

## 우리나라에서 사용하는 광물유의 유해특성과 관리대책에 관한 연구 — 공기중 MWF 미스트의 측정방법과 관리대책 —

서울대학교 보건대학원<sup>a</sup>, 한국방송대학교<sup>b</sup>, 한국산업안전공단, 서울의과학연구소<sup>c</sup>

백남원<sup>a</sup> · 박동욱<sup>b</sup> · 윤충식<sup>a</sup> · 조숙자<sup>c</sup> · 김신범<sup>a</sup> · 임호섭<sup>d</sup>

— Abstract —

### Control and Investigation for Hazardous Characteristics of Metal Working Fluids Used in Korea — A Study on the Control and Sampling Method for Airborne MWF mist —

Nam-won Paik<sup>a</sup>, Dong-wook Park<sup>b</sup>, Chung-sik Yoon<sup>a</sup>,  
Sook-ja Cho<sup>c</sup>, Shin-bum Kim<sup>a</sup>, and Ho-sub Lim<sup>d</sup>

*Seoul National University<sup>a</sup>, School of Public Health,  
28 Yunkeun-Dong, Chongro-Ku, Seoul, Korea 110-799*

*Korea National Open University<sup>b</sup>, Department of Environmental Health,  
169 Dongsung-Dong, Chongro-Ku, Seoul, Korea 110-791*

*Korea Industrial Safety Cooperation<sup>c</sup>, 34-4 Gusan-Dong, Bupyeong-Ku, Incheon, Korea 403-120*

*Seoul Clinic Laboratory<sup>d</sup>, 7-14 Dongbinggo Dong, Yongsan-Ku, Seoul, Korea 140-230*

The objectives of this study were both to discuss the sampling method for airborne metalworking fluids(MWF)' mist and to suggest measures to minimize worker's exposure to carcinogen contained in metalworking fluids. In order to measure airborne MWF mist, it seems to be appropriate to use NIOSH Method #0500(filter weight) rather than NIOSH Method # 5026(analysis by FTIR). Because MWF mist on PVC filter evaporated and migrated during sampling, worker's exposure to MWF could be underestimated. So, when evaluating worker's exposure to MWF mist, other environmental conditions also must be considered. Enclosure and local exhaust ventilation system seems to be the

\* 이 논문은 학술진흥재단 연구조성비에 의한 자유공모과제로 선정되어 연구되었음.

most effective measure and must be constructed with process facility. In order to control worker exposure to carcinogens contained in MWF, distillation type and condition for crude oil, PAH concentration in MWF, and viscosity index of MWF must legally be described.

**Key Words :** Metalworking fluids(MWF), NIOSH Method #0500, NIOSH Method #5026, Enclosure

## 1. 서 론

MWF(metalworking fluids, MWF)는 원유(crude oil)를 정제한 기유(base oil)와 각종 첨가제를 혼합한 것을 말하며, 비수용성(straight or water-insoluble), 수용성(water-soluble)으로 크게 구분된다. MWF는 공구와 가공되는 금속간의 마찰, 마멸, 마모를 줄이고 가공표면의 특성을 좋게 하는 역할로 거의 모든 산업에서 광범위하게 사용되고 있다. 공기중 MWF미스트에 대한 허용기준은 OSHA(Occupational Safety and Health Administration, OSHA), NIOSH(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH), 그리고 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)에서 모두  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 설정하고 있다. 그러나 많은 역학조사에 의하면 이러한 기준은 MWF로 인한 건강상의 장해를 예방하는데 효과가 없으므로  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 낮출 것을 권고하였다(Acquavella 등, 1995; Kennedy 등, 1989; Kennedy 등, 1989; Gannon 등, 1991; Kriebel 등, 1994; Eisen 등, 1994; Park 등, 1994; Raynor 등, 1996). MWF로 인한 건강상의 장해가 보고됨에 따라 OSHA는 현재 PPP(Priority Planning Process)보고서를 통해서 Rulemaking의 우선순위에 포함시켜 종합적인 관리방안을 마련하고 있다.

MWF의 건강상의 장해를 평가하고 허용기준의 적정성을 평가하기 위해서는 공기중에 존재하는 MWF를 정확히 측정하는 것이 무엇보다 중요하다. 공기중의 MWF는 미스트와 증기형태로 존재한다. 공기중의 MWF 미스트를 측정하는 방법은 국제적으로 제시되어 있으나(NIOSH, 1994) MWF 증기에 대한 측정방법은 아직 없어 측정되지 않고 있다. 더구나 MWF 미스트를 채취·분석하는 방법의 정확성에 대해서도 의문이 제기되고 있다(McAney

등, 1995; Leith 등, 1996; Raynor 등, 1996). NIOSH나 OSHA가 공인하고 있는 PVC필터(직경 37mm, 필터 구멍  $0.8\mu\text{m}$ )를 이용한 중량법은 채취된 MWF 미스트가 공기와의 계속적인 접촉으로 인해 증발되므로 과소평가된다는 것이다. 근로자가 MWF에 노출되는 정도를 정확하게 측정하지 못하거나 누락된다면 측정결과를 노출평가나 대책에 적극적으로 활용될 수 없다.

