

절삭공정에서 UV 자유반사 반응조를 사용한 폐절삭유의 감량화 연구

정석호 · 황현욱 · 홍상연 · 김현수 · 칸 무하마드 살림 · 김지훈 · 김영주[†]

경북대학교 환경공학과

(2008년 4월 24일 접수, 2008년 5월 21일 채택)

A Study on Waste Reduction of Water Soluble Cutting Fluids by UV-free Reflecting Reactor

Suk-Ho Jung · Hyeon-Uk Hwang · Sang-Yeon Hong · Hyun-Su Kim
Khan Muhamad Saleem · Ji-Hoon Kim · Young-Ju Kim[†]

Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University

ABSTRACT : In this study, the design of UV-free reflecting reactor was studied to enhance the cutting fluid life for cutting machine. And also, the stability of cutting fluid with addition of biocide in cutting fluid and without biocide was compared with respect to the cutting fluid concentration, pH changes and microorganisms. Low number of microorganism was observed in the cutting fluid after UV-free reflecting treatment as compare to the cutting fluid which was added biocide and just cutting fluid alone. PH of the cutting fluid after UV-free reflecting treatment was about 9~8.5 while others were observed considerably low. The oil contents of cutting fluid which was added biocied and pure cutting fluid were almost degraded with the passage of time. However, in case of UV-free reflecting reactor, 4~3.5 Brix oil contents were observed in the cutting fluid.

Key Words : UV-free Reflecting Reactor, Cutting Fluid, Microorganism, Biocide

요약 : 본 연구에서는 UV-자유반사 반응조가 장착된 절삭장치와 단독 절삭장치 및 Biocide투입 절삭장치의 각각의 절삭유에 대해서 23주 동안 미생물 개체수와 pH변화, 유분농도 등을 분석하여 절삭유의 장기사용을 위한 각 절삭장치의 효율성에 대한 비교 검토를 하였다. 미생물의 개체수를 조사한 결과 UV 반응조 절삭유가 나머지 2기의 절삭유와 비교해 현저히 낮은 개체수를 보였으며 pH 또한 UV 반응조에서는 9~8.5를 유지하였으나 단독 절삭장치와 Biocide투입 절삭장치에서는 pH가 현저히 감소하는 경향을 나타내었다. 유분함량의 경우 역시 절삭기 단독장치와 Biocide투입 절삭장치의 절삭유는 시간의 경과에 따라 유분함량이 거의 없는 상태로 나타나 절삭유로서의 기능을 상실한 것으로 판단되었다. 하지만 UV 반응조의 절삭유의 경우는 4~3.5 Brix를 유지한 것으로 나타났다.

주제어 : UV-자유반사반응조, 단독 절삭장치, Biocide 투입절삭장치, 미생물 개체수

1. 서론

항공 및 자동차 등의 첨단 금속 가공기술의 발전은 전문 금속가공 분야의 성장을 획기적으로 성장시켰으며, 절삭공구의 발달과 생산 공정의 자동화로 인하여 대량의 다품종 생산을 하게 되었다. 공구의 수명과 가공작업의 향상을 위하여 금속가공용 또한 일반 광유계 윤활유(비수용성 절삭유)로부터 화재의 위험성이 없고, 냉각 성능이 우수한 수용성 절삭유로 대체되어 왔다. 수용성 절삭유의 사용량은 연간 1,200톤 정도로 매년 13.8%씩 증가하는 추세를 보이며 성능 향상을 위하여 다량의 첨가제가 첨가되면서 극압 및 윤활성이 요구되는 부분까지 수용성 절삭유로 바뀌고 있다. 수용성 절삭유는 장기간 사용했을 경우, 신유·신액의 보

급, 사용관리를 철저히 기해도 유제가 점차 열화 되어 그 1차 성능(절삭·연삭), 2차 성능(내부패성·방청성)이 저하 되어 수명이 3~6개월 정도가 되면 전체적으로 교체를 해야만 한다.^{1~3)} 근래의 원유 가격의 인상에 따른 절삭유 가격의 인상, 폐유·폐수처리 경비의 인상, 방류수 기준의 강화 등으로 절삭유제의 교환 기간을 연장시킴으로서 폐유·폐수량을 감소시켜 절삭유제 사용의 종합적인 비용을 줄이려고 노력하고 있다. 절삭유의 교체 원인으로 미생물의 서식, 칩의 혼입, 타유 및 수분의 혼입 등이 있으며 특히 미생물의 증식은 절삭유의 점도 변화와 미생물들의 발효산물로 인한 pH 저하, 부패, 악취 등을 유발하는 것으로 알려져 있다.^{4~6)} 그에 따라 절삭유의 품질이 크게 저하되어 작업환경악화와 작업능률의 저하를 초래하며 효율적인 절삭유의 사용이 되지 못하고 폐기함으로써 절삭유의 과대소비, 폐 절삭유의 처리비용 증가 및 적절한 처리의 미비로 인한 2차오염 등의 문제를 야기시키고 있다. 현재

