

금속가공유(Metalworking fluids)의 산업위생학적 고찰

김강윤 · 정춘화 · 박소연 · 김현욱^{1)†}

가톨릭대학교 대학원 보건학과, 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실¹⁾

Occupational Hygienic Aspects of Metalworking Fluids (MWFs): Review of Literature

Kangyoon Kim · Chun-Hwa Chung · So-Yon Park · Hyunwook Kim^{1)†}

*Department of Public Health, Graduate School, Department of Preventive Medicine, College of Medicine¹⁾,
The Catholic University of Korea, Seoul, Korea*

The purpose of this paper is to review occupational hygienic aspects of metalworking fluids(MWFs) that were appeared in the recent literature. Among various types of MWFs, traditional straight oils that have widely been used are being replaced with water-based oils. This transition creates some adverse health effects from additives, bioaerosols and biocides contained in the water-based oils. Therefore, studies on bioaerosol, endotoxin, ethanalamines, nitrosamines, and formaldehyde need to be done. However insoluble MWFs are still used and the health effects can be still problems in this country. All but synthetic and a few water-based MWFs are formulated utilizing petroleum oil as a base in which PAHs, confirmed carcinogens, can be found. Since domestic regulations controlling the amount of PAHs in the MWFs are inadequate, continuous research of and proper management against PAHs are utmost concern. Meanwhile, to

alleviate health hazards associated with handling and usage of the water-based MWFs, such control techniques as enclosure, isolation, substitution and ventilation, and comprehensive administrative guidelines and legal requirements need to be established. The material safety data sheets (MSDS) containing detailed and useful information for health and safety aspects of MWFs should be transmitted to the related workers. For proper usage of MWFs, education or training program for health and safety manager, and a systematic and internationally accepted management program should be proposed.

Key Words : metalworking fluids, bioaerosol, endotoxin, nitrosamines, polynuclear aromatic hydrocarbons(PAHs)

I. 서 론

금속가공유(metalworking fluids, 윤활유, 절삭유 등 포함, 이하 MWFs)는 자동차, 농기구, 각종 기계류, 항공기 등의 제조, 기계정비 등에 사용되며, 금속표면이 서

로 접촉되는 부분의 윤활작용, 열을 없애기 위한 냉각작용, 마찰, 마멸 감소작용, 밀봉작용, 응력분산작용, 방청작용, 청정작용 등의 역할을 한다(임우조와 이진열, 1996). 국내에서는 1995년 현재 윤활유, 절삭유, 금속가공 및 방청유의 생산량이

각각 약 890,000 kL, 27,000 kL, 69,000 kL로 알려져 있다(한국윤활유공업협회, 1995).

MWFs는 목적에 따라 여러 가지로 분류할 수 있으나, 일반적으로 비수용성(straight oil 또는 neat oil), 유화성(soluble oil, 또는 emulsifiable oil), 준합성(semi-synthetic)과 합성(synthetic)으로 분류한다. 유화성, 준합성유, 합성유를 포괄하여 물이 포함되는 수용성(water-based) MWFs

접수일 : , 채택일 :

† 교신저자 : 김현욱(서울 서초구 반포동 505번지 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실

Tel : 02-590-1237, Fax: 02-532-3820, E-mail : hwkim@catholic.ac.kr)

로 명명되기도 한다. 비수용성 MWFs는 다핵방향족 탄화수소류(poly- nuclear aromatic hydrocarbons, 이하 PAHs)가 포함된 나프텐계 또는 파라핀계 미네랄, 염소, 인 또는 황이 포함된 극압첨가제로 이루어져 있다. 유화성 MWFs는 물에 현탁된 나프텐계 또는 파라핀계 미네랄, pH 완충에 사용되는 alkanolamine, 부식방지용 아질산염, triazine, oxazolidine, 폐놀계 화합물과 방출형 포름알데히드 등의 방부제가 포함되어 있다. 합성 MWFs는 기유가 없고, 물에 용해된 유기화학물질로 구성되어 있다. pH 완충과 부식방지용 ethano- lamine과 방부제 등이 포함되어 있다. 그 외 준합성 MWFs가 있는데, 오일이 소량 포함되어 있으며, 현탁정도에 따라 유화성 MWFs와 구별하기도 하고, 때로는 유화성 MWFs와 같이 취급되기도 한다.

MWFs는 기유(petroleum oil, base oil)와 사용목적에 따라 방부제, 윤활제, 방청제, 부식방지제, 세정제, 극압첨가제 등 약 20여 종 이상의 화학물질들이 첨가되어 사용된다. 이중 기유는 원유(crude oil)로부터 정제를 거친 탄화수소 화합물로서 1950년 이전에는 PAHs를 다량 함유하고 있었다. 그러나 1950년 이후 기유의 정제 기술이 발달되고 관리가 엄격해지면서 현재는 PAHs의 함량이 적은 기유가 공급되고 있으나, 우리나라는 기유에 함유된 PAHs양에 관한 보고는 아직까지 없다. 첨가제로 사용되는 물질은 pH를 안정시키고 유성제나 부식방지제로 사용되는 에탄올아민, 방부제, 극압첨가제로 사용되는 염화파라핀 등이다. 이로 인해 N-nitrosodiethanolamine(이하 NDELA)를 포함한 nitrosamine이 alkanolamine과 nitrites류의 반응으로 형성된다.

본 원고에서는 다양한 화학물질을 포함하고 있는 MWFs에 대하여 산업위생학적 관점에서 과거의 역학적 연구들을 통한 MWFs의 건강영향과 허용기준에 대해 고찰하고자 하였다. 또 MWFs에 포함된 유해인자들에 대한 측정 및 분석방법, 근로자의 노출실태 및 관리현황과 대책에 대해 살펴보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 문헌수집

본 원고는 MWFs와 관련된 연구논문을 고찰하는데 필요한 문헌을 수집하기 위하여 <http://www4.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed/>, <http://www.metric.or.kr/index-kr.html>, <http://iems.net/>와 <http://www.occuphealth.fi/e/dept/sjweh/index.htm> 등의 문헌검색 site와 <http://www.osha.gov/>와 <http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html>를 이용하였고, 국내 문헌은 <http://www.ksoeh.org/>, <http://snuih.pr.co.kr/>와 http://www.knou.ac.kr/~pdw545/index_main.html를 이용하였다.

2. 연구내용

본 원고에서는 산업위생학적인 관점에서 MWFs 사용에 따른 근로자의 건강보호를 위해 유해물질을 사용하는 작업환경을 평가하고 MWFs 노출감소를 위한 대책을 마련하기 위하여 첫째, MWFs에 노출된 근로자의 건강장애에 대한 역학적 연구자료와 사례연구자료를 고찰하고, 허용농도 설정과 관련된 내용을 살펴보았다. 둘째, MWFs 사용으로 발생하는 유해인자에 대한 측정 및 분석방법에 대하여 알아보았으며, 셋째, 각 유해인자의 노출실태와 관리대책에 대하여 고찰하였다.

3. 연구범위

본 연구의 MWFs와 관련된 여러 종류의 연구 중 많은 부분은 NIOSH(1998)에서 발표된 "Criteria for a Recommended Standard, Occupational Exposure to Metalworking Fluids" 내용을 중심으로 하였다. 산업위생학적 관점에서 필요로 하는 내용을 정리하였고, 1990년 이전의 MWFs와 관련된 내용을 고찰하고, 1990년 이후 최근 연구를 비교, 고찰하여 현재의 연구동향을 토대로 국내에서 MWFs와 관련된 연구방향 및 실제 사업장에 적용하기 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

근로자의 건강영향과 관련된 부분은 역

학연구와 사례연구를 중심으로 고찰하였으며, 그 외 동물실험을 통한 독성학 자료 등은 제외하였다. 또 역학연구와 사례연구를 통해 유추된 허용기준 설정배경을 알아보았다. 오일 미스트가 발생하는 작업장에서의 측정 및 분석과 관련된 내용과 이를 토대로 한 노출실태에 대하여 유해인자별로 고찰하였다. 특히, 최근 사용량이 증가하고 있는 수용성 MWFs에서 발생가능성이 있는 바이오 에어로졸, 방부제, 엔도톡신, nitrosamines 등에 대한 내용이 포함되었다(Eisen 등, 2001b). 관리대책에서는 근로자의 MWFs 노출 감소를 위한 공학적 대책(환기시설 및 밀폐시설) 뿐 아니라, 작업방법에 대한 권고, 방부제 사용과 관련된 내용과 고분자 물질을 사용한 미스트 억제제 등에 대한 연구를 고찰하였다. 또한 법적인, 행정적인 대책 실태를 통해 국내 MWFs 사용과 관련된 행정적인 대책 수립을 위한 자료를 제공하고자 하였다.

MWFs 노출된 근로자에 대한 대책에는 의학적 감시(medical surveillance)도 권고되고 있으나(NIOSH, 1998), 본 원고에서는 제외하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 사례 연구와 역학 연구를 기초로 한 MWFs 노출에 따른 건강상 영향 및 허용기준

MWF는 매우 복잡한 물질의 혼합물로 이루어져 있어 단일 노출측정과 같은 방법으로 쉽게 특정지어 건강상 영향을 설명하기 어렵다.

1-1. 호흡기계 영향

MWFs에 있는 미네랄 오일, 그람음성 박테리아, 엔도톡신, 곰팡이, 방부제, 찌꺼기 오일(tramp oil), pine oil, 유화제, ethanolamine, 금속 등이 관련되어 있으나, 노출-반응간 성질이나 정도에 대해 완전한 상관관계는 설명되지 않고 있다(Abrams 등, 2000).

MWFs에 노출된 근로자의 호흡기계 영향과 관련된 연구는 Cullen 등(1981)에서 시작되어 1990년 이전 연구에서는 폰티악 열병(Pontiac fever)이 수용성 MWFs로 인한 바이오 에어로졸(bioaerosol)과 관련하여 유행하였음이 보고 되었으며(Herwaldt 등, 1984), 호흡기계 증상과 관련하여 Krzesniak 등(1981)과 Järholm(1982)이 MWFs 노출과 유의한 관련이 있음을 보고하였으나 원인물질에 대해서는 정확히 밝혀내지 못하였다.

1990년 이후의 호흡기계 증상과 관련된 연구에서 기침, 답, 천식, 만성기관지염 등의 증상이 보고되고 있다(Kriebel 등, 1994; Ameille 등, 1995; Rosenman 등, 1997; Sprince 등, 1997; Kriebel 등, 1997). 수용성 MWFs 사용으로 인해 발생하는 *Pseudomonas Fluorescens*나 *Pseudomonas aeruginosa*에 의한 과민성 폐렴증상(Bernstein 등, 1995; Zell 등, 1999)과 합성유를 비롯한 수용성 MWFs 사용으로 인한 폐기능 저하가 보고 되었다(Ameille 등, 1995)(표 1).