선진외국은 공기중 MWF이외에도 MWF에 함유된 발암성물질의 관리를 꾸준히 계속하여 왔다. 1950년대에 MWF를 사용하는 사업장에서 주된 관심은 MWF 중의 PAH(polynuclear aromatic hydrocarbons, PAHs)함유량이었다. 왜냐하면 PAH는 원유를 정제하는 과정에서 정제되지 않고 함유된 것으로 피부암의 원인물질이기 때문이다. PAH함유 정도는 정제기술에 따라 달라지는 것으로 고도로 정제할 경우(highly refined) 그 함유량이 적고, 단순 진공증류나 경도로 정제할 경우(mildly refined)일 경우 PAH나 각종 방향족화합물의 많은 양이 정제되지 않고 남아있어 발암성을 야기한다. OSHA는 MWF중에 PAH를 규제하기 위해서 원유를 정제하는 단계에서부터 근원적인 법적인 관리를 하고 있다. 즉, 원유의 정제방법에 따라 발암성을 규정하고 사업주로 하여금 발암성여부를 표시하도록 하였다(Sheehan, 1996; NIOSH, 1996). 이러한 관리로 기유의 정제기술이 발달하여 현재는 MWF 사용시 PAH로 인한 건강상의 장해는 줄어들었다. 그러나 현재에도 이러한 관리는 계속되고 있으며 ACGIH도 1996년에 PAH를 함유하는 Oil mist에 관한 허용기준을  $0.005\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 엄격히 제한하려는 내용을 개정공고(Notice of Intended Changes, NIC)하였다(ACGIH, 1997).

우리나라에서 MWF의 사용으로 인한 피부염에 대한 역학조사가 일부 있으나(은희철 등, 1982; 은희철 등, 1984; 은희철, 1993; 동국대학교 예방의학교실, 1996), 공기중 MWF 미스트나 유해인자의

노출에 대한 연구는 없다. 또한 MWF의 생산과 공급과정에서 근로자에게 건강상의 장애를 줄 수 있는 발암물질에 대한 법적인 규제가 전혀 없고, 각종 첨가제에 대한 MSDS(Material Safety Data Sheets, MSDS)도 투명화되어 있지 못해 MWF의 유해성이 사전에 관리되지 못하고 있다. MWF가 거의 전 업종에 걸쳐 다양하게 사용되고 있고 이를 취급하는 근로자가 많은 점을 고려할 때 종합적인 대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 공기중 MWF 미스트의 측정방법을 비교하여 그 문제점을 평가하는 한편 공기중의 MWF 미스트의 노출을 줄이기 위한 공학적인 대책과 MWF내의 발암물질을 관리하기 위한 법적인 대책을 제시하고자 한다.

## II. 조사대상 및 방법

### 1. 대상

대상은 MWF의 원료가 되는 기유제조회사 2개소, 기유와 각종 첨가제를 혼합하여 각종 MWF를 생산하거나 수입하여 사업장으로 공급하는 회사 6개소, 그리고 MWF를 사용하는 회사 9개소였다. 각종 MWF의 성분이나 KS규격을 검사하는 X 연구소도 조사하였다. 주요 조사내용은 첨가제의 성분과 이에 대한 법적인 규제에 대한 준수여부, 상품명, MSDS에 대한 작성 그리고 유통체계 등이었다.

MWF를 사용하는 회사(9개소)에서는 시료를 채취하였고, 국소배기성능 및 관련된 사항등을 조사하였다.

### 2. 시료채취 및 분석

#### 1) 공기중 MWF 미스트

공기중의 MWF 미스트는 PVC필터에 의한 중량법(NIOSH #0500방법), IOM채취기구에 의한 중량법 그리고 FTIR방법(NIOSH #5026방법)으로 각각 측정하였다. 중량법은 공기중의 MWF를 PVC필터(37mm직경, 5 $\mu$ m 구멍크기)와 IOM채취기로 채취한 후, 테시케이터에서 24시간동안 수분을 제거한 다음 무게를 분석하였다. FTIR법은 PVC필터로 채취한 MWF 미스트를 중량분석하고 trichlorotrifluoroethane(TCFE)로 추출한 후 FTIR(model Jasco FT/IR-5300, Japan)로 분석하였다. 각각

의 측정결과를 비교하기 위해서 동일한 장소나 동일한 근로자에게서 채취하였다. 공정의 밀폐와 국소배기 성능을 평가하기 위하여 공정의 MWF가 적용되는 부분과 가까운 지점(1m 이내)에서 MWF 미스트를 측정하였다.

#### 2) 필터에 채취된 MWF 미스트의 전이(migration)

PVC필터에 채취된 MWF 미스트가 증발되어 전이되는지를 평가하였다. PVC필터 뒤에 활성탄판(400/200mg, coconut charcoal)을 장착하고 활성탄판에서 유기용제가 검출되는지를 질량분석기(HP, model 5971)로 분석하였다. 활성탄판에서 증기가 검출된 경우 채취된 MWF 미스트가 전이되어 손실된 것으로 평가하였다.

