

가공유제의 환경피해와 대책

김남경*, 김해지*, 정종달**

A Counterplan and Environmental damage of Cutting fluids

Nam Kyung Kim*, Hae Gi Kim*, Jong Dal Jung**

Abstract

This paper presented on an environment estimation of cutting fluid which is a mouse model of acute bacterial rhinosinusitis using cutting fluid in grinding and cutting. Above results will be remarked the necessity of friendly environmental cutting skill when it had used in workshop.

The results of a mouse experimental using cutting fluid showed that it are occurred to the respiratory organs sickness. Also cutting fluid are occurred to hurtfulness a person when it used to grinding and cutting in workshop. Also, the results of grinding experiments in avitation materials showed that surface roughness are superior to more emulsion type oil than vegetable type oil according to increase of the depth of cut. Grinding force are similar to both emulsion type oil and vegetable type oil.

Key Words : Cutting fluids(가공유제), Environment-Friendly Grinding (환경친화 연삭), Coarse particles (조대입자), Fine particles (미세입자), Lubrication property(윤활특성)

1. 서론

최근 환경규제에 따른 절삭 및 연삭 가공공정에 사용되고 있는 유제의 환경피해가 대두되고 있는 실정이다. 또한 환경피해를 줄이기 위해 기존 유제를 대응할 수 있는 친환경 유제의 개발이 필요한 시점이다.

본 논문에서는 우선적으로 연삭 및 절삭 가공공정에 사용되고 있는 유제를 흰쥐 모델에 적용하여 유제에 포함된 유해성분(CI, S)이 흰쥐의 비강에 미치는 영향을 간접적으로 규명하여 고찰할 것이며,⁽¹⁾ 또한 공작기계를 사용하여 절삭 및 연삭 가공공정시 피삭재 및 공구의 마모방지, 윤활효과, 냉각 작용을 하는 유제를 사용하는 작업장에 대해 피삭재 가공시 마찰 및 연소에 발생하는 비산분진을 포집하여 분진농도 및 화학성분 분석을 통하여 작업장내 환경영향 평가를 실시하

여 미세입자들이 작업자들의 인체에 미치는 유해성을 분석함으로써,^(2,3) 작업장 환경개선을 위한 기초자료로 삼고자 한다.

또한 일반가공유제의 인체 및 환경 피해 개선을 위해 대체 유제로 식물성유제, 폐식용유등의 유제별 윤활 특성을 분석하여^(4,5) 가공적용을 통한 친환경 가공기술을⁽⁶⁻⁸⁾ 제시하고자 한다.

2. 실험 및 방법

2.1 유제의 흰쥐 모델 실험

흰쥐는 4~6 주령의 Sprague Dawley계 흰쥐를 성별 구분없이 사용하였다. 실험군 12마리와 대조군 6마리로 나누었으며 이들 흰쥐는 동일한 조건하에서 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 수용성유제 5%를 흰쥐의 양쪽 코구멍에 각 50 µl씩 micropipett 을 이용하여 점적하였으며, 대조군에는 실험군과 동일한 방법과 양으로 생리식염수를 점적하였다.

수용성유제와 생리식염수를 점적한 후 각 1일, 3일 그리고 5일의 생존기간을 둔 후 각 해당일에 다시 동일 마취액으로 마취시키고 심장을 통해 관류고정을 하였다. 염색된 각 조직에 중성구 군집의 수는 40배의 저배율에서 모든 비강에서 그 수를 세었으며, 호산구와 상피세포 손상의 수는 비점막에서 10군데를 정하여 400배의 고배율에서 세었다. 배세포의 수는 호흡상피가 있는 비점막에서 4군데를 정해 400배의 고배율에서 세었다. iNOS 양성세포(염증세포) 수는 비점막에서 10군데를 정해 400배의 고배율에서 수를 세었다.

2.1.1 중성구 군집

중성구 군집은 모든 비강 내에서 관찰하였다. Table 1과 Fig.1 에서 대조군과 실험군간의 시간적 차이는 대조군 보다 실험군에서 1일, 3일 그리고 5일 모두에서 현저한 증가를 보였다. 실험군에서의 시간적 차이는 1일째에서 중성구 군집이 관찰되어 3일째에 그 수가 현저히 증가(ANOVA, P<0.01) 하였으며 5일째에는 조금 감소하는 소견을 보였다.

2.1.2 호산구 침윤

호산구는 비점막에서 관찰하였다. Table 1과 Fig. 2, 3 에서 대조군과 실험군간의 시간적 차이는 대조군보다 실험군에서 1일, 3일 그리고 5일에서 현저한 증가를 보였다. 실험군에서의 시간적 차이는 1일째에 호산구가 관찰되어 3일째에 그 수가 현저히 증가(KANOVA, P<0.01) 하였으며 5일째에는 조금 감소하는 소견을 보였다.