호흡기계에 대한 영향은 비수용성 MWFs가 수용성 MWFs보다 더 유해하다고 보고되고 있고(Ameille 등, 1995), 최근 수용성 MWFs의 첨가제나 사용 중 발생하는 바이오 에어로졸, 엔도톡신에 의한 영향에 대한 문제를 제기하는 연구들이 발표되고 있다(Sprince 등, 1997; Kriebel 등, 1997).

1-2 피부질환

MWFs 사용에 따른 국내 연구로는 피부질환과 관련된 연구들이 1990년 이후 보고되었다(천병철 등, 1996; 진영우 등, 1997). 주로 접촉성 피부염과 관련된 연구이며, 그 외 여드름, 모낭염, 수부습진, 낭포염, 색소이상 등이 보고 되었다(Alomar, 1994; Goon과 Goh, 2000). 1990년 이전에는 Bennett(1974)과 Robertson과 Storrs(1982)에 의한 연구가 있는데, 각각 바이오 에어로졸과 방부제가 피부염의 원인물질이라고 보고하였다. Goon과 Goh(2000)는 수용성 MWFs에 의한 접촉성 피부염

과 알러지성 피부염 발생을 보고하였고, le Coz(2001)은 방부제중 하나인 sodium pyrrithione에 의한 알러지성 접촉 피부염 발생을 보고하였다(표 1).

MWFs로 인한 피부염을 예방하기 위한 처치 및 작업전환과 예측 가능한 영향을 미치는 병인소를 확인하는 일이 뒤따라야 하며(Pryce 등, 1989), 접촉성 피부염은 사용되는 MWFs의 화학적 첨가물의 조성, 작업장 환경 및 위생상태, 사용근로자의 보호장구 착용여부, 접촉시간(빈도), 숙련도, 개인 감수성, 기후 등에 의해 영향을 받기 때문에 이에 대한 주의가 필요하다(Alomar, 1994). 또 Ueno 등(2002)은 개인 위생과 보건교육을 강조하였다.

1-3 발암성

발암성 관련 연구는 1990년 이전에는 주로 피부암과 음낭암(Rousch 등, 1982), 후두암(Zagraniski 등, 1986), 직장암(Vena 등, 1985; Park 등, 1988), 췌장암(Vena 등, 1985; Mallin 등, 1986; Silverstein 등, 1988), 방광암(Vena 등, 1985; Gonzalez 등, 1989; Silverman 등, 1989) 등이 있다. 1990년 이후에는 1990년 이전 연구내용에 이어 후두암(Tolbert 등, 1992; Eisen 등, 1994), 직장암(Tolbert 등, 1992; Gerhardsen de Verdier 등, 1992), 췌장암((Rotimi 등, 1993; Acquavella 등, 1993; Bardin 등, 1997), 방광암(Park와 Mirer, 1996)에 대한 연구가 계속 진행되었으나, 1990년도 이전과 달리 MWFs 노출로 인한 식도암(Park와 Mirer, 1996; Sullivan 등, 1998), 위암(Sullivan 등, 1998; Park, 2001), 폐암(Park, 2001), 간암(Kazerouni 등, 2000)을 일으킨다고 보고하였다(표 2).

이는 과거에 주로 기유의 정제기술이 발달된 것과 노출농도의 감소와 관련이 있는 것으로 보인다(Calvert 등, 1998). 그러나 비수용성 MWFs뿐 아니라 유화성 MWFs에도 기유가 사용되는 것과 관련하여 아직도 PAHs와 nitrosamines에 의한 발암가능성에 관한 연구에 관심을 기울이고 있다(Järholm 등, 1991; Sullivan 등, 1998; Kazerouni 등, 2000). 특히 1970년대 중반

이전에 사용된 비수용성 MWFs는 후두암, 췌장암, 피부암, 음낭암, 방광암에서 위험도가 증가되고 있다고 하였으며(Calvert 등, 1998), Bardin 등(1997)은 췌장암과 합성유간 관련성이 있다고 보고하였다.

이상으로 보아 MWFs와 관련하여 국내는 아직 절삭유 및 윤활유 등에 비수용성 MWFs가 많이 사용되고 있으나, 최근 합성유를 비롯한 수용성 MWFs의 냉각성질의 우수성으로 인해 고속의 그라인딩작업이 적합한 것으로 판단된 자동차산업을 중심으로 사용이 증가되고 있다(Eisen 등, 2001b). 그러므로 국내에서는 비수용성 MWFs에 대한 연구뿐 아니라 앞으로 사용이 증가될 수용성 MWFs에 대한 문제에 대비할 수 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 물질안전보건자료(material safety data sheet, 이하 MSDS)에 명시되지 않은 성분조성이나 특성 및 이를 바탕으로 한 MWFs 노출과 관련된 역학연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 1970년대 중반 이전에 사용했던 덜 정제된 MWFs로 인한 암발생이 보고 되고 있고, 아직도 이에 대한 연구가 지속되고 있는 점은 국내에서 사용된 MWFs로 인한 건강영향에 관한 연구에도 참고로 삼아야 할 사항으로 생각된다. 일부 수용성 MWFs로 인한 발암성이 동물실험에서는 밝혀졌으나, 인체에 대한 명확히 밝혀진 발암영향은 아직 없는 것으로 보인다. 그러나 알지 못하는 발암위험의 발생에 대하여는 앞으로 더 연구되어야 할 부분으로 생각된다.

1-4 허용기준

MWFs 사용시 발생하는 오일 미스트와 관련된 권고기준은 현재 미국 산업위생사협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 이하 ACGIH, 2002)의 TLV-TWA에서 허용기준 설정시 폐기능 장해 예방을 위한 기준인 5mg/m³를 채택하였으며, STEL 기준은 10mg/m³로 하였다. TLV-TWA를 5mg/m³로 정한 것은 자주 사용하는 MWFs 형태로 인한 폐의 경미한 변화를 충분히 보호할 수 있

Table 1. Respiratory effects and skin diseases of MWFs

Investigator	Study subject	Disease	Rate ratio
Respiratory effect			
1. Pneumonia			
Bernstein et al.(1995)	Auto part manufacturer	Hypersensitive pneumonitis	Case study for 6 workers
Eisen et al.(1997)	Auto part manufacturer	Pneumonia	RR ¹⁾ 3.2(95%CI ²⁾ =1.2-8.3)
Greaves et al.(1997)	Auto part manufacturer	Pneumonia	OR ³⁾ 2.4(p<0.05)
Zell et al.(1999)		Pneumonia caused by <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Case study for metal driller
2. Respiratory symptom			
Krzesniak et al.(1981)	Truck part manufacture	Respiratory symptom	OR 2.9-3.7 at 5-99.5 mg/m ³
Järholm(1982)	Cutting oil	Chronic cough	OR 2.8(95%CI=1.3-6.2)
		Phlegm	OR 2.2(95%CI=1.2-3.9)
Ameille et al.(1995)	Automotive plant	Cough/phlegm	prevalence 25.7 %(straight)
		Decreased FEV ₁ , FEF ₂₅₋₇₅ , V ₅₀ , V ₂₅	p=0.03
Rosenman et al.(1997)		Asthma	prevalence 10-28.6 %
Sprince et al.(1997)	1 Large automobile transmission plant.	Cough	3.1(1.4-6.9)
		Phlegm	3.1(1.6-6.1)
		Work-related chest tightness	5.9(1.4-25.7)
		Post-shift chest tightness	4.5(1.3-15.2)
		Post-shift throat irritation	5.0(1.7-14.7)
		Post-shift cough	4.0(1.2-14.1)
Kriebel et al.(1997)	Automotive plant	Cough	PR ⁴⁾ 2.2(95%CI=1.1-4.6)
		5% FEV ₁ /0.08-0.15 mg/m ³	RR 2.3(95%CI=1.0-5.0)
		5% FEV ₁ /≥0.15 mg/m ³	RR 3.2(95%CI=1.2-8.7)
Skin disease			
Robertson & Storrs (1982)	2 machinist	Allergic contact chronic hand dermatitis	Case study
Chun et al.(1996)	An automobile factory	Contact dermatitis	OR 5.16(95%CI=2.74-9.72) for water-based
Jin et al.(1997)	Bolt & nut manufacturer	Contact dermatitis	42.9 %(<=1 yr)
			66.7 %(> 2 yrs)
le Coz(2001)		Allergic contact dermatitis	Case study

1) RR : relative risk, 2) 95 % CI : 95 % confidence interval, 3) OR : odds ratio, 4) PR : prevalence rate

타당성 등을 고려하여 설정하였다고 하였다. NIOSH는 흡광성 입자를 측정하는 것과 총입자 채취방법 모두를 신뢰성있는 안전 폭으로 제공하였지만, 몇몇 MWFs는 강독성 물질이나 발암성 물질을 원래부터 또는 첨가제 형태로 포함할 수 있기 때문에 문제가 될 수 있다. 또 이 기준은 액체상태로 사용하는 것에만 유효하고, 휘발성 탄화수소를 많이 포함하고 있는 가벼운 MWFs인 경우 미스트 중 MWFs가 증기상 물질로 존재할 수도 있으나, 대부분 증기상 물질은 문제를 일으키기에 양이 적다.

ACGIH(2002)는 TLV-TWA로 호흡기계(respiratory)와 관련하여 A2로 분류하고 0.2mg/m³을 공고(Notice of intended changes)하였다.

한편 1997년 8월 OSHA는 MWFs 노출로 인한 문제점을 종합적으로 협의하기 위하여 MWFs Standard Advisory Committee(이하 SAC)를 구성하였으며, 1999년 7월 MWFs에 대한 종합보고서를 OSHA에 제출하였다(OSHA, 1999). SAC 위원 대다수는 MWFs에 대한 노출기준을 흡광성 입자의 채취방법으로 측정한 0.4mg/m³를 권고하였다. 이에 준하는 총입자 노출기

준으로 0.5mg/m³를 권고하였으나 이 기준으로 근로자 건강을 완전히 보호하지는 못한다고 하였다. 또한 STEL을 설정할 만한 근거는 없다고 하였으며, 0.25mg/m³를 감시기준으로 권고하였다.

