의 항목에 DMF의 대표적인 증상인 복통에 관한 설문도 추가로 조사하였다. 각 항목의 설문 응답자 수와 전체 근로자에 대한 비율을 산출하였다(Fig. 6).

한사람의 근로자가 대부분 복수 항목을 선택하여 181명의 근로자가 516개의 설문에 답하였다.

유기화합물의 DMF 노출군에서 설문 조사시 많이 응답한 항목순을 보면 첫번째 피부에 염증이 잘 생긴다 67명(37.02%), 두번째 피부가 거칠어졌다 50명(27.62%), 세번째 토할 것 같은 느낌이 든다 40명(22.1%), 네번째 코피가 자주 난다 35명(19.34%), 다섯번째 복통에 관한 경험이 있다 31명(17.13%)의 순으로 급성 증상과 관련한 증상에 많은 설문응답 하였다.

Ⅳ. 고찰

DMF 건강장해 유발요인은 유해물질의 노출농도와 노출시간에 따라 차이가 있으며 또한 개인의 감수성에 따라서도 차이가 있을 수 있다. 합성 폴리우레탄피혁 제조공장 근로자 100명에 대한 연구에서 DMF의 평균농도는 7ppm(3-19ppm)으로 측정되었고, 이들 근로자들은 복합유기화합물에 동시 노출되고 있었다(Cirla 등., 1984). 본 연구에서 정상 작업시 DMF의 측정한 결과를 공정별 세부 작업별로 살펴보면 공기중 농도는 배합공정이 2.9-17.42ppm, 코팅공정이 0.02-1.9ppm, 수세조공정이 1.65-10.78 ppm, 응고조공정이 5.54-14.12ppm, 건조공정이 0.13-2.46ppm, 인쇄공정이 5.69-18.26ppm으로 2006년 한국산업안전공단 부산지역본부에서 조사한 공정별 측정 농도치와는 약간의 차이를 보였다. 환경 조건에 따른 가변성을 고려한다고 하여도 배합이나 수세공정, 응고공정, 인쇄공정의 측정결과는 노출기준 10ppm에 근접하거나 상회하는 수준으로 나타났다. 또한 DMF의 고농도 위험성 작업시 분석한 측정농도는 배합공정이 35.66-200.33ppm, 코팅공정이 5.12-20.89ppm, 수세조공정이 34.59-97.33ppm, 응고조공정이