[†] Corresponding author
E-mail: yjukim@knu.ac.kr
Tel: 053-950-6585

Fax: 053-950-7897

국내·외에서 절삭유 사용 기간을 연장하기 위하여 저온살균, Oil Skimming장치 등 다양한 방법이 적용되고 있으나 단순히 절삭과정에서 발생하는 Chip의 분리와 유수 분리를 위한 여과, 원심분리 등을 적용한 부패성 물질의 제거와 절삭유에서 발생하는 미생물을 사멸하기 위해 Biocide와 같은 소독제 주입법을 사용해 왔다.⁷⁻¹⁰⁾ 현재 국내·외에서 절삭가공 공정에서 사용되고 있는 절삭유 재이용 설비는 절삭유에서 미생물의 증식 억제를 위해 주기적으로 미생물 성장억제제인 Biocide를 주입하고 있으나 작업시 에어로졸 형태로 대기중으로 증발하면서 알레르기성 피부 질환이나 호흡계 질환과 같은 유해성의 보고와 함께 작업 환경 및 작업능률의 저하를 초래할 가능성이 있는 것으로 보고 되고 있다.^{11~14)} Biocide의 사용을 줄이기 위한 연구의 진행과 함께 절삭가공 공정에 미생물의 증식 억제를 위한 연구가 수행 중에 있으나 충분한 억제력을 통한 작업자의 유해성 억제와 미생물 재증식 억제를 하지 못하고 있는 실정이다. 국내·외에 소개된 절삭유의 처리방식 중에서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방식중의 하나로서 오존처리를 들 수 있는데 오존의 경우 낮은 온도에서 미생물 소독능이 급격히 떨어지고, 고가의 장비와 함께 잔류성이 없는 오존의 특성으로 미생물의 재증식 문제는 여전히 상존해 있어 이러한 문제점들을 보완하기 위해 새로운 기술의 적용이 필요할 것으로 생각되어진다.¹⁵⁾ 이의 대안으로 UV 조사에 의한 미생물의 불활성화 방법을 들 수 있는데 기존의 UV 조사장치인 UV-tube reactor나 UV-trickling film reactor는 높은 탁도의 폐수나 고농도의 폐수에는 적용되지 못하는 단점으로 실제 적용되는 사례가 낮은게 현실이다. 따라서 견고하고 유지관리가 용이하면서 경제적으로 운영될 수 있는 절삭유 재활용 시스템의 개발이 요구되고 있으며, 이러한 절삭유의 재활용 시스템에 대한 연구는 광범위한 산업현장에서 사용되고 있는 절/연삭 가공에서 차지하는 그 중요성으로 체계적인 연구와 신기술 개발이 필요하다고 판단되어진다.

이에 본 연구에서는 UV-자유반사 조사 원리를 이용하여 수용성 절삭유의 장기사용 가능성에 대한 검토를 수행하였다. 수용성 절삭유의 사용기간에 따른 성장변화를 분석하였으며, 선실험으로서 수용성 절삭유에 대해 UV 조사를 실시하여 절삭유의 성장변화와 미생물 불활성화를 평가하였다. 또한, 선실험에서 구한 처리조건을 이용하여 23주 동안 UV-자유반사 반응조와 절삭기 단독 장치, Biocide투입 절삭장치에 대한 3기의 Pilot plant내의 수용성 절삭유에 대해 미생물 개체수의 변화, pH, 유분함량 등을 분석하여 UV-자유반사 반응조내 수용성 절삭유의 장기사용 가능성에 대한 평가를 실시하여 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험방법 및 분석

2.1. 실험재료 및 방법

Table 1. Characteristics of cutting fluid

Properties	Conditions	
	Pre-Experiment(3 Brix)	Pilot Plant(5 Brix)
Appearance(100%)	Clear Amber Liquid	Clear Amber Liquid
Temperature(°C)	24	24
pH	8.9	9.08
Viscosity(cP)	2.02	1.08
Oil Concentration	5 Brix%	4,520 mg/L

Table 1에 선실험 및 Pilot plant 사용된 절삭유의 성상 및 특징을 나타내었다. 사용된 절삭유는 기계절삭업체에서 사용 중인 수용성 절삭유(W2종 3호 Semi-Chemical type)로서 사용전의 절삭유와 사업장에서 2개월간 사용한 절삭유 및 4개월 후 폐기되는 절삭유를 수거하여 사용하였으며, 자유 부상유 및 금속 Chip, 조대입자 등의 고형물을 제거하기 위해 Paper filter로 여과한 시료를 사용하였다. UV 조사 실험에서 사용한 수용성 절삭유는 사용기간(사용 전, 2개월, 4개월)에 따라 채취한 시료 중 부패가 진행된 4개월 후 절삭유는 UV-조사를 통해 미생물을 불활성화 시킨다 해도 절삭유로서의 가치가 없기 때문에 2개월 된 절삭유를 대상으로 UV-조사 실험을 하여 장기 사용 가능성을 알아보았다.

Fig. 1에 UV-자유반사 반응조의 단면도를 나타내었으며 각 부분의 특성과 재원을 Table 2에 나타내었다. UV-자유반사 반응조는 기존의 UV-튜브형 반응조(UV-tube reactor)와 UV-강하막 반응조(trickling film)의 단점을 보완시킨 반응조로, UV-자유반사 반응조내에서 UV 램프가 폐수와 직접 접촉하지 않아 UV 램프의 오염으로 인한 램프의 투광도 감소 우려가 없으며, 램프의 표면을 세척할 필요가 없는 장점이 있다. 또한 UV-자유반사 반응조는 UV 조사 부분과 반응조가 개·폐식으로 연결되어 있어 분리가 간단하여 유사시 램프세척과 교환이 매우 용이하다. UV-자유반사 반응조는 폐수저장조(반응조), UV 조사장치, 램프의 전력공급장치, 냉각장치, 교반장치의 5부분으로 구성되어 있으며, 반응조에 펌프를 장착하여 사용한 절삭유를 반응조로 유입시켜주었고, UV조사된 절삭유를 다시 자유낙하식으로 절삭기로 배출시켜주어 연속적으로 순환 시켜주었다. 그리고, 절삭유에 대해 UV 조사효율을 높이기 위해 위해서 절삭유 교반시설을 장착하였고, 교반 속도를 조절할 수는 장치를 설치하였다. 또한, UV램프의 갯수를 조절할 수 있도록 각각의 전기장치를 설치하여 절삭유 용량에 따라 UV 조사량을 조절 할 수 있도록 설계하였다. UV 조사는 430 mm, 40 W로 Lamp수 5개(12.46 mW/cm²)와 Lamp수 10개(21.84 mW/cm²)의 각각 다른 강도를 사용하였으며, 반응조의 교반속도는 50 rpm, Lamp와 처리수와 의 거리는 150 mm로 일정하게 하여 Lamp강도에 따른 UV 조사 효율을 측정하였다. 설계 제작한 UV-자유반사 반응조를 이용한 선실험을 수행한 후, 선실험에서의 결과를 토대로 3기의 Pilot plant를 23주간 가동하여 수용성 절삭유의 성장분석을 실시하였다.