또한 미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, 이하 NIOSH)은 흡광성 입자에 대한 일주일 40시간작업, 하루 10시간작업 기준을 적용하여 MWFs 입자 기준을 0.4mg/m³로 권고하였다. 여기서 0.4mg/m³는 총입자 약 0.5mg/m³에 해당된다고 하였다. 0.5mg/m³는 MWFs 노출에 의한 호흡기계

Table 2. Carcinogenic effects of MWFs

Investigator	Subject	Rate ratio
<i>1. Skin cancer</i>		
Rousch et al. (1982)	Ever employed as toolmaker, setter, hardner, polisher, automatic screw operator, machinist	RR 10.5 (95%CI=4.0-36.9)
<i>2. Rectal cancer</i>		
Vena et al.(1985)	White workers who have ever worked over 20 years in engine plant	PMR ¹⁾ 2.76(p<0.05)
Park et al.(1988)	White workers in ball-bearing plant	PMR 3.07(95%CI=1.54-5.50)
Tolbert et al. (1992)	Ever straight MWFs exposure, white	SMR ²⁾ 1.47(95%CI=1.04-2.03)
Gerhardsson de Verdier et al. (1992)	Ever exposed to cutting oil	OR 2.1(95%CI=1.1-4.02)
<i>3. Pancreatic cancer</i>		
Vena et al.(1985)	Based on U.S. mortality, white Employed in engine plant >20 years	PMR 1.89(p<0.05) PMR 2.32(p<0.05)
Mallin et al.(1986)	Equipment manufacturing workers, black	PMR 3.57(p<0.05)
Silverstein et al.(1988)	Worked over 10 years in grinding Machinery workers	MOR ³⁾ 3.10(p=0.05). MOR 3.71 (p=0.05)
Rotini et al.(1993)	Engine plant, black	SMR 3.03(95%CI=1.21-6.24)
Acquavella et al.(1993)	Factory workers employed >10 years, hired between 1950-1959.	MOR 3.6(95%CI=1.2-8.3)
Bardin et al.(1997)	Highest exposure to synthetic MWFs.	OR 3.0(95%CI=1.2-7.5)
<i>4. Bladder cancer</i>		
Vena et al.(1985)	Engine plant workers, white.	PMR 2.28(p<0.05)
Gonzalez et al.(1989)	Ever machinery adjuster, assembler or mechanic ≥6 months.	OR 1.86(95%CI=1.2-2.8)
Park & Mirer(1996)	Grinding Machining or heat treat employment	MOR 2.99(95%CI=1.15-7.77) for straight MOR 2.86(95%CI=1.14-7.18)
<i>5. Laryngeal cancer</i>		
Zagraniski et al.(1986)	Ever worked as a machinist	OR 2.5(95%CI=1.2-5.2)
Tolbert et al.(1992)	Automobile industry, white male	SMR 2.0(95%CI=1.3-3.0) for straight
Eisen et al.(1994)	Autoworkers with highest exposure	OR 2.23(95%CI=1.25-3.98) for straight
<i>6. Esophageal cancer</i>		
Park & Mirer(1996)	Machining employment	MOR 3.61(95%CI=1.04-12.6) for straight
Sullivan et al.(1998)	Grinding workers	OR 4.1(1.1-15.0) for synthetic OR >2.5 for soluble OR 5.4(1.5-19.9) for nitrosamine OR 3.8(0.8-18.9) for biocide
<i>7. Stmach cancer</i>		
Sullivan et al.(2000)	Autoworkers(140 stomach cancer patients between 1941-1984)	MOR 4.4(95%CI=1.5-13.1) for synthetic OR 1.9(85%CI=1.0-3.6) for soluble
Park(2001)	Automotive engine foundry and machining complex. Precision grinding	OR 2.4(95%CI=1.14-5.1)
<i>8. Lung cancer</i>		
Park(2001)	Cleaning and finishing of casting Core-making after 1967 Machining heat-treat operations	OR 1.7(95%CI=1.15-2.4) OR 1.5(95%CI=1.11-2.0) OR 2.5(95%CI=1.4-4.3)
<i>9. Cancer mortality</i>		
Kazerouni et al.(2000)	Autoworkers(1940-1994)	SMR 1.68(95%CI=1.02-2.59) for biliary tract and liver cancer 1.47(1.11-1.91) for testicular cancer 2.14(1.17-3.60) for Hodgkin's disease

1) PMR : prevalence mortality ratio, 2) SMR : Standardized mortality ratio, 3) MOR : mortality odds ratio

질환, 신뢰성 있고 광범위하게 이용되고 있는 측정방법, 모든 종류의 MWFs에 대한 REL 적용가능성과 REL의 기술적인 측정방법으로 간주하였고, 호흡기계 질환만을 고려할 때 흉곽성 입자로 REL을 설정하는 것이 총입자이나 흡입성 입자에 의한 것보다 더 권장되지만 평균직경이 $10\mu\text{m}$ 이하의 작은 오일 미스트가 있는 조건에서는 흡입성 입자 측정방법과 총입자 측정방법에 의한 측정결과가 비슷할 것으로 예측하였다(NIOSH, 1998).

또 역학연구를 토대로 Robins 등(1997)은 호흡기계 증상을 일으키는 원인 물질이 흉곽성 입자와 흉곽성 박테리아 등이므로 흉곽성 입자 노출에 관련된 평가의 중요성을 보고하였고, 노출한계를 흉곽성 입자 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$, 총입자 $0.28\text{mg}/\text{m}^3$ 를 제안하기도 하였다. Eisen 등(2001a)은 호흡기계 질환을 예방하기 위하여 총입자 측정보다는 크기별 측정방법이 더 적절하다고 하였다. 입자 크기별 기준은 ACGIH(1994), French Comité Européen de Normalisation(CEN, 1992), 영국 Health and Safety Executive(HSE, 1989)를 포함한 여러 나라와 기관에서 권고하고 있다.

MWFs 사용에 따른 유해인자별 권고기준은 표 3과 같다.

2. 유해인자별 측정, 분석방법 및 노출실태

오일 미스트의 총입자 포집법은 NMAM #0500, #5026방법(NIOSH, 1994a, 1994g)을 주로 사용하고 있으나, 최근 들어 polyvinyl chloride(이하 PVC)나 mixed cellulose ester membrane(이하 MCE), 유리 섬유 여과지에 포집된 오일 미스트의 증발로 인한 과소평가가 문제가 제기되면서 정전기 침전(electrostatic precipitator, 이하 ESP) 포집방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다(McAneny, 1995; Leith 등, 1996; Volckens 등, 1999). 또 Park과 Kim(2002)은 여과지에 포집된 시료의 종류(새 MWFs와 사용된 MWFs)나, 오일이 포집된 필터를 깨끗한 공기에 통과시키거나 테시케이터에 보관하여, MWFs 손실에 관해 연구하기도 하였다. 기존의 NIOSH 방법과 IOM sampler를 비교한 연구도 진행되었는데, IOM sampler로 포집했을 경우 3단 카세트에 포집했을 때보다 약간 높게 포집되는 경향을 보였다(Svendsen 등, 1996; Wilsey 등, 1996; 백남원 등, 1997). MWFs 미스트 측정에서 발생하는 손실은 MWFs의 증기압, 온도, 입자(droplet)의 크기, 여과지 종류, 증기(vapor)

의 농도와 관련이 있다고 알려져 있다(Leith 등, 1995).

MWFs 자체는 휘발성이 적으나, 작업 과정에서 입자의 표면적이 커져 휘발하게 된다. 발생된 오일 미스트 총입자는 현재 OSHA의 PEL기준인 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 보다 훨씬 낮은 $0.003\text{--}2.43\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 조사되고 있다(Kriebel 등, 1997; Sprince 등, 1997; 백남원 등, 1998; Rosenthal과 Yeagy, 2001). 그러나 국내 연구 중 천병철 등(1996)은 자동차제조공장에서 측정한 MWFs 미스트 52건중 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 를 초과한 건수가 7.1-27.8%, 전체측정치의 기하평균농도 $0.803\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 다른 연구보다 높은 결과를 보였다.

ACGIH(1997)와 국제표준기구(International Organization for Standardization, 1995, 이하 ISO)는 호흡기계의 특정부위에 침착되어 건강상 유해한 영향을 나타내는 입자를 포집하기 위하여 입자크기별 시료포집(size-selective sampling)을 권고하였다. 흉곽성 입자를 포집하기 위해 사용되는 포집기중 하나는 개인용 cascade impactor이다. 이는 주로 입자의 입경분포를 측정하는데 사용되는 포집기이다. 또 Kenny와 Gussman(1997)은 $1.6\text{L}/\text{min}$ 유속으로 사이클론(cyclone)을 이용하여 포집

Table 3. Current recommendations and standards for metalworking fluids

MWFs component	NIOSH REL(1992)	OSHA PEL(1989)	ACGIH TLV(2002)	Korean PEL(1998) ¹⁾
Oil mist	$0.4\text{mg}/\text{m}^3$ (thoracic particulate) $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ (total particulate)	$5\text{mg}/\text{m}^3$ (TWA ⁴⁾)	$0.2\text{mg}/\text{m}^3$ (TWA)	$5\text{mg}/\text{m}^3$ (TWA) $10\text{mg}/\text{m}^3$ (STEL)
Formaldehyde	$\text{Ca}^{2)}$; 0.016 ppm (TWA ³⁾) 0.1 ppm (15-min ceiling)	0.75ppm (TWA) 2ppm (STEL)	0.3ppm (ceiling, A2)	1ppm (TWA) 2ppm (STEL)
Monoethanolamine	3ppm (TWA) 6ppm (STEL)	3ppm (TWA) 6ppm (STEL)	3ppm (TWA), 6ppm (STEL)	3ppm (TWA) 6ppm (STEL)
Diethanolamine	3ppm (TWA)	3ppm (TWA)	$2\text{mg}/\text{m}^3$ (TWA, skin)	3ppm (TWA)
Triethanolamine	No REL	No PEL	$5\text{mg}/\text{m}^3$ (TWA)	no KPEL
Viable microorganism (total bacteria, fungi and single genera)	No REL	No PEL	No TLV	No KPEL

1) Korean PEL(KPEL) by Ministry of Labor(MOL), Republic of Korea.

2) Ca. : carcinogen

3) TWA(NIOSH) : based on 10 hours

4) TWA(OSHA, ACGIH, KPEL) : based on 8 hours

하면 흉곽성 곡선(thoracic curve)과 잘 일치된다고 하였다. 또 EPA(1984)의 PM-10 곡선이 흉곽성 입자 포집을 위한 포집기로 사용될 수 있는데, 단점은 실제 흉곽성 곡선보다 날카로우나, 전형적인 MWFs 입경분포 때문에 오차는 20%이하라 하였다. CIP-10 포집기 역시 흉곽성 입자 포집을 위해 디자인되었으나, 비싸다는 단점이 있다. 또 Chen 등(1996)은 foam-based preclassifier를 이용하여 흉곽성 곡선에 더 잘 일치되도록 개발하였다. 반면, 총입자용 시료포집기를 사용하여 흉곽성 입자(thoracic fraction)로 전환하기 위한 보정계수를 사용하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 MWFs의 입경분포에 변화가 있을 때는 변이가 클 가능성이 있어 문제점으로 지적된다(NIOSH, 1998).