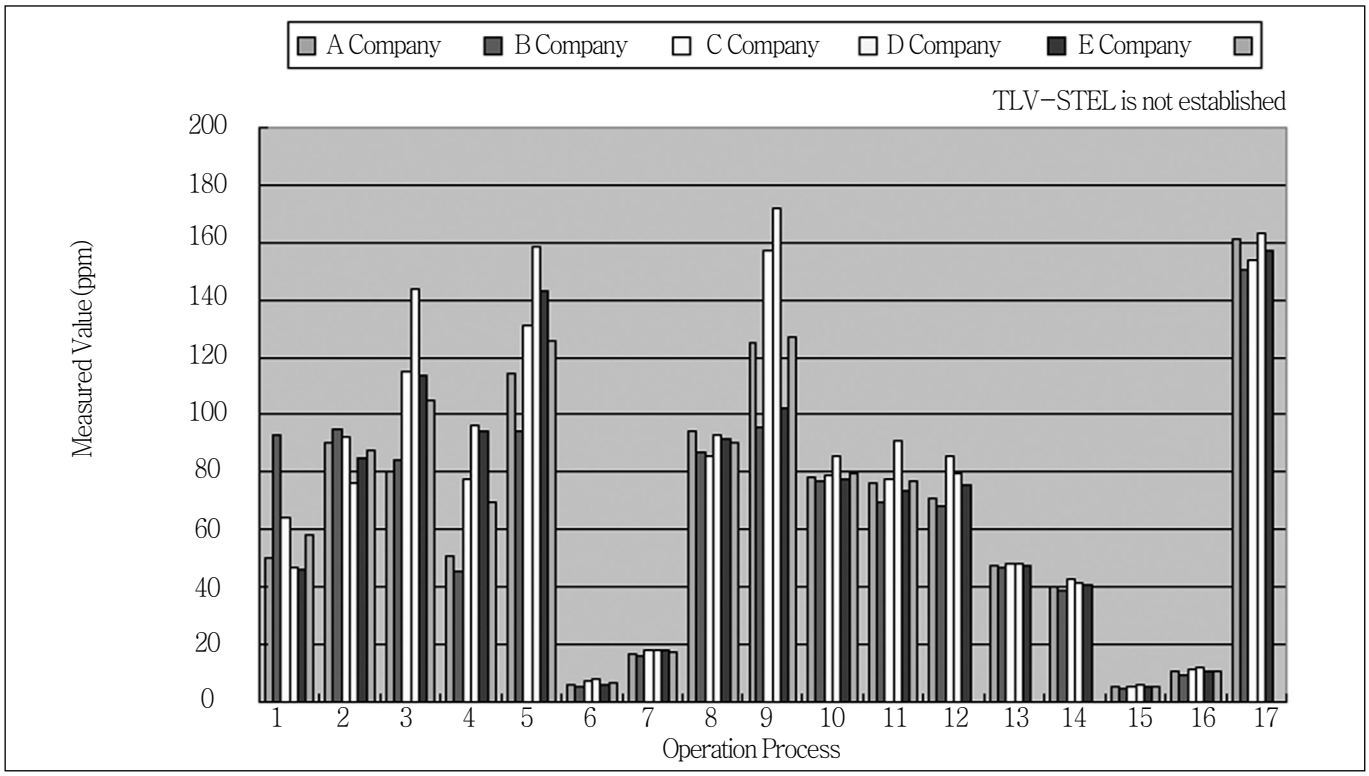

Fig. 4. Comparison of concentrations of each company in 2007

Note : The number of each operation process means the following
(1) Manhol opening, (2) Liquid coating exhaust, (3) Normal case (case upper), (4) Molting case (case upper), (5) Cleaning process of mixing case (case upper), (6) Cushion knife roll coating machine (drying) (case upper), (7) Knife roll coating machine (dry) (case upper), (8) Dipping coating machine (wet) (coating machine upper), (9) Dipping machine cleaning process (Dipping machine upper), (10) Convey after coating (materal upper), (11) Solidfication port (upper), (12) Upper inlet, (13) Upper central part, (14) Upper outlet, (15) Horizontal type drying machine (in-out let), (16) Vertical type drying machine (roller upper), (17) Printing machine cleaning