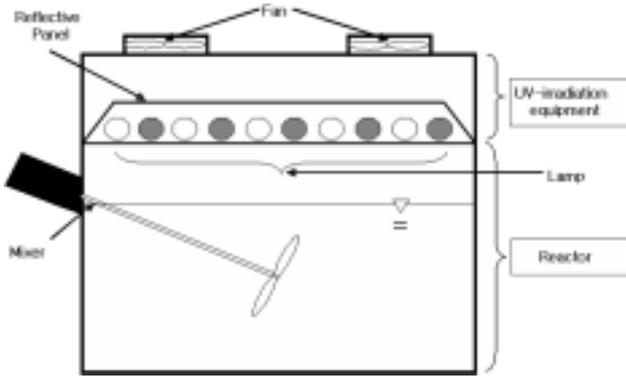


Fig. 1. Schematic diagram of UV of free reflecting reactor.

Table 2. Specification of UV-free reflecting reactor

Item	Quality and characteristics
Reactor	<ul style="list-style-type: none"> Quality : Low carbon steel(316 L) Capacity : 100 L
UV irradiation	Lamp <ul style="list-style-type: none"> UV low voltage pressure mercury lamps (synthetic quartz) - length : 430 mm - Voltage : 40 W - Lamp numbers : 10 Wavelength : 253.7 nm Distance between Lamp and cutting fluid : 100 mm
	Reflector <ul style="list-style-type: none"> Aluminium(treated by heat) Set up on the top of reflector-lamp to semicircle-shapes
Power supply	<ul style="list-style-type: none"> Voltage : 220 V Variable voltage on UV lamp
Ventilation apparatus	<ul style="list-style-type: none"> Set up cooling fan on the reflector to prevent UV-lamp overheating
Mixing	<ul style="list-style-type: none"> Inverter(range : 1 ~ 50 rpm)

Fig. 2에는 절삭기 단독가동(a), Biocides투입 절삭기(b), UV-자유반사 반응조를 장착한 절삭장치(c)의 Pilot plant의 측면도를 나타내었다. 선실험에서의 결과를 적용하여 23주간 실험하였으며, 외부 온도를 18~20°C로 유지해주었고, 동일한 직경의 칩(Φ10 cm)에 하루 5시간씩 수용성 절삭유를 분사해주며 절삭하였다. 시료는 주 1회 각 3기의 Pilot plant 절삭유를 샘플링하여 검액으로 사용하였다. 절삭기 단독으로 설치한 장치는 아무런 변화 조건을 주지 않고 실험하였으며, Biocides투입 절삭기에는 수용성 절삭유의 부패가 시작되었다고 판단된 3개월째 Biocide를 투입하여 실험하였고, UV-자유반사 반응조는 수용성 절삭유에 UV를 지속적으로 조사하면서 실험하였다. 또한, 선실험의 결과를 토대로 UV 반응조 절삭장치에는 5개의 램프(12.46 mW/cm²)로 조사해 주어 분석하였으며 램프의 UV 조사강도는 UV Checker(UVR-T1)를 사용하여 측정하였다.

2.2. 분석방법

미생물 개체수 측정은 정량 평판법(Quantitative Plating Method, Standard Plate Count)을 사용하였으며, 1,000배 희석한 시료를 배지에 접종 후 48시간 동안 배양을 시켜

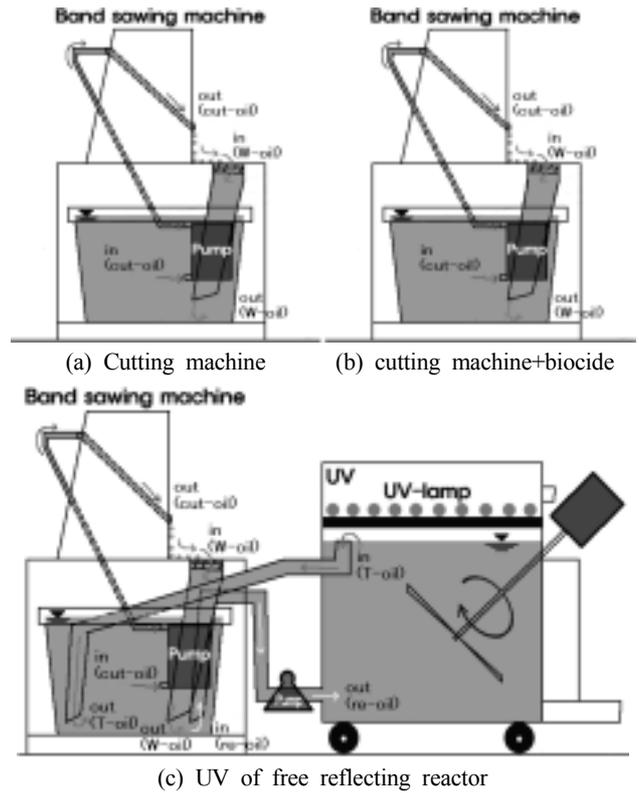


Fig. 2. Schematic diagram of Lab-scale reactor.

