

## 한외여과에 의한 금속 가공유의 폐유처리

김진성  
(주) 한국 하우톤

Oily waste treatment in the metal processing industries by ultrafiltration

Jin-Sung Kim, ph. D.

Korea Houghton Corporation, Yeoeuido P.O.Box 185, 22nd floor  
First Securities Co., Bldg. 23-5, Yeoeuido-Dong, Seoul, 150-010, Korea

### 1. 서론

기계, 철강, 자동차등 관련 금속산업의 발달에 따라 특수윤활유 사용량이 최근 매년 약 13.8%씩 증가하고 있다. 산업의 고도화에 따라 사용하는 오일도 그 종류와 성분이 다양하다. 참고로 표 1에는 1994년에 생산출하된 금속 가공유의 유종별 수량을 나타내었다.

Table 1. Metal processing oil quantity used in Korea, 1994

(unit : kℓ)

유종별	수량	비고
절삭유	23,868	대부분이 수용성 제품이며 농축된 상태로 판매하며 수요가는 물로 희석하여 2~5% v/v% 로 사용함.
압연유	12,606	
열처리유	4,488	
방청유	10,187	
세척제 등	14,943	
계	66,092	

표 1에서 보듯이 농축수량이 약 66,000 ton 으로 공장에서는 5 v/v% 로 희석하여 사용하였다고 가정할 때 연간 금속 가공유의 폐액발생량은 대략 100 만톤을 상회하리라 추측된다. 자동차용 엔진오일, 부동액 그리고 브레이크유와 그리스등을 합하면 원액기준으로 841,737 kℓ 나 된다고 한국윤활유협회는 추산하고 있다.

지금까지 국내에서는 폐유처리 하는 일반적인 공정은 오일폐액의 성상에 따라 부상유와 수용성 에멀전 폐수로 구분하여 부상유는 oil skimmer, API, CPI 등과 같은 기계적 분리방법으로 제거하고, 한편 에멀전 상태의 오일폐수는 화학응집이나 전기영동등의 공정에 의하여 에멀전을 파괴한 후 공기부상법과 같은 분리공정에 의하여 일반 부상유로 전환된 오일을 제거한 다음 생물학적인 처리를하여 방류하고 있다. 그러나 이와같은 방법은 다량의 슬러지를 발생시키며 제거 효율도 좋지 않아서 환경 방류기준에도 부적합하고 폐 오일의 회수가 불가능 하다.

현재 청정 첨단기술의 일환인 격막을 이용한 오일폐수의 처리는 우리나라의 경우 소개단계에 있다. 격막공정을 활용하면 사용하는 오일의 수명을 연장시켜 발생폐수의 1/5~1/10 감량화를 도모할 수 있고 또한 폐기처분된 오일폐수중 물을 재활용 할 수 있으며 농축된 오일을 소각로등에 연료로 쓸수 있는 장점이 있다.

본 고에서는 한외여과(ultrafiltration)로 수용성 세척제, 절삭유 및 압연유의 폐유처리를 소개하여 기본 이해를 도모하고 재래 공정과 경제성 비교를 함으로서 많은 장점을 갖는 막공정이 채택되어 가까운 장래에 현장에 가동되는데 도움이 되기를 바란다.

## 2. 오일폐수의 특성

수용성 금속 가공유의 종류는 절삭유, 압연유, 열처리유, 세척제, 방청유 등이 있으며 이 중 절삭유가 전체의 36% 그 다음으로는 압연유, 세척제 순이다. 절삭유는 금속을 깎는 공정에서 냉각 및 윤활작용을 부여하여 자동차 부품 등의 정밀가공 효과를 나타내며 세척제는 금속표면이 녹슬지 않도록 도포하는 왁스, 그리스, 방청유 등의 윤활유 및 기계 가공 중의 절삭유, 소입유와 연마유 등의 유지성 물질을 제거하는 탈지효과와 표면에 묻어있는 오물을 제거하여 목적하는 표면 상태를 만드는 세정효과를 나타낸다. 한편 압연유는 금속을 눌러서 펼 때 사용되는 금속 가공유의 일종이며 그 사용량은 철계, 알루미늄계 그리고 기타 금속계 순이다.

표 2에는 상기 3종류의 오일폐수 특성을 고찰하기 위하여 각각의 대표적인 제품의 유형에 따른 주성분과 신유 입자를 Malvern 사의 Autosizer II 로 측정 한 평균크기 그리고 신유 사용시 물로 희석하는 비등을 나타내었다.