시료포집에서 발생하는 오차는 주로 공기역학적 입경과 외부의 공기 속도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 알려져 있다(Bartley 등, 1994; Chen과 Baron, 1996). 또한 흉곽성 입자의 포집과 관련하여 Woskie 등(1994)은 시료포집에서 호흡성 입자보다 많은 오차를 포함하지만, 총입자 포집보다는 흉곽성 입자 포집이 오차가 적다고 하였다.

MWFs 입자의 입경분포는 전반적으로 호흡성 입자(8%)보다는 흉곽성(12%)이나 흡입성(60%) 입자의 분포가 많은 것으로 보인다(Thornburg와 Leith, 2000; Rosenthal과 Yeagy, 2001). 대체로 점도가 높은 MWFs의 평균입경($GM=6.1\mu m$, $GSD=2.0$)보다 점도가 낮은 MWFs의 평균입경($GM=21.9\mu m$, $GSD=2.2$)이 큰 것으로 조사되었다(Thornburg와 Leith, 2000). 최근 흉곽성 입자에 대한 노출실태가 연구되고 있으며, 그 농도는 $0.04-1.15mg/m^3$ 으로 나타나고 있다(Robins 등, 1997; Abrams 등, 2000; O'Brien 등, 2001).

오일미스트는 호흡기계에 건강상 영향을 미치는 요인이 되므로 측정의 정확도를 높이기 위해 증기화된 오일시료의 손실을 최소화할 수 있는 방법의 개발이 필요하며, 입자크기별 포집방법 및 입자크기별 노출실태에 대한 조사가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 특히 국내에서 오일

미스트로 인한 건강영향이나 관리대책을 적절히 수립하기 위해서는 입자크기별 노출실태에 대한 조사가 필요할 것으로 생각된다.

PAHs(NMAM #5506, #5515), 포름알데히드(NMAM #3500, #2541, #2016, OSHA #52, OSHA ID-205), ethanolamine(NMAM #3509), nitrosamine(NMAM #2522)은 주로 NIOSH나 OSHA에서 권고된 분석방법을 그대로 준용하고 있는 실정이며, 이중 포름알데히드는 최근 개발된 확산포집기(passive sampler)에 관한 연구(Cohen, 1996)가 보고 되고 있으며, OSHA ID-205 방법에서 확산포집기에 의한 측정과 분석을 권고하기도 하였다(OSHA, 1990).

MWFs 노출로 인한 작업환경 중 포름알데히드 농도는 NIOSH나 OSHA에서 권고한 REL($0.016ppm$) 또는 PEL($0.78ppm$) 사이의 농도수준인 $60-200ppb$ 이었고(Chapman과 Shollenberger, 1996), 국내에서 포름알데히드 노출수준은 $0.013-0.163ppm$ 으로 외국과 비슷한 수준이었다(백남원 등, 1998). Chapman과 Shollenberger(1996)는 방부제 종류에 따라 포름알데히드 농도가 차이가 있으므로 선택에 유의해야 한다고 하였다. 또 Ilgner 등(1998)의 연구에서는 실제 작업장에서 triethanolamine(이하 TEA) 농도는 $0.03-0.05mg/m^3$ 로 ACGIH TLV-TWA인 $5mg/m^3$ 이하 수준인 것으로 나타났다.

바이오 에어로졸의 측정에 사용되는 포집기는 입자를 포집하는데 사용되던 것을 채택하거나 바이오 에어로졸 포집을 위해 특별히 디자인된 것을 이용하고 있다. 입경크기별 포집이 가능한 관성(inertial)을 이용한 임팩터, 임핀저, 원심분리포집기 등과 여과, ESP와 열침전(thermal precipitation)에 의한 비관성 포집방법이 있다(Crook, 1995). 분석은 전통적으로 광학 현미경, 위상차 현미경, 편광현미경, 간섭현미경, 형광현미경, 전자현미경(scanning electron microscope과 transmission electron microscope) 등의 현미경을 이용한 계수, 형태분류측정(크기, 형상)의 물리적인 방법이 이용되어 오고 있으나, 최근 바이오 에어로졸의 화학적인 분석으로 빠른 결

과, 높은 재현성을 확보할 수 있는 방법이 개발되어 컴퓨터상에서 기록하고 해석하는 일이 가능해 졌다(Morris, 1995; Spurny, 1995).

수용성 MWFs 사용으로 인한 바이오 에어로졸 발생을 측정, 평가하기 위하여 Thorne 등(1996a, 1996b)은 2단계 jet-to-agar cascade impactor를 이용하여 진균류와 그람음성 박테리아를 측정한 후, 현미경으로 분석하였고, 공기중 박테리아와 곰팡이의 정량은 FM-NEF(fluorescence microscopy nucleopore filtration/elution method)를 사용하였다. Salazar 등(1997)은 Mycotoxins 측정에 HPLC/UV를 이용하였고, Tsai와 Chen(1998)은 흡입성 바이오 에어로졸 포집에 Burkard single-stage(Bk), Anderson N6 single-stage(N6), AGI-30(AGI) 시료포집기를 비교하였다. Moore 등(1998, 2000)은 mycobacteria를 분리, 확인하기 위하여 배지종류를 달리하는 실험을 실시하였고, mycolic acid esters는 HPLC로, 유전자는 polymerase chain reaction(이하 PCR)을 이용하였다.

엔도톡신은 그람음성박테리아에서 발생하는 것으로 지질 영역과 긴사슬 모양의 다당류 일부가 포함된 지질-다당류 분자이다. 주로 endpoint Quantitative Chromogenic *Limulus* Anebocyte Lysate Assay(또는 Kinetic chromogenic *Limulus* Anebocyte Lysate 처리 후 분석한다. 최근에는 Kinetic chromogenic *Limulus* Anebocyte Lysate Assay 방법이 많이 이용되고 있다. 공기 중 엔도톡신 측정의 변이가 큰 것으로 알려져 있는데, 큰 변이는 주로 포집방법, 추출효율, 다른 입자 구성요소에 따른 분석 민감도와 엔도톡신 분석의 고유 변이 때문이라 하였다(Morris 등, 1988). 전처리 특히 추출방법에 따른 차이가 1980년대부터 최근까지 연구되어 오고 있다(Brown 등, 2000). 또한 엔도톡신 측정의 변이를 줄이기 위한 방법의 하나로 엔도톡신을 대체할 수 있는 3-hydroxy fatty acid를 가스크로마토그래프/질량분석기(GC/MS)로 분석하는 방법이 최근 연구되어 일부 적용되고 있는데, 3-hydroxy fatty acid가 엔도톡신과 좋은 상관관계를 보였

Table 4. Sampling and analysis methods and concentration levels of total particulate, thoracic particulate, formaldehyde, nitrosamine and ethanolamine in MWFs

Investigator	Sampling & analytical method/subject	Result
1. Total particulate		
McAnecy(1995), Leith et al. (1996), Volckens et al.(1999)	Electrostatic precipitator(ESP), MCE, PVC & glass fiber filter	The best of collection efficiency: ESP Higher evaporation loss occurred in fresh oil
Svensden et al.(1996), Wilsey et al.(1996), Paik et al.(1997)	Compare IOM sampler with 37 mm 3-piece cassette	IOM sampler's collection efficiency was a little high or statistically significantly higher
O'Brien et al.(2001)	Compare aerosol photometer with thoracic cyclone and closed-face cassette.	Overestimated in soluble MWFs by aerosol photometer
Ameille et al.(1995)	Automobile manufacturer in France	2.2±1.9mg/m ³
Chun et al.(1996)	Automobile manufacturer	GM: 0.803mg/m ³ Exceed numbers of PEL(5 mg/m ³): gasoline engine assembly 27.8%, diegel engine assembly 15.0%, power train 7.1%.
Kriebel et al.(1997)	Auto part manufacturer	0.003-2.764mg/m ³
Sprince et al.(1997)	Large automobile transmission manufacturing plant	0.02-1.44mg/m ³
Paik et al.(1998)	2 base oil manufacturer and 2 MWFs supplier	0.38mg/m ³ (0.19-0.79mg/m ³)
Rosenthal & Yeagy(2001)	Grinding in Bearing closed-face sampling	0.34-2.43mg/m ³ for open-face sampling 0.14-2.01mg/m ³ , for closed-face sampling
2. Particle size distribution		
Thornburg & Leith(2000)	Laboratory study	Mass median diameter(MMD); high-viscosity 6.1μm(GSD=2.0) low-viscosity 21.9μm(GSD=2.2) Fractions of total mass diameter: inhalable60%, thoracic 12%, respirable 8%.
Piacitelli et al.(2001)	79 small machine shop	MMD 5.3μm, straight and soluble MWFs diameters were larger than other types.
Rosenthal & Yeagy(2001).	Grinding in bearing	MMAD: 3.33-6.26μm Fraction of ≥9μm diameter: 8.0-45.3%
3. Thoracic particulate		
Robins et al.(1997)	Automobile transmission manufacturer	0.13-0.41mg/m ³
Abrams et al.(2000)	85 Machinists & 46 assemblers	Thoracic particulate conc.: 0.13-0.56mg/m ³ , Thoracic bacteria: 0.38-2.66 bacteria/cc
O'Brien et al.(2001)	Thoracic cyclone/23 small machine shop.	0.11-1.15mg/m ³
4. Formaldehyde		
Cohen(1996)	NMAM #3500(impinger) vs. GMD 570, dosimeter & EPA TO-11	R=0.86 for silicagel tube vs. impinger, 0.66 for dosimeter vs. silicagel tube dosimeter vs. impinger(p>0.05)
Champman & Shollenberger(1996)	OSHA #52 vs. Airscan monitor	Airscan monitor is a little growing tendency, but the difference is not clear because of small sample size
	Semisynthetic MWFs at engine manufacturer	Formaldehyde level; 1.3% s-Triazine use: 60-130ppb, 3.0% s-Triazine use 80-200ppb, 3.0% oxazoladine use 100-120ppb
5. Nitrosamine & formaldehyde		
Paik et al. (1998)	2 Base oil manufacturers & 2 MWFs suppliers	Nirosamine 18.4-47.1μg/m ³ Formaldehyde 0.013-0.163ppm
6. Triethanolamine		
Ilgner et al. (1998)	Synthetic MWFs	TEA ¹⁾ conc.: 0.03-0.05mg/m ³ The ratio of vapor to TEA conc.: 0.1-0.9

다고 하였다(Woskie 등, 1996; Saraf 등, 1997).

