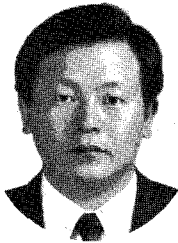


윤 활 환 경

限外濾過膜을 이용한 에멀전오일폐수의 처리



鮮京인더스트리

研究所 MEMBRANES & SYSTEMS 開發팀

工學博士
팀 長

金 正 鶴

1. 개 요

오일폐수는 산업의 발달에 따라 부수적으로 발생하는 산업폐기물로서 철강공업, 기계공업, 석유정제공업, 식품공업, 섬유공업등 여러 산업분야에서 다양하게 발생하고 있다. 오일폐수는 처리하지 않고 그대로 방류하게 되면 하수처리 단계에서 큰 문제를 일으키게 되므로 법으로 규제되고 있다.

오일폐수의 처리는 응집침전제를 가하여 슬러지처리를 하던가 활성오니법으로 처리하는데 지금까지 국내에서는 오일폐수 발생업체에서 그대로 전문처리업체에게 넘겨 위탁처리함으로써 많은 비용이 발생하고 있다. 그러나 최근에는 국내에도 UF막을 이용한 폐수처리 기술이 보급되어 가능한한 최소량의 부피로 오일폐수를 농축하여 소각시키거나 전문처리업체에 넘겨 많은 비용의 절감을 가져오고 있으며 2차 오염원인인 슬러지 발생이 없어서 환경오염의 방지에도 큰 기여를 하고 있다.

오일폐수는 특성에 따라 유리오일(Free Oil)과 수용성인 오일에멀전으로 나눌 수 있다. 유리오일은 오일 Skimmer 등 기계적 분리방법에 의하여 제거가 용이하나 에멀전폐수는 그대로 처리는 곤란하고 응집등의 공정에 의해 에멀전을 파괴한 후 공기부상법 등으로 제거하는 것이 일반적인 방법이다. 이와 같은 방법은 다량의 슬러지를 발생시키며 제거효율도 좋지 않아서 환경 방류기준에도 부적합하고 폐오일의 회수가 불가능하다.

최근 오일폐수의 처리에는 UF막이 많이 적용되고 있으며 다음 분야에 주로 사용되고 있다.

◆에멀전형 오일폐수 처리 : 수용성절삭유, 압연유, Compressor Drain 폐수처리

◆脫脂液中의 오일제거 : 금속표면처리의 전처리 공정에 사용되는 脫脂液처리

오일폐수의 조성은 오일과 이를 유화시키는데 필요한 계면활성제, 부식방지제, 소포제 및 기타 첨가제로 구성되어 있으며 사용되는 오일의 종류는 윤활유(Lubricants), 절삭유(Cutting Oils), 연삭유(Grinding Oils), 압연유(Rolling Oils), 드로

表1. UF막의 이용이 가능한 오일폐수 처리분야

분 야	폐수발생 원인물질
일반금속작업	금속가공을 위한 윤활유, 절삭유, 연삭유, 수용성냉각수, 세척조 유출수, 세척수, 바닥배수
Primary Metal	철 및 비철금속 공정에서 윤활유 및 냉각제로 사용되는 압연유와 드로잉유
폐 유	제반 산업분야로 부터 수집되는 오일에멀전 및 수용성 오일폐수, Coolants
식품가공공정	동식물 가공제품 제조공정(천연 지방유, 식물성오일폐수)
수 송	세차공정시 유출되는 오일폐수
섬 유	섬유세척시 발생하는 가공유체 폐수

잉유(Drawing Oils) 및 수용성냉각제(Water Soluble Coolants) 등으로 다양하다. 각종 산업 분야에서 발생하는 오일폐수의 종류를 表1에 나타내었다.

2. UF막을 이용한 오일폐수 처리방법의 특징

저분자물질은 통과시키고 콜로이드물질은 농축시킬수 있는 UF막의 특징을 살려 폐수중에 멀전화된 오일을 농축시킬 수 있다. 일반적인 처리방법이 화학적 처리제를 다량 필요로 하며 공정도 복잡한데 비해 한외여과 공정은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 전처리 조작이 필요없다.

Polysulfone등 내열성, 내약품성 막소재의 개발에 따라 폐수의 pH조정이 필요없다. pH를 조정함에 따라 투과성능이 향상되는 경우도 있지만 에멀전과괴 조작을 위한 pH 조정작업은 필요없다.

(2) 첨가제가 필요없다.

pH 조정제를 포함해서 응집제 및 助劑 등의 첨가제가 필요없다. 그러나 정기적으로 막면세정을 행할때는 세정제, 계면활성제등을 약간 필요로 한다.

(3) 처리수질이 폐수의 성질상태의 변동에 좌우되지 않는다.

화학처리의 경우 응집제의 종류 및 첨가량은 부하의 변동 또는 폐수의 조성변동에 대해 대응시켜야 하지만 실제로는 어려운 일이다. 한외여과법은 물리적 처리방법이기 때문에 배수중의 유분의 변동, 종류변경에 따라 투과수량은 약간 영향을 받지만 유분의 제거성능은 거의 변화되지 않는다. 따라서 안정된 처리효과를 보여주는 것이 타공정에 비해 큰 장점이다.

(4) 슬러지 발생이 없으며 농축유분을 그대로 소각하는 것이 가능하다.

한외여과막으로 농축된 유분은 액상 그대로 얻어진다. 수용성절삭유인 경우 유분 20~40%의 상태로 배출되는데 이것을 Burner로 연소시킬수 있다. 이것은 원래 함유되어 있던 수분을 90%이

상 크기는 95%까지 제거하는 개념이므로 농축유분을 매우 효과적으로 소각시킬 수 있다.

(5) 오조작에 의한 유분배출의 위험이 적다.