### 3. 국소배기장치와 공정밀폐에 대한 조사

MWF를 사용하는 공정에서 공정밀폐의 정도, 국소배기장치의 배기덕트 설치위치(실내 실외), 집진기(mist collector)의 사양 등을 조사하였다. 이를 기준으로 국소배기장치와 밀폐의 적정성에 따라 분류하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 공기중 MWF 미스트에 대한 측정방법

#### 1) 중량법과 FTIR법의 비교

공기중의 MWF의 미스트 농도는 3가지 측정방법으로 측정하여 서로 비교할 수 있는 자료로 구분하였다(표 1참조). IOM에 의한 공기중 MWF농도는 수용성에서는 0.59mg/m<sup>3</sup>, 비수용성에서는 0.66 mg/m<sup>3</sup>으로 다른 방법보다 높게 나타났으나 37mm PVC필터에 의한 측정결과와는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 반면, FTIR에 의한 측정은 수용성과 비수용성 MWF에서 각각 0.13 mg/m<sup>3</sup>, 0.12-0.14 mg/m<sup>3</sup>으로 나타나 다른 방법보다 유의하게 낮았고(표 1참조), 농도의 변이는 다른 방법에 비해서 매우 큰 것으로 나타났다. 중량법에 의한 농도의 변이는 6.33이하로서 기하정규분포를 하는 것으로 나타났다. 단, 개인시료와 장소시료의 차이는 고려하지 않았다.

OSHA와 NIOSH의 공기중 MWF에 대한 측정

**Table 1.** Comparison of Sampling Method for Airborne MWF Concentration

MWF type	no. of sample*	GM(mg/m <sup>3</sup> )			p value	GSD		
		PVC	IOM	FTIR		PVC	IOM	FTIR
water-soluble	21	0.44	0.59	-	0.190	1.59	1.92	-
	90	0.37	-	0.13	0.000	6.33	-	18.14
insoluble	29	0.53	0.66	0.14	0.042	2.29	2.21	12.94
	98	0.42	-	0.12	0.040	2.40	-	13.71

- : no data, IOM : The Institute of Occupational Medicine

\* : sum of area and personal samples, not specified by each sample.

방법은 PVC필터(직경 37mm, 구멍크기 5.0 $\mu$ m)를 이용한 중량법과 MCE 또는 PVC필터에 의한 채취와 FTIR에 의한 분석법이다(NIOSH, 1996). 본 연구에서는 중량법에 의한 공기중 MWF 측정결과가 FTIR보다 유의하게 높게 나타났다. FTIR에 의한 공기중 MWF 측정결과가 유의하게 낮은 것은 FTIR이 정량하는 흡수과장(3,200-2,700cm<sup>-1</sup>)에서 흡수되지 않은 성분, TCFE에 추출되지 않은 성분, 그리고 공기중의 입자상물질 등이 분석되지 않기 때문으로 판단된다. 또한 MWF에는 기유(base oil) 뿐만 아니라 20여 가지 이상의 첨가제가 들어가고 이들 성분조차도 공정의 요구도에 따라 복잡해지므로 현장에서 사용하는 MWF를 표준용액으로 선정하는 것은 매우 어렵다. 또한 현장에서 사용하는 각 MWF를 표준용액으로 사용하더라도 기계마다 사용하는 MWF가 다를 경우에는 주변기계에서 생긴 미스트도 채취되기 때문에 정확한 분석이 불가능하다. 표 1에서 보는 바와 같이 수용성 MWF의 FTIR에 의한 분석결과의 변이가 18.14로 매우 크다는 것도 이를 뒷받침하고 있다. 따라서 FTIR에 의한 수용성 MWF 미스트의 측정은 부적절한 것으로 판단된다.

한편, 37mm PVC필터에 의한 중량법이 IOM방법보다 유의하지는 않지만 약간 낮게 나타났는데, 이것은 IOM방법이 채취기와 필터무게를 모두 무게분석하는 것에 비해 37mm 카세트는 단지 필터만을 무게분석하므로 카세트 벽에 부착되는 입자상물질은 분석하지 못하기 때문이다. IOM에 의한 공기중 MWF의 측정은 37mm PVC필터보다 보다 높게 나타난다는 다른 연구들(Svenden 등, 1995; Wilsey 등, 1996)과 동일한 결과를 보였다.

따라서 공기중 MWF 미스트에 대한 측정은 IOM

이나 37mm PVC필터를 이용한 중량법을 권고한다. MWF를 취급하는 사업장에서 발생되는 MWF 미스트는 다른 입자상물질이나 미생물 등과 용결하므로 이를 종합적으로 검지할 수 있는 중량법이 가장 적절한 채취방법이라고 판단된다.

## 2) NIOSH #0500방법(중량법)의 신뢰성

공기중 MWF미스트의 측정방법 NIOSH #0500(37mm PVC필터를 이용한 중량법)의 신뢰성을 검토하였다. PVC필터 뒤에 활성탄판(400/200mg)을 장착하고 1시간, 2시간, 4시간 간격으로 채취하여 필터에 포집된 MWF가 전이(migration)되는가를 조사하였다. 채취시간을 구분하여 채취용량을 다르게 한 것은 접촉되는 공기양(채취공기량)에 따라 증발되는 정도가 차이가 있을 수 있다는 가설에 의한 것이다. 시료채취 시간(채취공기량)에 상관없이 총 48개 활성탄판에서 비극성증기가 검출되었다. 이것은 필터에 채취된 MWF가 활성탄판으로 전이되었다는 것을 의미하는 것이다. 활성탄판에서 검출된 증기는 필터에 채취된 MWF 미스트가 전이된 것이거나, 공기중에 증발된 MWF 증기가 채취된 것일 수 있으나 명확한 구분은 어렵고 모두 포함된 것으로 판단된다. McAney 등(1995), Leith 등(1996) 그리고 NIOSH(1996)의 연구에 의하면 중량법에 의한 공기중 MWF 미스트의 측정은 과소평가되는 것으로 보고되고 있어 본 연구결과와 일치한다(Menichini, 1986; McAney 등, 1995; Leith 등, 1996; NIOSH, 1996). 활성탄판에서 그림 1에서 보는 바와 같이 검출된 성분이 여러 가지 물질이 있었으나 구체적으로 어떤 성분인지 정량하지는 못했다. 검출된 성분의 대부분은 포화탄화수소계 물질일 것으로

