

절삭유(Metalworking Fluids)의 발암성에 대한 고찰

박동욱*, 윤충식**, 이송권***

Critical Review on Carcinogenicity of Metalworking Fluids

Dong-Uk Park*, Chung-Sik Yoon** and Song-Kwon Lee***

ABSTRACT

Exposure to metalworking fluids (MWFs) has significantly been associated with cancer developed in multi-organs, respiratory diseases and skin diseases. Several carcinogens to humans or animals are contained in MWFs. They have been reported to be mineral oils, polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs), formaldehyde and N-nitrosodiethanolamine (NDELA). The great hazards of MWF have forced the advanced country including United States to regulate carcinogens contained in MWF. In 2001, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIHs) regarded MWF mist as suspected carcinogen to human (A2) and added it to "Notice of Intended Change (NIC)" list of 2001.

In spite of the fact that much MWF has widely been used in many industries using machines, Korea has no legal actions for management of MWF. What is worse, even toxicity such as Carcinogenicity has not been reported.

KS (Korean Standards) lists 7 advices of MWF but it does not state the hazards to health. It is very hard to control or minimize worker's exposure to MWF containing many carcinogens. Prior to the introduction of MWF to workplace, it is the most effective measure to regulate carcinogens below a certain level. Regulation on the content of PAH seems to be necessary because less amount of PAH in mineral oils improves the quality of MWF. Also, addition of nitrosating groups to MWF should be prohibited to minimize worker's exposure to NDELA. Employers and manufacturers should indicate the Carcinogenicity of all carcinogens in MWFs in Material Safety Data Sheets (MSDS) in order for workers to recognize Carcinogenicity. Legal actions have to be taken to protect workers from health hazards due to exposure to MWF by further investigation on MWF.

Key Words : Metalworking fluids(절삭유), Carcinogenicity(발암성), Mineral oils(광물유), Polynuclear aromatic hydrocarbon(PAH; 다핵방향족탄화수소), Formaldehyde(포름알데하이드), N-nitrosodiethanolamine (NDELA)

1. 서론

MWF(Metalworking Fluids, 이하 MWF 라 함)는 기계 가공공정에서 다듬질 면의 개선, 가공정도의

2002년 1월 25일 접수
* 한국방송통신대학교 환경보건학과
** 대구카톨릭대학교 산업보건학과
*** 경산대학교 보건학과

향상, 공구수명의 연장, 가공물의 방청, 열과 칩의 제거 등을 목적으로 사용된다. 우리 나라에서는 금속가공유, 기계유(machine oils), 절삭유(cutting oils), 윤활유(lubricating oils) 등으로 부르기도 한다.

그 동안 절삭속도의 고속화, 높은 이송화, 다듬질 면 정도의 향상, 공구수명의 연장, 미생물성장 억제 등이 요구되면서 MWF 에 방부제, 윤활제, 방청제, 부식방지제, 세정제, 극압 첨가제 등 각종 화학물질 들이 첨가되어 왔다⁽¹⁻²⁾. MWF 는 종류에 따라 차이는 있지만 20 여가지 이상의 화학물질이 포함된 화학물질 복합체라고 할 수 있다.

MWF 의 노출로 인한 가장 큰 건강상의 장애는 췌장, 피부, 담낭, 방광, 소화기계 등 인체의 여러 조직에서 암을 유발한다는 것이다⁽³⁻¹⁵⁾. 이외에도 각종 호흡기계 질환과 피부질환을 초래한다고 알려져 있다^(3-4, 16). MWF 처럼 복합적인 건강상의 영향을 가지고 있는 물질도 매우 드물다.

이러한 이유 때문에 1996 년에 OSHA (Occupational Safety and Health Administration, 이하 OSHA 라 함)는 MWF 를 특별한 관리조치가 필요한 10 대 과제(priorities) 중 하나로 선정하였고, 1997 년 8 월에는 MWF 사용으로 인한 문제점을 검토하기 위해 MWF Standard Advisory Committee (이하 SAC 라 함)를 구성하였다. 1999 년 7 월에 SAC 는 아래와 같은 주요 결론을 골자로 하는 종합보고서를 OSHA 에 제출하였다⁽¹⁶⁾.

- MWF 노출은 피부염, 각종 호흡기계 장애는 물론이고 여러 조직에서 암을 유발한다.
- 공기 중 노출기준은 현재의 5 mg/m³ 에서 0.5 mg/m³ 으로 낮추어야 한다
- MWF 는 시스템 관리와 의학적 감시가 필요하다

OSHA 는 MWF 의 노출로 인한 건강상의 장애가 밝혀짐에 따라 머지않아 보다 엄격한 법적 관리방안 들을 공포할 것으로 판단된다. 한편 미국 정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 이하 ACGIH 라 함)에서도 다핵방향족탄화수소(Polynuclear Aromatic Hydrocarbon, 이하 PAH 라 함)의 함량에 상관없이 MWF 미스트에 대한 허용기준을 5 mg/m³ 에서 0.2 mg/m³ 으로 개정하려는 의도(Notice of Intended Change, NIC)를 2001 년 동안 공고하였다⁽¹⁷⁾. 이처

럼 미국은 MWF 노출로 인한 건강상의 장애를 예방하기 위한 대책들을 마련하고 있다.

MWF 는 자동차, 농기구, 각종 기계류, 항공기 등의 제조업은 물론이고 기계정비, 공무과 등에서 필수적으로 사용되는 물질로서 노출되는 근로자는 대단히 많을 것으로 추정하고 있다. 그럼에도 불구하고 우리 나라에서는 아직까지 MWF 에 노출되고 있는 근로자수, MWF 사용량, 노출실태, 법적·행정적인 관리방안 등이 전혀 보고되지 않았다. 뿐만 아니라 MWF 노출로 인한 건강상의 장애와 관련된 유해성(hazard)도 소개된 적이 없다. 1997 년과 1998 년에 백남원, 박동욱 등이 MWF 의 유해성과 전자업종의 일부 근로자의 노출실태를 보고하였을 뿐이다⁽¹⁸⁻²⁰⁾. MWF 를 취급하는 근로자들에 대한 건강상 장애 예방을 위한 관리가 시급히 요구되는 상황으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 MWF 의 발암성에 대해 선진 외국에서 보고되었던 내용들을 종합적으로 고찰하여 MWF 의 노출로 인해 나타날 수 있는 유해성의 심각성을 설명하고자 한다. 구체적으로 MWF 중에 들어 있거나 오염(발생)될 수 있는 발암물질 들에 대한 사용 및 생성기전, 법적인 규제, 발암성, 노출정도 등과 관련된 연구들을 종합적으로 고찰하는 한편 우리 나라에서의 문제점도 비교·검토하였다.

이 고찰연구의 목적은 MWF 를 취급하는 사업장이나 근로자 그리고 정부로 하여금 MWF 사용으로 인한 유해성을 심각하게 인식도록 함으로서 현명한 사용을 위한 대책 수립에 도움이 되고자 하는 것이다.