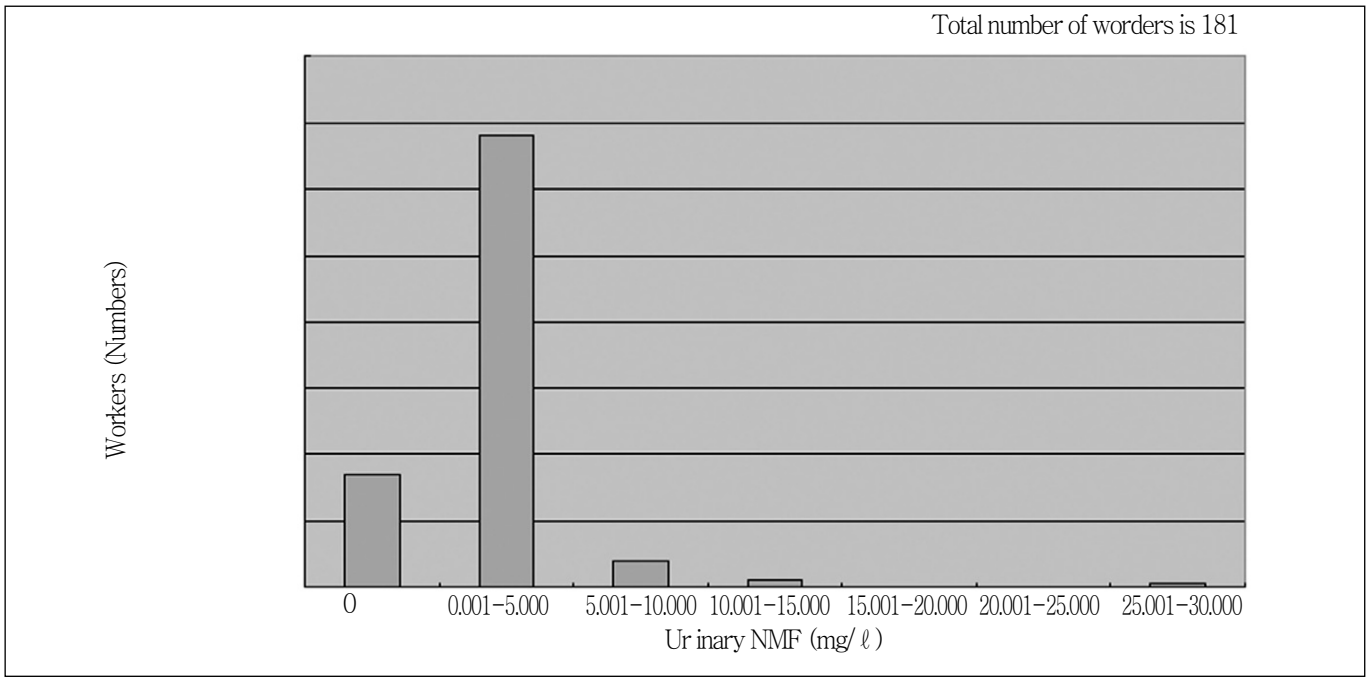

Fig. 5. NMF distribution of workers

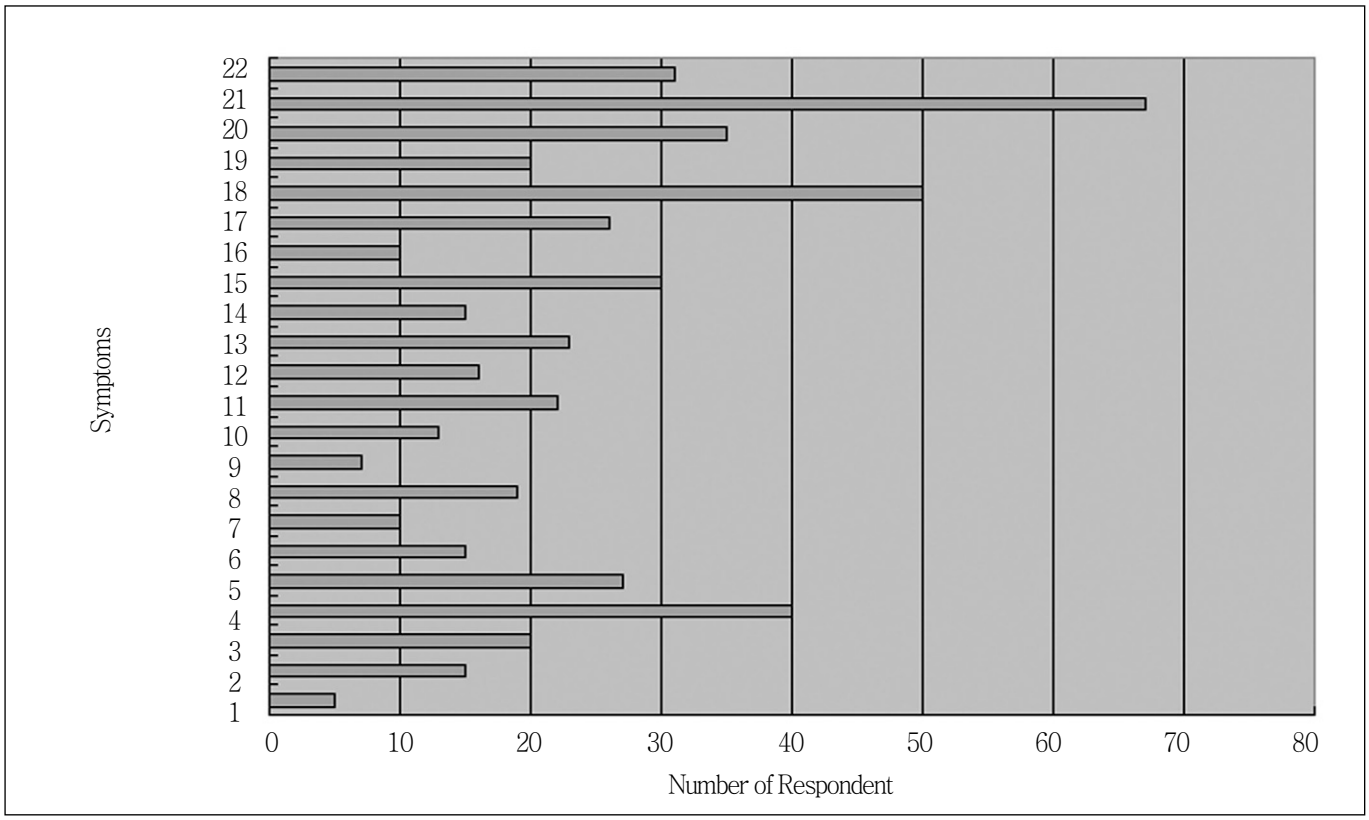

Fig. 6. Questionnaire for DMF exposed workers

Note : The number of each symptoms means the following.
(1) feeling get drunk (2.76%), (2) have a headache (8.29%), (3) be dizzy (11.05%), (4) feel sick (22.1%), (5) fail to go sleep (14.92%), (6) a troubled mind (8.29%), (7) forgetfulness (5.52%), (8)nerves become edgy (10.50%), (9) hands tremble (3.87%), (10) chest feels tight (7.18%), (11) desire for food (12.15%), (12) have an eye disease (8.84%), (13) a ringing in the ears (12.71%), (14) speak wrongly (8.29%), (15) can't smell (16.57%), (16) a joint pain (5.52%), (17) have a weak grip (14.36%), (18) have a rough skin (27.62%), (19) coughing (11.05%), (20) bleed at the nose (19.34%), (21) become inflamed skin (37.02%), (22) complain of a stomachache (17.13%)

