

가공유제의 인체 피해와 친환경 가공

김남경[#], 김해지^{*}

A Health Hazard and Environmental friendly Machining of Machining Fluids

Nam Kyung Kim[#], Hae Ji Kim^{*}

ABSTRACT

To decrease environmental damage, the development of environmental friendly fluids provides attractive alternative to the conventional fluids. In this study, the effects of harmful ingredients (Cl, S) contained in the fluids that used in grinding and cutting processes to influence on the nasal cavities of the white rats were measured indirectly. Also, the level of the environmental influence in workshops was graded through analyzing the concentration and chemical ingredients of flying-dust, which generated from the friction and combustion in the cutting process, that for analyzing how harmful the influence of particles to workers then it could be used as the basic data for improving the environment. To improve the conventional machining fluid, which can be harmful on worker's bodies and the environment, the environmental friendly machining method was suggested through analyzing each lubrication properties of vegetable fluid and used-edible oil as alternative fluid.

As a result, it was known that an emulsion type fluid might be the main cause leading to some respiratory ailments. Also this paper presents the possibility to use vegetable fluid and used-edible oil as the alternative of cutting fluids.

Key Words : Machining fluids(가공유제), Environmental friendly machining(친환경 가공), Coarse particles (조대입자), Fine particles (미세입자), Lubrication property(윤활특성)

1. 서론

최근 환경규제에 의해 절삭 및 연삭 가공공정에 사용되고 있는 유제의 환경피해가 대두되고 있어, 이러한 환경피해를 줄이기 위해 기존 유제를 대응할 수 있는 친환경 유제의 개발이 필요한 시점이다.

본 논문에서는 우선적으로 연삭 및 절삭가공 공정에 사용되고 있는 유제를 흰쥐 모델에 적용하여 유제에 포함된 유해성분(Cl, S)이 흰쥐의 비강에 미치는 영향을 간접적으로 고찰할 것이다. 또한 공작기계를 사용하여 절삭 및 연삭 가공 공정 시 피삭재 및 공구의 마모방지, 윤활효과, 냉각 작용을 하는 유제를 사용하는 작업장에 대해 피삭재 가공 시

[†] 2002년 7월 19일 접수

[#] 교신저자, 진주산업대학교 기계설계공학과
Email nkkim@jinju.ac.kr Tel. (055) 751-3353

^{*} 경상대학교 기계공학과 대학원

마찰 및 연소에 발생하는 비산분진을 포집하여 작업장내 환경영향 평가를 실시하여 미세입자들이 작업자의 인체에 미치는 유해성을 분석^{2,3}함으로써, 작업장 환경개선을 위한 기초자료로 삼고자 한다.

그리고 일반가공유제의 인체 및 환경 피해 개선을 위해 대체 유제로 식물성유제, 정제된 폐식용유 등의 유제별 유행 특성을 분석하여^{4,5} 가공적용을 통한 친환경 가공기술을⁶⁻⁸ 제시하고자 한다.

2. 유제의 인체 피해 및 환경영향 평가

2.1 유제의 흰쥐 모델 실험

가공유제가 인체에 미치는 영향을 파악하기 위해 간접적인 방법으로 흰쥐를 대상으로 실험을 행하였다. 흰쥐는 4~6 주령의 Sprague Dawley계 흰쥐를 성별 구분없이 사용하였다. 실험군 12마리와 대조군 6마리로 나누었으며 이들 흰쥐는 동일한 조건 하에서 사육하였다. 흰쥐는 수용성유제와 생리식염수 처리전에 ketamine HCl(75 mg/kg)와 xylazine HCl(10 mg/kg)으로 복강마취 하였다. 마취가 된 흰쥐는 기도확보를 위해 머리를 30° 정도 낮게 한 다음 실험군에는 16 µg/ml의 수용성유제를 흰쥐의 양쪽 코구멍에 각 50 µl씩 micropipett을 이용하여 점적하였으며, 정상세포에는 실험세포와 동일한 방법과 양으로 생리식염수를 점적하였다.