2. 연구방법

2.1 기관별 발암성 평가

화학물질의 발암성에 대한 평가는 기관마다 차이가 있을 수 있다. 보통 화학물질에 대한 발암성은 인간과 동물에 대한 평가로 구분한다. 인간의 경우 암을 유발하는 것으로 확인(confirmed)된, 의심되는(anticipated or suspected or probable) 그리고 가능성이 있는(possibly) 물질로 구분하는 것이 일반적이다. ACGIH, National Toxicology Program(이하 NTP 라 함), International Agency of Research Institute (이하 IARC 라 함)가 여기에 해당된다. 이에 비해 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for

Occupational Safety and Health, 이하 NIOSH 라함)은 인간과 동물에 대한 구분 없이 잠재적인 직업성 발암물질(potential occupational carcinogen list)로 표시한다. 본 논문에서는 위의 4 개 기관이 MWF 중에 포함되어 있거나 오염된 물질 중에서 인간이나 동물에게 발암성이 있는 것으로 평가한 물질들을 고찰 대상으로 하였고 Diethanolamine(DEA)과 같이 발암성 논란이 되는 물질은 제외하였다.

2.2 고찰 내용

MWF 와 MWF 사용과정에서 생길 수 있는 발암물질 들을 대상으로 아래와 같은 내용을 고찰하였다.

- 동물실험과 역학조사 결과 : 발암성
- 생성 혹은 발생기전
- MWF 수용액(bulk)이나 공기 중에서 평가된 농도와 법적 관리방안
- 우리 나라 문제점

MWF 에 노출된 근로자들을 대상으로 실시한 역학조사 들은 구체적으로 MWF 성분 에 대한 구분 없이⁽⁵⁻¹⁵⁾ MWF 노출과 발암성과의 유의성 결과 만을 인용하였다. MWF 에 대한 우리 나라의 관리 실태는 보고되었던 연구결과와 MWF 제조회사가 각 사업장에 공급한 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheets, MSDS)를 근거로 판단하였다.

2.3 MWF 에 대한 법적 규제

MWF 에 대한 법적 규제는 OSHA 와 미국환경청(Environmental Protection Agency, 이하 EPA 라함)의 프로그램을 고찰하였다. 즉, OSHA 의 Hazard Communication Standard(HCS)(OSHA, 1994)와 EPA 의 Toxic Substance Control Act (TSCA)(EPA, 1976)이고 우리 나라는 물질안전보건제도(Material Safety Data Sheets)(노동부, 2001)이다. 이러한 제도들은 화학물질의 안전한 사용을 위한 것들이지만 나라마다 기관마다 시행배경과 범위는 차이가 있어 구체적인 내용은 생략하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 MWF 노출과 암 발생

지금까지 보고된 MWF 의 노출과 암 발생에 대한 역학조사는 1970 년대 이전에 사용된 MWF

를 대상으로 한 것이다. 선진 외국에서 1970 년대 에 사용되었던 MWF 중 일부 성분은 암과 같은 건강상의 장애를 일으켜 규제되는 과정에서 없어 지거나 변화되고 또는 함량이 감소되어⁽⁸⁾ 지금 사용되고 있는 MWF 의 성분과는 차이가 있다⁽¹⁶⁾. 1970 년대 이전의 MWF 에 노출된 근로자들을 대상으로 한 역학조사에서는 MWF 의 노출과 여러 조직의 암 발생과는 유의한 상관성이 있는 것으로 보고되었다⁽³⁻¹⁷⁾. 연구에 따라 MWF 노출과 암이 발생하는 인체부위가 차이는 있지만 인체의 여러 부위에서 암을 유발한다는 것은 여러 역학조사에서 확인되었다. MWF 노출과 암 발생과의 관계를 연구한 주요 역학조사 결과를 고찰하면 아래와 같다.

Tolbert 등(1992)은 비 수용성 MWF 노출과 후두 및 직장암과의 관계 그리고 합성 MWF 노출과 췌장암 발생과의 관계는 충분한 증거가 없다고 주장하였다(Tolbert 등, 1992). 또한 그는 수용성 MWF 노출은 암 발생과 상관성이 없다고도 하였다. 그러나 Eisen 등(1994)은 비 수용성 MWF 노출은 후두암 발생과 유의한 관계가 있다고 하였으며, Bardin 등(1997)도 합성 MWF 노출은 췌장암과 유의한 관련이 있다고 하였다. NIOSH 는 수용성 MWF 의 많은 성분들이 비 수용성 MWF 에도 포함되어 있기 때문에 수용성 MWF 의 노출과 암 발생은 유의하지 않다고 결론지을 수는 없다고 함으로서 Tolbert 등(1992)의 주장과 다른 의견을 나타 냈다⁽⁴⁾. MWF 노출과 폐암과의 관계는 연구마다 논란이 있었다. Schroeder 등(1997)이 미국 미시건에 있는 3 개 자동차 공장의 45,000 명 근로자를 대상으로 한 후향적 코호트 역학조사(retrospective cohort study)에서 3 종류의 MWF(합성, 수용성, 비 수용성)의 노출은 폐암 발생과 유의하지 않다고 보고한 내용이 받아들여지고 있다.

이처럼 MWF 노출이 여러 인체조직에서 암을 유의하게 발생시킨다는 보고는 계속되었지만 일부 부위(폐, 위 등)에서의 발생여부는 논란이 있었다. 이에 Calvert 등(1998)은 MWF 노출과 암 발생에 대한 40 여 편 이상의 역학연구 결과들을 종합적으로 비교하고 고찰한 연구에서 1970 년대 이전에 사용된 MWF 의 노출은 후두(larynx), 직장(rectum), 췌장(pancreas), 피부(skin), 음낭(scrotum), 방광(bladder)에서의 암 발생과 유의한 관계가 있다고 주장하였다. 췌장은 연삭작업을 하고 합성 MWF 에 노출 되는 근로자에게서 유의하게 발생되었다(Table 2 참

Table 1 The overall evaluation of carcinogenicity by MWF additives or contaminants by organization

Additives or contaminants	ACGIH	IARC	NTP	NIOSH
Mineral oil (untreated and mildly treated)	A2*	Group 1	K	-
Mineral oil (mild or no solvent-refining or hydrotreatment)	-	Group 1	-	-
Formaldehyde	A2	Group 2A	R	Potential human carcinogen
NDELA (N-nitrosodiethanolamine)	-	Group 2A	R	-
Chlorinated Paraffins (C12 60 %Cl)	-	Group 2B	-	-
Polynuclear aromatic hydrocarbon(PAH)	-	-	R	-

* : Notices of Intended Change during 2001

Abbreviation

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial hygienists,

IARC: International Agency of Research Institute,

NTP: National Toxicology Program,

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health

ACGIH: A2 = suspected human carcinogens

IARC: Group 1= carcinogenic to humans, Group 2A =probably carcinogenic to humans, Group 2B = possibly carcinogenic to humans

NTP: K = known to be human carcinogen, R= reasonably anticipated to be a human carcinogen(RAHC)

조). 직장, 후두, 피부, 음낭 암은 비 수용성 MWF의 노출과 유의한 관계가 있었다. 방광암도 MWF의 노출에 따라 유의하게 발생되었는데 구체적으로 어떤 종류의 MWF 노출이 영향을 미치는지는 규명하지 못했다.