Colony를 계수기로 측정하여 콜로니의 수를 1 mL당 세균수로 계산하여 CFU/mL로 나타내었다. PH는 유체의 열화 상태를 나타내는 지표로서의 pH meter로 측정하였으며, 일반적으로 정상 사용이 가능한 절삭유의 pH는 8.5~9.5 정도로 절삭유가 부패될 경우 pH는 8이하로 감소하여 유체는 내부식성이 감소하고 미생물 번식이 쉬운 환경이 되어 절삭유체로서의 기능을 상실하는 것으로 알려져 있다. 절삭유 사업장 작업에서 발생할 수 있는 금속 Chip 및 기타 불순물과 절삭유의 미생물 산화에 의해 발생하는 SS를 측정하기 위해 1차 처리된 폐수용성 절삭유를 0.1 μm의 여과지(유리섬유 여지, GF/C)에 여과시켜 105~110°C에서 약 2시간 동안 건조시킨 후 SS측정을 하였다. 또한, 수용성 절삭유의 교반효과의 저하와 절삭유의 냉각성의 지표가 되는 점도의 변호를 살펴보기 위해 점도계(sine-wave vibrio viscometer SV-10, AND)를 사용하여 폐 절삭유의 점도 변화를 측정하였다.

UV 조사에 따른 수용성 절삭유내의 유류 변화량을 관찰하기 위하여 선실험에서는 n-hexane 추출법을 이용하여 잔류물(유류성분)의 무게를 측정하였고, Pilot plant 실험에서는 유분측정기(Atago사, Master-M)를 사용하여 유분을 측정하였다. 또한, UV 조사강도에 따른 절삭유내의 유류성분의 탄소결합기가 UV의 영향으로 끊어져 절삭유 자체의 변성으로 절삭성능 저하를 초래할 가능성이 있으므로, 기체 크로마토그래피(GC/MS-6890, HP사)를 이용하여 절삭유내 유류성분의 변화를 정성으로 분석하였다. GC/MS의 분석 조건을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Operating conditions for GC measurement

Items	Conditions
Column	H5(HP)
Column Size	30 m(L) × 25 μm(I.D) × 0.25 μm(film)
Column material	Fused Silica
Carrier Gas & Flow Rate	He, 23 mL/min
Injection volume	1.0 μL
Injector Temp.	250°C
Interface Temp.	220°C
Carrier Gas pressure	4.9 psi

3. 결과 및 고찰

3.1. 수용성 절삭유의 사용기간에 따른 성장변화

수용성 절삭유의 사용기간에 따른 성장변화를 살펴보기 위해 금속가공공정에서 사용하기 전의 3% 희석한 깨끗한 절삭유, 2개월 사용한 절삭유, 4개월 사용 후 폐기 처분된 절삭유를 각각 샘플링하여 분석하였으며, 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 초기 점도는 1.03 cP에서 2개월 후 1.97 cP, 4개월 후 폐기처분된 절삭유에서는 7.89 cP로 측정되었다. 이는 절삭 공정 중에 발생하는 Chip, 타유, 미생물의 사체 등 불순물에 의하여 시간이 흐름에 따라 증가된 것으로 판단되며, 이로 인해 절삭유의 냉각효율과 교반효과의 저하가 예상되었다. PH의 경우, 초기 절삭유는 9.01로 알칼리성이었으나 2개월 후 8.12, 4개월 후 6.44로 시간의 경과에 따라 낮아지는 경향을 보였으며, pH저하에 따른 유제의 내부식성의 감소와 미생물 번식이 용이한 환경으로의 변화로 인해 절삭유제로서의 기능 결여의 가능성을 나타내었다. SS는 절삭공정이 진행됨에 따라 점점 증가하여 4개월 사용 후의 폐 수용성 절삭유에는 46.51 mg/L까지 증가해 있었으며, 이는 불순물 및 Chip 등의 고형물질이 증가로 인한 것으로 판단된다. Fig. 3에는 사용기간에 따른 수용성 절삭유의 미생물 개체수 및 오일농도의 변화를 나타내었다. 수용성 절삭유내 미생물의 개체수는 초기 깨끗한 수용성 절삭유(Fresh Cutting oil)에서는 11×10^5 CFU/mL, 2개월 후에는 42×10^6 CFU/mL, 4개월 후는 8×10^5 CFU/mL로 측정되었다. 초기 미생물량에 비해 2개월 후의 수용성 절삭유내에 다량의 미생물들이 증

Table 4. Result of analysis for water soluble cutting fluids

Item	Sample		
	Fresh(3%)	After 2 month	After 4 month
Viscosity(cP)	1.03	1.97	7.89
pH	9.01	8.12	6.44
SS(mg/L)	-	5.58	46.51
Cell number(CFU/mL)	11×10^4	42×10^6	8×10^5
n-hexane(mg/L)	4,320	3,530	2,050

식해 존재하는 것으로 판단된다. 4개월 후 폐 절삭유에는 수용성 절삭유 내에 존재하는 영양분(유분)의 감소로 미생물의 내생호흡단계로 됨에 미생물 개체수는 급격한 감소를 나타내었다. 그 결과 사멸된 미생물이 응결핵으로 작용하여 주위의 여러 불순물을 흡착시켜 폐 수용성 절삭유 상부에 존재하는 것으로 판단된다. N-hexane 추출 실험결과는 Fresh Cutting oil가 4,320 mg/L, 2개월 후 3,530 mg/L, 4개월 후 폐 절삭유는 2,050 mg/L로 시간의 경과에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 미생물들에 의해 절삭유가 영양분으로 이용됨에 따라 유분함유량이 감소한 것으로 판단된다.