Table 2. Specification and characteristics of water soluble cutting oils, typical rolling fluid and cleaner.

항 목	종 류	절 삭 유			압 연 유 Tandemol L-134F	세 척 제 Cerfa Kleen 5380B
		Emulsion 형	Semi-synthetic 형	Synthetic 형		
주 성 분	광 유(%)	60~70	10~30	없 음	70	없 음
	계면활성제(%)	20~30	50	20~30	소 량	22 { 유기 아민염 Butyl Carbitol 25 { 지방족 2염기산 비이온 계면활성제
	첨 가 제(%)	10	20	70~80	소 량	
	기 타(%)	-	-	-	지방산 15%	연 수 75~80
평균입자크기(nm)		1000	100	5 이하	1000	5 이하
용 도		절 삭	비철금속 연·절삭	Cast iron, Steel 연삭	알루미늄 압연	철, 알루미늄, 구리
희 석 비		10~30	30	50	10~30	20

주) Tandemol 과 Cerfa Kleen 은 Korea Houghton 사의 제품명임.

일반적으로 폐유의 입도크기가 신유에 비해 3~5 배 커진다. 그 이유는 절삭유 및 압연유의 경우 사용하면서 유입되어 들어온 불순물인 기계작동유, 스프린들유와 같은 광유가 유분의 농도가 증가되며 여분의 계면활성제와 결합하여 에멀전의 크기가 커지게 된다. 그리고 세척제는 현장의 세척조의 상태가 가동시간이 길어짐에 따라 oil이 과포화하게 되고 한정된 계면활성제량 때문에 미처 micelle 을 형성하지 못한 광유가 일부는 emulsion 내 oil drop 형태로 존재하고 나머지는 emulsion 층 위에 부유하게 된다.

격막을 이용하여 분리할 때 설계 parameter 중 하나는 분리대상의 입도분포이다. 절삭유, 압연유 그리고 세척제에 대하여 각각 대표적인 제품을 1종씩 선정하여 현장에서 상당시간 사용하여 발생된 폐수의 평균입도 분포를 Malvern 사의 Autosizer II 로 측정하였으며 그 결과를 표 3에 나타내었다.

Table 3. Emulsion sizes of used cutting fluid, rolling fluid and cleaner.

구 분		에멀전 평균직경 (nm)	비 고
절삭유 Hocut BT	신유	123	• 10 v/v% 수용성 Semi-synthetic 형 • (주) 한국자동차 부품 폐유
	폐유	313	
압연유 Tandemol L-314F	신유	약 1,000	• 5 v/v% 로 희석 사용 • (주) 삼양금속 AI 압연 폐유
	폐유	3,000~5,000	
세척제 Cerfa Kleen 5380B	신유	5 이하	• 5 v/v% 로 희석 사용 • (주) 한국자동차 부품 폐유
	폐유	247	

보통의 한외여과막의 기공크기는 5-100 nm (10,000-200,000 Dalton)정도이므로 상기 Semi-synthetic형 절삭유와 세척제의 폐유처리를 위해서는 25 nm(50,000 Dalton)의 평균크기를 갖는 한외여과막을 사용하면 적절한 것으로 예상된다. 한편 emulsion 형 절삭유와 알루미늄 압연 폐유의 평균 emulsion 의 크기가 3-6  $\mu\text{m}$  이므로 이 보다 평균기공의 크기가 10배 작은, 즉 평균 기공크기가 0.1  $\mu\text{m}$  정도인 한외여과막이나 정밀여과막으로 제거가 가능하리라 판단된다. 또한 emulsion 형 절삭유는 국내시장 점유율도 절반이 넘는 약 60%이며 생분해성도 가장 양호하므로 우선 개발하여 현장에 적용해야할 시급한 과제라 할 수 있다.

### 3. 한외여과 적용

금속 가공유의 폐유처리시 한외여과 공정전에 전처리가 매우 중요하며 전처리 정도에 따라 한외여과의 성능을 좌우한다. 일반적으로 폐유는 현탁고체, 유리 부상유, 에멀전 그리고 용해된 고체를 포함하고 있다. 한외여과는 이 중 emulsion 을 화학적 처리 및 공기부상법과 같은 재처리 방법보다 효율적으로 제거하는 장점을 갖고 있다.