1998년에 NIOSH도 "Criteria for a Recommended Standard"보고서를 통해 MWF 노출은 Geoffery 등이 주장한 인체의 조직들에서 암을 유발한다고 하였다⁽⁴⁾. 위에서 언급한 역학조사의 대상이 되었던 산업은 다른 업종에 비해 MWF 노출 위험(risk)이 큰 자동차산업 등이 대부분이었고 엔진공장, 기계 가공 공장 등도 포함되었다.

1999년 MWF SAC가 MWF를 1970년 이전에 사용된 것과 현재 사용되는 것을 구분하여 조사한 결과, 전자가 인체의 여러 조직에서 암을 유발하는 것으로 결론을 나타냈으나⁽¹⁶⁾, 피부를 제외한 다른 구체적인 암 발생부위는 언급하지 않았다.

2001년에는 ACGIH가 MWF 미스트를 의심되

는 발암물질(suspected carcinogen, A2)로 규정하고자 변경예정(Noticed Intended Change, NIC) 공고를 제안하였다.

이처럼 1930년대 이전부터 1980년대 말까지 MWF에 노출된 근로자들에게서 MWF의 노출과 여러 조직의 암 발생과 유의한 관계가 있다고 주장하는 연구결과는 매우 많이 보고되었다. 이러한 과정에서 미국에서는 MWF에 들어있는 일부 성분에 대한 규제, PAH와 같은 불순물의 감소 그리고 MWF 노출기준을 낮추려는 개정 의도 등으로 MWF에 대한 노출이 전반적으로 감소되고 있다. 이러한 변화가 점차적으로 암 발생을 감소시킨 것으로 추정하는 경우도 있으나 Calvert 등은 모든 종류의 암 발생을 감소시켰다고 결론짓기에는 자료가 충분하지 않다고 하였다. NIOSH(1998)도 1970년대 중반 이후의 MWF의 노출로 인한 암 발생의 위험에 대한 평가가 아직 이루어지지 않아 MWF의 노출로 인한 암 발생 가능성은 있다고

Table 2 Summary of cancer mortality from epidemiological studies of workers exposed to metalworking fluids

Investigators	Study type	MWF type	Significant cancer types	Industry
Calvert et al (1998) [8]	Systematic review of 40 articles reported	Straight	skin, laryngeal, pancreatic	scrotal, rectal, Autoworker etc, Autoworkers, grinder etc, Autoworkers, plant workers etc, Autoworkers, plant workers etc
		Synthetic	pancreatic	Autoworkers, grind workers etc
Eisen et al. (1992) [12]	Cohort study	Straight and soluble	stomach, intestine, pancreatic lung, and larynx	large Autoworker(automobile industry)
Tolbert et al. (1992) [16]	Cohort study	Straight	rectal, pancreatic prostate, laryngeal	and Autoworker(30,000 workers)
Bardin et al. (1997) [5]	Case-control study	Synthetic	pancreatic	97 cases in automobile industry

하였다.

이상과 같이 여러 조직에서 발생된 암들과 MWF 종류나 성분들과 원인적 연관성에 대한 논란은 있으나 암 발생의 가능성을 배제하지 않고 있으며 이런 가능성을 줄이기 위하여 규제를 강화하고 있다. 물론, MWF 내에 들어있는 20 여가지 이상 화학물질이 복합적으로 노출되어 암 등 여러 건강상의 장애가 발생할 수도 있다. 그러나 암을 유발하는 MWF 종류, 특정성분, 그리고 원인 등을 밝히는 것이 매우 어렵다. 왜냐 하면 대부분의 사업장이 동일한 공간 내에서 여러 종류의 MWF 를 동시에 사용하기도 하고 한 근로자가 여러 종류의 MWF 를 취급하면서 복합적으로 노출되는 작업특성을 가지고 있기 때문이다.

우리 나라의 경우 지금까지 MWF 노출과 암 발생과의 관계나 MWF 노출로 인한 암 발생사례 등에 대한 보고는 전혀 없었다. 과거와 현재에 사용되고 있는 MWF 성분에 대한 변화를 확인할 보고도 없다. 선진외국에서 MWF 를 사용하는 과정에서 이루어졌던 유해성분이나 불순물에 대한 규제 등이 우리 나라에는 거의 없었기 때문에 MWF 에 대한 과거와 현재의 노출은 선진국에 비해 컸을 것으로 판단된다.

3.2 MWF 에 들어있거나 오염되는 발암물질

MWF 에 함유되어 있는 광물유(mineral oil 혹은 기유라고도 함)와 PAH, 염소화파라핀, 포름알데하이드 그리고 MWF 에 오염될 수 있는 나이트로스아민의 일종인 N-nitrosodiethanolamine(NDELA)은 IARC, NTP, NIOSH, ACGIH 중 어느 한 기관에서라도 발암물질로 평가한 성분들이다(Table 1 참조). 이들은 이미 동물실험이나 역학조사에서 발암물질로 밝혀진 것들이므로 암 발생에 특정한 원인으로 작용할 것으로 의심되고 있다. 이들 중 어떤 성분은 기관별로 평가내용이 차이가 있다. 평가의 내용과는 상관없이 다른 성분에 비해 유해성이 큰 것은 확실하다. 이들에 대한 발암성, 발생기전, 규제나 관리현황, 노출정도 그리고 우리 나라의 관리실태를 고찰하였다.

3.2.1 광물유(mineral oil)와 PAH

발암성

비 수용성, 수용성, 준 합성 MWF 는 원유(crude oil)를 정제한 광물유를 함유하고 있다. 광물유 함유량은 비 수용성 MWF 가 60-100 %, 수용성은 30-85 % 그리고 준 합성유는 5-30 %이다(4).

광물유는 원유 정제정도에 따라 포화와 불포화 탄화수소 등 여러 성분에서 차이를 나타내는데, 특별히 방향족탄화수소계 화합물과 PAH 함량이 영향을 받는다⁽⁹⁾.

광물유는 원유를 상온·상압에서 정제하여 남은 잔사유(벵커 C 유)를 추가로 정제하여 생산된다. 잔사유에는 PAH 나 다른 방향족화합물의 함량이 높다. 고품질의 광물유를 생산하기 위해서는 진공증류공정을 거쳐 용제추출(solvent extraction or solvent refining)이나 수첨분해공정(hydrotreating)을 통해 고도로 정제되어야 한다. 이와 같은 추가 정제방법에 따라 PAH 함량이 달라진다⁽²²⁾.