수용성유제와 생리식염수를 점적한 후 각 1일, 3일 그리고 5일의 생존기간을 둔 후 각 해당 일에 다시 동일 마취액으로 마취시키고 심장을 통해 관류고정을 하였다. 일반적으로 동물실험에서는 염증인자인 염색된 각 조직에 중성구 군집(Neutrophil clusters)의 수는 40배의 저배율에서 모든 비강에서 그 수를 관찰하였으며, 호산구(Eosinophils) 및 상피세포손상(Epithelium loss) 수는 비점막에서 10군데에 400배의 고배율에서 수를 관찰하였다.

Table 1은 흰쥐모델 실험을 통한 1일, 3일, 5일 동안의 정상세포와 수용성 유제를 점적하여 흰쥐의 비강 및 비점막에서의 염증세포인 중성구군집, 호산구 및 상피세포의 손상 수 등을 나타낸 것이며, 중성구군집, 호산구 및 상피세포의 손상은 정상세포와 실험세포 군간의 시간적 차이는 정상세포보다 실험세포에서 1일, 3일, 5일 모두에서 현저한 증가를 보였다.

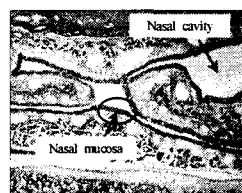
Fig. 1(A)는 정상 세포이며, 비강(Nasal cavity) 및 비점막(Nasal mucosa)부에서는 염증이 없음을 알 수 있다. Fig. 1(B)는 수용성유제를 흰쥐의 코에 점적한 세포를 나타낸 것이며, Fig. 1(C)는 Fig. 1(B)의 박스 부분을 확대한 그림을 나타내었다. Fig. 1(C)에서 비강부에서 염증의 진행사항을 확인하였다. 또한 염증을 일으키는 중성구 군집은 모든 비강 내에서 관찰되었다. Table 1과 Fig. 1에서 정상세포와 실험세포의 시간적 차이는 정상세포 보다 실험세포에서 1일, 3일 그리고 5일 모두에서 현저한 증가를 보였다.

Fig. 2는 염증세포인 호산구가 비점막부로 이동하는 것을 나타냈으며, Fig. 3은 호산구의 이동에 의해 상피세포의 손상으로 인한 비점막부가 괴사된 형태를 나타내었다. Table 1과 Fig. 2, 3에서 정상세포와 실험세포의 시간적 차이는 정상세포 보다 실험세포에서 1일, 3일에서 현저한 증가를 보였다.

수용성 유제를 흰쥐의 비강에 점적한 실험에서는 염증세포인 중성구군집, 호산구, 상피세포의 손상은 정상세포에 비해 실험세포가 현저히 증가하였으며, 이를 통해 수용성유제의 유해성을 검증하였다.

Table 1 Number of neutrophil clusters, eosinophils, epithelium loss positive cells in the rat sinus

	Normal saline (0.9 %)			Emulsion type oil (50 µg/ml)		
	1day	3day	5day	1day	3day	5day
Neutrophil clusters	4.75	2.00	1.50	6.50	9.75	4.75
Eosinophils	1.10	0.50	0.95	2.83	3.65	2.68
Epithelium loss	2.50	4.00	3.50	5.50	7.00	6.50



(A) Normal cells



(B) Experimental cells



(C) Experimental detail cells

Fig. 1 Light photomicrographs of rat intranasal instilled with normal saline (A) and emulsion type oil (A and C)

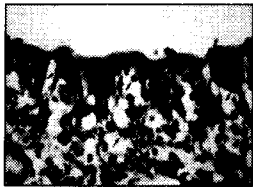


Fig. 2 Eosinophils infiltration in the nasal mucosa of the rat instilled with emulsion type oil



Fig. 3 Epithelium loss in the nasal mucosa of the rat instilled emulsion type oil

2.2 가공유제의 작업장 환경영향평가

가공유제의 작업장 환경영향평가를 위해 수용성유제를 많이 사용하는 가공전문업체인 J사를 선정하였으며, 작업장 비산 분진 농도 측정을 위해 절삭작업이 진행되고 있는 머시닝센터 가공작업 시 사용되고 있는 수용성유제에 대하여 거리 1m 지점에 분진시료 포집장치(Low volume air sampler)를 설치하여 평균 13ℓ/min의 유속으로 약 7시간 시료를 채취한 뒤 전자저울로 평량하여 중량법에 따른 중량농도(mg/m³)로 환산하였다. 또한 각 입자별 형태 및 화학성분 분석을 위해 SEM EDX를 사용하였다.