MWFs 사용으로 인한 바이오 에어로졸과 엔도톡신에 대한 연구는 수용성 MWFs(유화성, 합성유, 준합성유)의 사용이 증가된 최근에 이루어졌다(Eisen 등, 2001b). 주로 곰팡이와 박테리아를 나누어 분석하였고, 주로 발견되는 바이오 에어로졸 종류는 *Pseudomonas* 종과 *Micrococcus luteus*였다(Thorne 등, 1996a,b; Lonon, 1996; Lonon 등, 1999; Laitinen, 1999). 곰팡이 노출농도는 $0-10^8$ 으로 그 변이가 컸고, 박테리아 농도는 $<0.01-148$, 500CFU/m³였다. 또한 엔도톡신 농도는 $<4-787\text{EI/mL}$ 로 보고하였다(Thorne 등, 1996a,b; Lonon, 1996; Woskie 등, 1996; Kriebel 등, 1997; Sprince 등, 1997; 백남원 등, 1998; Lonon 등, 1999; Laitinen, 1999; Moore 등, 2000; Virji 등, 2000; Brown 등, 2000).

MWFs로 인해 근로자들이 바이오 에어로졸과 엔도톡신에 노출되고 있고 이로 인한 폐기능이나 기도 건강영향이 나타나고 있음에도 불구하고 아직까지 노출한계가 설정되지 않고 있다. 이는 노출농도 평가방법이 적절하게 최적화되거나 확립되지 못했기 때문이다(Duchaine 등, 2001). 전통적인 분석방법(현미경을 이용한 방법)은 시료의 특성상 바이오 에어로졸 배양 등의 전처리에 시간이 많이 걸리고, 분석결과와 또한 변이가 큰 방법으로 알려져 있기 때문이다. 이런 문제를 극복하기 위하여 최근에는 PCR 또는 real-time PCR 등을 이용하여 종류별 바이오 에어로졸의 특이한 DNA 배열을 밝히고, 정량하는 방법을 이용하거나(Forensica, 2002), HPLC, GC/MS 등의 분석기기를 이용하여 바이오 에어로졸이나 엔도톡신 농도를 반영할 수 있는 대체 화학물질 분석방법이 많이 소개되고 있다(Woskie 등, 1996; Saraf 등, 1997). 그러나 국내에서는 이에 대한 연구가 아직 미흡한 실정이다. 근로자의 건강영향상의 문제가 분명한 바이오 에어로졸 관련 연구는 노출한계가 설정되지 않은 현실에도 불구하고 꼭 필요한 연구임에 틀림없으며, 노출기준 설정을 위해 필요

한 정확성과 정밀성이 확보된 분석방법의 개발, 노출실태조사 및 역학조사가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

3. MWFs 노출에 대한 관리대책

MWFs의 근로자의 노출을 최소화하기 위해서는 발생원을 근로자로부터 밀폐 또는 격리시키고, MWFs 사용에 따라 발생하는 물질을 덜 유해한 물질로 바꾸고, 환기시설을 적절히 작동시키는 방법 등이 이용될 수 있다. 그 외 MWFs를 사용하는 근로자에게 적절한 작업방법을 훈련시키고, 행정적인 또는 법적인 조치를 강구하는 종합적인 대책이 마련되어야 한다.

MWFs 사용으로 인한 유해물질로부터 근로자노출을 최소화하기 위하여 MWFs 폐기시 acid-splitting을 피할 것, MWFs에 있는 nitrite를 제거할 것, 불필요한 가열을 피할 것, 희석된 MWFs에 보존제를 첨가할 것, nitrosamine 형성에 걸릴 수 있는 대체품으로 첨가제를 교체할 것과, 활성 금속 복합체(active metal complexes)의 농도를 최소화할 것 등을 권고하였다(Leoppy 등, 1983). Thornburg와 Leith(2000)는 원심력에 의해 발생하는 미스트의 입경은 MWFs 종류, 유체의 속도, 선반 회전 속도에 따라 다르기 때문에 오일 미스트의 흡입성 입자 노출을 줄이기 위하여 원심력에 의한 미스트 발생량을 감소시켜야 한다고 하였다. 오일 미스트의 입경크기는 공정 또는 작업방법에 따라 다르다고 하였고(Piacitelli 등, 2001), 오일 공급 압력(fluid delivery pressure)과 유속(flow rates)을 최소화하고, 밀폐가 갖추된 환기시설과 MWFs에 적절한 공기정화장치의 선택이 필요하다고 하였다. 또 공기정화장치가 미세한 미스트의 근원이 되기도 하므로 공기정화장치의 유지보수가 필요하다고 권고하였다(Heitbrink 등, 2000). Park 등(2001)은 MWFs의 온도나 pH 관리가 중요함을 지적하였다. 또 MWFs 노출을 방지하기 위한 공학적 대책방법은 밀폐와 공기정화장치설치가 필요하며(Hands 등, 1996; 백남원 등, 1997), 특히 오일 미스트를 완전하게 제거하기 위하여 공기정화장

치는 3단계 포집기의 설치가 필요하다고 하였다(Leith 등, 1996; Boundy 등, 2000; Yacher 등, 2000). Leith 등(1996)은 3단계 포집기에 대하여 권고하면서 제 1단계 금속망(metal mesh) 여과기, 제 2단계 포켓(pocket) 여과기, 카트리지 여과기, 전기집진 여과기, 제 3단계 HEPA 필터, DOP 필터, candle 필터가 적절하다고 하였다. 또 Boundy 등(2000)은 DOP 필터는 시간경과에 따라 효율이 감소되나 HEPA 필터는 1년 경과 후에도 효율이 100%로 유지되므로 HEPA 필터가 더 적절한 것으로 권고하였다.

국내에서 MWFs를 사용하는 사업장의 환기 및 공기정화장치 시설은 매우 미흡한 수준이고, 특히 중소기업의 사업장일수록 문제는 더욱 심각하다. 공기정화장치의 경우 상용화되어 있는 3단계 포집기를 사용하기도 하지만, 사용자가 포집기에 포함된 필터에 대해서는 알 수 없는 경우가 많다. 또 대부분의 사업장에서는 환기나 밀폐는 전혀 고려의 대상이 되지 못하고 있는 경우가 많아 문제점으로 지적된다. 중소기업의 보건관리자에게 필요한 사업장 관리대책 관련 교육이 필요할 것으로 생각된다.

수용성 금속가공유에서 발생하는 유해인자를 관리하기 위하여 공학적인 시설(탱크의 밀폐 등)은 물론이고, pH, 방부제의 적절한 사용에 대한 복합적인 관리가 현장에서 수시로 이루어져야 할 것(백남원 등, 1998)과 원액 중 바이오 에어로졸 농도수준을 감소시키기 위하여 pH를 높이고, 찌꺼기 오일(tramp oil) 양을 감소시킬 것, 근로자의 바이오 에어로졸 노출감소를 위하여 기계와 근로자의 거리를 가능한 한 멀리 떨어지게 할 것(10 ft 이상), 원액중 바이오 에어로졸 농도수준을 낮출 것과 기계를 밀폐할 것을 권고하였다(Virji 등, 2000).

미스트 발생을 제어하기 위하여 Gulari 등(1996, 1998)은 비수용성 MWFs에 polyisobutylene(PIB)라는 고분자물질을 첨가함으로써 미스트 발생을 제어하였고, 수용성 MWFs에서 발생하는 미스트 발생을 제어하기 위해서 polyethylene oxide(PEO)

Table 5. Sampling and analysis methods and concentration levels of bioaerosol and endotoxin in MWFs

References	Sampling & analytical method/subject	Result
1. Bioaerosol		
Salazar et al.(1997)	Teflon membrane filter, HPLC/UVD. Mycotoxin analysis from <i>Aspergillus</i>	
Tsai & Chen(1998)	15 mm inhalable bioaerosol sampler(IBI; reference), Burkard single-stage(Bk), Anderson N6 single- stage(N6), AGI-30(AGI) sampler	Relative collection efficiency: Fungi(Bk 0.53, N6 0.31, AGI 0.51); Bacteria(Bk 0.24, N6 0.12, AGI 0.23)
Moore et al.(1998, 2000)	Anderson one-stage sampler. flowrate(28.3 L/min)	
Thorne et al.(1996)	2 Stage jet-to-agar cascade impactor, 25mm black poly-carbonate filter, FM-NEF ¹⁾	Total bacteria and fungi in air sampling
Thorne et al. (1996a,b)	Automotive machining plant	Bioaerosols(bulk): viable fungi ≤ 50 CFU/mL, viable bacteria $7.7.6 \times 10^6$ CFU/mL, total bacteria $1.5 \times 10^7 - 1.7 \times 10^8$ org/mL. Bioaerosols(air): viable fungi LOD-3,800 CFU/m ³ (outdoor 244 CFU/m ³), viable bacteria 81-550 CFU/m ³ . Bateria types: <i>Pseudomonas</i> species & <i>Micrococcus leteus</i> .
Lonon(1999)	2 newly charged systems	Bacteria in contaminated MWFs: <i>Pseudomonas</i> species, <i>Acinetobacter</i> species(Othes: <i>Rhodococcus Varivorax</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Serpens</i> , <i>Xanthomonas</i> & <i>Providencia</i>)
Paik et al.(1998)	2 Base oil manufacturers & 2 MWFs suppliers.	Bioaerosol conc.(org/mL): $0-10^7$
Laitinen(1999)	18 Grinding, turning and drilling.	Airborne: gram(-) bacteria(CFU/m ³) $<0.01-410 \times 10^2$, total culturable $0.3-600 \times 10^2$, Bulk: gram(-) bacteria $<0.0001-4,400 \times 10^4$, total culturable $<0.0001-65,000 \times 10^4$ Bioaerosol types; - Air: gram(-) bacteria(<i>Comamonas</i> , <i>Ochrobacterum</i> , <i>Pseudomonas</i> etc.) fungi(<i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i> etc.) - Bulk: gram(-) bacteria (<i>Burkholdria</i> , <i>Comamonas</i> , <i>Ochrobacterum</i> etc.), fungi(<i>Acremoniom</i> etc.)
Virji et al.(2000)	A large automobile parts/transmission manufacturing facility	Bioaerosol GM in bulk: 3.4×10^7 CFU/mL, $\leq 8 \mu\text{m}$, GM in air: 182 CFU/m ³
2. Endotoxin		
Saraf et al.(1997), Park et al.(2001)	Kinetic chromogenic <i>Limulus</i> Anebocyte Lysate	
Thorne et al.(1996), Laitinen et al.(1999)	Endpoint quantitative <i>Limulus</i> Anebocyte Lysate Assay	
Milton et al.(1990)	Kinetic-turbidimetric <i>Limulus</i> amebocyte lysate	
Brown et al.(2000)	Extraction 1) pyrogen-free water(PFW), 2) PFW and Tween 20(polyethylene sorbitan monolaurate), 3) PFW, Tween 20 and sonication	
Woskie et al.(1996), Saraf et al.(1997)	3-Hydroxy fatty acids analysis by GC/MS	endotoxin vs. 3-OH-C _{10:0} +3-OH-C _{12:0} +3-OH-C _{14:0} (r=0.84, p<0.001)
Brown et al.(2000)	24 bulk water-based MWFs samples (12 unused, 12 used)	Bulk(EU/mL); - Unused MWFs(soluble 496, semisynthetic 670, synthetic 125), - Used MWFs(soluble 16,798, semisynthetic 56,200, synthetic 2,083)
Abrams et al.(2000)	85 Machinists & 46 assemblers	Final assembly 16.4 EU/m ³ , valve body 34.7 EU/m ³ , case 234 EU/m ³
Thorne et al.(1996a,b)	Automotive machining plant	Bulk: 39-166,000 EU/mL Air: <4-787 EU/mL
Laitinen(1999)	18 workplaces used MWFs	Air(ng/m ³); <0.04-600 Bulk(ng/m ³): 0.03-25,000

1) FM-NEF: fluorescence microscopy nucleopore filtration/elution method, 2) EU: endotoxin unit

를 사용하였다.