1985 년에 IARC 는 동물실험에서 광물유의 정제등급과 피부암이 유의한 관련이 있다는 사실을 알아냈다. IARC 는 정제되지 않은 천연원유와 중질로 정제된 광물유는 인간에게 암을 유발하는 물질로 분류(group I)하였고 고도로 정제된 광물유는 인간에게 암을 유발하지 않는다고 하였다. 1950 년 이전에 불량하게 정제되거나 혹은 정제되지 않은 광물유를 함유한 MWF 에 노출된 근로자들이 손, 팔, 음낭(scrotum) 등에 피부암이 발생되었던 것은 PAH 의 노출에 따른 것이었다⁽²²⁾. 이에 따라 1950 년 이후부터 원유에 대한 고도 정제방법이 도입되었고 이러한 변화는 MWF 의 PAH 함량을 낮추게 하는 계기가 되었다. 그러나 1990 년에 Jarvholm 은 스웨덴의 베어링을 제조하는 회사에서 MWF 에 노출되는 근로자들로부터 7 건의 음낭암, 13 건의 피부암을 보고하였다⁽⁹⁾. 따라서 정제가 불량한 광물유의 노출이 피부암을 유발한다는 것은 이미 확정되었다. 현재는 IARC 가 정제정도가 불량한 32 가지의 광물유를 인간에게 암을 유발하는 발암물질(carcinogenic to human, group 1)로 평가하였다⁽²³⁾. NTP 에서도 정제되지 않거나 중질로 정제된 광물유(untreated and mildly treated)는 인간에게 암을 유발하는 물질(known to be human carcinogens, K)로 규정하였다⁽²⁴⁾.

PAH 함량 규제

OSHA 의 HCS 는 물론이고 유럽, 일본에서도 원유를 정제할 때 정제되지 않거나 중질로(mildly) 정제된 광물유를 생산하거나 이를 사용하는 사업주는 MSDS 에 "발암성이 있음"이나 정제정도를 표기하도록 하고 있다^(4,25). 일본에서는 이러한 표기는 물론이고 광물유에서 PAH 함유량을 3% 이

내로 하여 유통하도록 규제하고 있다. 이에 해당되는 정제등급은 다음과 같다

- 정제되지 않은 광물유: 감압 상태에서 정제된 것으로 IARC 가 group I 으로 평가
- 중질로 정제된 광물유: 수소화 정제처리조건이 800 F 와 800psi 이하인 경우, 용제추출 정제에 의한 파라핀계 기유(base oil)의 점도 지수가 76 이하인 경우로서 IARC 가 group II 로 평가 (NIOSH, 1998; OSHA, 1994)
- PAH 함량이 3% 이상인 광물유

우리 나라는 MWF 중의 PAH 함량에 대한 규제기준도 없고 정제방법에 따른 발암성 표시에 대한 의무도 없다. 단지 한국산업규격(이하 KS 라 함)에서 동점도(cSt) "10 이상 50 미만"이나 "50 이상"의 제품기준만을 두고 있다(한국산업규격, 1985). 이 기준은 외국처럼 정제정도를 추정할 수 있는 점도 지수 76 과는 큰 차이가 있어 근로자건강보호를 위한 규격으로 볼 수 없다. 현재 우리나라에서 광물유를 생산하는 업체는 1 개소로 정제하는 기술은 수첨분해공정인 hydrotreating 과 hydrocracking 으로 IARC 가 평가한 group I(정제되지 않은 광물유)은 아니다. 그러나 공정조건(압력 800psi, 온도 426℃)에 대한 조사를 통해서 정제정도가 중질인지 고도인지를 조사할 필요가 있다⁽¹⁸⁾. MWF 를 제조하는 제조회사나 "모"검사소 등에서도 공급 받은 광물유에 대한 PAH 함량 실험(정도관리)을 하지 않고 있다. 뿐만 아니라 우리나라에서 유통되고 있는 MWF 의 MSDS 에는 광물유 중의 PAH 함량, 존재여부, 정제방법과 조건 등에 대한 언급이 전혀 없다. 이것은 우리나라가 MWF 를 생산, 공급, 수입하는 과정에서 광물유의 PAH 와 관련된 규제가 전혀 없기 때문이다.

3.2.2 염소화파라핀(chlorinated paraffins)

발암성(NPT, 2001)

염소화파라핀의 독성은 염소 함유량과 탄소수에 따라 달라진다. NTP 의 동물실험 결과, 탄소수가 10 개에서 13 개이고 40-70%가 염소화된 짧은 고리의 염소화파라핀을 투여한 동물실험 군에서 간의 무게가 대조군에 비해 유의하게 높게 관찰되었다. 그러나 17 개 탄소이상의 염소화파라핀은 유

의한 무게차이를 나타내지 않았다. 간에 대한 영향은 탄소길이 보다는 염소화의 정도와 유의한 관련이 있었다. 탄소길이 긴 염소화파라핀에 대한 발암성은 논란은 있지만 현재까지는 충분한 근거가 없다. 이에 비해 탄소가 12 개 정도이고 염소 함량이 60 %인 염소화파라핀은 동물실험에서 분명한 발암성을 나타낸 것으로 나타났다. 동물실험에서 발암성을 나타내는 부위는 갑상선의 소낭세포암(follicular cell tumor of the thyroid)과 간세포암(hepatocellular tumors)이다. 그러나 MWF 를 취급하는 근로자의 노출농도나 역학조사도 보고된 적이 없어 인간에게 발암성을 나타내는지 평가할 수 없다.

법적규제

EPA 는 염소화파라핀을 TSCA 대상물질로 규정하였다⁽²⁶⁾. TSCA 의 산하 Interagency Testing Committee(ITC)는 염소화파라핀을 관리우선화학물질(priority chemicals)로서 규정하고 공급자에게 독성실험결과를 요구하고 있다. 또한 Clean Air Act 를 통해서 대기배출의 규제 대상물질로도 규정하고 있다⁽²⁷⁾. OSHA 에서도 HCS 기준물질로 설정하여 근로자에게 그 유해성을 알리도록 하고 있다⁽²⁵⁾.

우리 나라에서는 MSDS 작성물질에 해당되지만 사용이나 건강상의 장애에 대한 보고 등의 규제는 없다. 다만 KS 에서 MWF 의 염소함유량을 15 %이하로 권고하고 있다⁽²⁸⁾. 그러나 내열강 등 난삭재의 저속가공에 있어서는 초활성황화염화형 유체를 적용하지 않으면 공구수명이 단축되고 원하는 다듬질 면의 정도가 달성되지 않기 때문에 이러한 기준보다 많은 염소를 함유하는 MWF 를 사용하는 경우도 있다고 한다⁽¹⁾. 또한 MWF 의 MSDS 에서는 단지 극압첨가제라고 표시되어 있는 경우가 대부분이고 염소화파라핀이라고 표시되었다 하더라도 염소수와 함량이 표시되어 있는 경우는 거의 없다.