투과액은 오일에멀전 입자보다 매우 작은 Pore를 통해 걸리진 것이므로 중력식 분리방법에서 물과 Oil간의 계면이 불안정한 상태에서 분리되는 것과는 달리 안전한 조작이 가능하다.

(6) 설비가 Compact하며 설비비, 운전비가 싸다.

처리배수는 비교적 빠른 속도로 막면을 통과하게 되며 Pump 조작만으로 운전이 되므로 비교적 설비가 Compact하고 운전비도 적게된다.

막면에 의해 오일폐수를 처리하는 경우 보통 막표면에서의 돌발적 또는 시간에 따른 오염에 대한 대책을 충분히 고려하여야 한다. 보통 세제 또는 계면활성제에 의한 세정외에 다음과 같은 대책을 강구할 필요가 있다.

(1) 오일에멀전 중에 혼입된 비교적 응고되기 쉬운 유분 입자는 가급적 막을 통해 여과되기 전에 제거할 필요가 있다. 이렇게 하기 위해서는 UF처리전에 충분히 기계적 분리를 실시하는 것이 좋다. 통상 100~200 μ m 크기정도의 입자를 제거하는 것이 UF운전에 지장이 없다.

(2) 장기운전중에 발생하는 막표면의 오염, 구체적으로는 균류 또는 오염물질(산화철등)에 대해 적당한 살균제나 세정제(Sodium Hypochlorite, 산, 알카리등)로 정기적으로 세정하여 줄 필요가 있다. 세정빈도는 원수의 수질, 환경에 따라 보통 1~6개월에 걸쳐 행한다. 일반적으로 절삭폐유를 농축할 경우에는 NaOH 수용액으로 Flushing하여 주거나 역세적으로 표면의 오염물질을 제거하여 성능을 회복시킨다.

3. 한외여과의 원리와 특징

막분리기술은 1950년대이후 발전하기 시작하여 1970년대말 부터는 파이러트 운전규모에서 대형 플랜트의 규모로 실용화되었다. 산업이 고도로 발달됨에 따라 막분리기술의 용도분야는 크게 확산되어 최근에는 용수처리나 분리, 정제는 물론이고 폐수로부터 유용물질을 회수, 재사용함

으로써 원가를 절감하고 또한 환경오염을 최소화시키는 등, 향후 에너지 절약면이나 환경오염을 방지하는 측면에서 막분리기술이 크게 실용화되고 있다.

한외여과막은 고분자량의 물질이나 콜로이드 입자를 크기별로 분획농축할 수 있는 막으로서 1960년대이후 개발되어 실용화되었다. 한외여과막은 수처리, 제약, 식품, Biotechnology분야, 화학공업, 섬유공업, 금속공업등 산업전반분야에 널리 사용이 되고 있으며 특히 환경오염방지 및 유효자원의 회수재활용 측면에서 각광을 받고 있다. 폐수중의 혼합물질을 분획농축하여 재사용하므로써 "Zero Discharge" 또는 "Closed Loop Systeem"의 개념을 파급시키고 있으며 더 나아가 이러한 기술은 공업의 기반이 될 수 있는 기술로 평가받고 있다.

가. 한외여과막의 특징

한외여과는 반투막을 이용하여 고분자와 저분자 물질을 분리하는 방법으로 주로 물에 용해된 고분자물질의 농축과 정제에 이용되고 있다. 한외여과막은 주로 0.001~0.1 μ m 정도의 Pore Size를 가지며 1~10kg/cm²의 압력을 구동력으로 하여 분리가 이루어지고 있다.

1960년대초 Polyioncomplex를 소재로 한 한외여과막이 개발된 이래 30여년간 각종 고분자소재를 사용한 한외여과막이 상품화되어 분자량 500~100만에 달하는 물질의 분리에 이용되고 있으며 평막형(Plate & Frame Type), 중공사형(Hollow Fiber Type), 관상형(Tubular Type) 및 나선형(Spiral-Wound Type) 등 여러가지 형태의 모듈로 판매되고 있다.(그림1)

한외여과막은 일반적으로 이방성구조(Asymmetric Structure)로 되어 있는데 선택분리 기능을 가진 표면활성층(Active Skin Layer)과 이를 지지하는 다공성지지층으로 구성되어 있다.(그림2)

선택능력을 가지는 표면활성층의 기공크기는 콜로이드물질의 분별이 가능할 정도로 크기가 작고 미세하므로 분리능력을 μ m로 표시하지 않고 분획분자량(MWCO : Molecular Weight Cut

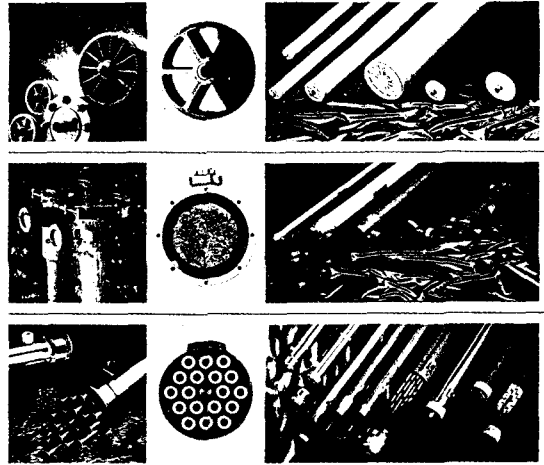


그림1. 시판되는 한외여과막 모듈의 형태 (위에서부터 Spiral-wound Module, Hollow Fiber Module, Tubular Module)

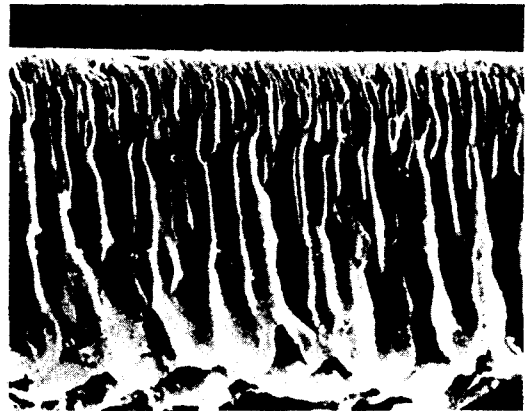


그림2. 한외여과막의 이방성구조(Asymmetric Structure) : 위의 얇은 박막이 Active Skin Layer이고 그 밑의 거대기공층은 Supporting Layer

Off) 즉 걸러낼 수 있는 분자량의 크기로 나타나고 있다.

