



## 경제적인 고도폐수처리

### VIII. UF(Ultra Filtration)에 의한 기름폐수의 처리

얼마전 본란을 통해 MARS(Membrane Anaerobic Reactor System)를 소개하면서 생물학적으로 유기물을 제거한후 미생물을 분리하기 위해 한외여과법(Ultra Filtration, UF)을 사용하는 방법이 고농도 산업폐수뿐 아니라 분뇨의 처리에 까지 경제성 있게 사용될 수 있다는 것을 설명하였다.

최근의 동향이 발생된 오염물질을 제거하는 개념에서 오염을 예방하는 pollution prevention 기술과 첨단기술을 활용하는 방향으로 나아가고 있어 UF에 의한 산업폐수처리가 관심을 끌고 있어 이번에는 산업폐기물중에서 기름폐수의 처리에 UF법을 사용하는 방법을 설명하고자 한다.

UF법이 실용화되기 전까지는 에멀전상태의 기름폐수처리에 화학적처리후에 침전을 거치는 방법이 주로 사용되어 왔는데 화학처리에는 황산, 황화천과 고분자화합물등 여러종류의 화학제가 소요되



이 상 은 / 한국건설기술연구원  
연구위원

며 슬러지가 발생하는 문제점이 있다. 또한 화학처리된 처리수는 하수도로 방류되기에 적합하지 못해 별도의 고도처리를 거쳐야만 하는 경우가 많다.

그러나 UF법에 의해 처리된 기름폐수는 처리된 후 처리수는 하수도에 직접 방류해도 문제가 없고 분리된 기름은 연료로서도 사용될 수 있으며 만약 기름이 연소되기에 적합하지 못하다 해도 원폐수에 비해 훨씬 농축된 상태가 되어 원폐수 부피의 3~5%만을 폐기하면 되는 장점이 있다.

UF법에서는 그림-1과 같이 에멀전상태의 기름을 포함하는 폐수가 펌프에 의해서 막분리장치로 도입되며 에멀전상태의 기름방울과 고형물질들은 막에 의해 걸러지고 물과 용해성 염(salts)가 막을 통과하게 되는데 이 과정을 통해 에멀전상태의 기름은 60%이상의 기름과 고형물질을 포함하는 폐기물로 변한다.

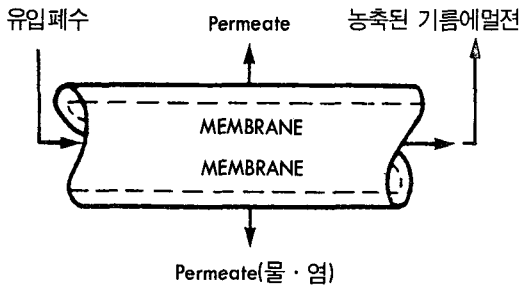


그림-1 UF막에 의한 기름/물 폐수의 분리

UF법에서 사용되는 막의 pore크기는 걸러지는 입자들의 크기에 비해 훨씬 작은  $0.005\mu$  이하로서 입자들이 막구조에 진입하기 어려워 입자들에 의해 pore가 막히는 경우가 거의 없으며 따라서 또다른 고형 또는 액상폐기물을 발생시키는 역세척이 필요가 없다.

UF법은 기름과 물의 혼합액으로부터 기름을 분리하여 제거한다기 보다는 에멀전상태의 기름 혼합액에서 물을 분리하는 것이라고 볼 수 있으며 기름은 용액에 남아 있어 UF막에 걸러져 있게 되나 용액이 막을 통과하는 속도가 충분히 빨라 기름이 막 표면에 축적되는 것을 막아 준다.

UF시스템에서 중요한 설계조건은 물을 통과시킬 수 있는 막의 용량이다. 이 여과속도를 flux라고 하며 단위시간당 단위 막면적을 통과하는 물의 양으로 나타내진다. 막분리장치의 시설비와 운전관리가 필요한 막의 면적과 함께 증가하기 때문에 membrane flux를 최대화 하는 것은 매우 바람직한 일이다.

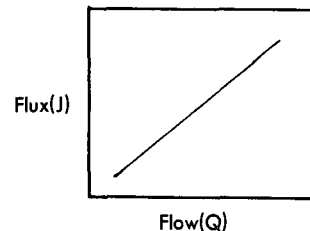
식-1은 여러범위의 UF시스템 적용에 있어서 설명될 수 있는 membrane flux의 관계를 나타낸다.

$$J = K \ln \left( \frac{C^*}{C} \right) \quad (1)$$

- 단 J: flux
- K: 액상물질전달계수
- C\*: 상수
- C: 유입수 농도

UF시스템은 여러가지 인자에 의해서 효율이 영향을 받게되는데 그중에 중요한 인자로는 온도, 분리대상물질의 농도유입수의 속도 압력등을 들 수 있다. 식-1의 물질전달계수 K는 막을 통과하는 유입수의 속도가 증가하면서 높아지게 되는데 따라서 flux도 속도가 증가 하면서 높아지는 것을 알 수 있다.