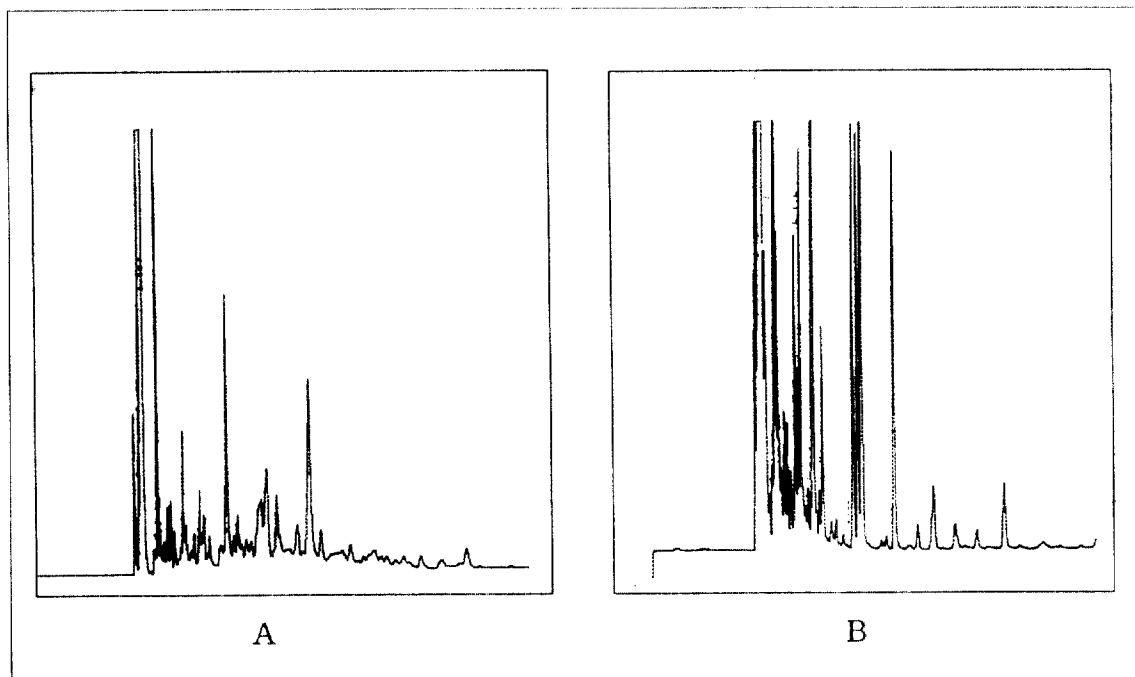


Fig. 1. Samples of Chromatogram of the Unidentified MWF Vapors Migrated into Charcoal Tube.

추정할 수 있으나 정확한 정량과 유해성분에 대한 정보를 제공하고, MWF의 전이되는 정도를 정량화하고 채취여재를 개발하는 연구가 매우 필요하다. 현재까지 공기중 MWF를 가장 정확하게 측정할 수 있는 것은 중량법이므로 이를 기본적으로 이용하도록 하고 사용하는 MWF의 종류별로 사용되는 첨가제 등을 철저히 파악하여 발생될 수 있는 유해인자들을 측정하는 것이 가장 바람직하다. 또한 중량법에 의해서 채취가 되지 않은 각종 증기형태의 화학물질에 대한 측정도 이루어져야 한다. 이러한 측정결과를 종합하여 노출정도나 대책의 효율성 등을 평가해야 한다. 단지 공기중의 MWF미스트만을 측정하는 것으로 근로자 건강은 보호될 수가 없다.

## 2. 공기중 MWF 미스트의 공학적인 관리

### 1) 공정밀폐(enclosure)와 국소배기장치 성능

MWF를 사용하는 탱크별로 공정의 밀폐정도와 국소배기장치의 성능에 따라 3그룹으로 구분하여 공기중 MWF 농도를 비교하였다(표 2참조). "A"그룹은 공정밀폐가 적정하고 국소배기장치의 설치가 적정한 경우이다. 자동공정이나 기계와 동시에 밀폐된 경우가 해당된다. "B"그룹은 기계와 동시에 밀폐가

되지 않았으나 꾸준한 관리로 밀폐가 비교적 양호하지만 국소배기장치의 배기덕트가 실내에 설치되어 있는 경우이다. "C"그룹은 밀폐도 불량하고 국소배기장치가 설치되지 않은 경우이다. 수용성 MWF를 사용하는 탱크에서는 총 108개 중에서 "B"그룹이 50.9%로 가장 많았고, 비수용성 MWF를 사용하는 총 143개 탱크에서도 "B"그룹이 49.0%로 가장 많이 나타났다. 즉, 국소배기장치의 배기덕트가 실내에 설치된 경우와 밀폐시설이 기계와 동시에 설치되지 않았지만 현장에서 충실한 관리를 하고 있는 경우가 많았다.