3.2.3 포름알데하이드(formaldehyde)

발생기전^(4, 29-31)

수용성 MWF 에서 미생물이 지나치게 번식하면 바람직하지 않은 MWF 의 특성변화와 각종 역겨운 냄새를 초래하기 때문에 이를 예방할 목적으

로 방부제(biocide)를 사용한 경우가 많다. MWF 에서 사용하는 방부제 중 가장 많이 사용되는 것은 포름알데하이드 방출제(formaldehyde releaser)로서 포름알데하이드와 암모니아 또는 아민류와의 반응에 의해서 만들어진다. 가장 일반적으로 사용되는 제품은 hexahydro-1,3,5-tris-(2-hydroxyethyl)-triazine 이다. 화학물질명에 triazine 이 포함되면 포름알데하이드 방출제라고 보면 된다. 이들은 미생물의 성장이 일정수준에 도달하게 되면 가수분해에 의해서 포름알데히드를 방출하여 미생물의 성장을 억제한다. 즉 미생물이 성장하면 미생물이 분해하는 분해산화물 들로 인해 MWF 의 pH 가 낮아지면 포름알데히드가 방출되어 미생물의 번식을 억제한다. 방부제는 미생물의 성장을 억제(예방)할 목적으로 사용되는 것이므로 일정 수준의 미생물이 성장한 다음에 투여하는 것은 효과가 없다. MWF 에서 냄새가 난 후(미생물 번식이 과다한 후)에 방부제를 과다하게 주입하여 근로자의 피부염을 유발하는 경우가 많다.

발암성

IARC 와 NIOSH 는 인간에게 암을 일으키는 물질로 그리고 NTP 는 동물실험에서 암을 나타내는 것은 충분한 근거가 있지만 인간에게는 암을 일으킬 수 있는 물질(reasonably anticipated to be human carcinogens, R)로 규정하였다(NTP, 2001). ACGIH 에서도 인간에게 암을 일으키는 의심물질(suspected)로 규정하였다(Tolbert 등, 1992). 암을 나타내는 부위는 인·후두이다⁽³²⁾.

포름알데히드 방출형 방부제 그 자체는 발암물질이 아니다. 그러나 포름알데하이드가 MWF 로 방출되고 공기 중으로 분산되어 근로자의 호흡기를 통해서 흡수되면 발암물질로서 작용할 수 있다.

법적규제

EPA 는 포름알데하이드를 TSCA 는 물론 유해성이 있는 대기, 수질, 폐기물 오염물질로 규정하고 있다. 포름알데하이드에 대한 노출기준은 설정되어 있으나 기관마다 차이가 있다. NIOSH 는 15 분 동안 노출에 어느 때라도 넘어서는 안 되는 천장값(Ceiling-TLV, 이하 Ceiling 이라 함)으로 0.1 ppm, 8 시간 가중평균 노출기준(TWA-TLV, 이하 TWA 라 함)으로 0.016 ppm 을 설정하였다. ACGIH (2001)에서는 TWA 값이 없고 Ceiling 값은 0.3 ppm

이다. OSHA 는 HCS 로 규정하고 있다. 또한 노출 기준은 TWA 가 1 ppm, 15 분 동안의 단시간 노출 기준(Short term exposure limit-TLV, 이하 STEL 이라 함)이 2 ppm 으로 ACGIH 와 NIOSH 에 비해 높다.

호흡기 노출

포름알데하이드는 "포름알데히드 방출제"를 포함한 MWF 에서 유리(방출)되지 않거나 그 양이 적기 때문에 적정하게 사용하면 근로자들이 공기 중에서 흡입할 위험은 높지 않다. 그러나 방부제를 과다하게 혹은 무분별하게 투여할 경우 그리고 업종이나 공정에 따라 포름알데하이드의 공기 중 발생은 클 수 있다.

Cohen(1995)은 방부제(triazine)가 함유된 MWF 를 취급하는 12 개 공정에서 550 개의 시료를 채취 하였다. 이 중 300 개의 개인시료(personal sample)에서 포름알데히드의 노출농도는 모두 OSHA 의 감시기준(action level) 0.5 ppm 이하였다. 그리고 포름알데하이드의 노출이 가장 심할 것으로 예상되는 방부제 첨가작업에서의 노출도 STEL 2 ppm 이하로 조사되었다. 포름알데하이드의 노출농도는 2 개의 공정에서만 0.1 ppm 이상이었던 뿐 나머지 8 개 공정에서는 대부분의 근로자가 0.1 ppm 이하로 노출되었다. 그러나 Cohen(1995)은 환기가 불량한 탱크에서 기기를 수리하는 근로자들의 포름알데하이드 노출은 보다 높을 수 있다고 하였다.

Throne 등(1995)은 자동차 엔진과 트랜스미션을 생산하는 공정에서 측정한 포름알데하이드의 평균 노출농도는 0.22 mg/m³(0.18 ppm)이었고 가장 높은 경우는 0.62 mg/m³(0.50 ppm)으로 보고하였다. 이러한 농도는 다른 업종에서 보고되었던 노출농도보다 훨씬 높았다. 이것은 자동차 공정이 다른 산업에 비해 MWF 사용량이 많고, MWF 미스터의 노출위험(농도)이 높은 작업형태를 갖고 있기 때문이다.

우리 나라에서는 백남원과 박동욱 등(1998)이 전자제품의 모터를 가공하는 79 명의 노출농도를 0.013-0.163 ppm(평균 0.039 ppm)으로 보고하였다.

위에서 보고된 연구결과 들을 볼 때 자동차산업에서의 포름알데하이드 노출은 다른 산업에 비해 큰 것으로 나타났다. 또한 어느 산업이던지 NIOSH 가 권고한 포름알데하이드의 TWA 0.016 ppm 과 STEL 0.1 ppm 에 비교할 경우 초과되는 위험이 크다. 따라서 MWF 를 취급하는 공정에서 포

름알데하이드의 노출로 인한 건강상의 장애는 간과할 수가 없기 때문에 방부제의 현명한 사용으로 포름알데하이드의 공기 중 발생을 최소화시키는 노력이 요구된다.

3.2.4 나이트로스아민(nitrosamine) : NDELA

발생기전

수용성 MWF 를 사용하는 공정에서 가장 흔하게 발생되는 나이트로스아민은 N-nitrosodiethanolamine (이하 NDELA 라 함)이다(Jarvholm 등, 1986). 이것은 MWF 에 원래 들어 있지 않고 수용성 MWF 를 사용하는 과정에서 추가적으로 생기는 오염물질(contaminants)로서 3 가지의 생성기전으로 설명할 수 있다.

첫째, 아민류인 monoethanolamine(MEA), diethanolamine (DEA), triethanolamine(TEA)과 nitrosating group(N-N=O)의 반응으로 형성된다⁽³⁵⁻³⁶⁾. Nitrosating group 은 아질산염과 같은 질소산화물로서 수용성 MWF 에 미량으로 오염되거나 부식방지제(sodium nitrite)로서 의도적으로 첨가하는 경우가 있다. NDELA 의 형성은 pH 가 낮을 때 가속화되는 것으로 알려져 있다.

둘째, 아질산염이 MWF 에 인위적으로 첨가되거나 오염되지 않더라도 NDELA 가 공정에서 자동적으로 생성되기도 한다. MWF 내에 들어있는 아민류가 질소산화물에 의해 nitrosating group(N₂O₃ or N₂O₄)으로 전환되어 NDELA 가 형성되는 것이다.

셋째, NDELA 은 높은 열과 압력이 생기는 공정의 작업에서 형성될 수도 있다. TEA 가 질산화되어 NDELA 를 형성할 수도 있다⁽³⁶⁾.