59.88-98.78 ppm, 건조공정이 4.18-14.26 ppm, 인쇄공정이 147.33 -175.26ppm 등으로 높게 측정되었다. 2005년에서 2007년까지 년도에 따른 공정별 측정농도 추이를 보면 측정농도가 대부분의 공정에서 점차적 높은 측정결과를 보이는 것은 작업장의 환경조건에 문제가 있음을 알려준다. 즉, DMF의 사용량의 증가, 작업방법의 문제, 환기시설의 미설치 및 미개선이다. 여기서 환경 시설중 국소배기상의 문제는 후드의 파손, 개인사정에 편리한 시설로의 변경, 닥터내의 저항(압력손실)증가, 송풍기의 파손, 공기정화장치의 막힘 및 미교체로 인한 효율 저하 등을 알 수 있다. 환경조건이 적합하지 않는 경우 근로자들이 순간적 또는 단시간의 배합이나 세척작업시 고농도의 용제에 직접적으로 노출되는 경우 최고값이 242.26 ppm의 높은 측정값을 나타내는 공정도 발생하였다. 현재 시행하고 있는 작업환경측정 조사시에 단시간의 노출기준을 설정하여 작업환경측정 농도의 높고 낮음의 기준 설정이 필요함을 알 수 있다.

적합한 환경의 개선은 근로자 노출수준에 따라 대책의 가변성이 있다. 물질별 노출기준의 설정은 1968년도 ACGIH-TLV 배경에 따라 적용 자료와 적용물질의 수에서 산업장 역학조사 157개 (38%), 자발적 인체실험 45개 (11%), 동물실험-흡입 · 만성중독 83개 (20%), 동물실험-흡입 · 급성중독 8개 (2%), 동물실험-경구 · 만성중독 18개 (4.5%), 동물실험-경구 · 급성중독 2개 (0.5%), 화학구조의 유사상 101개 (24%)로 기준을 설정하였다. 산업장 역학조사의 데이터는 사용물질의 직접관련성이 주변조건을 만족하기에 적합하여 가장 중요한 자료일 것이다.