한편 현탁입자는 카트리지 필터나 메시 스크린, 중력 침강법으로 제거하며 용존된 고체는 역삼투압, 활성탄 흡착이나 생물학적 방법으로 처리한다.

세계적으로 한외여과로 금속가공 폐유처리 분야에서 선두업체인 미국 KOCH MEMBRANE SYSTEMS INC. 사의 대표적인 폐액조성을 PVDF 등 재질을 사용한 격막을 이용 분리한 한외여과 투과수의 농도를 표 4에 그리고 압연유와 알칼리세척제에 대한 한외여과처리한 분석 DATA 를 표 5에 나타내었다.

Table 4. Oily water waste treatment by ultrafiltration

	폐 액	UF 투과수
오일과 그리스	200-1,000 mg/l	20-25 mg/l
탄화수소	0.8 mg/l	6-15 mg/l
인	0.9-1.5 mg/l	0.9-1.5 mg/l
망 간	0.4-1.9 mg/l	0.4-1.9 mg/l
현탁고체	500-1,000 mg/l	< 50 mg/l
용존고체	2,000-10,000 mg/l	100-500 mg/l
pH	9.0-10.5	9.0-10.5

Table 5. Permeate qualities of used rolling oil and alkaline cleaner by ultrafiltration

	압 연 유		알칼리 세척제	
	폐액 (mg/ℓ)	UF 투과수 (mg/ℓ)	폐액 (mg/ℓ)	UF 투과수 (mg/ℓ)
오일과 그리스	1,000	< 10-30	200-1,000	20-25
탄화수소	670	< 10-20	156-350	6-15
인	3,800	530-600	-	-
망 간	26.2	< 1	-	-
현탁고체	-	-	500-1,000	< 50
용존고체	-	-	2,000-10,000	100-500
pH	5.8	5.6-5.7	9.0-10.5	9.0-10.5

경제성 측면에서 현재 우리나라에서 폐절삭유나 압연유를 처리하는데 주로 채택되어 가동되고 있는 공기부상법과 본고에서 설명한 한외여과법과 운전비 측면에서 비교한 사례를 표 6에 나타내었다. 격막공정이 DAF 공정에 비하여 전체적으로 약 절반정도를 나타내고 있으며 항목별로는 동력비가 3배정도 그리고 격막 교체비가 추가되나 약품비가 대폭 감소하고 있다.

Table 6. UF vs Conventional system operating costs for oily wastewater treatment  
(폐수 처리량 : 80 TON/일 기준)

	격막 공정	DAF 공 정
인 건 비	\$ 5,200	\$ 36,500
전 기 비	14,500	2,750
격 막 고 체 비	24,800	-
약 품 비	2,000	39,100
보 전 비	1,000	8,000
농축물 처리비	20,740	31,100
전체 연간 가동비	\$ 68,240	\$ 117,450

그리고 세척제의 경우 연속 overflow 로 가동하는 경우 한외여과를 채택한 경우 세척조의 수명은 화학적 처리의 경우 통상 1주일인데 비하여 UF 설치시 5주일로 약 5배 정도 증가되고 있다.

#### 4. 결 언

한외여과로 금속가공 폐유를 처리시 얻어지는 투과액은 오일과 그리스는 99% 이상제거가 되며 중금속은 현저하게 감소하고 현탁입자는 검출되지 않는다. 혼탁하지 않고 투명한 액을 얻을수 있다. 그러나 분자량이 낮은 물질과 색도를 띄는 단점이 있다. 방류하기 위해서는 한외여과 처리수를 후공정 생물학적인 처리나 활성탄 흡착 혹은 역삼투압 격막공정으로 보완하여야 한다. 절삭유나 압연유의 경우는 폐유를 방류하기 위하여 후 공정개발이 이루어져야 하고 한편 세척제의 폐유는 세척조의 유분농도를 일정수준 이하로 관리하여 세척제 수명을 연장시키는 재활용(Recycle)하므로써 폐수발생 감량화를 도모해야 할 것이다.

최근 격막개발이 상용화되어있고 재래공정보다 이미 경쟁성을 확보하고 있음으로 일차적으로는 외국 공장의 성공사례 및 시행오차에 인한 경험을 습득하여 현장 적용을 하여야 하며 또한 동시에 금속가공유 공급업계는 수요가의 요구성능이 유지시키면서 폐수처리가 용이한 조성으로 제품 설계하여 개발판매를 하는 방향으로 산학협력하여 공통 추진해야 할 것이다.