알카리 매체인 수용성 MWF 를 사용하는 공정에서 NDELA 의 생성은 매우 느리다. 물을 희석하기 전에 MWF 에서 NDELA 를 생기게 하는 반응물(아질산염 등)의 농도가 높으면 NDELA 의 농도는 당연히 높다. 그러나 NDELA 의 생성을 가속화시키는 것은 원래의 MWF 를 사용하면서 NDELA 를 생성하게 하는 반응물(아민류나 아질산염)을 계속해서 첨가하여 사용하는 것이다. 많은 사업장에서 MWF 를 사용하면서 공정에 필요한 MWF 의 농도가 낮아지면 MWF 를 일정량 첨가하는 경우가 많다. 이러한 경우 첨가하는 용액에 NDELA 의 생성반응물이 들어있으면 NDELA 의 생성은 가속

화된다. NDELA 의 형성에 영향을 미치는 요인들은 아민류의 종류, nitrosating group 의 농도, 반응(접촉)시간, 촉매제나 방해물질의 존재여부, MWF 의 pH 와 온도, MWF 의 사용방법 등이다. DEA 는 아질산염과의 반응이 TEA 보다 빠르다고 보고된 경우도 있다^(4, 37). 이외에도 NDELA 의 형성은 포름알데하이드, paraformaldehyde, thiocyanate, nitrophenols 그리고 다른 금속염(ZnI₂, CuCl, AgNO₃, SnCl₂, CoSO₄, HgCl₂ 등) 등이 있을 때 가속화된다⁽⁴⁾.

아질산염의 존재여부에 따라 NDELA 농도는 크게 영향을 받는다. 아질산염이 첨가되지 않은 MWF 에서 NDELA 농도는 1 ppm 이하로 매우 낮지만 첨가되는 경우는 보다 높은 것으로 알려져 있다⁽³⁵⁾.

발암성

IARC 는 1978 년에 NDELA 를 인간에게 암을 일으킬 가능성이 있는 물질(possibly carcinogenic to humans, Group 2B)로 평가하였다⁽³⁵⁻³⁶⁾. Linjinsky 등은 1984 년과 1985 년에 동물실험에서 NDELA 가 간을 포함한 다른 조직에도 암을 유발한다고 주장하였다⁽³⁸⁻³⁹⁾. 1987 년에 IARC 는 NDELA 에 대해 인간에게 암을 일으킬 수 있는 추정물질(probably carcinogenic to humans, Group 2A)로 평가하여 발암성을 보다 명확히 하였다. NTP, NIOSH, ACGIH 에서도 NDELA 를 인간에게 발암의심물질로 평가하

였으며 노출기준은 아직 없다.

법적규제

MWF 에서의 NDELA 의 농도를 결정하는 인자는 아질산염이다. 이러한 이유 때문에 선진국에서는 아민류와 아질산염이 동시에 함유된 MWF 의 사용이나 판매는 금지하도록 하는 법적인 조치가 취해졌다⁽³⁵⁻⁴¹⁾. EPA 와 OSHA 는 알카리 아민류가 들어있는 MWF 에 아질산염과 같은 nitrosating group 의 첨가를 금지하였다^(5, 40-41). OSHA 도 HCS 에서 NDELA 를 규제하고 있다. 독일은 1993 년부터 MWF 내에 NDELA 는 5 mg/l, 아질산염은 20 mg/l 그리고 질산염의 농도는 50 mg/l 을 초과할 경우는 MWF 를 변형하거나 교체하도록 법으로 정하였다⁽³⁵⁾. 스웨덴에서 법으로 아질산염의 사용을 금지하지는 않지만 대부분의 MWF 공급업체가 협의하여 사용을 하지 않고 있다⁽³⁵⁾.

우리 나라에서도 아질산염과 아민류가 동시에 함유된 제품(W3 종이나 케마칼솔류선형 유제)은 KS 규격에서 제외하였다. 그러나 아질산염이 포함되지 않은 MWF 는 첨가된 제품에 비해 방청성이 불충분하고 가격이 비싼 단점이 있어⁽¹⁾ 이러한 권고규격이 지켜지고 있는지 알 수가 없다. 아질산염이나 나이트로스아민(NDELA)에 대한 법적 규제가 없는 나라에서는 기술적인 혹은 경제적인 이유를 들어서 아질산염의 사용을 정당화할 수 있기 때문이다^(35, 37).

Table 3 Critical review on published concentration of NDELA in commercial cutting fluids(cited from reference [40] and [46])

Investigators	MWF concentrates		Diluted fluids	
	No. of sample	Concentration (ppm)	No. of sample	Concentration (ppm)
Fan et al.(1977) ^[46]	8	200-29,900	-	-
Zingmark & Rappe(1977)	3	400-800	-	-
Williams et al.(1979)	7	230-5,530	-	-
Ducos et al.(1979)	11	100-3,600	1	120
Rounbehler & Fajen(1983)	34	0.1-1,500	35	0.1-16
Spiegelhalder et al.(1984)	3	0.04-593	4	0.04-90
Jarvholm et al. (1991) ^[40]	-	-	1	650

벌크와 공기중 농도

1976 년에 David 가 4 개의 MWF 제조회사의 MWF 에서 NDELA 를 분석하면서 NDELA 는 처음으로 알려졌다⁽³⁹⁾. 그는 MWF 내에 NDELA 의 농도가 3 % 함유된 경우도 있었고 사용과정에서는 1,000 ppm 이라고 보고하였다. 이러한 연구결과는 MWF 를 취급하는 근로자들이 높은 농도의 NDELA 에 노출되었음을 보여주는 것이었다. Fan 등(1977)은 아질산염을 함유하는 MWF 에서 NDELA 의 농도는 3 %까지 높고 합성 MWF 에서도 자주 검출되었다고 보고하였다. 이러한 사실이 알려지면서 아질산염의 사용규제와 권고가 시행되었으나 MWF 는 여전히 많은 양의 NDELA 를 포함하고 있는 것으로 보고되었다. 1999 년에 Ducos 는 프랑스를 포함한 많은 나라에서 MWF 내의 NDELA 의 농도는 1980 년대 이전보다 낮아졌지만 여전히 높다고 하였다⁽⁴³⁾. 그 이유는 위에서 언급된 법규의 부족, 행정미흡, 적정한 사용을 위한 기술적인 요인들로 인한 것이다.

Table 3 은 Ducos(1999)가 정리한 수용성 MWF 의 원액(concentrate)과 물로 희석한 것(diluted) 중의 NDELA 농도와 일부 다른 연구결과 들을 비교한 것이다⁽⁴³⁾. 높은 농도의 NDELA 는 아민류와 높은 농도의 아질산염(대부분이 아질산나트륨)을 함유한 MWF 에서 관찰되었다. 그리고 물을 희석하지 않은 MWF 에서 NDELA 농도가 높았다. Jarvholm 등(1991)은 연삭공정에서 일하는 2 명의 근로자 소변에서 NDELA 의 농도를 조사하였는데 각각 19 ug/g 과 < 0.02 ug/g 이하였다. 1 명은 피부를 MWF 에 담그면서 작업을 하였고 때문에 NDELA 의 흡수가 다른 근로자에 비해 높았다. 이것은 NDELA 가 피부를 통해서 쉽게 흡수되는 특성을 가지고 있기 때문이다.