적합한 flux를 유지하기 위한 유입수의 펌프속도는 전력비와 막의 면적의 균형을 고려하여 결정하는 것이 일반적이다. flux는 또한 온도가 높아짐에 따라 커지는데 보통 30~40℃ 범위로 운전하며 또한 농도가 높아지면서 flux는 감소하는 것이 일반적이거나 아주 희석된 상태에서는 flux가 감소하게 된다. 그림-2는 각 인자들과 flux와의 관계를 간단하게 나타내고 있다.



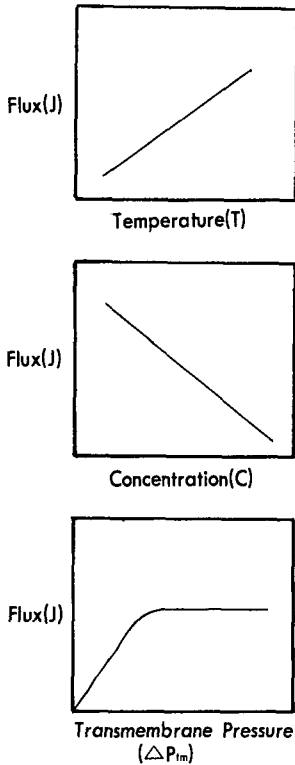


그림-2 공정인자와 flux와의 관계

아주 희석된 상태에서 기름/물 용액의 flux가 감소하는 이유는 막표면에 기름칼슘컴플렉스, 수산화제2철등이 축적되기 때문이라고 여겨지고 있다.

이상적인 UF 시스템에서는 막표면에 기름이 축적되지 않아야 하나 현실적으로는 막표면에 결국 기름막이 형성되기 때문에 주기적인 세척이 필요하게 된다. UF시스템의 세척은 막의 fouling층을 제거하고, 막구조안에 있는 작은 입자들과 기름막을 제거하며 시스템전체를 깨끗하게 하여 미생물들이 성장하는 것을 막아주는 역할을 한다.

세척은 주로 제거해야 하는 물질에 따라 적절한 화학제품을 포함하는 세척제로 시행하는데 기름성분의 제거를 위해서는 비누를 사용하기도 하고 pH를 알카리상태(pH 11~12)로 유지하며 0.5~1시간 정도의 시간동안 세척을 실시한다. 세척후 세척수는 다시 유입폐수탱크로 돌려 보내져서 또 다른 폐

기물을 발생시키지 않도록 하며 비누를 사용할 경우 비누용액도 UF막을 통과하면서 제거된다.

대규모 기름/물의 처리시스템의 경우는 1주일에 1회정도 세척을 해주는 것이 보통이며 기계적인 방법과 분산시키는 방법 그리고 용해시키는 방법이 있는데 기름/물 폐수의 경우는 비누등에 의한 분산 방법이 많이 사용된다. 참고로 대부분의 UF시스템 공급업체에서는 세척에 사용할 세척액을 제조하여 판매하고 있다.

그림-3은 UF시스템에 의한 기름폐수처리의 일반적인 공정도이다. 에멀전상태가 아닌 기름이나 큰 고형물질들은 막표면에 쉽게 기름막을 형성하거나 막이나 펌프장치들을 파괴시킬 염려가 있으므로 전처리에 의해 제거해줘야 한다.

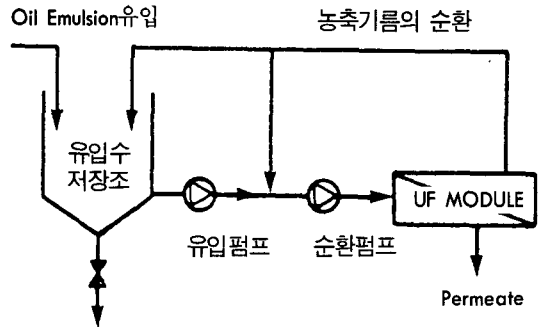


그림-3 UF시스템에 의한 기름폐수의 처리 공정도

전처리는 주로 중력에 의해 분리하는 장치로 되어있는데 기름스킴머나 API형태의 기름분리장치가 장착되어 있는 경우가 많다.

