

절삭유 에멀전의 한외여과분리 연구 (A Study on the Ultrafiltration of a Cutting Oil Emulsion)

김광제*, 박인준, 김동권, 이수복
한국화학연구소 화공부, 대전시 유성구 장동 100

1. 서론

한외여과분리의 중요한 응용분야의 하나인 oil/water 에멀전의 분리에 대하여 연구하였다. Oil/water 에멀전의 한외여과분리 원리를 제안하고, 상용되고 있는 하나의 절삭유를 대상으로 분리가 가능성을 조사하였다. 사용된 한외여과분리 모듈은 상업적으로 이용되고 있는 IRIS 3042 분리막이 장착된 평판형이었다. 한외여과 실험에서 공급압력, 공급유량, 공급에멀전의 oil 농도 등을 변화시키면서 투과액의 oil 농도, 투과속도 등을 측정하여 분리성을 조사하였다.

2. 실험

2.1. 실험장치

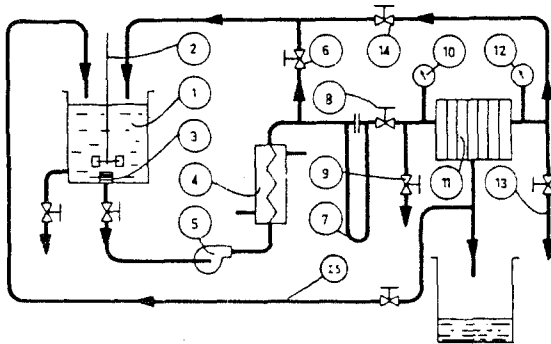


Fig. 1. Schematic diagram of ultrafiltration pilot.

- Module: plate and frame type (평판)
- 분리막: Rhone-Poulenc IRIS 3042, 표면적 1 m², MW cut-off 20,000, Polyacrylonitrile

2.2. 절삭유 에멀전

- EIF 사 제품 SARELF
- 유화된 oil drop 의 크기: 0.01 ~ 10 micron
- surfactant, cosurfactant, 기타 additive 함유
- 에멀전의 oil 함유 농도: 2.5 ~ 10 %

2.3. 분석

- 투과액의 유기물 농도: TOD(Total Oxygen

Demand) 분석, 유기물 농도는 TOD 에 비해

- 투과액의 oil 농도: Turbidity 분석, 낮은 Turbidity 영역에서는 oil 농도에 비해

3. 결과 및 토의

3.1. Oil/water 분리 원리

한외여과분리에 의하여 물속에 분산되어

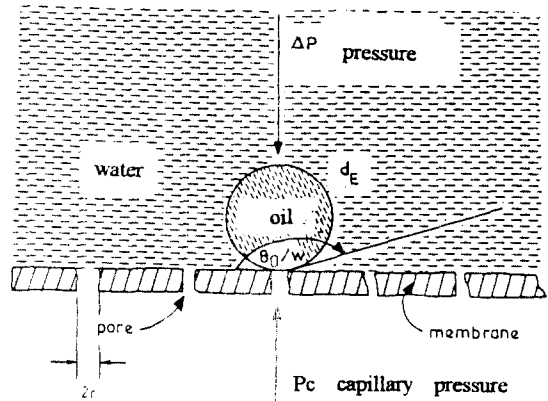


Fig. 2. Principle of oil/water separation by UF.

있는 oil drop 을 분리(Fig.2)하기 위해서는 다음의 3 가지 조건을 동시에 만족하여야 한다.

- 1) Steric condition: $2r \ll d_E$
- 2) Wettability condition: 분리막이 연속상인 물에 선택적으로 젖음성이 좋아야 한다. 즉, 물 존재하에서 oil drop 의 분리막에 대한 접촉각이 90 도 이상이어야 한다(Fig.2). 이 경우에 다음식(1) (Young Eq.)에 의하면 oil 분산상의 분리막 기공에서 capillary pressure 는 negative 이고, negative pressure 에 의해 oil drop 의 통과가 억제된다.

$$P_c = 2 \gamma_{ow} \cos \theta_{ow} / r \quad (1)$$

- 3) Pressure drop condition: 공급압력이 위의 capillary pressure 보다 작아야 한다. 큰 경우에는 oil drop 이 변형되어 분리막의 pore 를 통과할 수 있다.

본실험의 경우에 $\gamma_{ow} = 1 \text{ dyne/cm}$, $\theta_{ow} = 180 \text{ 도}$,

$r = 100 \text{ \AA}$ 으로 측정되었고, 이로부터 계산된 P_0 는 약 4 bar 이었다. 즉, 에멀전 공급압력을 4 bar 이상으로 하는 경우에는 oil 분리가 완벽하지 않을 것이다. 실제의 한외여과분리 실험에서 이를 관찰할 수 있었으며, 상기의 조건이 타당함을 간접적으로 확인할 수 있었다.

