

우리나라에서 사용하는 광물유(금속가공유)의 유해특성과
관리대책에 관한 연구
— 수용성 금속가공유의 유해특성과 관리대책 —

서울대학교 보건대학원, 한국방송대학교*

백남원 · 박동욱* · 윤충식 · 김승원 · 김신범 · 김귀숙

— Abstract —

Control and Investigation for Hazardous Characteristics of
Metalworking Fluids Used in Korea
— Control and Hazardous Characteristics of Soluble MWF

Nam-won Paik, Dong-wook Park*, Chung-sik Yoon,
Seung-won Kim, Shin-bum Kim and Kwi-suk Kim

Seoul National University, School of Public Health, Seoul, Korea
Korea National Open University, Department of Environmental Health, Seoul, Korea*

The objectives of this study were both to evaluate the level and correlations of hazardous agents and to suggest measures to control industrial hygiene problems caused by using water-soluble metalworking fluids(MWF). Geometric mean of formaldehyde(0.039 ppm) was higher than criteria of NIOSH(0.016 ppm). Formaldehyde, originally existed in the biocide, is released and used to kill microbes in soluble MWF. Microbe concentrations were above 10^4 No./mL in 14 MWF tanks among 20 tanks surveyed. Nitrosamines that is formed by reaction of nitrosating group and amines was detected to 18.4-47.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Formaldehyde concentration was low when microbes were abundant($r=-0.67$, $p=0.011$), and high when open tank area was wide($r=0.75$, $p=0.012$). The significant relationship between pH and microbes($r=-0.76$, $p=0.003$) was also observed. The predominant bacteria species in MWF were *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Comamonas testosteroni*, *Acinetobacter haemolyticus*, *Bordetella bronchiseptica* in order. Therefore, hazardous agents emitted by using water-soluble MWF seems to be correlated microbial growth. In order to minimize worker's exposure to several hazardous agents by an water-soluble MWF and to increase productivity, microbial growth must be controlled to the lowest level as possible. Administrative control as well as engineering control must comprehensively be applied to control microbe's growth in water-soluble MWF.

Key Words : Water-soluble MWF, Formaldehyde, Nitrosamines

I. 서 론

금속가공유(metalworking fluids, MWF)는 산업현장에서 절삭유, 연삭유, 광물유 등으로 불린다. 금속가공유는 원유(crude oil)를 정제한 기유에다 공정특성에 맞는 첨가제를 혼합한 것으로 종류는 비수용성(straight or insoluble oil), 수용성(water-soluble oil), 합성(synthetic), 그리고 준합성(semi-synthetic) 금속가공유가 있다. KS규격에서는 비수용성을 1종과 2종, 그리고 수용성은 W1종과 W2종의 여러 종류(호)로 구분하고 있다. 단순히 기유와 첨가제에다 물을 첨가하느냐 하지 않느냐에 따라 비수용성과 수용성 금속가공유로 구분하기도 하며 여기에서도 이 구분을 따른다. 비수용성 금속가공유의 경우, 건강상의 유해특성은 기유 중에 함유된 발암성물질과 첨가제가 주된 관심이다. 수용성 금속가공유는 기유와 첨가제에 물을 일정 비율로 첨가하기 때문에 미생물이 성장할 수 있는 좋은 조건이 되고 이와 관련된 유해특성이 문제가 된다. 수용성 금속가공유를 사용하는 공정에서는 항상 미생물이 성장하는 조건이 조성되고 과다하게 번식할 경우 금속가공유의 수명을 감소시키고, 공구에 손상을 주며, 판을 막는 등 공정에 지장을 주기 때문에 이를 억제하기 위한 여러 첨가제의 투입 등 각종 대책이 요구된다. 이러한 복합적인 요인들에 의해 비수용성 금속가공유와는 다른 유해인자들이 발생된다.

현재, 금속가공유의 허용기준은 금속가공유 종류에 상관없이 단지 공기중 금속가공유 미스트로서 미국의 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA), 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH), 그리고 정부산업위생전문가협회(American Conference of Government Industrial Hygienist, ACGIH) 모두 5 mg/m^3 으로 설정하고 있다. 많은 역학조사와 건강상의 장애를 초래한 사례들에 의하면, 현재 설정된 허용기준에서는 금속가공유로 인한 건강상의 장애를 예방하는 것이 효과가 없고 이하의 농도에서도 암과 비악성 폐질환 및 피부염이 발생된다고 주장하고 있다(Acquavella 등, 1995; Kennedy 등, 1989; Kennedy 등, 1989; Gannon 등, 1991; Eisen

등, 1994; Park 등, 1994; Raynor 등, 1996). 또한, Kriebel 등은 공기중 금속가공유 미스트의 농도가 0.2 mg/m^3 이하에서도 호흡기계질환이 발생할 수 있으므로 허용기준을 0.2 mg/m^3 으로 낮출 것을 주장하였다(Kriebel 등, 1994). 최근에 NIOSH는 총분진측정방법에 의해 공기중 금속가공유 미스트에 대한 허용기준을 0.5 mg/m^3 으로 제안하였다(NIOSH, 1996). 한편, OSHA는 PPP(Priority Planning Process) 보고서를 통해서 금속가공유를 조치가 요구되는 유해물질로 분류하여 허용기준 제·개정(Rulemaking)의 우선순위에 포함시켜 빠른 시일 내에 금속가공유에 대한 관리방안을 제시할 것으로 판단된다.