Table 2는 J사의 작업장 발생분진의 농도를 나타낸 것이며, 작업장의 비산분진 중 주로 분진의 크기가 커서 비호흡성 입자로 간주되는 조대입자의 농도는 0.1309 mg/m³, 분진의 크기가 작아 호흡성 입자로 간주되는 미세입자의 농도는 0.0764 mg/m³ 이었고, 총 부유분진(조대입자 + 미세입자)의 농도는 0.2073 mg/m³으로 노동부 분진의 작업환경 기준(10 mg/m³)보다는 낮은 농도로 나타났다.

일반적으로 조대입자(입경 > 1μm)의 경우 인체에 흡입하였을 때 비강의 용도에 의해 걸러지고, 미세입자(입경 < 1μm)는 흡입 시 인체에 접촉되어지는 입자이며, 특히 형태학적 고찰에서 불규칙한 입자보다 구형입자가 더 위험하다.

Table 2 Outbreak dusty concentration in workshop (J co.)

Sampling time	Sampling weight		Mean discharge (ℓ/min)	Dust concentration (%)
	Coarse particles	Fine particles		
423 min	0.72 mg	0.42 mg	13 ℓ/min	Coarse particles : 0.1309 mg/m ³ (63.2%) Fine particles : 0.0764 mg/m ³ (36.8%) Total concentration : 0.2073 mg/m ³

조대입자 및 미세입자 영역에 대한 SEM EDX에 의한 화학성분 및 함유량은 대기중에 포함된 C, O, 등의 원소를 제외한 Mg, Al, Si, Ca, Cl, Cu, Zn, S, Na 등에 대한 정성분석에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 4는 조대영역(입경 > 1μm)의 입자를 나타냈으며, 주로 작업공정 특성상 연마, 절삭 등의 물리적인 파쇄 과정에서 발생된 입자상 물질로 추정되는데, 특히 입경 10μm이상의 불규칙적 모양의 입자상 물질이 많았다. Table 3 및 Fig. 5에 의해 조대입자 영역에서는 Si 성분이 높게 나타났다.

Fig. 6은 미세입자 영역(입경 < 1μm)의 입자를 나타냈으며, 미세입자 영역에서는 대부분 입자상 물질의 크기가 입경 1μm 이하였으며, 또한 형태학적 고찰에서 인체에 흡입되면 점착되는 입경 1μm 전후의 구형 입자상 물질도 관찰되었다.

Table 4 및 Fig. 7에 의해 미세입자 영역에서는 Cu, Zn 등의 중금속 물질의 비율이 높았고, 이러한 물질들은 독성이 크고, 인체에 축적되면 위험성이 큰 원소이다.



Fig. 4 SEM photographing of coarse particles boundary (particles size > 1 μ m)

Table 3 Chemical composition of coarse particles boundary

Elmt	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Total
Element (%)	2.6	26	36	1.9	1.3	5.7	12.1	14.4	100

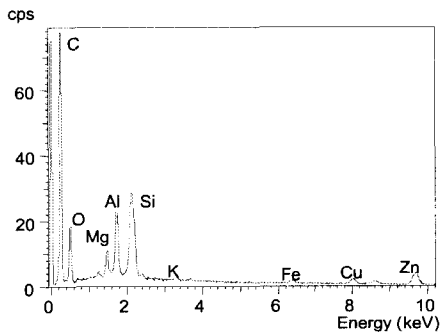


Fig. 5 Diagram chemical composition for SEM EDX (coarse particles)



Fig. 6 SEM photographing of fine particles boundary (particles size < 1 μ m)