MWFs 사용에 따라 발생하는 바이오 에어로졸은 악취의 근원이 되며, pH 감소, emulsion의 안정성 변화, 부식속도의 증가, 제품 표면마감의 결점, 냉각시스템의 방해, 제품 폐기율의 증가, 도구 생명의 감소와 예기치 못한 변화 등이 나타날 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 사용되는 일반적인 방법은 바이오 에어로졸 번식을 막기 위한 방부제의 사용이다. 방부제는 MWFs에서 발생하는 바이오 에어로졸의 생장을 억제하기 위해 사용되는 전통적인 바이오 에어로졸 제어방법이다. N-methylol(1,3,5-Tris(2-hydroxyethyl)hexahydrotriazine)이 엔도독소를 중성화하고, 바이오 에어로졸을 제거하는데 이용되었고(Douglas 등, 1998), 단색의 UV 시스템(Fluid Application Specific Treatment And Control, FASTACTM)을 이용하였고(Bissing 등, 1998), Skerlos 등(2000a, b)은 세라믹 멤브레인 여과지를 이용하여 플럭스와 방부제 제거효과를 얻었다. 또 Johnson과 Phillips(2002)는 고강도의 살균 UV 램프(UVClamp: 100-280nm)를 이용하여 불투명 MWFs의 살균력 효과에 대해 연구하여 만족할 만한 결과를 얻었다. 국내에서는 바이오 에어로졸 발육 억제용 첨가제 개발 및 적용(pH 조정 포함)과 오존살균 처리를 통한 혐기성 세균처리 방법을 비교한 연구에서 오존살균 처리를 통한 혐기성 세균처리 방법을 이용하여 만족할 만한 결과를 얻었다(김중진, 2001). 그러나 이 방법은 오존살균처리시 오존이 작업환경 중으로 배출될 경우 고농도에 근로자가 노출되어 폐기능이나 자극증상을 호소할 수 있다. ACGIH(2002)에서는 하루 2시간이하의 작업이 이루어지는 경우에도 0.2ppm을 넘지 않도록 권고하고 있으며, 하루 8시간 작업일 경우 중노동은 0.05ppm, 중등노동은 0.08ppm, 경노동은 0.1ppm으로 권고하였다.

MWFs에 포함된 많은 화학물질에 의한 근로자의 건강을 지키기 위해서는 다른 대책과 더불어 법적, 행정적인 관리대책이 필요하다.

기유의 정제방법과 PAHs 함량에 대한 규제는 미국 OSHA뿐 아니라 유럽, 일본에서도 정제되지 않거나 중질 수첨분해공정(mildly hydrotreating), 중질 산처리(mildly acid-treating), 중질 용제 정제오일(mildly solvent-refined oil) 등에 대하여 이를 사용하는 사업주가 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, 이하 MSDS)에 “발암성 있음”이나 유해물질의 함유여부를 명기하도록 하였다(NIOSH, 1998).

반면 국내는 MWFs내 PAHs에 대한 규제기준이 없고, MSDS에 명기할 내용이 구체적으로 규정되지 않았다. KS에서 점도지수 93이상으로 규정하고 있지만, 정제수준에 따른 발암성 여부를 평가할 점도지수 76과는 차이가 있어 근로자 건강 보호를 위한 기준으로 볼 수 없다. 현재 국내에서 기유를 생산하는 업체는 1개소이며, 원유 정제기술은 IARC 1 등급은 아니지만, 정제정도가 중질인지 고도인지 조사가 필요하다. 이 때문에 기유를 생산하는 업체의 공정조건, 정제의 정도를 명확히 조사하고, 법적인 규제내용을 설정하는 것이 중요하다(백남원 등, 1998).

국내 방부제는 약사법, 먹는 물 관리법, 산림법, 농약관리법, 유해화학물질 관리법에서 규제하고 있으나, 우리가 관심을 갖고 있는 방부제 즉, MWFs에 사용되는 산업용 방부제는 구체적인 규제기준이나 법규가 없는 것으로 알려져 있어(박정규와 조영희, 1999), 이에 대한 관리방안이 국제적인 기준에 맞추어 정비되어야 할 것이다.

NDELA 농도를 결정하는 아질산염과 관련하여 선진국에서는 아민류와 아질산염이 동시에 함유된 MWFs 사용이나 판매가 법적으로 금지되어 있다(EPA, 1984; Bardin 등, 1997; OSHA, 2001). 우리나라는 KS 규격을 통해 아질산염과 아민류가 동시에 함유된 제품의 생산, 판매를 금지하였으나, 아질산염이 포함되지 않은 MWFs는 첨가된 제품에 비해 고가이고, 방청성이 떨어지는 단점이 있어(한국기유화학기술연구원, 1988), 이와 관련된 관리가 얼마나 이루어지고 있는지는 알

수 없다.

MSDS와 관련하여 우리나라는 기유와 첨가제에 대한 구체적인 정보가 없고, 단지 개략적인 함량만이 제시되어 있는 실정이다. 특히 근로자의 건강을 보호하기 위한 PAHs의 함량, 첨가제 또는 방부제에 대한 성분, 발암성에 대한 정보가 전혀 명시되지 않아 이에 대한 보완이 시급히 이루어져야 할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

MWFs중 과거에는 비수용성 MWFs가 많이 사용되어 그와 관련된 건강영향이 문제가 되어왔으나, 최근 수용성(water-based) MWFs의 사용이 증가하면서 첨가제나 바이오 에어로졸 발생과 관련된 방부제 등에 의한 건강영향이 문제가 되고 있다. 그러므로 수용성 MWFs 미스트 뿐 아니라, 바이오 에어로졸, 엔도독소, ethanalamines, nitrosamines, 포름알데히드 등과 관련된 연구가 필요하다. 그러나 국내에서는 아직도 비수용성 MWFs의 사용은 계속되고 있고, 이로 인한 건강영향이 발생할 수 있는 가능성은 많은 편이다. 또한 합성유를 제외하고는 대부분의 유화성 MWFs에 기유가 포함되어 있어 이에 대한 관리나 연구도 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다. 기유의 정제방법에 따른 PAHs 함량규제가 선진국 수준에 크게 미치지 못하는 국내 실정에서는 특히 중요한 과제일 것으로 생각된다. 또 MWFs 사용과 관련된 유해인자를 감소시키기 위한 대책(밀폐, 격리, 물질대체, 환기 등), MWFs 사용상의 관리지침 및 법적인 규제 등의 포괄적인 대책이 마련되어야 할 것으로 생각된다. MSDS에 근로자 건강과 관련된 좀더 정확한 정보가 필요하고, MWFs 관리에 관한 사업장 보건 관리자에 대한 교육도 필요할 것으로 생각된다. MWFs 사용에 따른 첨가제나 방부제 등에 대한 화학물질관리체계 또한 정비되어야 할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 김중진. 금속가공유의 미생물 발생저감을 통한 악취감소 개선사례. *그린삼성* 2001. 가을호 58-61
- 노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출 기준(고시 제 97-65호). 노동부.
- 박정규, 조영희. Biocides의 국내 관리방안 연구. KEI/1999/RE-06 연구보고서. 한국환경정책·평가연구원. 서울. 1999
- 백남원, 박동욱, 윤충식, 조숙자, 김신범, 임호섭. 우리나라에서 사용하는 광물유의 유해특성과 관리대책에 관한 연구-공기중 MWF 미스트의 측정방법과 관리대책. *한국산업위생학회지* 1997; 7(2): 171-180
- 백남원, 박동욱, 윤충식, 김승원, 김신범, 김귀숙. 우리나라에서 사용하는 광물유(금속가공유)의 유해특성과 관리대책에 관한 연구-수용성 금속가공유의 유해특성과 관리대책. *한국산업위생학회지* 1998; 8(1): 67-75
- 임우조, 이진열. *유탄공학*. 형설출판사. 서울. 1996, pp. 13-30
- 진영우, 이준영, 김은아, 박승현, 채창호, 최용휴, 김규상. 금속가공유를 취급하는 남성 근로자의 접촉피부염. *예방의학학회지* 1997; 30(2): 381-391
- 한국유탄유공업협회. *유탄유 산업자료*, 1995
- 한국기유화학기술연구원. *절삭유제와 연삭유제*. 서울. 1988, pp. 122-139
- 천병철, 김희옥, 김순덕, 오철환, 염용태. 절삭유 취급 근로자의 피부질환에 관한 연구. *예방의학학회지* 1996; 29(4): 785-799
- Abrams L, Seixas N, Robins T, Burge H, Muilenberg M, Franzblau A. Characterization of metalworking fluid exposure indices for a study of acute respiratory effects. *Appl Occup Environ Hyg* 2000; 15(6): 492-502
- Acquavella J, Leet T, Johnson G. Occupational experience and mortality among a cohort of metal components manufacturing workers. *Epidemiology* 1993; 4: 428-434
- ACGIH. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, 2002. Cincinnati, OH
- ACGIH. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices (1994-1995): Appendix D: Particle size-selective sampling criteria for airborne particulate matter. Cincinnati, Oh: ACGIH. pp. 43-45
- Alomar A. Occupational skin disease from cutting fluids. *Dermatol Clin* 1994; 12(3): 537-546
- Ameille J, Wild P, Choudat D, Ohl G, Vaucouleur JF, Chanut JC, Brochard P. Respiratory symptoms, ventilatory impairment, and bronchial reactivity in oil mist-exposed automobile workers. *Am J Ind Med* 1995; 27: 247-256
- Bardin JA, Eisen EA, Tolbert PE, Hallock MF, Hammond SK, Woskie SR. Mortality studies of machining fluid exposure in the automobile industry. V: A case-control study of pancreatic cancer. *Am J Ind Med* 1997; 32(3): 240-247
- Bartley DL, Chen C-C, Song R, Fischbach TJ. Respirable aerosol sampler performance testing. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 55(11): 1036-1046
- Bennett EO. The deterioration of metal cutting fluids. *Prog Ind Microbiol* 1974; 13: 121-149
- Bernstein DI, Lummus ZL, Santilli G, Siskosky J, Bernstein IL. Machine operator's lung: a hypersensitive pneumonitis disorder associated with exposure to metalworking fluid aerosols. *Chest* 1995; 108(3): 636-641
- Bissing A, Coogan J, Lips P, Morgan G, Ressler B. Advanced monochromatic UV system for the treatment and control of microorganisms in metal removal fluids. In: Symposium proceedings II: the industrial metalworking environment; assessment and control of metal removal fluids. Detroit, MI. Sep. 15-19, 1997. Detroit, MI: American Automobile Manufacturers Association, 1998, pp. 408-413
- Boundy M, Leith D, Hands D, Gressel M, Burroughs GE. performance of industrial mist collectors over time. *Appl Occup Environ Hyg* 2000; 15(12): 928-935
- Brown ME, White EM, Feng A. Effects of various treatments on the quantitative recovery of endotoxin from water-soluble metalworking fluids. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61: 517-520
- Calvert GM, Ward E, Schnorr TM, Fine LJ. Cancer risks among workers exposed to metalworking fluids: A systematic review. *Am J Ind Med* 1998; 33: 282-292
- Champan RJ, Shollenberger M. Formaldehyde levels in an engine manufacturing facility utilizing semi-synthetic metalworking fluids. In: Symposium proceedings: the industrial metalworking environment; assessment and control. Dearborn, MI. Nov. 13-16, 1995. American Automobile Manufacturers Association, 1996, pp. 384-390
- Chen CC, Baron PA. Aspiration efficiency and inlet wall deposition in the fiber sampling cassette. *Am Ind Hyg Assoc J* 1996; 57: 142-152
- Chen CC, Lai CY, Shih TS, Chen CY. Use of foams as size-selective devices: respirable and thoracic. Orlando, FL: American Association for Aerosol Research Fifteenth Annual Conference. 1996
- Cohen HJ. A study of formaldehyde exposures from metalworking fluid operations using hexahydro-1,3,5-tris(2-hydroxyethyl)-s-triazine. In: Symposium proceedings: the industrial meta-