밀폐와 국소배기장치의 성능에 따라 공기중 MWF를 비교해본 결과(표 2참조), 수용성과 비수용성 MWF 모두에서 "A"와 "B"그룹간에는 큰 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 이것은 공기중 MWF가 증기를 포함하지 않는 입자상물질만을 측정한 결과이기 때문이다. 즉, 배기덕트가 실내에 설치된 경우("B" 그룹)는 국소배기장치의 성능이 불량하나 발생하는 MWF는 증기이므로 PVC필터에 의해서는 포집되지 않아 중량에 포함되지 않기 때문이다. 따라서 입자상물질인 경우에는 밀폐를 적정히 하여 노출을 줄일 수 있는 것으로 판단된다.

**Table 2.** Comparison of Airborne MWF Concentration by Efficiency of Enclosure and Local Exhaust Ventilation

group	water-soluble			water-insoluble		
	no. of sample(%)	GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD	no. of sample(%)	GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD
A	38(35.2)	0.30	1.64	44(30.8)	0.37	1.09
B	55(50.9)	0.34	1.95	70(49.0)	0.30	1.88
C	16(14.8)	0.53	2.76	29(20.3)	0.93	2.55
Total	108(100)	0.35	2.25	143(100)	0.40	2.45

한편 국소배기장치가 없고 밀폐가 미흡한 경우 ("C" 그룹)의 공기중 MWF농도는 수용성이 0.53 mg/m<sup>3</sup>이었고 비수용성은 0.93mg/m<sup>3</sup>으로서 "A"와 "B"그룹의 농도보다 유의하게 높았다(p=0.00001). 그러나 허용기준(5mg/m<sup>3</sup>) 보다는 낮았다. 이것은 양호한 작업환경이라고 하기보다는 PVC여과법에 의한 측정이 과소평가된 때문으로 판단된다(III항의 1 절 참조).

본 연구결과 공정의 밀폐가 공기중 MWF 미스트 발생에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 Hands(1997년) 등의 연구결과와 일치하였다(Hands 등, 1997). Hands(1997년) 등은 "기계가 설치되고 나서 밀폐조치와 국소배기장치를 설치한 경우"의 공기중 MWF 미스트 농도는 "기계설치와 동시에 국소배기장치를 설치한 경우"보다 훨씬 높았고 "전혀 설치하지 않은 경우"에 비해서는 별 차이가 없었다. 이것은 기계가 설치된 이후에 밀폐와 국소배기장치를 설치하고 관리를 소홀히 한 경우는 밀폐시설이 자주 이탈되거나 근로자가 떼어내고 작업을 하기 때문이다. 따라서 MWF가 취급되는 공정에서 가장 우선적이고 효과적인 공학적인 대책은 공정을 가능한 한 밀폐하는 것이고, 이러한 조치는 기계를 설치할 때 동시에 하는 것이 가장 바람직하다. 설치된 후에도 MWF가 취급되는 공정이나 기계별로 누출부위나 손상, 이탈, 제거되는 부위가 없는지 확인하고 현장관리자는 그 결과를 주기별로 기록하여야 한다. 공정을 신설하는 경우 기계와 동시에 밀폐시설을 하고 기계와 함께 관리하도록 조치해야 한다. 기계가 설치된 후에 밀폐조치를 한 경우는 공정을 운영하는 과정에서 밀폐장치가 탈락될 수 있고, 근로자의 작업과 조화를 이루지 못하는 등의 이유로 제거되는 경우도 있을 수 있는 등 관리적인 측면에서 어려운 점이 많으므로 MWF미스트 억제에 큰

효과를 기대하기가 어렵다.

## 2) 국소배기장치의 배기덕트 설치 위치

국소배기장치의 배기덕트의 설치위치는 총 9개소 중 4개소의 125개의 탱크에서(표 2의 "B"그룹 참조) 배기덕트가 실내에 설치되어 있었다. 그리고 3개소는 국소배기장치 설치 당시에는 배기덕트를 실내에 설치하였으나, 설치 후에 공정에 지장을 주고 작업환경이 악화되는 문제점이 발생되자 덕트를 실외로 연장하였으며, 나머지 2개소는 국소배기장치를 설치하지 않았다. 이러한 조사결과를 볼 때 MWF를 취급하는 사업장에서 국소배기장치의 배기덕트를 거의 모두 실내에 설치하였다고 할 수 있다. 설치업체는 국내업체가 거의 대부분이었고(D, E사), 일부는 수입한 기계에 국소배기장치가 부착되어 실내배기한 경우가 있었다. 이렇게 설치된 실내배기의 국소배기장치는 공정의 작업특성(작업범위, 작업횟수, 방법 등)이나 기계의 특성(기계의 크기, 가공의 특성 등)에 따라 정밀하게 설계한 것이 아니고 일률적으로 모터동력과 송풍량을 제품명에 따라 규격화(10, 15, 30m<sup>3</sup>/분) 하였고 모두 실내배기를 하도록 되어 있다. 설계사양(카탈로그)에서 실내배기를 하는 이유는 MWF를 100%제거하기 때문이라고 설명하였다. 이러한 주장은 MWF가 상온에서 휘발성이 아니기 때문에 집진기에 포집된 MWF도 증발하지 않을 것이라는 가정에 근거를 둔 것으로 판단된다. 그러나 MWF가 기계나 탱크 안에 있을 때는 액체상태로서 표면적이 작고 증발이 안되지만 이들이 공정과 작업으로 인해 공기중에 미스트로 발생되면 MWF 입자는 작아지고 표면적이 커지게 되며 이에 따라 증발은 쉽게 일어난다(그림 1 참조). McAney 등(1995년)은 집진기(mist collector)의 필터에 포집된 MWF가 일정시간이 지나면 증발되어 배기덕트를 통해서