Table 4 Chemical composition of fine particles boundary

Elmt	Si	Cu	Zn	Total
Element (%)	22.06	46.56	31.38	100.0

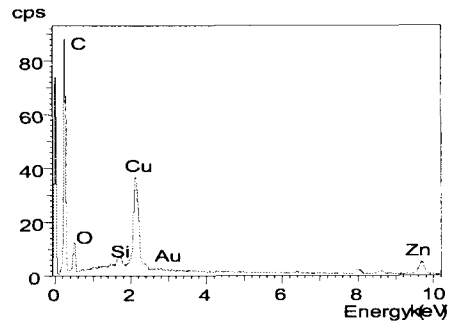


Fig. 7 Diagram chemical composition for SEM EDX (fine particles)

3. 친환경 가공

3.1 유제의 운할특성

친환경가공을 위해 우선 가장 널리 사용되는 유제들의 운할성을 파악하고 특히 정제된 폐식용유의 운할특성을 측정함으로써 가공유제로서의 가능성을 조사하였다.

Fig. 8은 유제의 운할특성을 조사하기 위하여 사용한 회전식 점도계(Haake社, VT-500)의 개략도이다. 이것은 동일한 중심 축상에 있는 고정된 외부원통(cup), 회전하는 내부원통(bob), 내부원통의 구동부, 온도제어가 가능한 항온조 및 온도, 토크, 회전수 계측신호의 처리부로 구성되어 있다. 실험에서는 외부원통과 내부원통 사이의 간극에 윤활유를 주입하고, 내부원통의 전단속도비를 변화시켜 내부원통을 2530 rpm으로 회전시켜 토크를 측정하여 점도를 측정하는 점도계이다. 내부원통과 외부원통의 간극은 1.45mm이다.

이 간극은 내부원통의 선택에 따라 변하게 된다. 즉 윤활유의 점도가 큰 경우에는 직경이 작은 내부원통을 사용하고, 점도가 작은 경우에는 직경이 큰 내부원통을 사용하여 간극을 적절하게 조절할 수 있다. 점도계와 PC가 연결되어, 전단속도비

(내부원통의 회전속도)변화에 따른 점성계수와 전단응력이 자동으로 측정되어, 출력되도록 구성되어 있다. 실험조건은 전단속도비를 0.0[1/s]에서 200[1/s]까지 2분 동안에 증가하도록 조건을 설정하였다.

Table 5는 회전식 점도계의 내부원통인 SV1 센서의 사양을 나타낸 것이다. 바깥쪽 원통의 내경은 23.1mm이고, 안쪽 원통의 내경은 20.2mm이다. 안쪽 원통이 윤활유와 접하는 길이는 61.4mm이다.

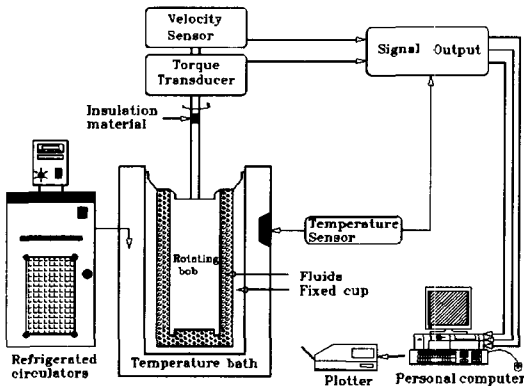


Fig. 8 Schematic of Viscotester (Haake VT500)