한외여과시스템은 막모듈, 펌프, 배관, 탱크 및 자동화를 위한 보조장치로 비교적 간단하게 구성되어 있는데 이러한 시스템을 구성하는데는

공정에 대한 적합성과 효율성, 경제성 등이 고려되어야 할 것이다. 시스템의 구성요소 중 가장 중요한 요소는 막모듈의 형태와 분리기능인데 처리액의 조건에 따라 사용이 가능하도록 여러가지 형태의 모듈이 상업화되어 있다. 한외여과막을 이용한 분리시스템은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 상변화를 수반하지 않는 공정으로서 열에너지를 필요로 하지 않으므로 에너지절약 효과가 있으며 분리대상물질의 변질도 일어나지 않는다.

(2) 표면활성층의 미세구조에 의해 분자량 크기별로 분별하는 것이 가능하여 특정물질만의 분리가 용이하다.

(3) 열에너지를 사용하여 분리할 경우 필수적인 콘덴서나 증발장치가 필요없어 설비가 간단하고 자동화에 의해 운전이 용이하다.

(4) 처리액의 농도나 점도, 화학적 조성에 따라 막성능이 크게 좌우될 수 있으며 막의 오염 및 이에 따른 세정문제 등이 까다로우므로 최적의 운전조건 설정이 UF System의 성능을 좌우하게 된다.

위와 같이 한외여과공정은 타분리공정에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 분리막의 운전관리가 비교적 까다롭고 농축시키고자하는 물질을 100% 농축하는 것이 불가능하기 때문에 2차 농축설비를 추가하여야 하는 등 단점도 가지고 있다. 최근에는 우수한 막소재의 개발과 고효율 막분리 System 등이 개발되어 많은 문제점을 해결하므로써 막분리기술이 일반적인 분리공정으로 사용되고 있다.

대부분의 한외여과공정에서는 처리대상물질의 성질상태가 매우 복잡적이다. 물질자체가 입자개념에서 고차구조의 결합을 이루고 있는 상태까지 여러가지가 존재하므로 처리대상물질의 물리화학적성질을 잘 파악하고 이에 적합한 운전조건을 설정하여야 한다.

오일에 떨전폐수의 농축을 목적으로 가장 먼저 실용화된 모듈은 관상형모듈(Tubular Module)이다. 이러한 형태의 막모듈은 처리액의 유로가 넓

어서 난류의 흐름으로 운전할 수 있어 농도분극 현상을 최대한 억제할 수 있으며 막이 오염되었을 경우 물리적인 방법으로 손쉽게 세정할 수 있다는 것이 장점이다. 그러나 펌프가동을 위한 전력소모가 많고 단위부피당 처리가능한 유효막면적이 작아 설비가 거대해지고 투자비도 많이 든다.

지금까지의 여러 연구결과들에 의하면 오일에 떨전의 농축에는 中空絲型모듈(Hollow Fiber Module)이 가장 처리효과와 성능이 우수한 것으로 알려지고 있다. 실제로 중공사형모듈은 금속 가공윤활유의 폐수처리에 성공적으로 사용되고 있다. 국내에서는 현재 이러한 System의 도입단계이지만 중공사막을 사용하여 그 효율성을 인정받고 있으며 이에 대한 운전관리기술도 높은 수준에 도달하여 있다.

중공사막모듈은 미국 Amicon사가 비 세룰로즈계 소재를 원료로 비대칭구조의 중공사막을 집속하여 모듈화함으로써 실용화하게 되었다. 중공사막의 크기는 내경 0.5~1.5mm가 보통이며 중공사막다발의 양쪽 끝부분을 예폭시로 접착하여 사용하기 때문에 타모듈과 달리 지지체가 없는 것이 특징이다. 이러한 이유 때문에 고압에서 사용하는 것이 곤란하지만 단위부피당 막면적이 넓어 우수한 처리효율을 가지고 있다.

처리액의 조건에 따라 중공사막의 내경과 모듈 크기를 선정해야 하는데 일반적으로 대형모듈(3inch ϕ × 43inch L)은 희박용액의 처리나 막오염(Fouling)이 잘 일어나지 않는 액의 처리에 적합하다. 길이가 짧은 모듈(25inch L, 12.5inch L)은 반대로 고점도액의 처리나 최종제품의 농도가 진한 경우에 유리하다. 중공사막모듈의 운전상의 특징은 다음과 같다.

(1) 운전조건

- 처리액의 순환속도 : 0.5~2.5m/sec
(Laminar Flow)

- 처리압력 : 1~3kg/cm²

(2) 중공사막모듈은 단위부피당 유효막 면적이 넓고 Hold-up Volume이 작으므로 설비가 Compact하고 농축물회수시에 Loss가 적어 경제적이다.

(3) 중공사막모듈의 최대 장점으로서 자기지지(Self-Supporting) 기능을 가지므로 역세척(Back-Flushing)이 가능하다. 따라서 막이 오염되었을 경우 역세척에 의해 성능 회복과 수명연장이 가능하다.

중공사막을 통한 저분자물질과 고분자 물질의 분리형태 및 중공사막모듈의 세부구조를 각각 그림3과 그림4에 나타내었다. 그림에서 나타낸 바와 같이 중공사막 다발의 내부구멍을 통해 원액을 이송시켜 주며 투과현상이 일어날 때 Tangential Flow(Cross Flow) 효과에 의해 막면에 처리물질이 흡착되는 것을 가급적 막을 수 있도록 되어 있다.