현재 설정된 허용기준에서 건강상의 장애가 계속해서 나타나는 이유는 금속가공유 종류별로 다양한 첨가제에 의한 영향이 평가되지 않고 있고 공기중 미생물에 대한 농도와 증기에 대한 허용기준이 마련되어 있지 않기 때문이다. 금속가공유는 수많은 화학물질이 혼합된 것이기 때문에 단순히 공기중 금속가공유 미스트만을 관리해서는 건강상의 영향이 예방될 수 없다.

선진국의 경우 수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 생산성 향상을 위한 측면에서 미생물의 성장을 억제하기 위한 연구가 많이 진행되었다. 주로 방부제나 미생물의 성장을 지연시키는 첨가제의 개발 등인데 이러한 물질은 근로자의 건강상의 장애를 초래하는 유해성을 가지고 있다. 대표적인 유해물질로서는 pH 상승제나 방청성을 증가시키기 위해 첨가되는 amine류에 의해 발생하는 나이트로사민 그리고 포름알데하이드 방출형 방부제의 사용에 의한 포름알데하이드를 들 수 있다. 이들은 모두 발암물질이다. 선진외국은 금속가공유에 첨가되거나 존재하는 발암성물질로 인한 건강상의 영향을 최소화하기 위해 규제와 투명화된 정보를 제공하도록 의무화함으로써 적절한 법적인 관리를 하고 있다.

우리나라의 경우 수용성 금속가공유의 사용실태조사는 물론이고 관련된 연구는 거의 없다. 수용성 금속가공유에 혼합되는 각종 첨가제 등이 어떤 종류 또는 상품으로 유통되고 있는지에 대한 정보조차도 없다. 단지 KS에서 수용성 금속가공유를 사용할 때 나이트로사민의 생성을 억제하기 위해 아질산염과 아민류의 혼합성분제품(W3종)을 사용하지 못하게

하고 있으나(한국유화시험연구소, 1988) 이행여부에 대한 관리는 되지 않고 있다. 금속가공유의 생산과 공급과정에서 근로자에게 건강상의 장애를 줄 수 있는 유해물질에 대한 법적인 규제가 전혀 없고, 각종 첨가제에 대한 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheets, MSDS)도 투명화되어 있지 못해 금속가공유의 사용으로 인한 근원적인 유해성은 사전에 관리되지 못하고 있는 상태이다. 이러한 이유로 금속가공유를 취급하는 사업장에서는 단지 공기중 금속가공유 미스트 농도만을 측정하고 관리하고 있어 보다 유해한 발암성물질에 대한 노출은 평가되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 수용성 금속가공유를 사용할 때 발생하는 유해인자에 대한 평가와 상판정도를 규명하고 이를 근거로 관리대책을 제시하고자 한다. 본 연구결과는 금속가공유에 대한 법적인 관리기준을 설정하고 금속가공유에 대한 정밀한 연구를 수행하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 조사대상 및 방법

1. 금속가공유 제조회사

금속가공유의 제조와 관련된 공급업체를 직접 방문하여 각종 설문문을 통해 조사하였다. 대상은 금속가공유의 원료가 되는 기유제조회사 2개소, 기유와 각종 첨가제를 혼합하여 각종 금속가공유를 생산하거나 수입하여 사업장으로 공급하는 회사 2개소였다. 그리고 각종 금속가공유의 성분이나 KS규격을 검사하는 연구소도 조사하였다. 주요 조사내용은 첨가제의 성분과 이에 대한 법적인 규제에 대한 준수 여부, 상품명, MSDS에 대한 작성 그리고 유통체계 등이었다.

2. 시료채취 및 분석

1) pH와 온도

pH와 온도는 사용중인 수용성 금속가공유 채취시 측정하였다. pH는 운반도중에도 미생물의 성장이나 화학적 반응 등에 의해 변할 수 있으므로 현장에서 pH meter(Fisher Scientific, Accumet® Mini pH meter Model 955)로 측정하였다.

2) 포름알데하이드(formaldehyde, HCHO)

공기중 포름알데하이드는 수용성 금속가공유를 사용하는 공정에서 Passive Bubbler™(SKC Formaldehyde monitoring kit, 1992)를 이용하여 측정하였다. 각 passive bubbler에 증류수 5 mL를 넣고 시약 A(MBTH: 3-Methyl-2-Benzothiazolinone Hydrázone Hydrochloride)를 첨가하고 polytetrafluoromethylene membrane-faced Knudsen diffusion disk와 마개를 닫은 후 채취하였다. 채취 후에는 시약 B(1.6% sulfamic acid, 0.6% ferric chloride) 1 mL를 가하고 15분간 방치한 후 colorimeter로 흡광도를 626 nm부근에서 측정하여 계산하였다. 포름알데하이드의 채취는 Knudsen 확산 디스크에 의해 정량적으로 조절된다(SKC, 1997).