Table 5 Specifications of SV1 sensor

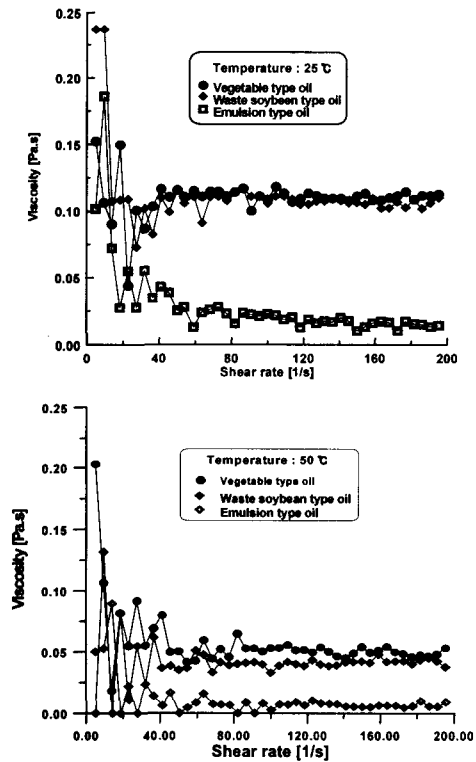
Sensor System	SV1
Sensor No.	5
Inner Cylinder(bob)	
Radius R_i (mm)	10.1
Height L (mm)	61.4
Outer Cylinder(cup)	
Radius R_a (mm)	11.55
Radii Ratio R_a/R_i	1.14
Gap Width (mm)	1.45
Sample Volume V (cm ³)	12.0
Temperature (°C)	-30~100
System Factors	
f (rpm)	2530

Fig. 9는 사용 온도별(25, 50, 100°C) 윤활유의 점도특성을 측정한 결과이다. x축은 전단속도비, y축은 점도를 나타내고 있으며, 온도 25°C에서는 식물성유제 및 정제된 폐식용유가 수용성유제보다 점도가 큰 것을 알 수 있고, 온도 상승에 따라 각 유제별 점도 차이는 나지 않았다.

Fig. 10은 전단속도비가 증가함에 따라서 전단응력이 불규칙하게 거동하는 것을 설명한 그림이다.

Fig. 10의 (a)는 입자 콜로이드 형태이며, 전단속도비가 증가함에 따라서 전단응력이 선형적으로 거동하는 형태의 콜로이드이다. 식물성유제, 정제된 폐식용유가 이에 해당된다.

Fig. 10의 (b)는 분자 콜로이드 형태이며, 분산액의 미소입자가 콜로이드 분산하는 것이 아니고, 분자 분산을 하는 분자 콜로이드 형태이다. 수용성유제가 이에 해당되며, 분자가 분산액중에서 매우 펼쳐진 형태를 하고 있다. 펼쳐진 실뿔상의 분자는 분산액중에서 서로 접촉하며, 이와 같은 실뿔상 상태의 분자가 분산액중에서 매우 큰 저항을 받기 때문에 전단응력이 불규칙하게 거동한다.



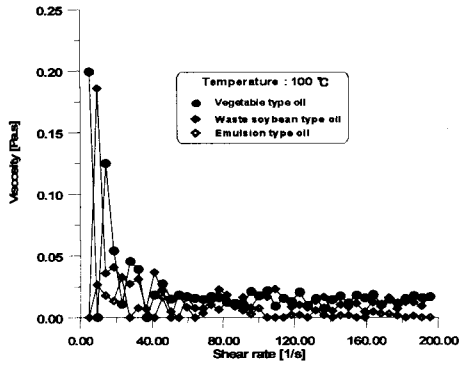


Fig. 9 Relationship between viscosity and shear rate of cutting fluids on 25, 50, 100°C

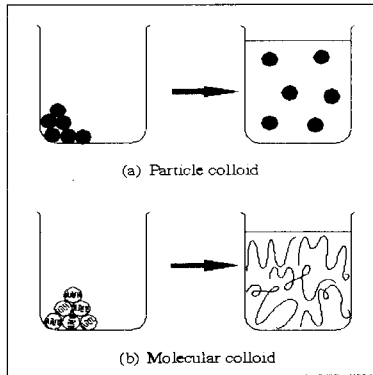


Fig. 10 Model of colloid particle

3.2 친환경 연삭 실험

Fig. 11은 (주)화천기계의 HGN-64CF 평면연삭기에 가격이 비싼 식물성유제를 소량 분무시킬 수 있는 장치인 Accu-lube applicator를 장착한 것이며, Table 6은 실험조건을 나타내었으며, 친환경 가공 실험을 위해 수용성유제 식물성유제, 정제된 폐식용유를 사용하여 AL2024, AL6061, AL7075 소재에 대해 연삭 실험을 행하였다.