절삭유의 사용기간에 따른 절삭유 내 작용기들의 변화를 조사한 결과, 유류성분 작용기의 체류시간은 변화가 없었고 피크높이가 절삭가공에 사용하는 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 유류성분 작용기의 분자량의 변화는 확인할 수 없었으나 전체적인 유류성분의 농도가 감소되었음을 의미하는 것으로 이는 절삭유내 유류성분이 미생물의 생장에 이용되어 분해되고 있음을 나타내는 것으로 판단되었다.

이상, 수용성 절삭유의 사용기간에 따른 성장변화 특성을 조사한 결과, 절삭가공공정이 진행됨에 따라 수용성 절삭유 내 존재하는 미생물의 성장으로 인해 유분함량의 감소와 증식 미생물의 사멸로 부패가 진행됨에 따라 악취발생 및 절삭유로서의 성능 저하의 문제점을 유발시킬 가능성이 있는 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 절삭유에 대해 UV 조사를 통해 미생물을 불활성화 시켜 절삭유의 장기 사용 가능성에 대해 알아보았다. 실험에 사용한 절삭유는 2개월 된 절삭유를 이용해 UV 조사 실험을 하였다.

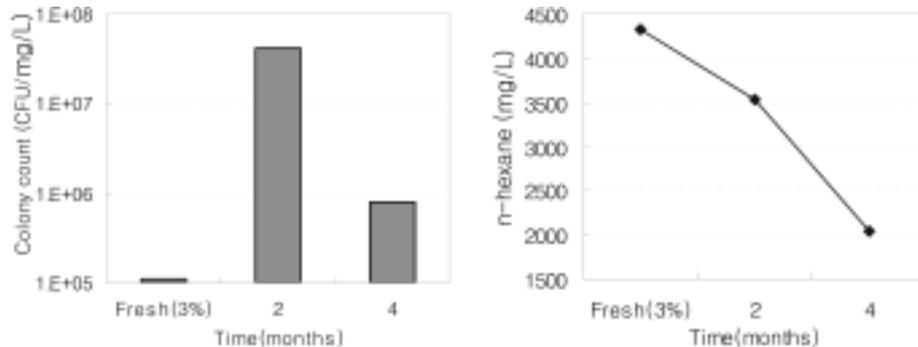


Fig. 3. Variation of cell numbers and n-hexane.

3.2. UV 조사에 따른 수용성 절삭유의 변화

UV 조사에 따른 미생물의 불활성화 정도를 조사하기 위해 절삭공정에 사용하고 있는 시료(2개월 사용)를 여과 전처리하여 Chip과 불순물 등의 조대입자 등의 제거 전·후의 성장변화를 조사하였다. 그 결과 점도의 경우, 원시료는 1.97 cP였으나, 전처리 후 1.13 cP로 낮아졌다. 이는 Paper Filter의 전처리에 의해 수용성 절삭유내에 존재하는 불순물이 제거되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한, pH는 8.12에서 8.21로 큰 변화가 없었으며, SS의 경우 원시료는 5.88 mg/L였으나, 전처리 후 1.21 mg/L로 감소하여 상당한 양의 불순물 및 Chip 등의 고형물질이 제거된 것으로 나타났다. N-hexane 추출 실험에 따른 유분함량의 변화는 극미한 것으로 나타나 유분함량의 감소는 고려하지 않았다. 또한, 미생물 개체수도 42×10^6 CFU/mL에서 38×10^6 CFU/mL의 변화를 보여 전처리에 의한 미생물 개체수의 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. Fig. 4에 UV 조사 강도 및 시간에 따른 미생물 개체수의 변화, 점도, pH 및 유분함량변화를 나타내었다. 미생물 개체수 변화의 경우, UV 램프 강도 430 mm, 40 W 5개로 10분간 조사했을 경우 68.7%의 사멸효과가 있는 것으로 나타났으며, 20분 조사시에는 87.6%, 120분 조사시 99.8%의 사멸효과를 확인할 수 있었다. 또한, 램프 10개로 5분간 조사했을 경우 85.7%의 미생물이 사멸된 것을 관찰할 수 있었고 30분의 조사시 98.5%, 60분의 조사시 99.8%의 사멸효과를 확인할 수 있었다. 절삭유의 초기 점도는 1.13 cP였으며 램프 5개로 20분간의 조사와 램프 10개로 5분간의 조사만으로 깨끗한 절삭유