작업장으로 순환되고 각종 입자상물질이나 미생물 등과 농축된다고 밝힌 바 있다(McAney 등; 1995년). 증발된 양은 필터에 포집된 양의 8.8%정도라고 한다. 이러한 연구에 따른 가정대로라면 실내에 설치된 MWF집진기가 100%제거효율을 가졌다 하더라도 일정량의 MWF미스트는 작업장내로 다시 증발되어 근로자에게 노출된다고 볼 수 있다. 따라서 MWF를 취급하는 공정에서 국소배기장치의 배기덕트를 실내에 설치하여 다시 작업장내로 배기할 경우 증기화된 MWF가 각종 먼지나 미생물 등과 응집·응결하여 건강상의 장애를 초래하는 악순환을 되풀이할 수 있다. 또한 규격화된 국소배기장치를 기계마다 설치할 경우 기계마다 주기적인 필터의 교환과 관리, 모타로 인한 소음, 복잡한 기계배치에 따른 안전상의 문제들이 수반되어 작업환경관리와 경제적인 손실을 야기할 수 있다.

### 3. MWF내의 발암물질에 대한 법적 관리

MWF에는 많은 화학물질이 포함되어 있다. 여기에는 MWF를 제조하는 과정에서 함유된 화학물질도 있고, 가공능률을 높이기 위해 인위적으로 첨가

되는 것도 있다. MWF는 많은 화학물질이 첨가된 복합화학물질 덩어리라고 할 수 있다. 선진외국에서는 MWF에 함유된 물질중 발암을 야기할 수 있는 물질인 PAH와 nitrosamines에 대한 규제는 철저히 하고 있다. 우리나라에서의 MWF에 대한 법적인 관리상태를 선진 외국과의 비교하여 그 문제점을 지적하고자 한다.

#### 1) 기유(base oil)의 정제방법과

##### PAH함량에 대한 규제

MWF는 기유와 각종 첨가제의 혼합이다. 기유는 원유(crude oil)를 정제하여 생성된 물질이다. IARC(The International Agency for Research on Cancer, IARC)는 기유를 정제하는 등급에 따라 발암성을 규정했다. I등급(vacuum distillates)은 단지 진공증류과정에 의한 정제만을 거친 것으로 인간에게 발암성을 나타내는 것이고, II등급에서 VIII등급의 오일 중에서 mildly hydrotreating, mildly acid-treating, mildly solvent-refined oil 등은 경도(mildly) 정제기유로서 동물실험에서 발암성을 나타냈다(NIOSH, 1996). 미국의 OSHA는 기

**Table 3.** Comparison of Act to Control the Carcinogenicity of Base Oil

기유의 종류	정제조건이나 종류	관 리		
		미 국	유 럽	일 본
미정제기유 (IARC에 의한 등급 I)	감압증류 기유	OSHA HCS (발암성표기)	EU의 Carc. Cat. I	발암성 표기
경도정제기유 (IARC에 의한 등급 II)	1. 수소화정제처리조건이 800 °F와 800psi 이하인 경우* 2. 용제추출 정제에 의한 파라핀계 기유의 점도지수가 76이하인 경우 3. IARC에 의해 발암성으로 기재 한 것**	OSHA HCS (발암성표기)	EU의Carc. Cat. II (DMSO 추출법에 의해 PAH 함량 3wt% 이상일 경우 발암성물질)	발암성 표기
고도정제기유		발암성없음		DMSO추출법 적용

\* 단, 상기 정제조건(800°F 이하 800psi이하)인 수소화 정제와 경도(mildly) 용매추출이 연속해서 이루어진 것은 제외

\*\* IARC Monograph vol.33 pp151-153

나프텐계 기유의 용제추출에 대해서는 발암성에 관해 다음과 같이 기술되어 있다.

경도용매추출기유 : 실험동물에 발암성 있다고 하는 충분한 증거가 있다.

고도용매추출기유 : 실험동물에 발암성 있다고 하는 증거가 없다.