정제된 폐식용유는 일반식당에서 사용 후 버려진 것을 다단 Filtering 장치를 사용하여 정제 후 사용하였다.

Fig. 12는 AL2024, AL6061, AL7075 소재에 수용성유제, 식물성유제 및 정제된 폐식용유를 사용하여 연삭을 행하였다. 그림에서 보듯이 윤활 효

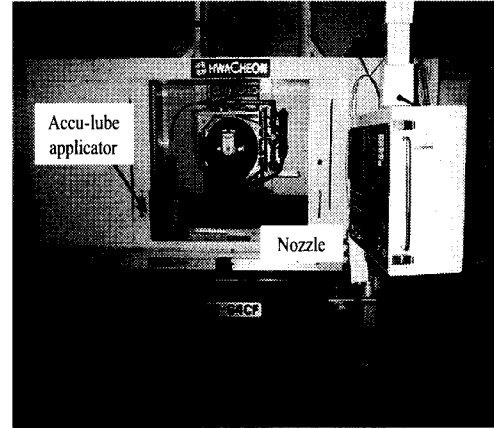


Fig. 11 Experimental equipments

Table 6 Experimental conditions

Grinding Method	Down cut in surface grinding
Grinding M/C	HWACHEON HGN-64CF
Grinding wheel	C80L8V(305×127×25)(mm)
Wheel speed	30 m/s
Grinding depth	10, 20, 30, 50 μm
Fluid	5% Emulsion type oil in water Vegetable fluids: ITW, LB1000) Refined used-edible oil
Dressing conditions	Depth of cut : 5 μm Pass : 4 passes Dressing Speed : 1750 rpm
Workpiece	Al 2024, 6061, 7075 Size : 80L×25W×10H

과가 뛰어난 식물성유제 쪽이 연삭 깊이 30μm 이하에서는 표면조도가 우수하였고, 비교적중연삭인 연삭 깊이 50μm 에서는 냉각효과가 뛰어난 수용성유제 쪽이 표면조도가 다소 뛰어났다. 그리고 식물성유제와 정제된 폐식용유의 연삭 성능 비교에서는 식물성유제 쪽이 다소 뛰어났으며, 그러므로 정제된 폐식용유도 윤활 효과가 매우 우수하여 연삭 유제로서 사용이 가능할 것으로 생각된다. 또한 정제된 폐식용유의 경우 1차 사용 시 산화 후 정제하여 연삭 실험에 사용하였기 때문에 식물성유제 보다는 윤활 효과가 저하되었다고 추측된다.

Fig. 13은 AL2024소재를 선택하여 수용성유제, 식물성유제, 정제된 폐식용유를 이용하여 연삭 저항을 측정한 결과를 나타내었으며, 결과들은 비슷하였다.

아래 연삭 실험을 통해 수용성유제 대응으로 친환경 유제인 식물성유제, 정제된 폐식용유의 친환경 가공유제로서의 가능성을 제시하였다.

