

## 유타해수의 RO막에 대한 영향

조 봉 연

동국대학교 공과대학 토목환경공학과

(1999년 5월 31일 접수, 1999년 8월 13일 채택)

## The Effect of Sea Water Containing Heavy Oil on RO Membrane

Bong-Yeon Cho

*Dept. of Civil & Environmental Eng., College of Eng., Dongguk University*

### ABSTRACT

An experimental study regarding the effect of emulsions on RO is presented. Heavy oil was added to the sea water and the distilled water separately and treated for 30 minutes by a homogenizer to make emulsions. For the case of the sea water without heavy oil the permeate decreased from the beginning of the experiment. Chloride and conductivity increased with time, due to the fouling occurring as the suspended solids in the sea water accumulated on the membrane surface. Rejection rate of salt was 99.6~99.7%.

As for the sea water containing heavy oil, the permeate decreased slowly from the beginning of the experiment. This result was the same for the case of the sea water only. However, chloride and conductivity increased significantly when heavy oil was added. In the second experiment with sea water containing heavy oil, the operation time of RO was reduced considerably. With addition of oil, the chloride increased greatly, while the permeate reduced comparatively. In the experiment where emulsion of 0.3~0.8mg/ℓ was supplied to RO, oil concentration was about 10ppb in the permeate at the end of the experiment. In case of the distilled water containing heavy oil, the conductivity increased. However, the permeate reduced to 30% compared to the case of the sea water containing heavy oil. The case of sea water containing heavy oil showed an opposite result, but the effect of the addition of oil on RO was significant. Oil caused fouling of the RO and the contamination of the whole system.

and as the result the system could not be operated properly. As a result the membrane capacity, the amount and water quality of permeate deteriorated significantly.

Key Words : Heavy Oil, Sea Water, Homogenizer, Emulsion, Sea Water Containing Heavy Oil, Distilled Water Containing Heavy Oil, RO Membrane

## 요 약 문

원해수와 증류수에 각각 A중유를 첨가하여 homogenizer로 30분간 처리하여 emulsion을 만들어 유탁해수 및 유탁수가 RO막에 미치는 영향을 조사한 결과 내용은 다음과 같다.

원해수를 RO막에 공급할 경우, 투과수량은 실험 초기부터 저하했다. 염소이온 및 전기전도도는 원수중의 현탁 물질이 막 표면에 축적되어, 이 fouling에 의해 막의 성능이 떨어져 시간이 경과함에 따라 상승하였다. 염의 저지율은 99.6~99.7%이었다.

유탁해수를 RO막에 공급한 경우, 투과수량은 실험초기부터 서서히 저하했지만, 원해수만의 실험결과와 비교하면 차이가 없다. 그러나 염소이온농도 및 전기전도도는 oil을 첨가한 시점에서 상당히 상승하였다. 유탁해수를 RO막에 공급한 재현성 실험에서, 여과시간은 상당히 짧았다. 염소이온은 oil을 첨가한 시점에서 상당히 상승한 반면, 투과수량은 상대적으로 감소했다. 또한 emulsion을 0.3~0.8mg/l의 범위로 만들어 RO막에 공급했지만, fouling에 의해 실험 종료시 투과수에는 약 10ppb 정도 oil이 유출했다. 유탁수의 경우, 전기전도도는 큰 변화없이 약간 상승하는 경향을 나타내고 있다. 그러나, 투과수량은 실험개시부터 거의 변화가 없었지만 A중유를 첨가한 시점에서 감소하여 실험 종료시는 초기의 투과수량에 비해 약 30%밖에 투과하지 않았다. 유탁해수를 이용한 실험과는 상반된 결과를 나타내고 있지만 oil이 유입되면 영향은 상당히 컸다.

유분이 RO막 시스템에 유입되면, RO막 장치에 대한 유분의 부착과, RO막 자체에 유분이 부착하여 fouling을 일으켜, 거의 운전을 행할 수 없었다. 즉 유분의 영향으로 인해 막 성능, 투과수량 및 투과수 수질이 상당히 저하되었다.