3) 나이트로소아민(nitrosamines)

공기중 나이트로소아민은 수용성 금속가공유를 사용하는 일부 공정에서만 측정하였다. 공기중 나이트로소아민은 NIOSH #2522방법에서 추천한 Thermosorb/N™ sampler로 채취한 후 질량분석기(model HP 5971)로 분석하였다.

4) 황화수소(hydrogen sulfide, H₂S)

공기중의 황화수소는 수용성 금속가공유를 사용하는 곳에서 측정하였다. NIOSH #6013방법에 따라 PTFE필터로 먼지를 제거한 다음 활성탄관(400/200 mg, coconut shell charcoal)으로 채취한 후 전처리과정을 거쳐 이온크로마토그래피(Ion Chromatography, IC)의 전도도검출기(conductivity detector)로 분석하였다(NIOSH, 1994).

5) 수용성 금속가공유 벌크시료에서 미생물 농도와 종류

미생물농도와 그 종류는 수용성 금속가공유를 사용하는 기계의 금속가공유 탱크에서 주로 측정하였다. 미생물 농도는 SANI-CHECK®(BIOSAN, SANI-CHECK® BF)로 측정하였다. Kit의 뚜껑을 열고 배지 끝까지 수용성 금속가공유에 2-3초간 담근 후 다시 꺼내어 흘러내리는 금속가공유를 종이수건 등으로 적셔 제거하였다. 마개를 닫은 후 바로 세워 25-30℃에서 박테리아는 24시간 동안, 곰팡이류는 5일 동안 방치하여 미생물이 자라도록 하였다.

배지판에 자란 미생물이 배지와 다른 색으로 나타나는 밀도를 conversion chart와 비교하여 농도를 결정하였다. 검지할 수 있는 농도의 범위는 박테리아가 10^3 - 10^7 개체/mL, 곰팡이류가 10^1 - 10^5 개체/mL이다.

한편으로 미생물의 배지에 배양하여 집락수를 세고 균을 동정하였다. 멸균된 유리병으로 수용성 금속가공유를 채취하여 4℃에서 실험실로 운반하여 7일간 보관한 후 5 mL을 10^3 - 10^5 배로 희석하여 0.1 mL을 배지에 접종하였다. SAP(Sabouraud Agar Plate)배지와 BAP(Blood Agar Plate)배지가 각각 장내세균과 비장내세균 배양을 위해 사용되었으며 BAP는 35℃에서 SAP는 25℃에서 48시간 동안 배양하였다. 배양된 미생물의 집락수를 세고, 각 집락의 균을 다시 5-7일간 배양하여 균의 종류를 동정하였다. 균은 우선 자동화된 기기(Vitek GNI Card, bioMerieux, Hazelwood, Mo)를 사용하여 동정하고 여기서 동정되지 않는 것은 상용 키트(API 20NE, Analytab Products, Plainview, N.Y.)를 이용하여 동정하였다.

6) 오일 미스트 측정

오일 미스트는 일반 먼지와 같은 총분진의 측정법(NIOSH Method NO. 0500)을 사용하였다. 공경 5.0μm, 직경 37 mm PVC 필터를 무게를 재기 하루 전 건조기에 넣어 수분평형(conditioning)시킨 후 무게를 재어 카세트를 조립하였다. 2 L/분 전후로 맞춘 개인용 펌프로 시료를 채취하여 다시 하루동안 수분평형시켰다. 무게를 하루간격으로 세 번 재어 평균값으로 농도를 계산하였고 공시료로 보정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수용성 금속가공유에서 발생하는 유해인자들의 평가 및 상관

1) 평가

수용성 금속가공유를 사용하는 공정에서 발생될 수 있는 공기중 포름알데하이드, 황화수소, 나이트로스아민과 수용성 금속가공유 벌크시료에서 온도, pH, 미생물 농도를 측정하였다(Table 1 참조).

온도는 27-36.5℃로 미생물이 성장하기에 적정하였다. 공정의 가공열로 인해 수용성 금속가공유의 온도는 미생물이 성장하기에 적정하게 유지된다. pH는 7.77-8.81로 일반적으로 현장에서 미생물의 과다번식에 대한 지표로 사용되는 pH 9.0과 비교할 때 미생물이 과다번식 상태인 것으로 나타났다. 미생물 농도를 보면 총 20개 탱크에서 14개가 10^3 개체/mL 이상으로 검출되었다. 탱크에서의 pH, 미생물의 농도를 보면 미생물이 과다번식된 상태이고 탱크의 관리에 미흡한 상태로 평가할 수 있다. 포름알데하이드의 기하평균농도는 0.039 ppm으로 NIOSH의 허용기준 0.016 ppm보다 높았다. 포름알데하이드가 발생하는 이유는 포름알데하이드 방출형 방부제를 사용하기 때문이다. 즉, 미생물이 과다하게 번식하면 pH는 낮아지고 이에 따라 방부제에서 포름알데하이드가 수용성 금속가공유로 방출되어 공기중으로 발생된다. 황화수소는 모든 시료에서 과다(breakthrough)가 일어난 것으로 보아 시료의 손실이 있었다. 본 조사에서 채취한 유량은 0.7-1.25 L/분으로 400 L정도로써 고용량을 채취하였다. 이러한 채취조건은 그 동안 수용성 금속가공유