- lworking environment; assessment and control. Dearborn, MI. Nov. 13-16, 1995. American Automobile Manufacturers Association, 1996, pp. 179-183
- Comité Européen de Normalisation(CEN). Workplace atmospheres: size fraction definitions for measurement of airborne particles in the workplace. CEN Standard EN 481. Brussels, Belgium, CEN. 1992
- Crook B. Chapter 9. Inertial Samplers: Biological Perspectives. Chapter 10. Non-inertial Samplers: Biological Perspectives. In: Bioaerosols Handbook. Cox CS, Wathes CM. Lewis Publishers. 1995. pp. 247-283
- Cullen MR, Balmes JR, Robins JM, Smith GJW. Lipoid pneumonia caused by oil mist exposure from a steel rolling tandem mill. *Am J Ind Med* 1981; 2(1): 51-58
- Douglas H, Bassett D, Rossmoore H. Evaluation of aldehydes in the neutralization of endotoxin. In: Symposium proceedings II: the industrial metalworking environment; assessment and control of metal removal fluids. Detroit, MI. Sep. 15-19, 1997. Detroit, MI: American Automobile Manufacturers Association, 1998, p. 421
- Duchaine C, Thorne PS, Mériaux A, Grimard Y, Whotten P, Cornier Y. Comparison of endotoxin exposure assessment by bioaerosol impinger and filter-sampling methods. *Appl Environ Microbiol* 2001; 67(6): 2275-2780
- Eisen EA, Tobert PE, Hallock MF, Hammond SK. Mortality studies of machining fluid exposure in the automobile industry III: A case-control study of larynx cancer. *Am J Ind Med* 1994; 26: 185-202
- Eisen EA, Holcroft CA, Greaves IA, Wegman DH, Woskie SR, Monson RR. A strategy to reduce healthy worker effect in a cross-sectional study of asthma and metal-working fluids. *Am J Ind Med* 1997; 31(6): 671-677
- Eisen EA, Smith TJ, Kriebel D, Woskie SR, Myers DJ, Kennedy SM, Shalat S, Monson RR. Respiratory health of automobile workers and exposures to metal-working fluid aerosols: Lung spirometry. *Am J Ind Med* 2001a; 39: 443-453
- Eisen EA, Bardin J, Gore R, Woskie SR, Hallock MF, Monson RR. Exposure-response models based on extended follow-up of a cohort mortality study in the automobile industry. *Scand J Work Environ Health* 2001b; 27(4): 240-249
- Environmental Protection Agency(EPA), "United States Code. Prohibition of Nitrites in Metalworking Fluids: Final Rule". Federal Register 2762, Part 747, 1984.
- Forensica. In recent years, advances in molecular biology, genetics, and techniques used to characterize deoxyribonucleic acid (DNA) have grown at an extremely rapid pace. 2002. Available from: URL: <http://www.forensica.com>
- Gerhardsson de Verdier M, Plato N, Steineck G, Peters JM. Occupational exposures and cancer of the colon and rectum. *Am J Ind Med* 1992; 22: 291-303
- Goon AT, Goh C. Epidemiology of occupational skin disease in Singapore 1989-1998. *Cont Derm* 2000; 43: 133-136
- Gonzalez CA, Lopez-Abente G, Errezola M, Escolar A, Riboli E, Izarzugaza I, Nebot M. Occupation and bladder cancer in Spain: a multi-centre case-control case-control study. *Int J Epidemiol* 1989; 18: 569-577
- Greaves IA, Eisen EA, Smith TJ, Pothier LJ, Kriebel D, Woskie SR et al. Respiratory health of automobile workers exposed to metal-working fluid aerosols" respiratory symptoms. *Am J Ind Med* 1997; 32(5): 450-459
- Gulari E, Manke CW, Smolinski J. Polymer additives as mist suppressants in metalworking fluids: Laboratory and plant studies. In: Symposium proceedings: the industrial metalworking environment; assessment and control. Dearborn, MI. Nov. 13-16, 1995. American Automobile Manufacturers Association, 1996, pp. 294-300
- Gulari E, Manke CW, Yurgelevic S, Smolinski JM. Suppression and management of mist with polymeric additives. In: Symposium proceedings II: the industrial metalworking environment; assessment and control of metal removal fluids. Detroit, MI. Sep. 15-19, 1997. Detroit, MI: American Automobile Manufacturers Association, 1998, pp. 291-296
- Hands D, Sheehan MJ, Wong B, Lick HB. Comparison of metalworking fluid mist exposures from machining with different levels of machine enclosure. *Am Ind Hyg Assoc J* 1996; 57(12): 1173-1178
- Health and Safety Executive(HSE). General methods for the gravimetric determination of respirable and total inhalable dust. HSE MDHS14(revised): London, UK: HMSO. 1989
- Heitbrink WA, D'Arcy JB, Yacher JM. Mist generation at a machining center. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61: 22-30
- Herwaldt La, Gorman GW, McGrath T, et al. A new *Legionella* species, *Legionella feeleii* species Nova, causes Pontiac fever in an automobile plant. *Ann Intern Med* 1984; 100: 333-338
- Ilgner RH, Palausky A, Jenkins RA, Ball AM, Lucke WE. Distribution of fatty acids and triethanolamine in synthetic metalworking fluid aerosols generated in the laboratory and field. In:

- Symposium proceedings II: the industrial metalworking environment; assessment and control of metal removal fluids. Detroit, MI. Sep. 15-19, 1997. Detroit, MI: American Automobile Manufacturers Association, 1998, pp. 173-178
- Järholm B. Cutting oil mist and bronchitis. *Eur J Resp Dis* 1982; 118(suppl): 79-83
- Järholm B, Zingmara PA, Osterdahl BG. High concentrations of N-nitrosodietanolamine in a diluted commercial cutting fluid. *Am J Ind Med* 1991; 33: 237-239
- Johnson DL, Phillips ML. UV disinfection of soluble oil metalworking fluids. *Am Ind Hyg Assoc J* 2002; 63: 178-183
- Kazerouni N, Thomas TL, Petralia SA, Hayes RB. Mortality among workers exposed to cutting oil mist: Update of previous reports. *Am J Ind Med* 2000; 38: 410-416
- Kenny LC, Gussmann RA. Characterization and modeling of a family of cyclone aerosol preseparators. *J Aerosol Sci* 1997; 28(4): 677-688
- Kriebel D, Eberiel D, Eisen EA, Eraso RM, Kumar S, Sama S et al. Field investigations of the acute respiratory effects of machining fluids. Final report to the UAW-GM National Joint Committee on Safety and Health, June 1, 1994
- Kriebel D, Sama SR, Woskie S, Christiani DC, Eisen EA, Hammond SK, Milton DK, Smith M, Virji MA. A field investigation of the acute respiratory effects of metal working fluids. I. Effects of aerosol exposure. *Am J Ind Med* 1997; 31: 756-766
- Krzesniak L, Kowalski J, Droszcz W, Piotrowska B. Respiratory abnormalities in workers exposed to oil mist. *Eur J Respr Dis* 1981; 62(suppl 113): 88-89
- Laitinen S, Linnainmaa M, Laitinen J, Kiviranta H, Reiman M, Liesivuori J. Endotoxins and IgG antibodies as indicators of occupational exposure to the microbial contaminants of metalworking fluids. *Int Arch Occup Environ Health* 1999; 72: 443-450
- le Coz CJ. Allergic contact dermatitis from sodium pyrrhione in metalworking fluid. *Contact Dermatitis* 2001; 45(1): 58-59
- Leith D, Leith FA, Boundy M. Measuring the concentration of mineral oil mists. In: Symposium proceedings: the industrial metalworking environment; assessment and control. Dearborn, MI: American Automobile Manufacturers' Association, 1995, pp. 189-195
- Leith D, Raynor PC, Boundy M, Cooper SJ. Performance of industrial equipment to collect coolant mist. *Am Ind Hyg Assoc J* 1996; 57(12): 1142-1148
- Leoppy RN, Hansen YJ, Keefer LK. Reducing nitrosamine contamination in cutting fluids. *Food Chem Toxicol* 1983; 21(5): 607-613
- Lonon MK. Bacteria in metalworking fluids. In: Symposium proceedings: the industrial metalworking environment; assessment and control. Dearborn, MI: American Automobile Manufacturers' Association, 1996, pp. 231-233
- Lonon MK, Abanto M, Findlay RH. A pilot study for monitoring changes in the microbiological component of metal working fluids as a function of time and use in the system. *Am Ind Hyg Assoc J* 1999; 60: 480-485
- Mallin K, Berkely L, Young Q. A proportional mortality ratio study of workers in a construction equipment and diesel engine manufacturing plant. *Am J Ind Med* 1986; 10: 127-141
- McAneny JJ, Leith D, Boundy M. Volatilization of mineral oil mist on sampling filters. *Appl Occup Environ Hyg* 1995; 10: 783-787
- Moore JS, Christensen M, Wilson RW, Nash DR, Shelton B. Mycobacterial contamination of metalworking removal fluids and potential abatement strategies. In: Symposium proceedings II: the industrial metalworking environment; assessment and control of metal removal fluids. Detroit, MI. Sep. 15-19, 1997. Detroit, MI: American Automobile Manufacturers Association, 1998, pp. 266-274
- Moore JS, Christensen M, Wilson RW, Wallace RJ Jr, Zhang Y, Nash DR, Shelton B. Mycobacterial contamination of metalworking fluids: involvement of a possible new taxon of rapidly growing mycobacteria. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61(2): 205-213
- Morris NM, Catalano EA, Berni RJ. 3-hydroxymyristic acid as a measure of endotoxin in cotton lint and dust. *Am Ind Hyg Assoc J* 1988; 49: 81-88
- Morris KJ. Modern Microscopic Methods of Bioaerosol Analysis. In: Bioaerosols Handbook. Cox CS, Wathes CM. Lewis Publishers. 1995. pp. 285-316
- NIOSH, NIOSH Manual of Analytical Methods(NMAM). 4th ed. Method No. 0500, 2016, 2522, 2541, 3500, 3509, 5026, 5506, 5515 NIOSH. Cincinnati, OH, 1994
- NIOSH. Criteria for a Recommended Standard-Occupational Exposure to Metalworking Fluids. Cincinnati: NIOSH draft. 1998
- O'Brien DM, Piacitelli GM, Sieber WK, Hughes RT, Catalano JD. An evaluation of short-term exposures to metalworking fluids in small machine shops. *Am Ind Hyg Assoc J* 2001; 62(3): 342-348
- OSHA. OSHA Analytical Method 52, OSHA, 1989
- OSHA. OSHA Analytical Method ID-205, OSHA, 1990
- OSHA. Final Report of the OSHA Metal-