- DMSO : Dimethyl sulfoxide

- HCS : Hazard Communication Standard

- EU Carc. Cat. 1/2 : Commission directive 94/69/EEC of 19 Dec. 1994

유의 정제방법 및 정제정도에 따라 발암성을 판정하여 HCS(Hazard Communication Standard, HCS)에 따라 사업주는 MSDS에 어떤 물질이 발암성이 있는지 명기하도록 하고 있다(NIOSH, 1996). 유럽은 IP-346법에 의거 DMSO 추출물이 3% 이상일 경우 발암성 물질로 labelling 의무를 부여하고 있고, 일본은 원래 OSHA의 기준을 적용하여 오고 있었으나 1997년 4월 1일부터 OSHA 기준과 함께 유럽의 기준을 함께 적용하여 둘 중 어느 하나에 해당하더라도 발암성 물질로 표기하도록 규제를 강화하였다(일본석유연맹, 1996)

우리나라는 기유의 정제방법에 따른 발암성과 MWF 중의 PAH(Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, PAH)에 대한 규제기준도 없고, MSDS에 명기할 내용을 구체적으로 규정하고 있지 않다. 단지 KS에서 점도지수 93이상으로 공정에 따른 기준만을 두고 있으나(한국유화검사시험소, 1986) 정제수준에 따른 발암성 여부를 평가할 수 있는 점도지수 76과는 큰 차이가 있어 근로자 건강보호를 위한 기준으로 볼 수 없다.

현재 우리나라에서 기유를 생산하는 업체는 Y와 S 회사로서 원유를 정제하는 기술은 hydrotreating과 hydrocracking으로 IARC의 등급 I은 아니었으며, 정제정도가 경도(mildly)인지 고도(severely)인지는 확인할 수 없었다. 정제정도를 구분할 수 있는 공정조건(압력 800psi, 온도 800F°(426℃))에서 압력은 적정하나 온도조건은 명확히 결론을 내리기가 어려웠기 때문이다. 기유를 사용하는 MWF 제조업체, S검 사소 등에서 이와 관련된 관리를 하고 있지 않고 있고 PAH함유량이 명기되어 있지 않으므로 기유의 발암성에 대한 관리는 되고 있지 않은 것으로 볼 수 있다. 따라서 기유를 생산하는 업체의 공정조건, 정제의 정도를 명확히 조사하고 이를 근거로 법적인 규제 내용을 설정하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

## 2) Nitrosamines

나이트로스아민은 아질산염과 아민류가 반응하여 생성되는 발암물질이다. 아민류는 수용성 MWF에서 pH향상제나 방청성능을 증가시키기 위해 첨가하는 물질이다. 나이트로스아민의 생성을 억제하고 감소시키기 위해서 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)은 tri-(TEA), di-(DEA),

monoethanol amine(MA)을 함유하는 MWF에 nitrosating group의 첨가를 금지하였다. 우리나라에서도 KS규격을 통해 아질산염과 아민류가 동시에 함유된 제품(W3종)은 생산과 판매를 금지하고 있다(한국산업안전공단, 1991 ; 한국유화검사시험소, 1986). 그러나 이와 관련된 관리는 하고 있지 않은 상태였다. Challis등에 따르면 아질산염이 첨가되지 않더라도 아민류가 질소산화물에 의해 nitrosating group으로 전환되어 나이트로스아민이 생성되며, 이러한 생성은 포름알데하이드, paraformaldehyde 등이 있을 때 가속화된다고 주장하였다(NIOSH, 1996).

나이트로스아민은 발암성물질이고 허용기준은 설정되어 있지 않기 때문에 가능하면 노출되지 않도록 해야 한다. 앞으로 수용성 MWF를 사용하는 사업장을 대상으로 나이트로스아민의 노출농도와 발생원인을 조사하고 근원적인 노출을 줄일 수 있는 법적인 기준을 설정해야 한다.

## 3) MWF의 MSDS

MWF에 대한 MSDS는 매우 불충분하다. 기유와 첨가제에 대한 구체적인 정보가 없고 단지 개략적인 함량만이 제시되어 있다. 총 48개 MWF에 대한 MSDS를 조사해본 결과, 비수용성 MWF에서 PAH의 함량정도, 기유의 정제방법, 점도지수, 발암성 등에 대한 정보가 전혀 없었다. 선진외국의 경우에는 이와 관련된 정보를 의무화하고 있다. 우리나라는 생산업체의 기밀이라는 이유로 자세한 정보를 제공하고 있지 않고 있고 사용하는 사업장에서도 MWF에 대한 구체적인 정보를 요구하지도 않고 있어 아무런 규제 없이 공급되고 있는 실정이다. 사업장에 비치된 MWF의 MSDS만 보면 건강상의 문제가 거의 없는 것처럼 보인다. 현재 MWF의 MSDS는 근로자 건강보호나 사업장의 관리에 전혀 도움을 주지 못한다. 정부는 구체적으로 근로자 알권리를 충족시키는 실질적인 정보가 제공되도록 하고, 사업장에서는 MWF에 대한 구체적인 정보를 요구할 수 있는 전문성을 배양하는 것이 중요하다.