또한 오염이 일어나더라도 여액출구쪽으로부터 다시 펌프 또는 압축공기로 여액을 압송하여 역세척을 하므로써 막표면의 오염물질을 제거하여 지속적으로 막의 성능을 유지할 수 있도록 고안되었다. 역세척의 원리를 그림5에 나타내었다.

역세척은 처리물질의 상태에 따라 자동화장치에 의해 주기적으로 행하고 있다. 또한 역세척을 하더라도 장기적으로 사용하면 막의 성능이 떨어지므로 주기적으로 산, 알칼리 또는 특별히 조제된 Cleaner 등으로 세정해 주어야 한다.

중공사막의 단면사진을 그림6에 나타내었다. 중공사막의 내부와 외부에는 선택분리기능을 가지는 활성층(Active Layer)이 얇은 막으로 존재하고 그 내부에는 다공성인 지지체가 존재하는데 이것은 분리성능과는 큰 관계가 없고 단지 내압성유지를 위해 존재한다고 보면 된다.

나. 한외여과 System의 운전

일반적으로 한외여과 System은 UF막과 이를 보호하기 위한 전처리필터, 원액이송펌프, 배관 및 운전을 위한 부속장치로 구성되어 있으며 이러한 System은 자동화되어 있는 것이 보편적이다.

그림7은 한외여과 System의 기본공정도를 나타낸 것으로서 ①의 원액탱크를 에멀전오일폐수가 담긴 Drum으로 볼 수 있고 여기서 전처리 작업으로서 에멀전이 파괴되어 생성된 유리오염(Free Oil)을 Oil Skimmer로 제거하고 100 μ m

정도의 전처리필터로 1차여과하여 금속찌꺼기, 불순물 등을 걸러내고 UF농축처리를 하게 된다. 막면의 오염을 최대한 방지하기 위하여 원액의 순환 선속도를 약 1~2m/sec로 해주는 것이 좋다.

또한 모듈의 입구측과 출구측도 장기간 사용함에 따라 오염정도가 달라지므로 아래서 위로 순환시키는 Up Flow 방식을 사용하다가 일정시간이 지나면 솔레노이드밸브조작에 의해 위에서 아래로 순환되는 Down Flow 방식으로 운전이 되도록 시스템이 구성되어 있다.

오일에멀전폐수는 농축이 진행됨에 따라 에멀전의 상태가 불안정하게 되어 유리오일이 발생하게 되는데 이것은 막면의 오염(Fouling)에 지대한 영향을 미치고 막의 수명과 성능을 저하시키는 요인이 되므로 가급적 오염이 적게 일어나도록 운전방법을 택해야 할 것이다.

오염에 대한 문제는 지금까지 근본적으로 해결되고 있지는 않으나 막의 재질자체를 개질화하거나 고효율의 운전조건과 방법을 개발하여 개선하고 있다. 아직까지 막의 오염을 100% 방지하는 방법은 없으며 오염문제는 주로 사후대책으로 해결하고 있는 형편이다.

중공사막모듈의 경우, 최대의 장점으로 생각되는 역세척방법으로 이러한 문제를 해결하고 있다. 중공사막모듈은 막다발의 양끝을 접착제로 고정하여 사용하므로써 타모듈과는 달리 지지체가 필요없다는 장점을 가지고 있다.

또한 중공사막의 구조도 내부와 외부에 모두 활성층을 가지는 2층 구조의 막체조가 가능하므로

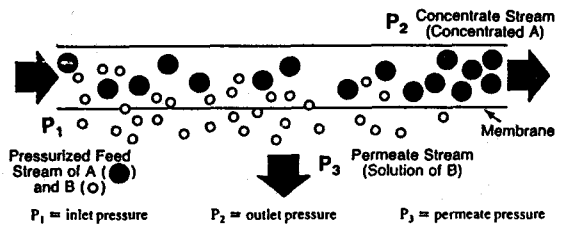
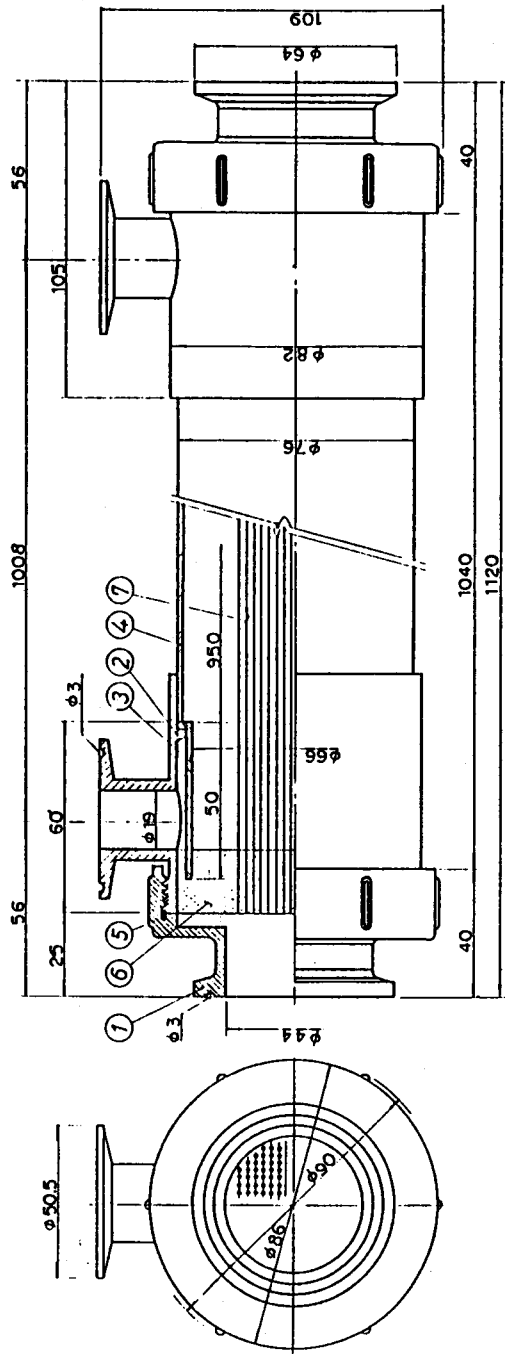