DMF의 노출기준의 변화는 1960년에서 1965년 까지는 TLV-TWA 20ppm, 1964년 TLV-TWA제안은 10ppm(Skin), 1966

년에서 현재까지는 TLV-TWA 10ppm(Skin), 1976년에서 1985년까지는 TLV- STEL 20ppm, 1986년은 TLV-STEL이 권고할 만한 충분한 자료가 없어서 20ppm이 삭제되었으며 1995년은 A4로 제안(Not Classifiable as a Human Carcinogen)하였고 1996년은 A4, 1999년은 Group 3(IARC)로의 변화를 거쳤다. 현재 우리나라는 TLV-TWA 10ppm (Skin)이고, TLV-STEL는 미설정되어 있다.

본 논문에서 NMF의 폭로군중 25.02㎎/ℓ의 최고값을 나타낸 근로자의 경우 일반 작업시 DMF의 농도는 4.26-7.23ppm이고, 고농도 위험성에서의 작업시 DMF농도는 123.33-184.33ppm으로 높게 측정된 결과치를 나타내었다. 측정된 값의 결과로 보아 고농도 위험성에 노출되는 순간적인 농도의 수준은 단시간 내에 건강 장애를 일으킬 위험이 높을 것으로 생각되며 정상 작업시 노출되는 수준의 농도는 장기간 근무시 건강상에 유해성이 있을 수 있는 수준이다. 환경적인 DMF의 농도가 증가함으로 인체에 노출되는 수준은 공기중 DMF의 노출 농도와 대사산물인 NMF의 배설량을 측정하여 DMF의 배설속도를 연구한 자료를 보면 뇨중 NMF의 배설량은 노출 농도와 상관없이 노출 후 3시간에 최고치를 보였다(Lauwerys 등, 1980). 본 논문에서 NMF농도와 정상 작업의 측정농도의 상관계수는 0.215($p<0.05$), 고농도 위험성 작업에서도 측정농도와의 상관계수 0.263($p<0.05$)로 약한 양적 선형관련성이 있었다.

우리나라의 현행 제도상에서 DMF의 작업환경측정과 NMF의 특수건강진단을 수행할 때에 정상 작업기준과 같이 고농도 위험성 작업기준인 TLV- STEL과 NMF의 측정 자료가 필요성이 있음을 알 수 있다. DMF 노출시 인체에 나타나는 증상은 노출 기간 4.5년(범위 1년미만-10년이상)의 근로자에게는 폐섬유환, 간손상, 정소기능저하, 말초신경장해 등이 있고 사용되는 복합물질은 상호간에 인체 상승작용을 하는 경향도 보였다(Riachi 등., 1993). 또 다른 증상으로는 정상 작업수준의 DMF에 노출된 근로자들에게서 안면홍조, 현기증, 오심, 흉부압박감 등의 알코올 내성저하가 나타난다는 것은 널리 알려져 있고 낮은 농도에서 이런 증상이 나타나는지를 확정하기에는 어렵지만, 대부분 평균농도 또는 중앙값이 10ppm 수준인 것과 관련되어 있다고 한다(Cirla et al., 1984; Fiorito et al., 1997). 고농도에 노출되었을 때의 급성증상은 복통, 식욕부진, 협조운동불능, 황달, 오심, 구토, 설사, 코와 피부의 자극등이 있고(Riachi 등., 1993; Huang 등., 1998), 대부분의 증상은 사고후 수시간에서 수일후에 나타나고 있으며 간기능의 변화(Fiorito 등., 1997; Wrbitzky., 1999)와 형태학적 변화(Fiorito 등., 1997)도 일어나고 약 2-3주간의 대증 치료후 대부분 간기능은 정상으로 회복되었다고 한다.