그러나 최근에 개발되어 보급되는 UF시스템은 전처리가 필요없이 처리가 가능하도록 설계되어 있으며 기름의 농도와 고형물질의 형태 또는 농도에 따라 처리 가능한 용량을 구분하고 있다. 일반적으로 같은 크기의 막으로 5,000~50,000ppm의 기름성분을 제거하는 경우가 금속수산화물등의 미세입자만을 처리하는 경우보다 처리가능한 용량이 1/5 정도로 적어진다.

UF시스템에 의해 처리된 처리수는 재사용이 가

능하거나 일반도시하수도로 직접 방류시킬 수 있을 정도의 수질을 유지해 준다. UF시스템에서는 기름과 물이 막이라는 장애물에 의해 어떤경우라도 분리되게 되어있기 때문에 운전자의 미숙한 조작에 의해 처리수의 수질이 나빠지는 경우는 별로 없다.

표-1은 Can Washwater를 UF시스템에 의해 처리한 경우 유입수와 유류수의 수질을 비교한 것으로 기름성분을 매우낮게 유지할 수 있음을 나타낸다.

표-1 UF법에 의한 Can Washwater의 처리결과

	농 도 (mg/L)	
	유 입 수	처 리 수
Oil호 Greese	200-1,000	20-25
탄화수소	156-350	6-15
인	0.9-1.5	0.9-1.5
TSS	500-1,000	<50
TOS	2,000-10,000	100-500

처리수의 BOD는 유입수의 특성에 따라 변하는데 UF의 막을 통과할 수 있는 적은 분자량의 유기물이 얼마나 되는가에 따라 달라진다. 만약 UF에 의한 처리수가 높은 BOD를 나타낼 경우에는 후처리를 거쳐야 하며 이때 사용될 수 있는 후처리 방법은 생물학적처리, 역삼투압법이나 활성탄흡착을 고려할 수 있다.

그러나 UF에 의해 처리된 폐수가 높은 BOD를 함유한다 해도 다른 저해물질을 함유하지 않는 경우가 대부분이어서 도시하수관로로 투입시켜 활성슬러지법등 생물학적처리를 사용하는 도시하수처리장에서 처리되게 할 수도 있으며 활성탄흡착에 의해서는 높은 수질의 처리수를 얻을 수 있으나 활성탄의 재생보다는 포화된 활성탄을 버릴 수 있게 규모의 경제성을 고려해야 한다.

표-2는 실제 처리장에서 적용되고 있는 UF시스템의 운전조건을 정리한 것으로 아직 더 많은 자료들이 축적되어야 할 것이지만 많은 경우 UF시스템이 에멀전상태의 기름폐수 처리에 가장 경제적인 방법이라고 보고되고 있다.

표-2 에멀전상태의 오일폐수처리시 UF운전특성

인 자	특 성
Permeate flux	45-90 L/m <sup>2</sup> · hr
에너지소요	10-15Kwh/m <sup>3</sup> · permeate
냉각수소요	0
세척용세제소요	25g/m <sup>3</sup> permeate
인력	7-10시간/주
막의수명	>12개월

UF시스템은 하나의 팩케지형태로 보급되고 있으며 적은 부지에서서도 활용이 가능한 것으로 알려져 있다. 다른 처리방법과 직접 경제성을 비교할 자료는 많지 않으나 경제적인 측면에서 UF시스템은 여러가지 장점을 갖고 있으며 특히 최근에 소개되고 있는 시스템은 완전 자동화 되어 인건비의 절감에도 큰 효과를 보고 있다.

가장 큰 경제적인 이점은 기름폐수의 부피를 10%정도로 줄여 최종처분에 필요한 비용을 절감하는 점과 이동가능한 Compact시설로 설치가 가능하여 부지절약효과가 큰 것을 들 수 있다. 또한 앞서 언급된 바와 같이 특별한 경우외에는 전처리를 생략할 수 있게 개발되어 있는등 오일폐수의 특성에 따라 여러형태의 변형을 사용할 수 있어 적용 범위가 넓다.

환경보전기술의 최근 개발동향은 발생된 오염물질을 처리하는 기술이라기 보다는 오염물질을 적게 배출하는 오염예방기술의 개발이다. UF에 의한 기름폐수의 처리는 오염예방기술의 하나로도 간주될 수 있는 첨단기술로서 환경기준이 높아지고 부지의 제한이 많은 지역에서 더욱 경제성이 높을 것으로 판단된다.

UF시스템을 기름폐수의 처리에 적용되는 예를 설명하였으나 이밖에 적용될 수 있는 범위는 넓다. 특히 UF시스템에 의해 처리된 처리수는 중금속의 함유량도 낮아 중금속의 처리에도 어느정도 효율적인 것으로 보고되어 있어 중금속제거만을 목적으로 사용되기는 어려우나 UF시스템에 의한 폐수처리의 2차적인 효과를 기대하는 차원에서 고려해볼만하다고 본다.