의 값을 나타내는 것으로 나타났다. PH의 경우 초기 8.21에서 5개로 UV 조사시 20분 후 8.51이었고, 10개로 조사했을 경우 5분 후 8.65로 나타나 모두 빠른 시간에 깨끗한 절삭유의 pH 범위인 8.5~9.5의 값을 나타내는 것으로 나타났다. UV 조사에 의한 n-hexane 추출 실험의 측정 결과는 램프 5개와 10개 모두 유분함량 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. SS 경우 2개월 사용한 수용성 절삭유의 농도가 5.88 mg/L로 측정되었고 Paper Filter로 전처리 후에는 1.21 mg/L로 79.4%의 처리효율을 나타내었다. 그러나 여과 전처리 후에도 상당량의 SS가 여전히 존재하고 있는 것으로 나타났기 때문에 후속처리가 필요하리라 판단되었다. 이에 따라 UV 조사에 의한 수용성 절삭유를 처리한 후 부유물질 농도를 측정해 본 결과, 램프 5개로 UV 조사시 0.123 mg/L로 98.0%의 처리 효율을 보였고, 10개로 UV-조사시 0.102 mg/L로 98.4%의 처리효율이 있는 것으로 나타났다. 사용 UV 램프수를 변화시켜 처리효율의 변화를 분석한 결과, 램프수 10개의 경우가 빠른 시간 안에 효율을 보인다는 것을 확인할 수 있었으나, UV 조사 강도가 강해지면 절삭유내의 유류성분의 탄소 Chain들이 UV의 영향으로 끊어짐으로서 절삭유 자체의 변성을 가져와 절삭성능 저하를 가져올 수 있다. 이에, 사용 램프수를 10개로 했을 경우 수용성 절삭유에 미치는 영향을 확인해 보기 위해 GC/MS 분석을 통한 정성을 확인하는 실험을 실시하였다. 그 결과, UV 조사시간이 길어질수록 피크가 체류시간이 긴 쪽에서 짧은 쪽으로 이동해 가는 경향은 보였으나 큰 변화는 없었다. 이는 미생물의 성장에

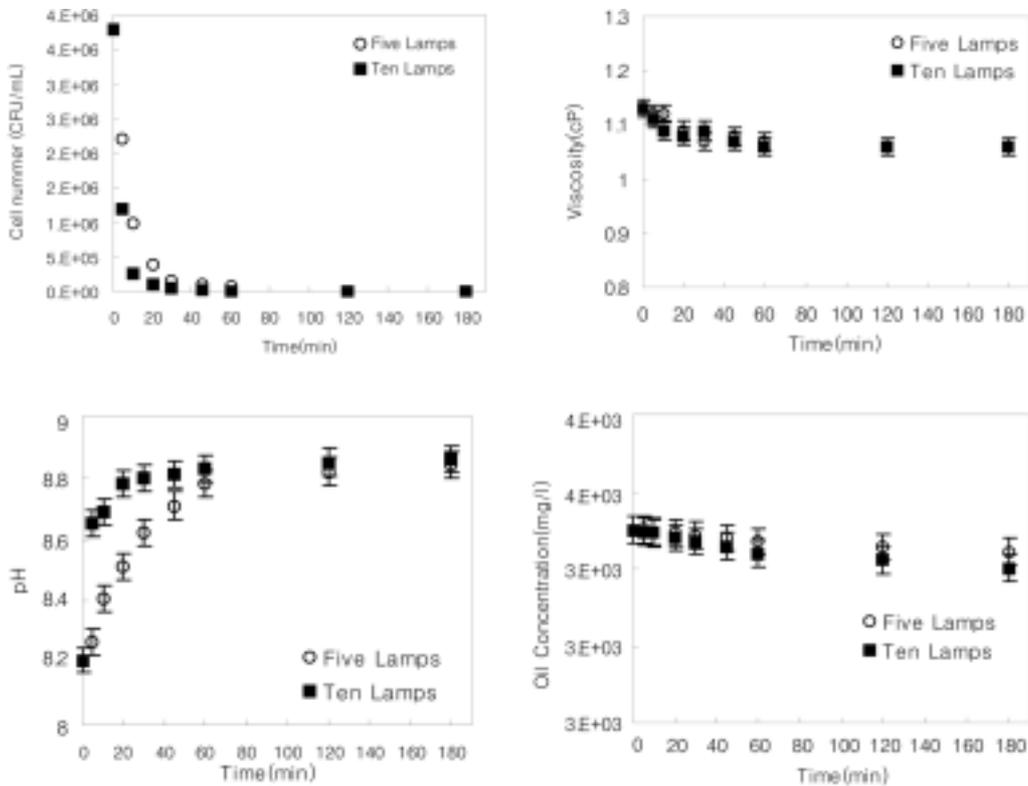


Fig. 4. Variation of each parameter after UV-irradiation.

의한 수용성 절삭유내 유류성분의 분해가 UV 조사에 의한 경우보다 높기 때문에 UV 조사를 통한 미생물 불활성화는 수용성 절삭유의 장기사용을 가능하게 할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한, 10개의 램프로 조사시 30분 안에 미생물의 불활성화 및 모든 정상 분석의 결과가 우수하기 때문에 고강도로 장시간 UV 조사의 작동은 필요 없는 것으로 판단되었으며, 3기의 Pilot plant 비교분석 실험에서는 경제성과 효율성을 고려 UV-자유반사 반응조에는 5개의 램프로 조사해 주어 분석하였다.

3.3. Pilot plant 실험결과

Fig. 5와 6에 각 3기의 Pilot plant에서의 기간변화에 따른 수용성 절삭유의 미생물 개체수 변화와 pH 변화를 나타내었다. 절삭기 단독가동의 경우 미생물 개체수가 1~4주 동안 급격히 개체수가 증가해 있음을 나타내었고 14주부터 개체수가 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. Biocide 투입장치의 경우는 절삭기 단독가동과 비슷한 경향을 보이다가 12주째 Biocide투입 후 미생물이 사멸하였다가 서서히 증가하는 경향을 나타내었다. UV-자유반사 반응조 절삭기의 경우에는 두 절삭기에 비해 전 기간동안 미생물개체수가 현저히 감소해 있는 것을 확인할 수 있었다. 수용성 절삭유의 pH 변화의 경우, 기간증가에 따라 절삭기 단독가동의 경우 5주 이후부터 급격히 낮아지는 경향을 보였으며 초기 pH 8.85에서 6.02까지 낮아져 있는 것을 확인 할 수 있었다. Biocide 투입장치에서의 pH 역시 급격히 낮아지는 경향을 보였으며 6.65까지 낮아져 있는 것을 알 수 있었다. 하지만, UV-자유반사 반응조 절삭기의 경우에는 23주 동안 pH의 급격한 변화는 나타나지 않았으며 pH 9에서 8.5 사이의 변화를 보였다. 이는 UV-자유반사 반응조를 제외한 나머지 두 장치의 절삭유는 시간의 경과에 따라 부패가 진행되어 pH가 낮아져 정상적인 수용성 절삭유로서의 사용이 불가능한 것으로 판단되었다. Fig. 7에는 시간변화에 따른 유분함량의 변화를 나타내었다. 그림에 나타내었듯이, 3기의 전장치에서 유분함량이 시간의 증가에 따라 감소하는 동일한 경향을 나타내었으나, UV-자유반사 반응조를 제외한 절삭기 단독가동과 Biocide