본 연구의 NMF농도와 특수건강진단시 유기화합물과 관련된 22가지의 증상 설문조사시 노출 및 작업경력이 많지 않은 고농도 위험성에 노출되었던 근로자가 DMF의 대표적 증상들을 호소한 것은 노출에 따른 건강장애는 서로 연관성이 있을 것으로 생각되어진다. DMF 기중 농도와 노출후 요중 NMF 농도와는 유의한 상관관계를 보였고 노출후 NMF농도가 30㎎/g creatinine을 넘지 않는 근로자군은 간손상의 위험으로 부터는 비교적 안전하지만 일부 근로자에게는 알코올 내성저하가 나타난다고 하였다 (Lauwerys 등, 1980). 특수건강진단 181명의 설문조사시 DMF의 작업 경력별 노출기간은 1년이하 45명(24.86%), 1년이상 3년이하 73명(40.33%), 3년이상 5년이하 32명(17.68%), 5년 이상 31명(17.13%)로 3년이하의 노출기간이 118명(65.19%)로 높은 비중을 차지하고 있었다. 근래 DMF에 기인한 산재상황을 보면 2000년 1월 인조피혁 제조 정제팀의 근로자의 확장성 심부전으로 인한 사망, 2000년 11월 합성피혁제조 인쇄부에서 독성 간염, 1998년 2월 합성피혁 제조공장에 입사한 근로자의 2000년 12월 식도암 진단, 1982년에 입사하여 합성피혁 코팅작업을 하던 중 2003년 10월 폐암으로 진단, 2006년과 2007년 합성피혁 제조공장의 근로자가 독성간염으로 사망한 경우 등 2000년대에 들어서는 사용량이 증가하면서 집단적인 발생 양상까지도 띠고 있다.

현재 우리나라에서 시행되고 있는 특수건강진단은 배치후 1개월 이내 실시하는 첫번째 특수건강진단 실시시기와 두번째 부터 6개월마다 실시하는 특수건강진단 검사주기로는 DMF의 대표적인 급성 중독성을 발견하기에는 어려움이 있어 배치후에는 1개월부터 6개월까지는 1개월마다 정기적인 검사를 본 저자는 권장하는 바이다(노동부, 2005).

개인 보호구를 착용하지 않는 상태에서는 흡입보다는 피부 흡수가 더 중요한 노출경로라고 하였는데(Lauwerys 등, 1980) 본 연구에서 보호구 착용율은 근속년수에 관계없이 53명(29.3%)으로 30%도 되지 않았다. 피부 흡수에 따른 중독성의 여부도 첨부되어 검사되어야 할 것이다.

DMF는 노출 특성상 짧은 시간에 고농도 위험성에 노출될 경우 근로자들에게 복통 등의 중대한 생리적인 임상증상이 나타나므로 측정농도와 인체증상의 상관관계는 노출기준 선정에 중요한 자료가 될 수 있을 것이다.

Ⅴ. 결론

본 연구는 DMF를 취급하는 합성피혁제조업 5개 사업장을 2005년에서 2007년까지 각 연도 및 공정별로 정상 작업시 노출수준과 고농도위험성 작업시 노출수준을 파악하고 건강검진 결과의 NMF농도를 비교함으로써 건강상의 예방을 하

기 위해 우리나라에 적합한 DMF의 단기간 노출기준(STEL)의 필요성과 관리상의 기준을 마련코져 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 시간가중평균의 정상 작업시 공기중 DMF 노출수준(TWA)은 평균농도가 4.67ppm(0.02-20.26ppm), 고농도 위험성에 노출되는 수준에서의 평균농도는 63.95ppm(4.19-242.26 ppm)으로 측정되었다.

2. 고농도 위험성에 노출되는 수준에서의 측정시 2007년도 공정별 농도를 비교하면 인쇄공정 세척작업 이 157.25ppm으로 가장 높게 측정되었고 용기상부 및 용기세척 등의 작업시 100ppm 이상의 수준으로 발생하는 부서로 나타났다.

3. 유기화합물의 DMF 노출군에서 설문 조사시 피부에 염증이 잘 생긴다 67명(37.02%), 피부가 거칠어졌다 50명(27.62%), 토할 것 같은 느낌이 든다 40명(22.1%), 코피가 자주 난다 35명(19.34%), 복통에 관한 경험이 있다 31명(17.13%)의 순으로 급성 증상과 관련한 증상에 많은 설문응답 하였다.