Table 1. Measured Items in Metalworking Process

Item	No. of Sample	Range	GM	GSD	remarks
Temperature	18	21.5-36.5(℃)	-	-	
pH	24	7.77-8.81	-	-	
Microbes	20	0- 10^7 (No./mL)	-	-	
Formaldehyde	79	0.013-0.163(ppm)	0.039(ppm)	1.59	
Hydrogen sulfide	23	0-0.224(ppm)	0.131(ppm)	2.46	loss by breakthrough
Nitrosamines	15	18.4-47.1($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	26.1($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	1.51*	
Oil Mist	26	0.19-0.79(mg/m ³)	0.38(mg/m ³)	1.51	

* 4 samples detected in 15 samples were calculated.

를 취급하는 사업장에서 황화수소에 대한 측정결과가 없어 적은 양이 발생될 것으로 판단하여 선정된 채취전략이었다. 수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 황화수소의 채취전략은 저유량(0.5 L/분)으로 여러 번에 나누어서 채취하되 채취 유량은 20 L 정도를 채취하는 것이 바람직하다.

수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 발생될 수 있는 포름알데하이드, 황화수소, 미생물 등을 관리하기 위해서는 무엇보다 미생물의 성장을 근원적으로 억제해야 한다. 그러나, 미생물의 성장을 관리한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 탱크에서 미생물을 관리하는 가장 일반적인 지표는 pH이다. pH가 8.5 이하로 떨어지면 pH 향상제인 아민류를 첨가하거나 방부제를 사용한다. 아민류를 첨가할 경우 나이트로스아민의 발생을 초래할 수 있고, 방부제를 첨가할 경우 미생물의 사체를 양산하고 이들이 발산하는

endotoxin이 근로자에게 건강상의 영향을 줄 수 있다. 탱크에서 미생물을 관리한다는 것은 한 두 가지 조치로 완벽하게 될 수는 없다. 따라서 수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 미생물 성장을 억제하기 위해서는 많은 관심을 기울이지 않으면 안된다.

2) 상관

포름알데하이드, 황화수소, pH, 미생물의 농도와 다른 영향인자들(공기중 금속가공유 미스트 농도, 탱크의 면적, 개방정도, 표면적 등)간의 관계를 분석하였다. 항목별로 유의한 관계모델을 Table 2에 정리했다. pH와 미생물의 농도($r=-0.76$, $p=0.003$), 탱크의 개방면적과 포름알데하이드 농도($r=0.75$, $p=0.012$), 미생물과 포름알데하이드 농도($r=-0.67$, $p=0.011$)간에 유의한 상관관계를 볼 수 있었다(Fig. 1과 2 참조). 그러나 포름알데하이드와 황화수소, 공

Table 2. Relationship between Formaldehyde and Microbes, pH, and Open Tank Area

$\text{HCHO} = -0.21 + 0.029 \times \text{pH} \quad (n=139, p=0.0011, r=0.074)$
$\text{HCHO} = 0.069 - 0.009 \times \log_{10}(\text{No. of microbes}) \quad (n=13, p=0.011, r=-0.67)$
$\log_{10}(\text{No. of microbes}) = 53.65 - 6.302 \times \text{pH} \quad (n=13, p=0.003, r=-0.76)$
$\text{HCHO} = 0.041 + 8.78 \times 10^{-6} \times \text{Tank Area}(\text{cm}^2) \quad (n=10, p=0.012, r=0.75)$

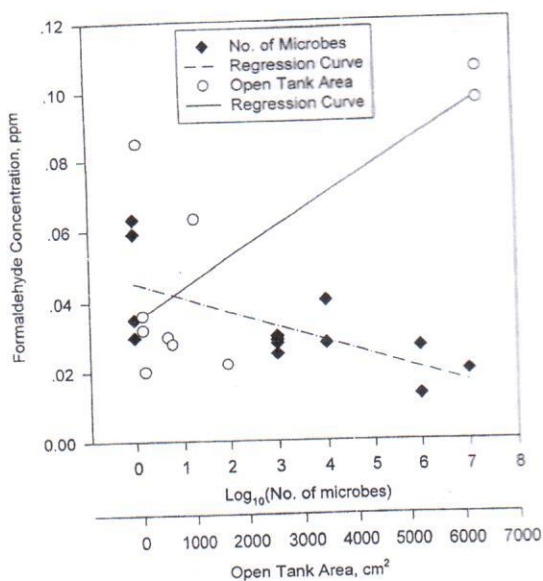


Fig. 1. Relationship between Formaldehyde and Microbes, Open Tank Area.