그림3. 중공사막을 통한 고분자물질과 저분자물질의 분리형태

그림4. 중공사막 모놀의 세부구조



- ① 모놀 Cap ② Union Adapter ③ Spacer ④ Tube Vessel
- ⑤ O-ring ⑥ 점착제 ⑦ 중공사막

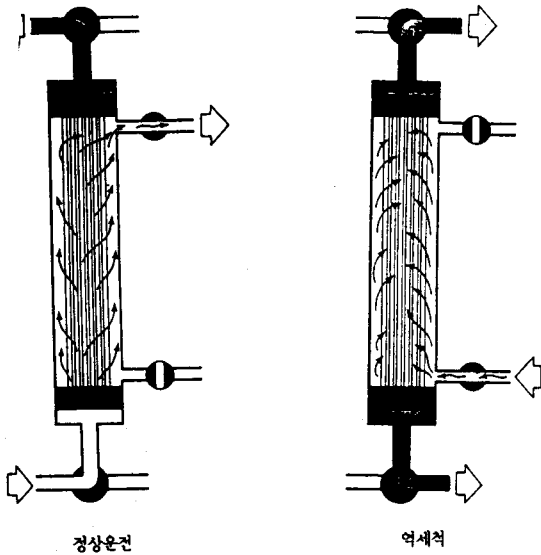


그림5. 중공사막모듈의 역세척방법

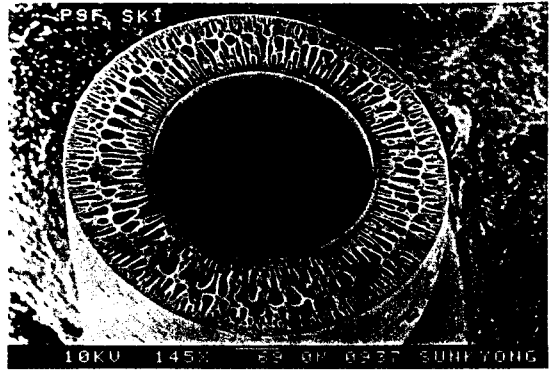
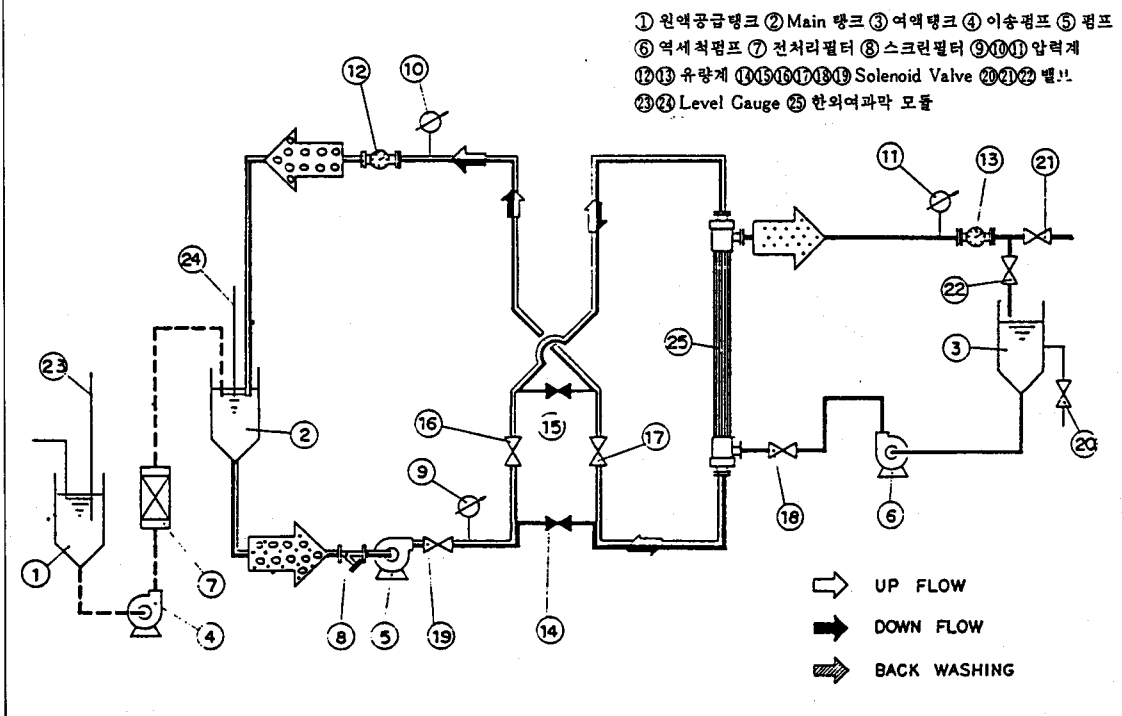


그림6. 선경인더스트리에서 개발한 中空絲型 한외여과막의 단면구조 전지현미경사진

그림7. 한외여과시스템의 기본공정도



로 내부여과방식으로 운전하다가 어느정도 오염되면 외부여과방식으로 전환하여 여액으로 막내부 표면에 형성된 오염물질을 제거할 수 있다.

그림7의 여액탱크에 여액을 일부 받아 놓았다가 오염이 일어나면 역세펌프를 가동시켜 막의 외부에서 내부로 투과시킨다. 여액이 투과되면 증공사막내부에 흡착된 오염물질이 빠져 나와 Main Tank로 순환되거나 Drain된다.