- working fluids Standards Advisory Committee Available from: URL:<http://www.osha-slc.gov/dhs/repc,1999>
- OSHA, "Code of Federal Regulations Title 40 2001"; 23, Parts 700-789, pp. 499-505, Revised as of July 1.
- Park RM, Wegman DH, Silverstein MA, Maizlish NA, Mirer FE. Causes of death among workers in a bearing manufacturing plant. *AM J Ind Med* 1988; 13: 569-580
- Park RM, Mirer FE. A survey of mortality at two automotive engine manufacturing plants *Am J Ind Med* 1996; 30: 664-673
- Park RM. Mortality at an automotive engine foundry and machining complex. *J Occup Environ Med*. 2001; 43(5): 483-493
- Park D, Teschke K, Barlett K. A model for prediction endotoxin concentrations in metalworking fluid sumps in small machine shops. *Ann Occup Hyg* 2001; 45(7): 569-576
- Park D, Kim S. Loss of metalworking fluids collected on PVC filters due to contact with clean air and desiccation. Presented at 2002 AIHce, 2002. 6. 1-6, San Diego, California
- Piacitelli GM, Sieber WK, O'Brien DM, Hughes RT, Glaser RA, Catalano JD. Metalworking fluid exposures in small machine shops: an overview. *Am Ind Hyg Assoc J* 2001; 62(3): 356-370
- Pryce DW, Irvine D, English JSC, Rycroft RJC. Soluble oil dermatitis: a follow-up study. *Cont Dermat*. 1989; 21: 28-35
- Robins T, Seixas N, Franzblau A, Abrams L, Minick S, Burge H, Schork MA. Acute respiratory effects on workers exposed to metal working fluid aerosols in an automotive transmission plant. *Am J Ind Med* 1997; 31: 510-524
- Rosenman KD, Reilly MJ, Kalinowski DJ. Work-related asthma and respiratory symptoms among workers exposed to metal-working fluids. *Am J Ind Med* 1997; 32(4): 325-331
- Rosenthal FS, Yeagy BL. Characterization of metalworking fluid aerosols in bearing grinding operation. *Am Ind Hyg Assoc J*. 2001; 62(3): 379-382
- Rotimi C, Austin H, Delzell E, Day C, Macaluso M, Honda Y. Retrospective follow-up study of foundry and engine plant workers. *Am J Ind Med* 1993; 24: 485-498
- Rousch GC, Kelly J, Meigs JW, Flannery JT. Scrotal carcinoma in Connecticut metalworkers. *Am J Epidemiol* 1982; 116: 76-85
- Saraf A, Larsson L, Burge H, Milton D. Quantification of ergosterol and 3-hydroxy fatty acids in settled house dust by gas chromatography-mass spectrometry: Comparison with fungal culture and determination of endotoxin by a *Limulus* Amebocyte Lysate Assay. *Appl Environ Microbiol* 1997; 63(7): 2554-2559
- Salazar R, Hammad Y, Sherblom P. Collection of Airborne Mycotoxin on Membrane Filters and Analysis Using High-Pressure Liquid Chromatography with Ultraviolet Absorbance Detection. Presented at AIHCE, Dallas, Texas. 1997 Available from: <http://www.aiha.org/conf.html>.
- Silverman DT, Levin LI, Hoover RN, Hartge P. Occupational risks of bladder cancer in the United States. I. White mem. *JNCI* 1989; 81: 1472-1480
- Silverstein M, Park R, Marmor M, Maizlish N, Mirer F. Mortality among bearing plant workers exposed to metalworking fluids and abrasives. *J Occup Med* 1988; 30(9): 704-714
- Skerlos SJ, Rajagopalan N, DeVor RE, Kapoor SG, Angspatt VD. Ingredient-wise study of flux characteristics in the ceramic membrane filtration of uncontaminated synthetic metalworking fluids Part 1: Experimental investigation of flux decline. *J Manufacturing Science and Engineering* 2000a; 122: 739-745
- Skerlos SJ, Rajagopalan N, DeVor RE, Kapoor SG, Angspatt VD. Ingredient-wise study of flux characteristics in the ceramic membrane filtration of uncontaminated synthetic metalworking fluids Part 2: Analysis of underlying mechanism. *J Manufacturing Science and Engineering* 2000b; 122: 746-752
- Sprince NL, Thorne PS, Pependorf W, Zwerling C, Miller ER, DeKoster JA. Respiratory symptoms and lung function abnormalities among machine operators in automobile production. *Am J Ind Med* 1997; 31: 403-413
- Spurny KR. Chemical Analysis of Bioaerosols. In *Bioaerosols Handbook*. Cox CS, Wathes CM. Lewis Publishers. 1995. pp. 317-334
- Sullivan PA, Eisen EA, Woskie SR, Kriebel D, Wegman DH, Hallock MF, Hammond SK, Tolbert PE, Smith TJ, Monson RR. Mortality studies of metalworking fluid exposure in the automobile industry: VI. A case-control study of esophageal cancer. *Am J Ind Med* 1998; 34(1): 36-48
- Svendsen K, Bjorseth O, Borresen E. Sampling petroleum oil mist and vapor; comparison of methods. *Am Ind Hyg Assoc J* 1996; 57: 537-541
- Thornburg J, Leith D. Size distribution of mist generated during metal machining. *Appl Occup Environ Hyg* 2000; 15(8): 618-928
- Thorne PS, DeKoster JA, Subramanian P. Bioaerosols and airborne endotoxins in automotive machining plants. In: *Symposium proceedings: the industrial metalworking environment; assessment and control*. Dearborn, MI. Nov. 13-16, 1995. American Automobile Manufacturers Association, 1996a, pp. 244-247

- Thorne PS, DeKoster JA, Surbramanian P. Environmental Assessment of aerosols, bioaerosols and airborne endotoxins in a machining plant. *AIHAJ* 1996b; 57(12): 1163-1167
- Tolbert PE, Eisen EA, Pothier LJ, Monson RR, Hallock MF, Smith TJ. Mortality studies of machining-fluid exposure in the automobile industry. II. Risks associated with specific fluid types. *Scand J Work Environ Health* 1992; 18: 351-360
- Tsai P-J, Chen SY. The characteristic evaluation of inhalable bioaerosols collected by three commercially available samplers. Presented at AIHCE, Atlanta, Georgia. 1998. Available from: <http://www.aiha.org/conf.html>.
- Ueno S, Shiomi Y, Yokota K. Metalworking fluid hand dermatitis. *Ind Health* 2002; 40: 291-293
- Vena JE, Sultz HA, Fiedler RC, Barnes RE. Mortality of workers in an automobile engine and parts manufacturing complex. *Br J Ind Med* 1985; 18: 351-360
- Virji MA, Woskie SR, Sama SR, Kriebel D, Eberiel D. Identifying the determinants of viable microorganisms in the air and bulk metalworking fluids. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61(6): 788-797
- Wilsey PW, Vincent JH, Bishop MJ, Brosseau LM, Greaves IA. Exposures to inhalable and total oil mist aerosol by metal machining shop workers. *AIHAJ* 1996 ; 57 : 1149-1153.
- Woskie SR, Smith TJ, Hallock MF, Hammond SK, Rosenthal F, Eisen EA, et al. Size-selective pulmonary dose indices for metal-working fluid aerosols in machining and grinding operations in the automobile manufacturing industry. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994a; 55(1): 20-29
- Woskie SR, Smith TJ, Hammond SK, Hallock MH. Factors affecting workers exposures to metal-working fluids during automotive component manufacturing. *Appl Occup Environ Hyg* 1994b; 9: 612-621
- Woskie SR, Virji MA, Kriebel D, Sama SR, Eberiel D, Milton DK, Hammond SK, Moure-Eraso R. Exposure assessment for a field investigation of the acute respiratory effects of metalworking fluids. I. Summary of findings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1996; 57: 1154-1162
- Yacher JM, Heitbrink WA, Burroughs. Mist control at a machining center, Part 2: Mist control following installation of air cleaners. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61: 282-289
- Zagraniski RT, Kelsey JL, Walter SD. Occupational risk factors for laryngeal carcinoma: Connecticut, 1975-1980. *Am J Epidemiol* 1986; 124: 67-76
- Zell L, Mack U, Sommerfeld A, Buchter A, Sybrecht GW. Abscessed pneumonia caused by *Pseudomonas aeruginosa* as an occupational disease in a metal driller. *Pneumologie* 1999; 53(12): 620-625