## 결 론

본 연구는 공기중 MWF미스트의 측정방법에 대한 정확성, MWF노출을 줄이기 위한 공학적인 대



책, 법적인 규제안을 제시하기 위하여 실시하였다. 공기중 MWF미스트의 측정은 PVC중량법(NIOSH #0500방법)이 FTIR에 의한 방법(NIOSH #5026방법)보다는 유의하게 높게 조사되었으며, 이는 FTIR에 의한 방법의 경우 MWF 중 일부 첨가제가 분석이 되지 못하고, 표준용액의 설정에 어려움이 있기 때문에 PVC중량법이 보다 편리하고 신뢰성 있는 측정방법인 것으로 판단된다. 그러나 PVC중량법(NIOSH #0500방법) 역시 필터에 채취된 MWF미스트가 전이되어 과소평가되므로, 다른 측정인자와 변수들을 비교하여 평가하는 것이 필요하다. MWF 발생을 줄이기 위해서는 기계의 설치와 동시에 밀폐와 국소배기장치를 설치하는 것이 가장 효과적이었다. 또한 집진기(mist collector)에 여과된 MWF미스트는 증기화되어 순환되므로 국소배기장치의 배기는 실외로 해야 한다. MWF에 함유되어 있는 발암성물질을 근원적으로 관리하여 공급되도록 하기 위하여 선진외국과 마찬가지로 PAH나 방향족화합물의 함유정도, 원유에 대한 정제방법과 조건, 그리고 점도지수 등에 대한 규제를 해야 할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

동국대학교 의과대학 예방의학교실 : 직업성피부질환에 대한 관리대책수립을 위한 연구(1995).

박병찬, 이준영, 김형욱, 김정원 : 철삭유사용으로 인한 피부질환에 관한 역학조사. 대한 피부과학회지. 29(3): 298-303(1991)

은희철, 오칠환, 계영철 : 산업장 근로자에서 직업성피부질환에 관한 연구. 대한의학협회지. 25(6):552-560(1982).

은희철 : 직업성 접촉피부염. 대한의학협회지. 27(8): 710-714(1984).

은희철 : 직업성피부질환의 관리. 대한의학협회지. 36(4):445-450(1993).

株式會社 韓國하루톤 技術部 : '切削. 研削油劑-選擇과 適用', 서울, 1994, pp. 50-66

韓國油化技術試驗所 : '切削油劑와 研削油劑', 서울, 1988, pp.122-139

株式會社 韓國하루톤 技術部 : '윤활제의 개요', pp. 6-17

한국산업안전공단 : 광물유에 의한 직업성 피부질환 예방대책(1991)

ACGIH : Documentation of The Threshold Limit Values - For Chemical Substances in the Work Environment, 4th Ed. (1986)

ACGIH : Threshold Limit Value(TLVs) for Chemical Substance and Physical Agents and Biological Exposure Indices(BEIs). ACGIH. Cincinnati, Ohio(1997).

ACGIH : Notice of Intended Change-Oil Mist. Mineral. Appl. Occup. Environ. Hyg. 8(5) pp:494-501(1993)

Cooper, S. J., Peter C. R., David L. : Evaporation of Mineral Oil in a Mist Collector. Appl. Occup. Environ. Hyg. 11(10)(1996)

Eisen, E. A., Paige E. T., Richard R. M., and Thomas J. Smith : Mortality Studies of Machining Fluid Exposure in the Automobile Industry I : A Standardized Mortality Ratio Analysis. Am. J. Ind. Med. 22:809-824(1992)

Eisen, E. A., Paige E. T., Marilyn F. H., Richard R. M., Thomas J. S., and Susan R. W. : Mortality Studies of Machining Fluid Exposure in the Automobile Industry III : A Case-control Study of Larynx Cancer. Am. J. Ind. Med. 26:185-202(1994)

Hands, D., M. J. Sheehan, B. Wong, H. B. Lick : Comparison of Metalworking Fluid Mist Exposure from Machining with Different Levels of Machine Enclosure. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57(12):1173-1178(1996)

Hands, D., M.J. Sheehan, B.W. Henry, and B. Lick : Comparison of Metalworking Fluid Mist Exposures from Machining with Different Levels of Machine Enclosure. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57:1173-1178(1996)

Leith, D., F.A. Leith, and M.G. Boundy : Laboratory Measurements of Oil Mist Concentrations Using Filters and an Electrostatic Precipitator. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57:1137-1141(1996)

Leith, D., P.C. Raynor, M.G. Boundy, and S.J. Cooper : Performance of Industrial Equipment to Collect Coolant Mist. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57:1142-1148(1996)

McAney, J. J., D. Leith, and M.G. Boundy : Volatilization of mineral oil mist collected on sampling filters. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 51:783-787(1995)

Menichini, E. : Sampling and analytical methods for determining oil mist concentrations. Ann. Occupa. Hyg. 30(3):336-348(1986)

Notice of intended change-oil mist. mineral. Appl. Occup. Environ. Hyg. 8(5) :494-500(1993)

NIOSH : Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposures to Metal Working Fluids. Feb. 23. NIOSH. Cincinnati, Ohio(1996)

NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) : In 'NIOSH Manual of Analytical Methods', 4th edition, DHEW(NIOSH) Publication No. 94-113, NIOSH, Cincinnati, Ohio(1994)

Raynor, P. C., S. Cooper, and D. Leith: Evaporation of Polydisperse Multicomponent Oil Droplets. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57:1128-1136(1996)

Sheehan, M. J. : An Update on Metalworking Fluid

Aerosol, the Synergist,pp. 29-31(1996)

Svendsen, K., O. Bjorseth, and E. Borresen: Sampling petroleum oil mist and vapor; comparison of method. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57:537-541(1996)

Wilsey, P.W., J.H. Vincent, M.J. Bishop, L.M. Brosseau, and I.A. Greaves: Exposures to Inhalable and "Total" Oil Mist Aerosol by Metal Machining Shop Workers. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57:1149-1153(1996)