일반적으로 오염이 쉽게 일어나는 경우에는 30분간 여과시킨후 30초 역세하는 반복공정에 의해 운전된다. 역세압력은 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하로 설정한다. 장기적으로 운전하다 보면 역세척을 반복적으로 해주더라도 막의 성능은 점차 떨어지게 된다. 이때는 세정제를 사용하여 세척을 해주게 된다. 세정제로는 주로 NaOH수용액 또는 계면활성제 등을 사용한다. 화학세정제에 의한 세정을 자주하게 되면 오히려 막성능이 저하되기도 하므로 유의하여야 한다.

한외여과막은 건조되거나 오염물질이 농축되어 묻어있는 상태로 운전하지 않고 그대로 방치하게되면 막성능을 잃게 된다. 따라서 Batch식으로 운전하는 경우에는 사용후 순수나 세정제로 닦아주고 순수 또는 살균력이 있는 화학약품으로 채워 주는 것이 좋다.

4. 한외여과막을 이용한 오일에밀전 폐수의 처리

가. 오일에밀전 폐수의 처리

오일에밀전은 계면활성제에 의해 미세한 유적이 수중에 안정된 상태로 유화되어 분산된 것으로서 수용성 절삭유, 압연유 등에서 이와 같은 폐수가 발생되는데 이것은 종래의 중력분리법이나 粗粒化法으로는 처리가 불가능하다. 이것을 처리하기 위해서는 산분해에 의해 에밀전을 파괴하고 응집부상 또는 침전시켜서 분리하는 방법을 사용하고 있는데 이것도 비이온성 계면활성제를 사용하는 경우에는 처리할 수가 없다.

따라서 오일에밀전 폐수는 UF막으로 처리하는 것이 매우 유리하다고 할 수 있다. 그림8에는 실제 사용되고 있는 오일에밀전 폐수의 UF 농축

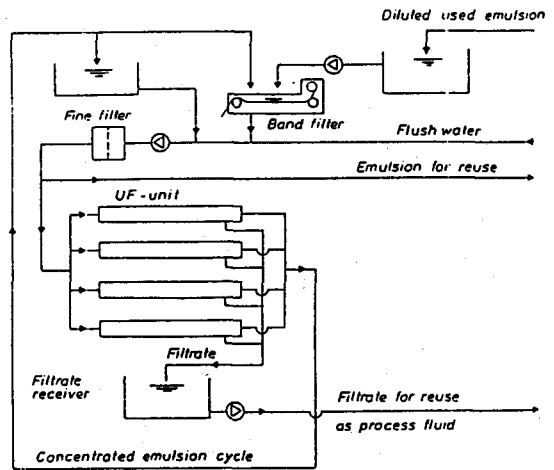


그림8. 외일에밀전폐수의 UF 농축처리 System Flow Diagram

처리 Flow Diagram을 나타내었다. 간단한 전처리조작과 UF막으로 오일에밀전을 농축할 수 있다.

특정 폐기물로 발생되고 있는 함유폐수중 대표적인 수용성 절삭유는 다음과 같은 형태로 배출된다.

- ◆유분농도 : 1~10%의 유백색 수용액
- ◆유화된 Oil의 입자크기 : 1~10 μm (보통 2~3 μm)
- ◆pH : 9~11

오일에밀전은 보통 Batch식으로 처리하고 있는데 UF막에 의해 오일에밀전입자는 거의 완전히 제거할 수 있으며 계면활성제는 유출된다. 농축율이 증가하면 입자가 粗粒化되어 Free Oil 상태로 액면에 부상하게 되며 이것이 막표면을 오염시키는 주요 원인이 된다. 따라서 처리조내에 Oil Skimmer를 설치하여 Free Oil을 제거하면 효과적이다.

대체로 UF막에 의해 COD를 크게 감소시킬 수 있으나 절삭유에 첨가된 계면활성제, 소포제 등 저분자량의 유기물질은 UF막을 통과하여 빠져나오므로 여과액을 그대로 방류하기에는 문제점이 있다. 이것은 유분으로서 검출되기도 하므

로 대부분의 경우 이것을 다른 폐수와 합류시켜 활성오니법등 2차 처리하는 것이 보통이다. 여과액을 재사용할 경우에는 역삼투법이나 활성탄법을 사용하여 처리하여야 한다.

오일 폐수처리시 UF System의 운전은 조작압력보다는 유속에 크게 좌우된다. 이는 막표면에서의 농도분극 때문이다. 농도분극은 막표면에서의 처리대상 물질의 농도가 크게 증가되어 막의 성능을 저해시키는 것을 의미하는데 농도분극 현상이 커지면 여과액도 급속히 줄고 막의 오염이 쉽게 일어나서 수명을 단축시키게 된다.

농도분극을 막기 위해서는 보통 용액의 흐름상태를 난류로 촉진시키는 방법을 사용하고 있다. 또한 막표면에서의 용액흐름의 선속도를 증가시켜주면 농도분극이 적게 일어나고 여과액의 급격한 감소없이 효과적으로 운전할 수 있게 된다. 따라서 운전조건에 적합한 Pump용량을 선택해야 할 것이다. 그림9에는 막표면에서의 선속도가 증가할수록 UF처리에 의한 여과액이 증가하는 것을 보여주고 있다.