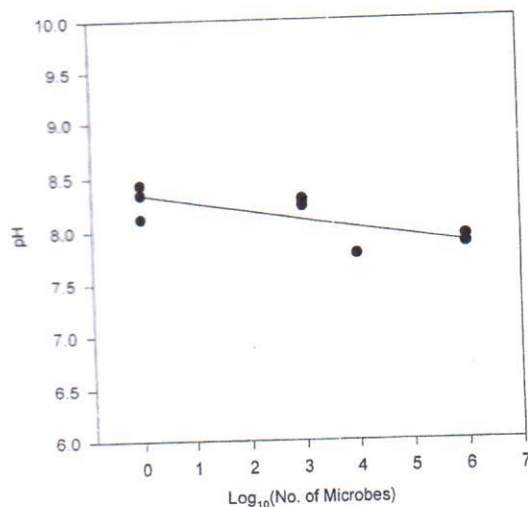


Fig. 2. Relationship between Microbes and pH.

기중 금속가공유농도, pH와의 관계는 상관이 없었다. 이것은 황화수소와 공기중 금속가공유농도의 자료가 정확치 못하기 때문으로 판단된다. 유의한 상관을 보인 변수들을 보면, 포름알데하이드 방출형 방부제가 미생물 억제작용으로 사용되어 농도가 낮아지면 미생물이 증식하게 되고 pH가 떨어지게 되는 일련의 과정과 일치함을 알 수 있다. 포름알데하이드의 발생에 영향을 미치는 변수별로 보다 정밀한 측정에 의한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 수용성 금속가공유를 사용하는 공정에서는 포름알데하이드, 황화수소, pH, 온도 등이 탱크에서 미생물의 성장과 깊은 관련이 있는 것으로 조사되었다. 탱크에서 미생물의 생장이 과다하게 되면 근로자에게 건강상의 장해를 초래한 것은 물론, 방청성이 저하되고, 절삭·연삭에 대한 성능이 저하되고, 공구가 파손되는 등의 공정에 지장을 초래하는 악순환이 계속된다(한국유화검사시험소, 1986; NIOSH, 1996).

본 연구결과를 볼 때 수용성 금속가공유에서 발생하는 유해인자를 관리하기 위해서는 공학적인 시설(탱크의 밀폐 등)은 물론이고 pH, 방부제의 적절한 사용에 대한 복합적인 관리가 현장에서 수시로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2. 수용성 금속가공유별크시료에서 미생물의 종류

4개 공장에서 채취한 총 94개의 별크시료 중 28개에서 균이 자랐다. 동정된 균들은 동정된 빈도에 따라 분류하면 Table 3과 같다.

가장 빈번하게 발견된 균은 *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Comamonas testosteroni*, *Acinetobacter haemolyticus*, *Bordetella bronchiseptica* 순이었다. 14개의 시료에서 19개의 colony가 이 연구에서 사용한 방법으로 동정되지 않았다. 금속가공유 탱크의 바닥과 표면에서 시료를 각각 채취한 경우 둘 모두에서 같은 균이 동정되었다. 금속가공유 원액에서는 균이 분리되지 않았고 희석수에서 균이 분리된 경우가 있었다. 사용된 두 개의 배지 중 대부분의 균이 BAP 배지에서만 자랐다. 배양된 균의 농도는 10^3 - 10^7 개체/mL의 범위에 있었다.

Bennett(1972)의 연구에 의하면 발견되는 균은 대부분 *Pseudomonas* spp.와 *Desulfovibrio* spp.이었다. Rossmore(1981)의 연구에서도 *Pseudomonas* spp.가 가장 빈번하게 발견되었지만

그중 *P. stutzeri*나 *P. fluorescens*는 빈도가 낮은 편이었고 *P. aeruginosa*가 가장 빈도가 높았다. 또한, *Bacillus* spp.도 빈도가 낮은 편이었으며 나머지 세 가지 균의 경우는 동정되지 않았다. 빈도가 낮은 나머지 균의 경우는 Rossmore의 연구에서도 빈도가 낮았다. Inger 등(1989)의 연구에서는 *Pseudomonas* spp., *Flavobacterium* spp., *Streptococcus* spp., *Shewanella putrefaciens* 등이 빈번하게 발견되었다.

3. 수용성 금속가공유에 대한 법적 관리

1) Nitrosamines의 발생

나이트로소아민은 아질산염과 아민류가 반응하여 생성되는 발암물질이다. 아민류는 수용성 금속가공유에서 pH 항상제나 방청성능을 증가시키기 위해 첨가하는 물질이다. 나이트로소아민의 생성을 억제하고 감소시키기 위해서 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)은 tri-(TEA), di-(DEA), monoethanol amine(MA)을 함유하는 금속가공유에 nitrosating group의 첨가를 금지하였다. 우리나라에서도 KS규격을 통해 아질산염과 아민류가 동시에 함유된 제품(W3종)은 생산과 판매를 금지하고 있다(한국유화검사시험소,

Table 3. Microbes in MWF and Comparison with Other Studies(Rossmore, 1981; Inger 등, 1989)