주제어 : A중유, 해수, Homogenizer, 에멀전, 유탁해수, 유탁수, RO

## 1. 서 론

일반적인 해수담수화의 플랜트는 증발법, 전기투석법, 이온교환법, 역삼투법 등 어느 방식이라도 기본적으로는 유분의 혼입은 없는 것을 전제 조건으로서 제작되어 있으며, 성능이 보장되어 있다.

그러나, 역삼투막의 분리기능은 얇은 막 표면의 작용에 의한 것이기 때문에 소량의 유분이 막 표면을 덮을 경우에는 그 분리기능이 현저하게 저하된다. 일반적으로 해수의 담수화 플랜트에 다량의 기름이 혼입할 경우에는 각 기기, 계기 등에 부착하여 기능의 저하를 초래하고, 플랜트의 운전이 불가능해

질 수 있다. 지금까지 유분의 혼입으로 해수의 담수화 플랜트가 큰 피해를 받은 예는 거의 없지만, 그 영향에 관해서는 불명확한 점이 많다.

미량의 유분이 혼입된 경우에는 운전은 가능하지만, 증발법 플랜트에서는 생산수축에 유분이 농축되기 때문에 생산수에 유취가 나며, 음용으로 적합하지 않게 된다. 한편 역삼투 플랜트의 경우에는 기름의 종류와 역삼투막의 종류에 의해서 막 표면에 부착, 노화에 의해 생산수량 및 생산수질의 저하가 염려된다. 또, 역삼투법 플랜트의 운전에 있어서는, 전처리에 있어서 유분 제거는 물론 역삼투막에 공급하는 해수중의 유분에 대해 명확하게 하는 것이

필요하다. 통상의 역삼투법 플랜트에서는 취수 중에 기름이 혼입되는 경우 운전을 정지해야 하는 것이 현실이다<sup>1)</sup>. 그러므로, 기름 오염의 진행에 따른 해수에 기름이 혼입해도 안전하게 운전할 수 있는 대책이 요구되고 있다. 역삼투막에 대한 유분의 영향은 명확하지 않는 부분이 많지만 막 표면의 fouling에 의한 유분의 층이 형성되어 투수성능이 저해되는 경우, 유분과 막 재질의 반응에 의해 막이 변질하여, 투수성, 탈염성이 변화되는 것으로 생각되기 때문에 막 교환을 조기에 행하게 된다. 역삼투법 해수담수화에서 유분의 영향에 관해서는 더욱이 상세한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 유타해수 및 유타수를 RO막에 공급하여, 막의 내구성에 관해서 실험을 행하여 검토하였기에 보고한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

본 실험장치에서는 (株)日東電工製の 평막 Test (C70-F) 전용 소형 Test器로, 사용 막의 외경은  $\phi$  75mm, 유효막 면적은  $32\text{cm}^2$ 이다. 실험장치의 개요를 Fig. 1에 나타냈다.

### 2.1. 해수 및 유타해수를 이용한 실험

원해수는 외압식 증공사막으로 공칭분획경이  $0.1\ \mu\text{m}$ 의 친수막(막면적  $8\text{m}^2 \times 2$ 本)으로, 투과수량은  $0.6\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 로 정밀 여과한 해수를 공급 원해수로 하였다<sup>2)</sup>. 원해수에는 염소가 평균  $1.2\sim 1.5\ \text{mg}/\ell$  들어있어, 중아황산소다( $\text{NaHSO}_3$ )를 주입하여 잔

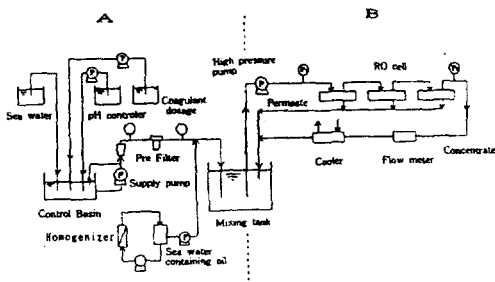


Fig. 1. Schematic diagram of RO system.