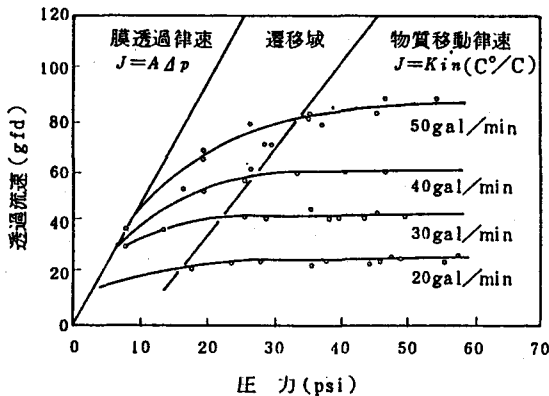


그림9. 압력 및 막표면에서의 선속도가 투과유속에 미치는 영향

나. 脫脂液의 처리

급속은 도장하기전의 전처리로서 표면에 부착된 Oil을 제거하고 피막처리가 행해진다. 피처리물에 알카리 및 계면활성제 혼합액을 분무하거나

피처리물을 침적시켜 탈지시키며 그후에 물로 세정한다. 탈지액은 처리가 진행됨에 따라 유분농도가 증가하여 처리능력이 저하되므로 탈지액중 유분이 10~20g/l 정도되면 폐기하고 새로운 탈지액을 사용하여야 한다.

탈지된 Oil은 탈지액중에서 유화된 상태로 유지되지 않으면 곧 피처리물의 표면에 다시 부착된다. 탈지액의 교환빈도는 액량 및 탈지량 외에 수세공정에 유출된 양에 따라 결정된다. 수세공정의 Closed化에 의해 유출량이 적어짐에 따라 탈지액중의 유분 증가속도가 크게 증가하여 교환빈도가 커지게 된다.

한외여과막으로 처리하여 탈지액중의 유분을 농축시켜 배출시킴으로서 탈지액의 교환시간을 길게 할 수 있다. UF막을 사용할 경우 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

- 1) 탈지액의 교환빈도가 줄게 되고 폐액처리 부하를 덜게 된다.
- 2) 탈지액중의 유분농도가 일정하게 낮은 수준으로 유지되므로 탈지능력이 안정화되고 품질도 우수해진다.
- 3) 탈지액이 효과적으로 활용되어 Cost가 절감된다.
- 4) 유분제거 조작이 탈지작업과 병행하여 일어나므로 일관성있는 조업이 가능하다. 조작방법은 Batch식과 연속식이 모두 사용되고 있다.

(1) Batch식 처리방법

탈지 Tank와 같은 용량의 Tank를 2대 설치하여 탈지액을 교체할때 전량을 농축 Tank에 보낸다. 처리하여 남은 투과액을 탈지 Tank에 보내 조업에 들어갈 수 있도록 하고 농축액 Tank의 액은 UF장치에 의해 처리하여 투과액은 다음의 탈지액 교체때까지 투과액 Tank에 보관하고 농축된액은 배출시킨다. 이와같이 하면 탈지작업에 관계없이 Oil 분리작업을 Batch식으로 효율적으로 할 수 있다.

이러한 방식은 유분농도가 허용농도에 도달할 때까지의 시간내에 UF처리를 하면 되므로 UF System은 비교적 작아도 되지만 탈지 Tank와 같

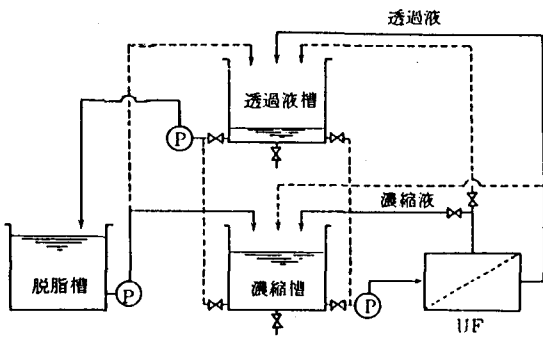


그림10. Batch식 처리방법에 의한 탈지탱크의 유분제거

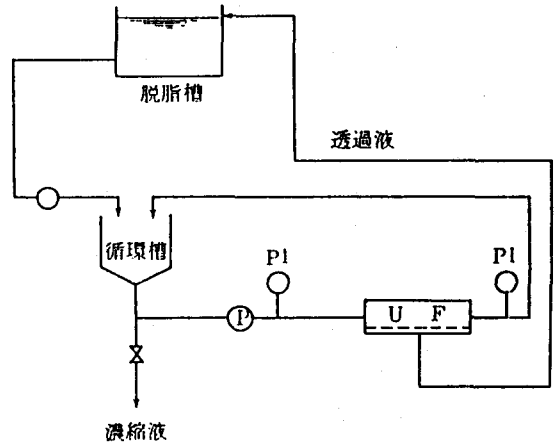


그림11. 연속식 처리방법에 의한 탈지 Tank의 유분제거

은 크기의 Tank를 2대 설치하여야 하는 것이 문제이다.

(2) 연속식 처리방법

연속식 처리방법은 한외여과막 장치내에서 탈지 Tank로 부터 유출된 탈지액을 농축하고 투과액은 직접 탈지 Tank로 보내주는 방법이다. 한외여과 장치로 부터는 처리액이 농축된 상태로 연속적으로 배출되는데 그 배출량을 조절하는 정도에 따라 탈지중의 유분농도를 조절하는 것이 가능하다. UF System은 특히 배출농도에 가까운 상태에서 항상 운전되므로 Batch System에

비해 효율은 나쁘지만 탈지액에 따라서는 유분농도가 높게 되어도 투과액량이 그다지 감소되지 않는 장점도 있으므로 실제 효율적인 면에서는 Batch식에 비해 큰 차이가 없다.