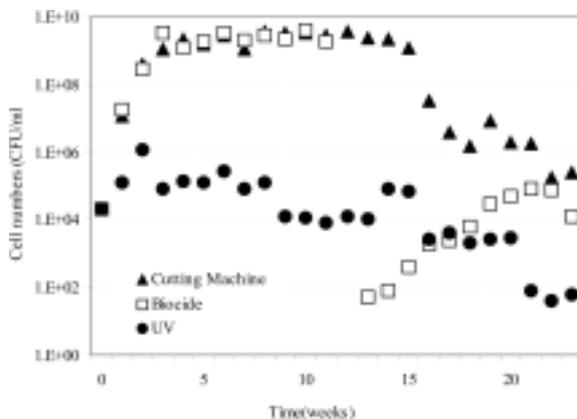


Fig. 5. Variation of microorganism numbers.

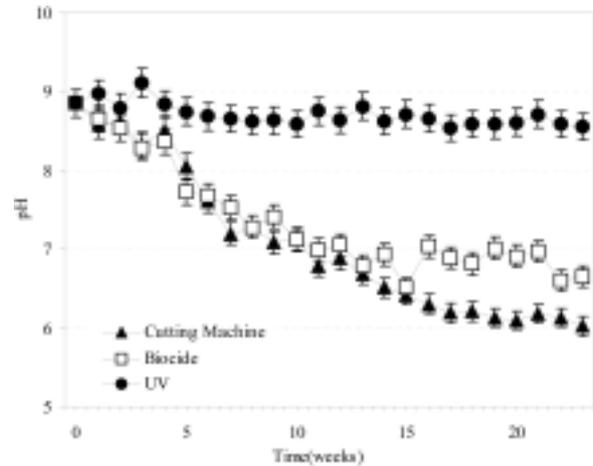


Fig. 6. Variation of pH.

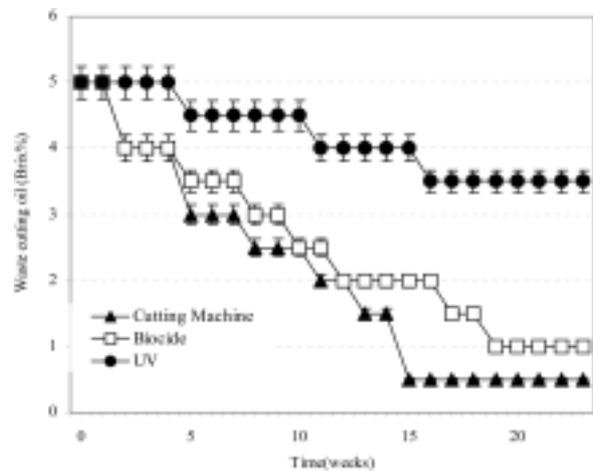


Fig. 7. Variation of waste cutting oil.

투입장치에서는 5주 이후부터 급격한 농도감소를 나타내었다. 절삭기 단독가동은 23주째에 0.5 Brix까지 떨어지면서 유분함량이 거의 없는 상태가 되었으며, Biocide 투입장치도 1 Brix까지 떨어지면서 절삭유로서의 기능을 거의 상실한 상태가 되어 있는 것을 알 수 있었다. 그에 반해 UV-자유반사 반응조 절삭기는 23주째의 시료에서도 4~3.5 Brix를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 실험실 규모로 기계절삭업체에서 3% 희석한 깨끗한 수용성 절삭유, 2개월 사용한 수용성 절삭유, 4개월 사용 후 폐기처분되는 폐 수용성 절삭유를 시료로 하여 절삭유 부패의 주원인이 되고 있는 미생물을 불활성화 시키기 위해 UV 조사법을 이용하여 수용성 절삭유의 성장변화 및 미생물 개체수를 확인하여 수용성 절삭유에 대한 UV 조사에 따른 처리효과를 검토하였다. 또한, 선 실험을 바탕으로 UV-자유반사 반응조 내의 절삭유와 절삭기 단독가동의 경우 절삭유, Biocide 투입장치 내의 절삭유에 대해 23주 동안의 데이터 비교로 UV-자유반사 반

응조의 절삭유 장기사용에 대한 연구를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 사용기간에 따른 수용성 절삭유의 부패 특성을 살펴본 결과, 미생물의 영향에 의해 점도의 변화, 미생물들에 의한 발효산물로 인한 pH의 저하, 절삭유의 부패, 유류 성분의 감소 등으로 인한 절삭유로서의 가치 저하가 있을 수 있는 것으로 판단되었다.