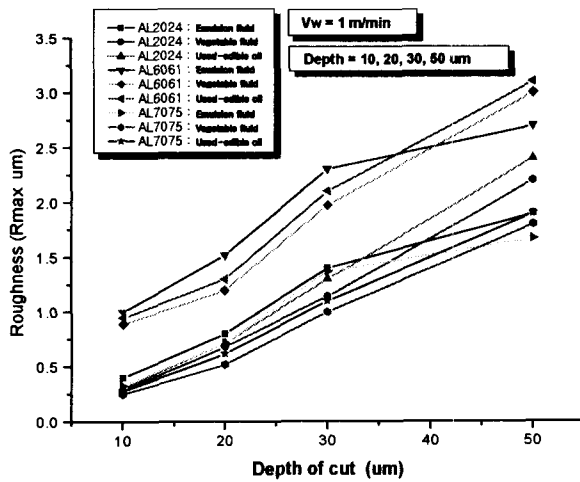


Fig. 12 Variation of surface roughness depending on depth of cut

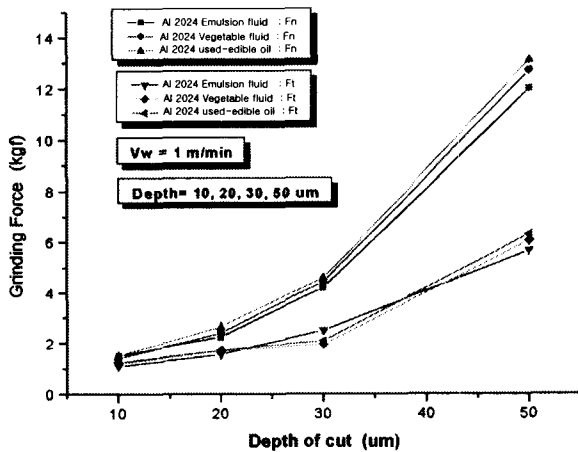


Fig. 13 Variation of grinding force Fn and Ft

4. 결론

본 실험에서는 가공공정에 사용되고 있는 수용성유제를 흰쥐모델실험을 통한 유해성 실험과 절삭유제의 작업장 환경영향평가를 실시하여 수용성유제의 인체에 미치는 영향을 검증하였고, 수용성 유제의 대안으로 식물성유제, 정제된 폐식용유 등의 윤활특성 분석 및 친환경 연삭 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 일반적으로 사용되는 수용성유제가 인체에 지속적으로 접촉되어지면 호흡기 질환을 일으키는 주요 원인이 될 수 있다.
- (2) 수용성유제의 작업장 환경영향평가를 실시하여 미세분진은 공작물 가공 시 발생하는 마찰열 및 절삭유의 연소에 의해 발생하는 구형입자가 많았으며, 또한 수용성유제를 사용한 절삭가공에서 Cu, Zn 등의 중금속 물질의 유해성분이 발생됨을 알 수 있었다.
- (3) 각 유제별 윤활 특성에서는 식물성유제와 정제된 폐식용유는 큰 차이를 보이지 않았으나, 수용성유제는 윤활특성이 떨어진다.
- (4) 연삭깊이 30 μ m 이하의 연삭에서는 윤활성이 좋은 식물성유제가, 50 μ m의 중연삭에서는 냉각성이 좋은 수용성 유제의 표면조도가 우수하였다.
- (5) 연삭 저항의 경우 AL 2024, AL6061, AL7075 각 소재의 전체적인 연삭 저항에서는 큰 차이를 보이지 않았고, 표면조도는 AL2024, 7075는 비슷하였으나, AL6061는 다소 나쁘다.
- (6) 친환경 연삭 실험을 통해 수용성 유제 대응으로 식물성유제, 정제된 폐식용유의 절삭유제로서의 적용성을 검증하였다.

후 기

본 논문은 선도기술 개발사업 중 첨단생산시스템 개발의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Bomer, K., Briclita, A., Baroody, F., Li, X. and Naclerio, RM., "A mouse model of acute

- bacterial rhinosinusitis," Arch Otolaryngol Head Neck Surg, Vol. 124, pp. 1227-1232, 1998.
2. 신창섭 외5명, "작업환경관리, 동화기술, pp. 15-77, 1998.
 3. 윤용노, 이관형, "입자상 물질 폭로농도의 통계적 평가방법에 관한 관찰," 한국산업위생학회지, 제1권, 제2호, pp. 154-163. 1991.
 4. Instruction manual Viscotester VT500/501, Haake Mess-Techik GmbH. Co.
 5. Rheology, 조순채 역, 대한교과서(주), 1985.
 6. 최현중, 이석우, "압축냉각공기를 이용한 환경친화적 연삭 가공기술," 한국정밀공학회지 제18권, 제9호, pp. 11-17, 2001.
 7. 이석우, 최현중, 정해도, "WA 슷들을 이용한 원통 연삭 시 압축냉각공기와 연삭유의 냉각 효과에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권, 제10호, pp. 155-161, 2000.
 8. 김남경, "냉각공기 장치에 의한 환경친화 연삭 연구," 한국정밀공학회지, 제15권, 제9호, pp. 45-150, 1998.