5. 한외여과막의 성능과 경제성

가. 한외여과막에 의한 처리성능

일본의 분리막 Maker N社에서는 각종 오일에

表2. 각종 오일에걸전 폐수에 대한 UF처리성능

구분	폐수의 종류		Drawing Oil	수용성질삭유		자동차 세차폐수	세탁폐수
				(I)	(II)		
원폐수농도 (ppm)	COD	19,000	1,800	9,160	580	7,070	
	유분	5,850	3,100	20,100	9,120	2,950	
투과수농도 (ppm)	COD	8,400	650	3,200	10	310	
	유분	40	20	35	<1	30	
농축비(배)		5	20	16	10	10	
제거율 (%)	COD	55.7	63.8	65	98.3	95.6	
	유분	99.3	99.4	99.8	99.9	99.9	
운전압력(kg/cm ²)		6	5	—	4	—	
투과유속 (ℓ/m ² ·hr)	초기	60	45	—	140	—	
	말기	18	20	—	120	—	
년간 Merit(¥)		5,520,000	8,580,000	—	7,920,000	—	

註) 오일에걸전폐수 1m³당 위탁처리 비용은 30,000¥

멸전 폐수의 농축 Test를 실시하여 다음과 같이 그 결과를 보고하였다. 농축비율은 처리액의 종류에 따라 5~30배까지 가능하였고 COD 제거율은 55~95%까지, 유분제거율은 99% 이상을 나타내었다. 또한 月 30cm³의 폐수가 발생될때를 기준으로 하여 위탁처리 대신 UF처리를 하였을 경우 Merit을 보고하였다.

나. 국내 업체의 사례

국내 K자동차에서는 1985년도까지 하루에 6cm³씩 발생되는 질석유폐수를 위탁처리 하다가 UF 농축설비를 도입한 후 연간 9,000만원 이상의 경비절감을 가져오게 되었다. K사에서 운전중인 UF System의 제반 규격, 운전조건 및 이에 따른 경제성 비교를 表3과 表4에 나타내었다.

表3. K사의 UF 농축 System의 규격 및 운전조건

항 목		내 역
전 처 리		Band Type Oil Skimmer, 전처리용 부직포 Roll Filter(100mesh)
막 모 들		Hollow Fiber Polysulfone 한외여과막, 막내외경 : 1.1/1.9mm ϕ 모듈수 : 100mm ϕ × 1010mmL 모듈 3EA
펌 프		공급펌프 : 600 l/min 역세펌프 : 40 l/min
운전조건	압 력	유입압력 : 3kg/cm ² , 유출압력 : 2.2~2.4kg/cm ²
	전 회 수 율	90%(여액기준)
	세 정 방 법	30분여과 30초역세척 자동조작 Up-flow, Down-flow 운전가능
	막내선속도	1~2m/sec

表4. K사의 UF System 도입에 따른 경제성

구 분		내 역	비 교
년간 폐유 발생량(m ³ /y)		1,800	
년간 위탁 처리비(원)		432,000,000	1m ³ 당 24만원
한 외 여 과 공 정	장치	취득가액(원)	45,000,000
	상각비	상각비(원)	6,750,000 상각년도 : 6년
	농축액 위탁처리비		43,200,000 10배 농축
	운 전 비		2,000,000 동력비+세정+기타
	인 건 비		3,000,000 0.5인×12개월
	모 들 교 환 비		18,900,000 수명 : 8개월
총 소요 비용		73,850,000	
년 간 차 익		358,150,000	

다. 경제성

앞에서 설명한 바와 같이 한외여과막에 의해 질석폐유등 오일에멸전폐수를 농축 처리하게 되면 환경오염의 방지와 함께 높은 경제성을 가질 수 있다. UF 처리방법은 화학적인 작용이 필요 없는 아주 간단한 공정으로서 적당한 운전조건의 설정으로 편리하게 사용할 수 있다.

UF처리방법은 他化學處理方法에 비해 경제성이 우수한 것으로 확인되고 있으며 처리용량이 100,000gpd(378,500L/D) 이하까지는 충분히 경제성이 있는 것으로 보고되고 있다. 表4에 하루 1,000galon(3,785L) 처리하는 경우를 전제로 하여 경제성을 산출하였다. 表5에서는 위탁처리 비용에 대한 UF처리비용의 경제성을 비교하였다.

表5. 한외여과 공정의 경제성 분석

UF Operating Parameters	
Operating Days Per Year	250
Shifts(8h) Per Day	2
Volume To Treat Per Day	3,785L(1000gal)
Volumetric Reduction(Wastewater Concentration)	90 percent
Contract Hauling Costs	\$0.07/L(\$0.25/gal)
UF Capital Costs	
UF Equipment	\$45,500.00
Investment Tax Credit(10 percent)	\$ 4,550.00
Equipment Depreciation(8 years)	\$ 2,843.75
Membrane Cartridge Replacement(Every Two Years)	\$ 2,300.00
UF Operating Costs	
Electricity(\$0.045/kwh)	\$ 8.00/day
Cleaning Fluids	\$ 3.00/day
Labor(2 h/day, \$10/man h)	\$20.00/day
Concentrate Disposal \$0.07/L(\$0.25/gal)	\$25.00/day
Total Operating Costs	\$56.00/day
Unit Operating Cost	\$0.02/L(\$0.06/gal)

表6. UF처리법과 위탁처리방법의 경제성 비교

Year	Contract Hauling	UF Treatment	Cumulative Savings with UF
1	\$62,500.00	\$53,106.25	\$ 9,393.75
2	\$62,500.00	\$14,456.25	\$ 57,437.50
3	\$62,500.00	\$12,156.25	\$107,781.25
Investment Cash Outflow (UF Equipment)			\$ 45,500.00
Payback Period			1.75 Years

6. 결 론

한외여과법은 산업전반분야에서의 분리, 농축, 정제 용도로서 매우 빠른 속도로 파급되고 있다. 특히 최근에 문제로 야기되고 있는 환경오염이나 자원의 고갈 등을 어느 정도 해결해 줄 수 있는 기술로서 인정을 받고 있으며 그 경제성은 이미 현장 응용 사례에서 확인되고 있다. 한외여과법은 금속가공, 식품, 표면처리 등의 산업분야에서 배출되는 에밀전형태의 오일폐수를 매우 효과적으로 농축처리 할 수 있으며 이러한 기술이 국내에도 많이 보급될 것으로 기대된다.