2) UV 조사 강도 및 시간에 따른 미생물의 불활성화를 조사한 결과, 5개의 램프로 120분 조사시 99.8%의 사멸효과를 관찰할 수 있었고, 10개의 램프로 조사시에는 5분의 조사만으로 85.7%가 사멸되었으며 30분 조사 후에는 98.5%의 미생물 사멸되는 효과를 나타내었다.

3) Pilot plant 장치 3기의 미생물 개체수 변화를 측정된 결과, 절삭기 단독가동의 경우 1~4주간 동안 급격한 미생물 개체수의 증가를 보였으며 14주부터는 개체수가 급격히 감소하였다. Biocide 투입장치의 경우 Biocide 투입후 급격한 개체수의 감소 후 점차 증가하는 경향을 보였다. UV-자유반사 반응조 절삭기내의 절삭유의 경우 두 장치에 비해서 전 기간에 있어서 미생물개체수가 현저히 적은 것으로 나타났으며, 이는 UV 조사에 의한 미생물의 불활성화에 의한 것으로 판단된다.

4) Pilot plant 실험에서의 pH 변화는 미생물이 불활성화 되었다고 판단된 UV-자유반사 반응조내의 절삭유에서만 9.0~8.5 정도를 유지하였고 점도 역시 2.02~1.69 cP를 유지하여 절삭유로서의 정상 사용이 가능한 것으로 나타났다.

이상 UV-자유반사 반응조를 이용한 수용성 절삭유의 장기사용에 대한 가능성을 절삭기 단독 가동장치와 Biocide 투입장치와 비교·분석해 본 결과, UV-자유반사 반응조내의 수용성 절삭유가 다른 2기의 반응조내의 절삭유와 비교해서 절삭유로서의 기능을 장기간 유지하고 있는 것으로 나타나, UV 조사에 따른 수용성 절삭유의 장기 사용 가능성을 보인 것으로 판단되었다. 향후 UV-자유반사 반응조의 경제적 효율성 향상을 위한 설계면적인 연구의 수행과 실험 데이터적 해석의 추가 수행으로 수용성 절삭유의 UV 조사에 의한 장기사용 가능성의 기초적 데이터 확보를 위해 지속적인 연구를 수행 할 예정에 있다.

사 사

이 논문은 2007년도 환경부의 환경기술 인력양성 지원 사업으로 지원되었습니다.

참 고 문 헌

1. Susan, R. W., Mohammed, A. V., David, K., Susan, R. S., David, E., Donad, K., "Exposure Assessment of a

Field Investigation of the Acute Respiratory Effects of Metalworking Fluids. I. Summary of Findings," *J. Am. Ind. Hyg.*, 57(1996).

2. 김승원, 박동욱, 백남원, 윤충식, 김신범, 김귀숙, "우리나라에서 사용하는 광물유(금속가공유)의 유해특성과 관리 대책에 관한 연구-수용성 금속가공유의 유해특성과 관리 대책," *한국산업위생학회지*, 08(1), 67~85(1998).

3. Sondossi, H., Rossmoore, H. W., and Lashen, E. S., "Influence of biocide treatment regimen on resistwncce development to methyl chloro-/methylisothia-zolone in *Pseudomonas aeruginosa*," *International Biodeterioration & Biodegradation*, 43, 85~92(1999).

4. 차미선, "수용성 금속가공유 폐액의 생물학적 처리," *한국생명과학회지*, 13(6), 917~923(2003).

5. 김승원, 백남원, "일부 수용성 금속가공유 사용공정에서 작업자의 공기중 포름알데히드 노출에 관한 연구," *국민보건연구소연구논총*, 08(2), 37~48(1998).

6. 김태성, 문병현, 이택순, 정원지, "청정기술 : 비수용성 절삭유에 함유된 금속입자 특성분석," *대한환경공학회 2001년 춘계학술연구발표회 논문집 2*, 297~298(2001).

7. 천병철, 김희옥, 김순덕, 오철환, 염용태, "절삭유 취급 근로자의 피부질환에 관한 연구," *예방의학회지*, 29(4), 785~800(1996).

8. 조민, 김지연, 윤제용, "자외선을 이용한 수처리 기술[II] - UV조사(Ultra violet Irradiation)에 의한 미생물의 불활성화," *첨단환경기술*, 04(2), (2004).

9. Kim, J. S. and Kim, J. S., "Oily Wastewater Treatment of Metalworking Fluid," *J. of NERI*, 1, 13~30(1997).

10. Machinability Data Center, *Machining Data Handbook*, 2, 16-4~16-7(1980).

11. Glaze, W. H., Lay, Y. S., Kang, J. W., "Advanced Oxidation Processes, a Kinetic Model for the Oxidation of 1,2-Dibromo-3-Chloropropane in Water by the Combination of Hydrogen Peroxide and UV Radiation," *Ind. Eng. Chem.*, 34(7), 2314~2323(1995).

12. 정광진, "미생물에 의한 수용성 절삭유의 열화에 관한 연구," *성균관대학교 대학원 석사학위 논문*, pp. 5~82 (1988).

13. Hojoyo Tomoka, T. M., Marple, R., Kligman, A. M., "Pseudomonas Infection in Superhydrated Skin," *Arch. Dermatol*, 107, 723~727(1973).

14. Sondossi, H., Rossmoore, H. W., and Lashen, E. S., "Influence of biocide treatment regimen on resistwncce development to methyl chloro-/methylisothia-zolone in *Pseudomonas aeruginosa*," *International Biodeterioration & Biodegradation*, 43, 85~92(1999).

15. Ensign, S. A., Allen, F. J., and Sluis, M. K., "New roles for CO₂ in the microbial metabolism of aliphatic epoxides and ketones," *Arch. Microbiol.*, 169, 179~187(1998).