(A) Normal cells



(B) Experimental cells



(C) Experimental detail cells

Fig.1 light photomicrographs of rat intranasally 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 Epithelial loss in the nasal mucosa of the rat instilled emulsion type oil

Table 1 Number of neutrophil clusters, eosinophils, epithelialloss goblet cells, iNOS positive cells in the rat sinus

	0.9% Normal saline			20µg/ml PAF		
	1day	3days	5days	1day	3days	5days
Neutrophil cluster area	4.75±0.5	2.00±1.1	1.50±0.5	6.50±1.73	9.75±1.71	4.75±0.96
Eosinophils	1.10±0.2	0.50±0.1	0.95±0.2	2.83±0.01	3.65±0.47	2.68±0.25
Epithelium loss	2.50±0.5	4.00±1.1	3.50±0.5	5.50±0.58	7.00±0.82	6.50±1.00
Gobletcells	5.75±1.4	9.38±3.6	8.63±2.4	11.81±0.8	19.9±4.15	18.4±2.44
iNOS	1.50±0.8	2.90±0.6	1.50±0.4	8.53±0.57	11.1±1.55	7.70±1.50

2.2 작업장 환경영향 평가

Table 2는 J사의(철삭 및 연마작업 공정의 중소기업)작업장 발생분진의 농도를 나타낸 것이

며, 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 작업환경기준(10 mg/m³)보다는 낮은 농도로 나타났다. 대기중에 포함된 C, O, 등의 원소를 제외한 Mg, Al, Si, Ca, Cl, Cu, Zn, S, Na 등에 대한 정성분석에 대한 결과이다.

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

시료채취 시간 (시작 ~ 끝)	시료채취 여지무게		평균 흡인유량 (L/min)	분진 농도 (비율)
	조대 입자	미세 입자		
423분간	0.72mg	0.42mg	13L/min	조대입자: 0.1309mg/m ³ (63.2%) 미세입자: 0.0764mg/m ³ (36.8%) 총 농도: 0.2073 mg/m ³

2.2.1 조대입자 영역 (입경 > 1μm)

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



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

Table 3 Chemical composition of coarse particles boundary

Elmt	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Total
Element (%)	2.6	14	48	1.9	1.3	5.7	18.2	12.11	100

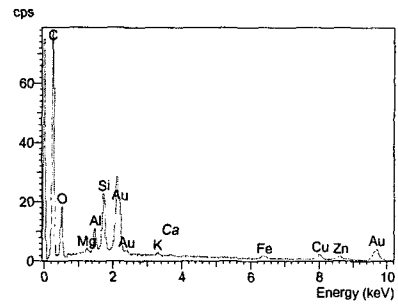


Fig.5 Diagram chemical composition for SEM EDX (coarse particles)

2.2.2 미세입자 영역 (입경 < 1μm)

Fig.6은 미세입자 영역의 입자를 나타냈으며, 입자상 물질은 발생과정에 따라 그 형태가 다양한데, 특히 물리적인 파쇄과정 시 불규칙적인 형태가 많으며, 마찰열에 의한 절삭유의 연소 등 주로 연소시 발생되는 입자상 물질의 형태는 구형 입자가 많다. 미세입자 영역에서는 대부분 입자상 물질의 크기가 입경 1μm 이하이었으며, 특히 절삭유의 연소과정에서 발생된 것으로 추정되는 입경 1μm 전후의 구형 입자상 물질도 관찰되었다.

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



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

Table 4 Chemical composition of fine particles boundary

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

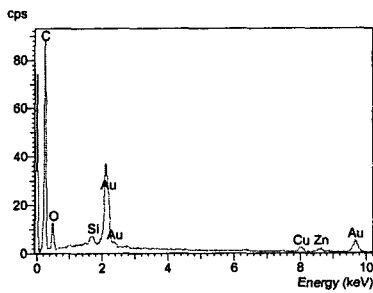


Fig.7 Diagram chemical composition for SEM EDX (fine particles)

2.3 유탄특성 분석

Fig.8은 유체의 유탄특성을 조사하기 위하여 사용한 회전식 점도계(Haake社, VT-500)의 개략도이다. 이것은 동일한 중심축상에 있는 고정된 외부 원통(cup이라 함), 회전하는 내부원통(bob이라 함), bob 구동부, 온도제어가 가능한 항온조 및 온도, 토크, 회전수 측정신호의 처리부로 구성되어 있다. 실험에서는 cup과 bob 사이의 간극에 유탄유를 주입하고, bob의 전단속도비를 변화시켜 bob을 회전시키는데 필요한 토크를 측정하여 점도를 측정하는 점도계이다. bob과 cup의 간극은 1.45mm이다. 이 간극은 bob의 선택에 따라 변하게 된다. 즉 유탄유의 점도가 큰 경우에는 직경이 작은 bob을 사용하고, 점도가 작은 경우에는 직경이 큰 bob을 사용하여 간극을 적절하게 조절할 수 있다. 점도계와 PC가 연결되어, 전단속도비(bob의 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 유탄유와 접하는 길이는 61.4mm이다.