Species	Frequency	Other Studies
<i>Acinetobacter</i> spp.	+++	+
<i>Bacillus</i> spp.	+++	+
<i>Bordetella bronchiseptica</i>	+++	
<i>Comamonas testosteroni</i>	+++	
<i>Pseudomonas</i> spp.	+++	+++
<i>Enterobacter aminogenus</i>	++	+
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	++	
CDC group EF-4	+	
CDC group IVC-2	+	
CDC group NC-2	+	
<i>Corynebacterium</i> spp.	+	+
<i>Moraxella</i> spp.	+	+
<i>Ochrobactrum anthropi</i>	+	
<i>Oligella urthralis</i>	+	
<i>Streptococcus uberis</i>	+	+

+ : low ++: moderate +++: high

1986). 그러나 이러한 규제가 시행되고 있는지 확인하거나 관리는 하고 있지 않은 상태였다. Challis 등에 따르면 아질산염이 첨가되지 않더라도 아민류가 질소산화물에 의해 nitrosating group으로 전환되어 나이트로소아민이 생성되며, 이러한 생성은 포름알데하이드, paraformaldehyde 등이 있을 때 가속화된다고 주장하였다(NIOSH, 1996).

본 연구에서는 일부의 공정만을 대상으로 나이트로소아민을 측정 한 결과 4개 시료에서 18.4-47.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위의 나이트로소아민이 검출되었다. 현재 나이트로소아민은 발암성물질이고 허용기준은 설정되어 있지 않기 때문에 가능하면 노출되지 않도록 해야 한다. 앞으로 수용성 금속가공유를 사용하는 사업장을 대상으로 나이트로소아민의 노출농도와 발생원인을 조사하고 근원적인 노출을 줄일 수 있는 법적인 기준을 설정해야 한다.

2) 금속가공유의 MSDS

금속가공유에 대한 MSDS는 매우 불충분하다. 기유와 첨가제에 대한 구체적인 정보가 없고 단지 개략적인 함량만이 제시되어 있다. 총 48개 금속가공유에 대한 MSDS를 조사한 결과, 수용성 금속가공유에서 첨가제의 성분(아민류와 나이트로소아민 발생가능성), 방부제의 성분(포름알데하이드), 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 금속가공유에 대한 구체적인 정보를 요구하지도 않고 있어 아무런 규제 없이 공급되고 있는 실정이다. 사업장에 비치된 금속가공유의 MSDS만 보면 건강상의 문제가 거의 없는 것처럼 보인다. 현재 금속가공유의 MSDS는 근로자 건강보호나 사업장의 관리에 전혀 도움을 주지 못한다. 예를 들면 미생물억제제인 포름알데하이드 방출형 방부제는 외국에서 전량을 수입하여 사용자에게 공급하고 있다. 그러나 외국의 MSDS에 부착된 "발암물질인 포름알데하이드가 발생될 수 있다"는 정보, 제품명에 대한 정보 등을 제공하지 않고 있다. 상품명에 제시되어 있지 않아 전문적인 조사자에게도 사용되는 방부제의 종류를 식별하는 것이 불가능하였다. 정부는 구체적으로 근로자 알권리를 충족시키는 실질적인 정보가 제공되도록

하고, 사업장에서는 금속가공유에 대한 구체적인 정보를 요구할 수 있는 전문성을 배양하는 것이 중요하다.

4. 수용성 금속가공유의 종합적인 대책

수용성 금속가공유를 사용하는 경우 비수용성 금속가공유와는 다른 특별한 대책을 수립해야 한다. 수용성 금속가공유를 사용함으로써 인해 발생하는 유해인자에 대한 근로자 노출을 억제하기 위해서는 첨가되는 성분을 공정에 지장이 없는 정도에서 유해성이 적은 것으로 대체하고 미생물 성장을 억제하는 것이다. 미생물의 번식을 억제하면 유해요인에 대한 노출을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 기계파손이 방지되고, 수용성 금속가공유를 보다 더 오래 사용할 수 있는 등 경제적인 이득을 가져온다(한국유화검사시험소, 1986). 그러나 수용성 금속가공유에서 미생물을 억제한다는 것은 어느 한 두 가지 대책만으로는 불가능하다. 아래와 같은 여러 가지 방법을 지속적으로 사용해야만 효과를 거둘 수 있다.

첫째, 수용성 금속가공유에 첨가되는 방부제를 포함한 각종 성분에 대한 유해성을 파악하여 공정에 지장이 없는 한 유해성이 적은 것으로 대체하도록 한다. 방부제인 경우 여러 종류가 있고 제품별로 독성이 서로 다르다. 우리나라에서는 포름알데하이드 방출형 방부제가 많이 사용되고 있는데 외국에서 전량을 수입하고 있다. 외국에서 공급되고 있는 포름알데하이드 방출형 방부제의 제품명은 Triadine 3, Triadine 10, Mergal KM 200, Mergal KM 203, Emulcid, Grotan-BK 등이 있다. 우리나라에서 공급할 때는 상품명에 대부분 제시되지 않거나 변경되어 공급되므로 포름알데하이드가 발생하는 것인지 알기 위해서는 'triazine'이 포함되어있는지를 확인해야 한다. 또한 제품별로도 포름알데하이드 발생량이 다르므로 이에 대한 사항도 고려해야 한다. 단지 방부제만으로 미생물번식을 억제하는 것은 어렵다. 왜냐하면 방부제를 계속 사용하는 경우 미생물의 내성이 증가하여 살균효과가 감소하기 때문이다. 그러나 살균력을 증가시키기 위해 방부제를 계속 첨가할 경우 오히려 근로자에게 피부염을 야기할 수 있다.