3.2. 분리효율

Fig.3 에서 공급압력 4 bar 부근에서 투과액 중의 oil 농도가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

3.1.항에서 예측한 바와 일치하고 있다.

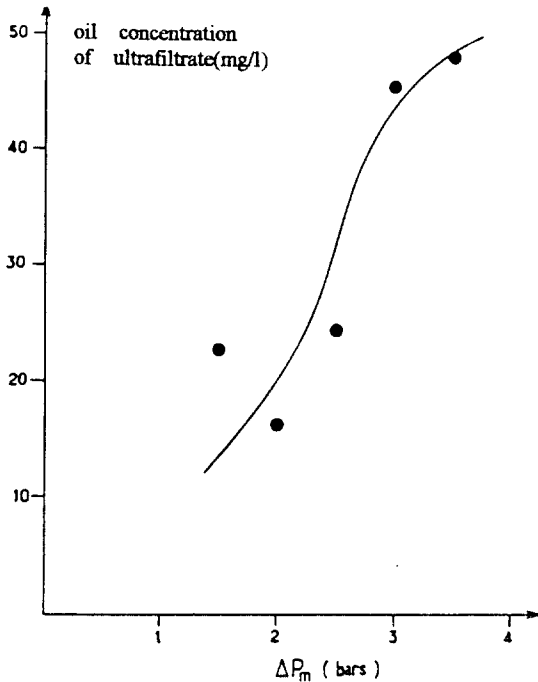


Fig. 3. Effect of pressure on oil concentration of ultrafiltrate($C_0=2\%$, $Q_A=8 \text{ m}^3/\text{h}$, $f=5.0$)

공급압력이 3.5 bar 이하인 경우에는 한외여과분리의 oil 분리 효율이 99% 이상으로 아주 우수함을 알 수 있다.

Fig.4 는 투과액의 TOD가 농축비에는 거의 무관하고, 에멀전의 초기농도의 증가에 따라 증가함을 보여준다. 이것은 투과액의 TOD가 oil이 아닌 주로 연속상인 물 속에 용해되어 있는 surfactant, cosurfactant, 기타 여러가지 첨가제에 기인한다는 것을 보여준다.

3.3 투과액의 투과속도

전형적인 투과속도 변화를 Fig.5 에 보였다. 공급압력이 3 bar 이상이 되면 투과속도는 거의 일정한 값을 보인다. 이 경향은 공급유량이 3~8 m^3 범위에서 증가하여도 변화하지 않는다. 이 현상은 분리막 주변에서 oil 농도가 크게 증가하여 이 oil 층에 의한 투과저항이 분리막 자체의 투과저항보다 훨씬 커지는 것(concentration polarization)에 기인한다. 공급유량의 증가에 따라 투과속도는 어느정도 증가하는 경향을 보이는데 이것은 분리막 주변에서 유속이 증가하여 concentration polarization 을 완화하여 oil 층의 투과저항을 감소시키기 때문이다.

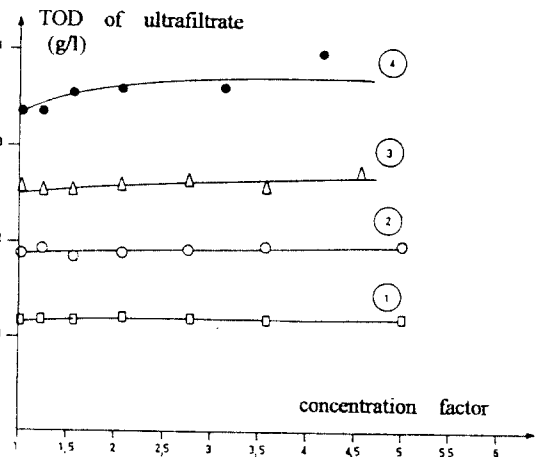


Fig. 4. Variation of TOD of ultrafiltrate with concentration factor($\Delta P_m=3\text{bars}$, $Q_A=8 \text{ m}^3/\text{h}$, C_0 : ①=1%, ②=2%, ③=3%, ④=4%).

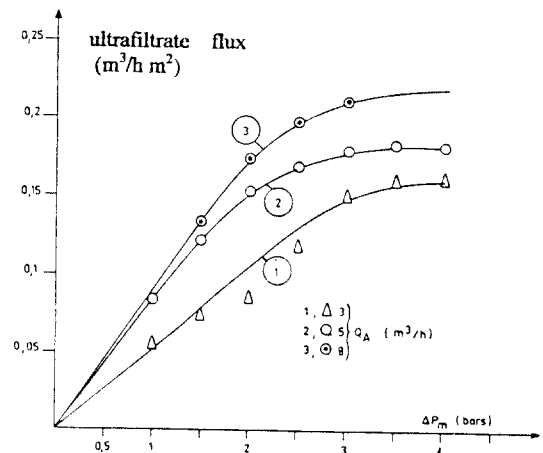


Fig. 5. Ultrafiltrate flux as a function of pressure ($C_0=3\%$).