4. NMF 농도와 정상 작업에서 측정치의 상관계수는 0.215($p<0.05$)로 나타났고, NMF 농도와 고농도 위험성 작업에서 측정치의 상관관계는 상관계수 0.263($p<0.05$)로 이들은 통계적으로 약한 양적 선형 관련성을 보이고 있다.

5. 근로자 경력별 노출기간은 3년이하가 65.91%로 가장 높았고 보호구 착용율은 근무 경력에 관계없이 29.3%의 수준을 나타내었다. 고농도 위험성 작업시 DMF농도 노출은 훨씬 높게 될 수 있으며 현 보호구 착 용율이 낮기 때문에 근로자들의 노출량은 더 높을 것으로 생각된다. 따라서 단시간 고농도 위험작업시에는 보호구 착용율이 더욱 필요함을 알 수 있다.

이상의 결과로 DMF와 NMF의 상관성과 관련, 일반 작업수준에서의 노출기준 실행과 같이 고농도위험성 작업수준에서도 단시간 노출기준을 개정하여 작업환경 측정의 평가기준이나 건강검진의 척도 기초 자료로 제시한다.

REFERENCES

김기웅, 최병순, 강성규, 문영한. 합성피혁제조업체 근로자들에 있어서 N-methylformamide 배설속도에 관한 연구. 대한산업의학회지 1999;11(1):106-112

노동부. 유해물질총람.노동부; 2003.(101쪽)

노동부. 특수건강진단의 시기 및 주기 별표 12의 3(개정 2007.12.31(노동부령 제 289호)),2007

백남원. 산업위생학개론(개정3판). 신광출판사; 1997.(45-47쪽)

정규철. 직업성 질환. 도서출판 고려의학; 1999.(507쪽)

한국산업안전공단. 합성피혁 제조과정에서 DMF 사업장 보건진단 결과서. 2006.(11-17쪽)

한국산업안전공단 산업안전보건연구원. 유기용제 취급사업장의 공정별 유기용제 사용실태와 폭로평가에 관한 연구-디메틸포름아미드 노출근로자를 중심으로-. 1998.(3-15쪽)

한국산업안전공단 산업안전보건연구원. 유해인자에 의한 건강영향과 관리(DMF). 2002.(21-27쪽)

한국산업안전공단. 화학물질유통 사용실태조사결과보고서. 2007.(3-11쪽)

American Conference of Govermental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentation for Dimethylformamide. Cincinnati, OH;2001

ACGIH. Documentation of Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, Cincinnati, OH ;2007

Cirla AM, Pisati G, Invernizzi E, Torricelli P. Epidemiological study on workers exposed to low dimethylformamide concentrations. Giornale Italiano Medicina del Lavoro 1984;6:149-156

Fiorito A, Larese F, Molinari S, Zanin T. Liver function alterations in synthetic leather workers exposed to dimethyl formamide. American Journal of Industrial Medicine 1997;32:255-260

Huang J, Kuo H, C, Chen T, Chang W. Dimethylformamide-induced occupational liver injury a case report. Kaohsiung Journal of Medical Science 1998;14:655-658

Lauwerys RR, Kivits A, Lhoir M, Rigolet P, Houbeau D, Buchet JP. Biological surveillance of workers exposed to dimethylformamide and the influence of skin protection on its percutaneous absorption. International Archives of Occupational and Environmental Health 1980;45:189-203

National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Method, 4th ed. 2004

Redlich CA, Beckett SWS, Sparer J, Barwick KW, Riely CA, Miller H, Sigal SL, Cullen MR. Liver disease associated with occupational exposure to the solvent dimethylformamide. Annels of Internal Medicine 1988;108:680-686

Riachi G, Michel P, Francois A, Ducrotte, Laffineur G, Lerebours E, Colin R. [Acute hepatic effects of exposure to dimethylformide. Clinical and histological aspects.]; Gastroenterology and Clinical Biolgy 1993;17:611-612 (in French)

Wrbitzky R. Liver function in workers exposed to N,N-dimethylformamide during the production of synthetic textiles. International Archives of Occupational and Environmental Health 1999;72(1)19-25