둘째, 새로운 수용성 금속가공유로 충전하거나 교환할 경우에는 기계나 그 주변, 급유라인과 튜브, 각종 틈새 등에 있는 공정부산물(부스러기, 칩 등) 등의 이물질이 철저히 제거하고 살균제로 충분히 세척해야 한다. 불충분한 세척과 살균은 남아있는 미생물이 다시 번식할 수 있도록 하기 때문에 금속가공유의 수명은 그만큼 짧아지게 된다. 이러한 대책은 배수량이 다소 증가되어 처리해야 할 폐수가 많아지지만 미생물에 의한 부패의 시기를 연장할 수 있는 장점이 있다. 또한 휴일이나 공정의 단시간 정지 등으로 기계와 수용성 금속가공유의 순환이 정지할 경우에는 별도의 탱크로 수거하여 순환시킴으로써 혐기성 박테리아의 번식을 방지하고 악취를 제거하도록 한다.

셋째, 공정에서 발생하는 칩 등을 물리적으로 제거하는 칩제거장치를 설치하여 미생물의 영양원을 사전에 차단하고 공정에 지장을 주지 않도록 한다. 이러한 장치는 필터나 마그네틱 분리기(magnetic separator)로서 수용성 금속가공유의 사용연장, 효과적인 공정의 운영, 그리고 미생물의 성장을 지연시키는 효과를 가지고 있다. 실제 조사대상 사업장에서는 이러한 칩제거장치가 없거나 부적절한 경우, 관리가 소홀한 경우가 대부분(85.8%)이었다.

넷째, 나이트로스아민의 생성을 억제하거나 줄여야 한다. 나이트로스아민은 $-N=N=NO$ 기능기를 가진 화합물로서 1차, 2차, 3차 아민류와 아질산염(nitrites)의 결합으로 생성된다. 부식방지제나 pH 향상제로 아민류가 사용되고 있으므로 아질산염의 유입을 가능하면 억제하는 것이 제한적인 관리방법이다. 나이트로스아민의 발생에 결정적인 인자가 되는 아질산염의 유입을 방지하기 위해서는 희석수를 수도물 또는 연수를 사용하도록 하고 대장균이나 무기염분이 많은 지하수는 사용하지 않도록 한다.

다섯째, 수용성 금속가공유의 설정농도를 잘 유지한다. 수용성 금속가공유를 현장에서 책임 있게 관리할 경우 관리하지 않은 경우보다 공구의 파손 빈도가 줄어들고, 미생물번식의 억제, 방청, 사용유의 수명연장 등의 효과가 높은 것으로 나타났다(한국유화검사시험소, 1986).

여섯째, 공정과 기계의 가동에 사용된 각종 오일이 흘러나와 수용성 금속가공유에 혼입되지 않도록 하고 혼입된 경우 신속히 제거한다. 왜냐하면 흘러나온 오일은 미생물의 성장을 촉진하고 공정상의 지장을 주기 때문이다. 기계의 가동과정에서 떨어지는 오일이나 누수 등은 별도의 라인과 외부로 연결되는 수거탱크가 필요하다.

수용성 금속가공유를 사용하는 공정에서는 여러 가지 대책을 종합적으로 적용하고 가공부품별, 탱크별로 수용성 금속가공유의 적정한 교체주기를 설정해야 한다. 탱크별로 미생물의 성장, 공정의 운영, 수용성 금속가공유 사용기간 등을 종합하여 최적의 표준관리방법이 작성되어야 한다. 금속가공유는 단순히 공학적인 방법만으로 관리할 수 없다. 행정적인 관리, 교육적인 관리, 현장에서의 관리가 종합적으로 적용되어야만 금속가공유는 관리될 수 있다.

결론

본 연구는 수용성 금속가공유를 사용할 때 발생하는 유해인자들을 평가하고 발생에 영향을 미치는 인자들과의 상관정도를 분석하여 관리대책을 제시하였다. 포름알데하이드의 기하평균농도는 0.039 ppm으로서 NIOSH의 허용기준인 0.016 ppm을 초과하였다. 포름알데하이드의 발생은 포름알데하이드 방출형 방부제를 사용하기 때문이다. 미생물의 농도는 총 20개 탱크에서 14개가 10^3 개체/mL 이상으로 검출되어 과다번식 상태였다. 나이트로스아민도 18.4-47.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 범위로 검출되었으며 발생원리는 pH와 방청성을 향상시키기 위해 첨가되는 아민류와 아질산염의 반응에 의한 때문이다. 유해인자간의 관계를 분석한 결과, 포름알데하이드와 미생물농도($r = -0.67$, $p = 0.011$), 탱크개방면적($r = 0.75$, $p = 0.012$) 그리고 pH와 미생물농도($r = -0.76$, $p = 0.003$)가 유의한 상관을 보였고 또한 나이트로스아민, 황화수소 등도 미생물번식과 관련이 있었다. 가장 빈번하게 발견된 균은 *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Comamonas testosteroni*, *Acinetobacter haemolyticus*, *Bordetella bronchiseptica* 순이었다.