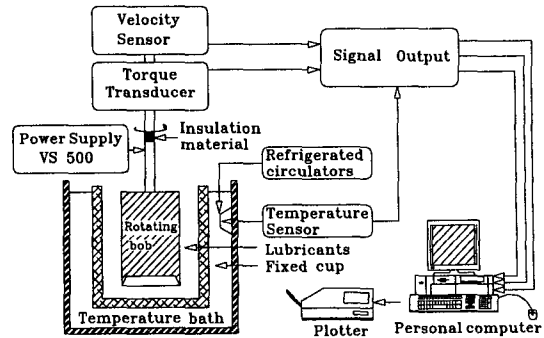


Fig. 8 Schematic of Viscotester(Haake VT500)

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
Radius 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	2530
M	890

2.3.1 유체의 유탄 특성

Fig.9는 유탄유의 점도특성을 측정한 결과이다. x축은 전단속도비, y축은 전단응력을 나타내며, 기울기가 점도를 표시하고 있다. 식물성유제 및 폐식용유가 수용성유제 보다 점도가 큰 것을 알 수 있다. 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, 폐식용유가 이에 해당된다. Fig.10의 (b)는 분자 콜로이드형태이며, 분산액의 미소입자가 콜로이드 분산하는 것이 아니고, 분자 분산을 하는 분자 콜로이드 형태이다. 수용성유제가 이에 해당되며, 분자가 분산액중에

서 매우 펼쳐진 형태를 하고 있다. 펼쳐진 실물 치상의 분자는 분산액중에서 서로 접촉하며, 이와 같은 실물치 상태의 분자가 분산액중에서 매우 큰 저항을 받기 때문에 전단응력이 불규칙하게 거동한다.

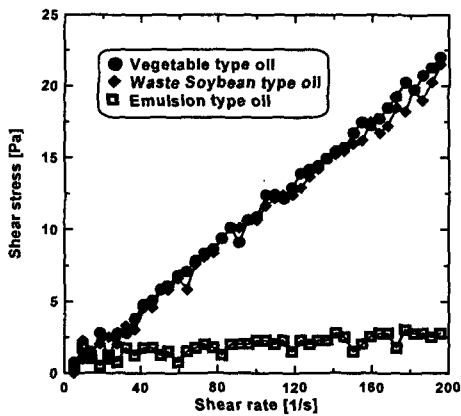


Fig.9 Relationship between shear stress and shear rate of cutting fluids

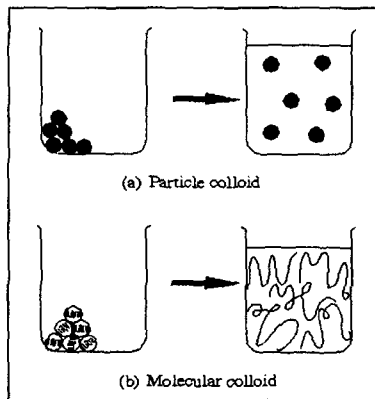


Fig.10 Model of colloid particle

2.4 환경친화 연삭

미스트 분사장치를 적용한 환경친화 연삭에서는 수용성유제, 식물성유제, 폐식용유를 사용하였다. Table 6은 실험조건을 나타내었으며, 아래 Fig.11, 12는 AL2024, AL6061, AL7075 소재의 연삭 성능 실험에 대한 결과를 도시하였다.

Fig.11은 AL2024, AL6061, AL7075 소재에 수용성유제, 식물성유제 및 폐식용유를 사용하여 연삭을 행하였다. 그림에서 보듯이 윤활 효과가 뛰어난 식물성유제 쪽이 연삭 깊이 30 μm 이하에서는 표면조도가

우수하였고, 비교적 중연삭인 연삭 깊이 50 μm 이상에서는 냉각효과가 뛰어난 수용성 유제 쪽이 표면조도가 다소 뛰어났다. 그리고 식물성유제와 폐식용유의 연삭 성능 비교에서는 식물성유제 쪽이 다소 뛰어났으며, 그러므로 정제한 폐식용유도 윤활 효과가 매우 우수하여 연삭 유제로서 사용이 가능할 것으로 생각된다. 또한 폐식용유의 경우 1차 사용 시 산화 후 정제하여 연삭 실험에 사용하였기 때문에 윤활 효과가 저하되었다고 추측된다.