NIOSH 는 1992 년에서 93 년까지 비 수용성, 수용성, 준 합성 그리고 합성 MWF 의 47 개 시료를 채취하였다. 그 결과 MWF 의 벌크에서는 NDELA 가 검출미만에서 4.7 ppm 이었다. 특히 3 개의 비 수용성 MWF 모두에서 0.14-3.00 ppm 으로 검출되기도 했다. MWF 중 NDELA 의 농도는 시료마다 변화가 심했는데 이것은 아민류와 아질산염의 농도의 변화, MWF 사용특성 등에 따라 차이가 있기 때문으로 추정하였다⁽⁴⁾.

Jarvholm 등(1991)은 몇 개월 사용한 MWF 에서 NDELA 의 농도는 650 ppm 으로 조사하여(Table

2 참조) 다른 연구들의 MWF 들보다 농도가 훨씬 높았다. 이러한 결과를 보면 MWF 의 사용기간과 NDELA 의 발생은 상관이 있는 것으로 판단된다⁽³⁵⁾.

한편 공기 중에서 NDELA 의 호흡기 노출에 대한 연구는 거의 없다. Jarvholm 등(1986)이 0.1-0.3 %의 아질산염이 포함된 MWF 를 사용하는 기기 근처에서 측정된 공기 중 NDELA 의 농도를 0.02 에서 0.26 mg/m³ 으로 보고하였다.

NIOSH 는 1990 년에 7 개의 공기 중 시료를 조사하였으나 그 결과는 검출한계 미만이었고 단지 한 개의 시료에서 약 0.1 ug/m³ 으로 보고되었다⁽⁴⁾. 한편 우리 나라에서 백남원과 박동욱 등이 1998 년에 수용성 MWF 를 사용하는 전자업종의 공정에서 채취한 15 개 시료 중 4 개에서 NDELA 가 검출되었는데 노출농도의 범위는 18.4 - 47.1 ug/m³ 였다. MWF 벌크에서 NDELA 의 생성에 미치는 요인은 대단히 많기 때문에 공기중의 농도의 변화는 MWF 의 종류나 사용특성 그리고 공정특성에 따라 차이가 심할 것으로 판단된다.

4. 결론

MWF 의 노출로 인해서 나타나는 건강상의 장애는 각종 암, 호흡기계질환, 피부질환이다. MWF 중에 들어있거나 발생하는 발암물질 들은 광물류(mineral oils), 다핵방향족탄화수소(polynuclear aromatic hydrocarbon, PAH), 포름알데하이드, 염소화파라핀, N-nitrosodiethanolamine(NDELA)이다. 이처럼 MWF 의 높은 유해성과 위험도(risk)에 따라 미국을 포함한 선진 외국에서는 MWF 중의 발암물질 들에 대한 법적규제, 노출기준의 재 설정, 발암물질 규정 등을 통해서 종합적인 대책을 마련하였다. 그러나 우리 나라에서는 자동차산업, 항공산업, 농기구제조 등 각종 기계산업에서 MWF 를 많이 사용하고 있음에도 불구하고 법적 관리는 거의 없는 형편이고 최근에 밝혀진 유해성조차도 알려져 있지 않았다. 다만 KS 에서 제정하고 공업진흥청 고시 제 95-544 호로 공포한 절삭유제에 대한 7 개항(KS M 2173-1985)이 유일한 권고 안이지만 MWF 의 유해성에 대한 현재의 상황을 전혀 나타내지 못하고 있다.

사업장에 공급된 MWF 에 발암물질이나 그 원인물질의 함량이 높을 경우 그리고 발암성을 포함

한 유해성에 대한 표시가 없을 경우 사용과정에서 아무리 적절한 대책을 강구하여도 노출의 위험은 클 수 밖에 없다. 따라서 유통과정에서 MWF 에 함유되어있는 발암물질이나 원인물질에 대한 법적 관리가 시급히 요구된다. MWF 는 물론이고 함유되어 있거나 발생될 수 있는 발암물질에 대한 발암성 표시도 의무화하여야 한다. MWF 중의 발암물질의 함량에 대한 실태조사를 통해서 구체적인 관리방안을 빠른 시일 내에 마련해야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국 기기유화시험 연구원, "절삭유제와 연삭유제," pp. 240-249, 1996.
2. 山中彦, "절삭가공유의 구조와 작용. 기계와 윤활," pp. 86-93, 1993.
3. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Metalworking/Machining Fluids," URL: <http://www.osha.gov/oshinfo/priorities/metal.html>. 2001.
4. NIOSH, "Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposures to Metalworking Fluids," US. Dep. of Health and Human Services, CDC. NIOSH. February, 1998.
5. 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, Vol. 32(3), pp. 240-247, 1997.
6. Eisen, EA., Tolbert, PE., Monson, RR., Smith, TJ., "Mortality Studies of Machining Fluid Exposure in the Automobile Industry I: A Standardized Mortality Ratio Analysis," Am J Ind Med, Vol. 22, pp. 809-824, 1992.
7. Eisen, EA., Tolbert, PE., Hallock, MF., Hammond, SK., Monson, RR., Smith, TJ., Woskie, SR., "Mortality Studies of Machining Fluid Exposure in the Automobile Industry III: A Case-control Study of Larynx Cancer," Am J Ind Med, Vol. 26, pp. 185-202, 1994.
8. Calvert, GM., Ward, E., Schnorr, TM., Fine, LJ., "Cancer Risks among Workers Exposed to Metalworking Fluids: a Systematic Review," Am J Ind Med, pp. 33, pp. 282-292, 1998.
9. Jarvholm, B., Easton, D., "Models for Skin Tumor Risks in Workers Exposed to Mineral Oils," Br J Cancer, Vol. 62, pp. 1039-1041, 1990.
10. Mallin, K., Berkeley, L., Young, Q., "A Proportional Mortality Ratio Study of Workers in a Construction Equipment and Diesel Engine Manufacturing Plant," Am J Ind Med, Vol. 10, pp. 127-141, 1986.
11. Park, R., Krebs, J., Mirer, F., "Mortality at an Automobile Stamping and Assembly Complex," Am J Ind Med, Vol. 26, pp. 449-463, 1994.
12. Park, RM., Wegman, DH., Silverstein, MA., Maizlish, NA., Mirer, FE., "Causes of Death Among Workers in a Bearing Manufacturing Plant," Am J Ind Med, Vol. 13, pp. 569-580, 1988.
13. 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, Vol. 24, pp. 485-498, 1993.
14. Silverstein, M., Park, R., Marmor, M., Maizlish, N., Mirer, F., "Mortality Among Bearing Plant Workers Exposed to Metalworking Fluids and Abrasives," J Occup Med, Vol. 30(9), pp. 706-714, 1988.
15. Tolbert, PE., Eisen, EA., Polthier, IJ., 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, Vol. 18(6), pp. 351-360, 1992.
16. Sheehan, MJ., "Summary: Final Report of the OSHA Metalworking Fluids Standards Advisory Committee. Summary of the Recommendations of the OSHA Metalworking Fluids," Standards Advisory Committee, URL: <http://www.osha-slc.gov/> 1999.
17. ACGIH, "Threshold Limit Value(TLVs) for Chemical Substance and Physical Agents and Biological Exposure Indices(BEIs)," ACGIH Cincinnati Ohio 2001.
18. 백남원, 박동욱, 윤충식, 김승원, 김신범, 김귀숙, "우리 나라에서 사용하는 광물유(금속가공유)의 유해특성과 관리대책에 관한 연구-수용성 금속가공유의 유해특성과 관리대책," 한국 산업위생학회지, 제 8 권, 제 1 호, pp. 67-75, 1998.
19. 백남원, 박동욱, 윤충식, 조숙자, 김신범, 임호