수용성 금속가공유 사용할 때 발생하는 유해인자

로부터 노출을 줄이고 생산성을 증대시키기 위해서는 미생물의 성장을 억제하는 것이 무엇보다 중요하다. 미생물 번식을 억제하기 위해서는 미생물 영양원의 차단, 세척에 의한 철저한 교체, 각종 기계오일의 누입방지, 각종 첨가제의 법적인 관리 등의 여러 가지 대책이 요구된다. 금속가공유는 단순히 공학적인 방법만으로 관리될 수 없다. 행정적인 관리, 교육적인 관리, 현장에서의 관리가 종합적으로 연계되어야 한다.

REFERENCES

- 株式会社 韓國하우톤 技術部: 윤활제의 개요. 한국하우톤, 6-17.
- 株式会社 韓國하우톤 技術部: 切削, 研削油劑-選擇과 適用. 한국하우톤, 1994, 50-66.
- 韓國油化技術試驗所: 切削油劑와 研削油劑. 한국유화기술시험소, 1988, 122-139.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Documentation of The Threshold Limit Values-For Chemical Substances in the Work Environment. 4th Ed., ACGIH, 1986.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Notice of Intended Change-Oil Mist, Mineral. Appl Occup Environ Hyg 1993; 8(5): 494-501.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Threshold Limit Value(TLVs) for Chemical Substance and Physical Agents and Biological Exposure Indices(BEIs). ACGIH, 1997.
- Acquavella, J.F., & Leet, T.L.: A Cohort Study Among Workers at a Metal Components Manufacturing Facility. J. Occup. Med., 1991; 33(8):896-900.
- Eisen, EA, PE Tolbert, MF Hallock, RR Monson, TJ Smith, and SR Woskie: 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, PE Tolbert, RR Monson, and TJ Smith: Mortality Studies of Machining Fluid Exposure in the Automobile Industry I: A Standardized Mortality Ratio Analysis. Am. J. Ind. Med. 1992; 22: 809-824.
- Inger MB, M Sandin, B Ahlström, S Allenmark, M Edebo, E Falsen, K Pedersen, N Rodin, RA Thompson, L Edebo: Microbial Growth and Accumulation in Industrial Metal-Working Fluids. Applied and Environmental Microbiology 1989; 55: 2681-2689.
- Jarvholm, B, B Lavenius, and G S Ilsten: Cancer Morbidity in Workers Exposed to Cutting Fluids Containing Nitrites and Amines. British Journal of Industrial Medicine 1986; 43: 563-565.
- Kennedy, S.M., et al.: Acute Pulmonary Responses among Automobile Workers Exposed to Aerosols of Machining Fluids. Am. J. Ind. Med. 1989; 15:627-641.
- Loeppky, RN, TJ Hansen, and LK Keefer: Reducing Nitrosamine Contamination in Cutting Fluids. Fd Chem. Toxic. 1983; 21: 607-613.
- National Institute of Occupational Safety and Health: Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposures to Metalworking Fluids. Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1996.
- National Institute of Occupational Safety and Health: NIOSH Manual of Analytical Methods. (4th edition, DHEW(NIOSH) Publication No. 94-113) Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1994.
- Park, R.M., et al.: Causes of Death Among Workers in a Bearing Manufacturing Plant. Am. J. Ind. Med. 1998; 13:569-580.
- Raynor, P.C., S. Cooper, and D. Leith: Evaporation of Polydisperse Multicomponent Oil Droplets. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1996; 57:1128-1136.
- Rossmore, HW: Antimicrobial Agents for Water-Based Metalworking Fluids. Journal of Occupational Medicine 1981; 23: 247-254.
- SKC: Formaldehyde Monitoring Kit Instruction Manual. SKC, 1997.
- Savonius, B, H Keskinen, M Tuppurainen, and L Kanerva: Occupational Asthma Caused by Ethanolamines. Allergy 1994; 49: 877-881.
- Sheehan, MJ: An Update on Metalworking Fluid Aerosol. The Synergist 1996; (Dec. 15): 29-31.
- Svensen, K, O Bjorseth, and E Borresen: Sampling Petroleum Oil Mist and Vapor; Comparison of Method. Am Ind Hyg Assoc J 1996; 57: 537-541.
- Tolbert, PE, EA Eisen, LJ Pothier, RR Monson, MF Hallock, and TJ Smith: Mortality Studies of Machining Fluid Exposure in the Automobile Industry II: Risks Associated with Specific Fluid Types. Am. J. Ind. Med. 1992; 18: 351-360.
- Vena, JE, HA Sultz, RC Fiedler, and RE Barnes: Mortality of Workers in an Automobile Engine and Parts Manufacturing Complex. British Journal of Industrial Medicine 1985; 42: 85-93.