Fig.12는 AL2024소재를 선택하여 수용성유제, 식물성유제, 폐식용유를 이용하여 연삭 저항을 측정된 결과를 나타내었으며, 결과들은 비슷하였다

Table 6 Experimental conditions

	Grinding condition
Grinding Method	Down cut in surface grinding
Grinding M/C	HGN-64CF (주)화천
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 식물성 유제(LB 1000) 폐식용유
Dressing conditions	Depth of cut : 5 μm Pass : 4 passes Dressing Speed : 1750 rpm
Workpiece	Al 2024, 6061, 7075 Size : 80L×25W×10H

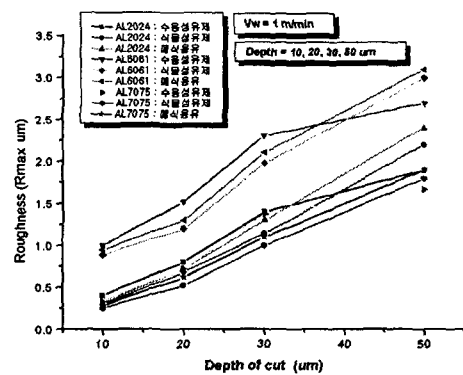


Fig.11 Variation of surface roughness depending on depth of cut

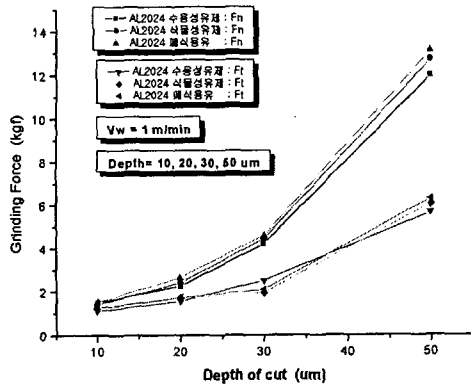


Fig.12 Variation of grinding force F_n and F_t

4. 결론

본 실험에서는 가공공정에 사용되고 있는 유제를 환취 모델을 적용한 실험 및 유제를 사용중인 작업장 환경영향평가, 각 유제별 윤활특성 분석을 통해 환경친화 연삭 가공을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 일반적으로 사용되는 유제가 인체에 지속적으로 노출될 경우 점진적으로 점착되어지면 호흡기 질환을 일으키는 주요 원인이 될 수 있다.
- (2) 가공전문 공장 등은 물리적인 파쇄과정에서 미세입자 물질들에 의해 호흡기 등의 인체에 나쁜 영향을 미칠 수 있을 것이다.
- (3) 연삭 저항의 경우 AL2024, AL6061, AL7075 각 소재의 전체적인 연삭 저항에서는 큰 차이를 보이지 않았고, 표면조도는 AL2024, 7075는 비슷하였으나, AL6061는 다소 나쁘다.
- (4) 각 유제별 윤활 특성에서는 식물성유제와 폐식용유는 큰 차이를 보이지 않았으나, 수용성유제는 윤활특성이 떨어진다.
- (5) 30 μ m 이하의 중연삭에서는 윤활성이 좋은 식물성유제가, 50 μ m 이상의 중연삭에서는 냉각성이 좋은 수용성 유제의 표면조도가 우수하였다.

후기

본 연구는 진주산업대학교 우수산업대학과제의 일부 지원을 받아 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Bomer K, Briclita A, Baroody F, Boonlayangoor S, Li X and Naclerio RM, "A mouse model of acute bacterial rhinosinusitis", Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 124:1227~1232 1998.
- (2) 신창섭 외5명, "작업환경관리", 동화기술. pp15-77, 1998
- (3) 윤용노, 이관형, "입자상 물질 폭로농도의 통계적 평가방법에 관한 관찰" 한국산업위생학회지, 제1권. 2호. pp15 4~163. 1991
- (4) Instruction manual Viscotester VT500/501. Haake Mess-Techik GmbH. Co.
- (5) Rheology, 조순채 역, 대한교과서(주), 1985.
- (6) 이석우, 최현종, 김대중, "연삭 가공시 Mist의 냉각효과에 관한 연구" 한국정밀공학회 춘계 논문집, pp.918~921, 2001
- (7) H.Z.Choi, S.W.Lee, J.S.Ahn, "A comparison of the cooling effects of the compressed cold air and coolant for the cylindrical grinding", International euspen conference, pp.416~419, 1999
- (8) 김남경외, "냉각공기 장치에 의한 환경친화 연삭 연구", 정밀공학회 15권 9호, 1998