- 섭, "우리 나라에서 사용하는 광물유(금속가공유)의 유해특성과 관리대책에 관한 연구-공기 중 MWF 미스트의 측정방법과 관리대책," 한국산업위생학회지, 제 7 권, 제 2 호, pp. 171-180, 1997.
20. 박동욱, 김신범, 신철임, "작업환경 중 MWF 미스트와 증기에 대한 측정방법의 개발-PVC 필터에 채취된 비 수용성 MWF 손실에 대한 보정," 한국산업위생학회지, 제 99 권, 제 2 호, pp. 186-195, 1998.
 21. Schroeder, JC., Tolbert, PE., Eisen, EA., Monson, RR., Hallock., MF., Smith, TJ., et. al., "Mortality Studies of Machining Fluid Exposure in the Automobile Industry, IV: a Case Study of Lung Cancer," Am J Ind Med, Vol. 31(5), pp. 525-533, 1997.
 22. International Agency Research Center(IARC), "IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Humans, Polynuclear Aromatic Compounds," Vol. 32, 1983.
 23. International Agency Research Center(IARC), "Mineral Oils. In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Humans, Part 2. Carbon Blacks, Mineral Oils(lubricant Base Oils and Derived Products) and Some Nitroarenes," Vol. 33, pp. 87-168, 1984.
 24. National Toxicology Program(NTP), "Ninth Report on Carcinogens, Tars and Mineral Oils," US Department of Health and Human Services, URL : <http://ehis.niehs.nih.gov/roc/toc9.html>, 2001.
 25. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Federal Register Hazard Communication. Federal Register #: 59, pp. 6126-6184 Standard Number: 1910.1200 ;1915.1200 ;1917.28 ;1918.90 ; 1926.59, 1994.
 26. Environmental Protection Agency(EPA), "United States Code. Title 15 Commerce and Trade, Chapter 53 Toxic Substances Control. Subchapter I - Control of Toxic Substances", pp. 2601-2692, 1976.
 27. National Toxicology Program(NTP), "Ninth Report on Carcinogens, Chlorinated paraffins(C12, 60 % Chlorine," US Department of Health and Human Services, URL : <http://ehis.niehs.nih.gov/roc/toc9.html> , 2001.
 28. 한국산업규격(KS), "절삭유제(cutting fluid) M 2173-1985," 공업진흥청 고시 제 95-544 호, pp. 1-3, 1985.
 29. Rossmoore, HW., "Antimicrobial Agents for Water-based Metalworking," J Occupa Med, Vol. 23(4), pp. 247-254, 1981.
 30. Mattsby-Baltzer, I., Sandin, M., Ahlstrom, B., Allenmark, S., Edebo, M., Falsen, E., et al., "Microbial Growth and Accumulation in Industrial Metal-working Fluids," Appl Environ Microbiol, Vol. 55, pp. 2681-2689, 1989.
 31. Hill, EC., "Microbial Aspects of Health Hazards from Water Based Metal Working Fluids," Tribology Intl, Vol. 16(3), pp. 136-140, 1983.
 32. National Toxicology Program(NTP), "Ninth Report on Formaldehyde," US Department of Health and Human Services, URL : <http://ehis.niehs.nih.gov/roc/toc9.html>. 2001.
 33. Cohen, H., " Study of Formaldehyde Exposures from Metalworking Fluid Operations using Hexahydro-1,3,5-tris (2-hydroxyethyl)-s-triazine. In: Symposium Proceeding: the Industrial Metalworking Environment; Assessment and Control. Dearborn MI November 13-16 Detroit MI:," Automobile Manufacturers Association, pp. 178-183, 1995.
 34. Thorne, PS., Dekoster, JA., Subramanian, P., "Bioaerosols and Airborne Endotoxins in a Machinig plant. In: Symposium Proceeding: the Industrial Metalworking Environment; Assessment and Control. Dearborn MI November 13-16 Detroit MI:," Automobile Manufacturers Association, pp. 244-247, 1995.
 35. Jarvholm, B., Zingmark, PA., Osterdahl, BG., "SHORT COMMUNICATION-High Concentration of N-Nitrosodiethanolamine in a Diluted Commercial Cutting Fluid," Am J Ind Med, Vol. 33, pp. 282-292, 1991.
 36. International Agency Research Center(IARC), "Mineral Oils: Untreated and Mildly-treated Oils(Group 1), Highly-refined Oils(Group 3). In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Humans, Overall Evaluation of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs; Vol. 33 Suppl. 7, pp. 252-259,

- 1987.
37. Jarvholm, B., Lavenius, B., Sallsten, G., "Cancer Morbidity in Workers Exposed to Cutting Fluids Containing Nitrites and Amines," *Br J Ind Med*, Vol. 43, pp. 563-565, 1986.
 38. Lijinsky, W., "Induction of Liver Tumors in Rats by Nitrosodiethanolamine at Low Doses," *Carcinogenesis*, Vol. 6, No. 12, pp. 1679-1681. 1985.
 39. Lijinsky, WJ., "Report on the Toxicology of Metalworking Fluids," URL <http://ntserver.ccohs.ca/o%ae/html/liss.htm>.
 40. Environmental Protection Agency(EPA), "United States Code. Prohibition of Nitrites in Metalworking Fluids: Final Rule". *Federal Register* 2762, Part 747, 1984.
 41. Occupational Safety and Health Administration, "Code of Federal Regulations Title 40 2001"; 23, Parts 700-789, pp. 499-505, Revised as of July 1.
 42. Fan, TY., Morriuson, J., Rounbelhler, DP., Ross, R., Fine, DH., Miles, W., et. al., "N-nitrosodiethanolamine in Synthetic Cutting Fluids: A part-per-hundred Impurity," *Sciece*, Vol. 196(4285), pp. 70-71, 1977.
 43. Ducos, P., Gaudin, R., Francin, JM., "Determination N-nitrosodiethanolamine in Urine by Gas Chromatography Thermal Energy Analysis: Application in Workers Exposed to Aqueous Metalworking Fluids," *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 72, pp. 215-222, 1999.