류염소를 제거 후, RO막에 공급하였다. RO막의 소재는 Polyamino계의 복합막인 UTC-80(Toray)과, 고분자 복합막인 NTR-70SWC(日東電工)의 2종류의 평막을 사용하여 실험을 행하였다.

유타 실험은, 유타해수의 유분 농도를  $0.3\sim 0.8\ \text{mg}/\ell$ 로 설정하여, 이것을 RO평막 실험장치에 공급하였으며, 측정항목으로 투과수량의 변화, 전기전도도, Flux, 투과수의 유분 농도, 유입과 유출의 압력, pH, 저지율이다. 저지율(역삼투막에 의한 염의 제거율-salt rejection)은 다음 식으로 계산했다.

$$\text{저지율}(\%) = 1 - \frac{\text{투과액 농도}}{\frac{\text{공급액 농도} + \text{농축액 농도}}{2}} \times 100$$

실험에 있어, 실험을 행할 때마다 유분 농도나 유적경 등이 일정하고 안정된 시험용의 유타해수를 얻는 방법을 확립할 필요가 있다. 따라서 유타해수의 조정과 성상<sup>3,4)</sup>에 대한 emulsion 조정을 Fig. 2와 같은 방법 및 순서로 행하였다.

3ℓ glass 병에 증류수 1ℓ를 넣고, A중유 2ml를 첨가하여 homogenizer로 30~60분 순환 처리하여, 희석될 수 있는 고농도의 유타원수를 만들었다. 이 유타원수를 원해수에 첨가하여 oil 농도가  $0.3\sim 0.8\text{mg-oil}/\ell$ 의 인공적인 실험용 유타해수를 만들었다.

이와 같이 만든 유타해수의 emulsion을 이소옥탄을 용매로서 유분을 추출하여, 형광광도계(島津RF-1500)의 러기파장 285nm, 형광파장 340nm 조건에서 측정했다.

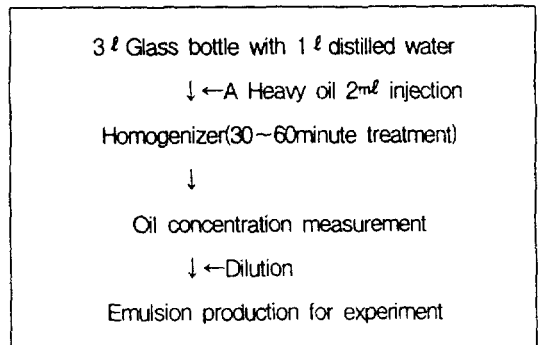


Fig. 2. Emulsion production process.

## 2.2. 유탕수를 이용한 실험

본 실험에서는, 증류수에 A증류를 첨가하여, Fig. 2와 같은 방법으로 oil 농도가 0.3~0.8mg/ℓ 인 유탕수를 만들어 RO막에 공급했다.

상기 2.1의 실험에 의해 장치가 많이 오염되었을 경우, 실험장치를 구연산(500mg/ℓ)으로 배관 전체를 깨끗하게 세정하였다. 또한, 실험장치 배관의 오염 정도를 확인하기 위해 RO평막 실험장치의 순환수의 녹 발생량을 MF값(원수의 오염을 나타내는 하나의 지표로, 1ℓ의 원수를 500mmHg의 감압하에 공경 0.45μm membrane filter로 여과하는데 요하는 시간을 초로 표시한 것. 공급수에 관해 오염 지수 대신에 사용하는 것도 있음)으로 조사했다<sup>5)</sup>.

증류수는 매일 50ℓ 정도 공급하였으며, 일과식처럼 현탁 물질에 의한 오염이 거의 없도록 하여, 유탕수가 RO막(NTR-70SWC)에 미치는 실험을 행하였다. 측정항목은 전기전도도, 투과수량 및 MF값이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 해수의 RO막에의 영향

#### 3.1.1. 해수의 RO막(UTC-80)에의 영향

운전제어 여과 방식은 cross flow이며, 압력 56±0.56kgf/cm<sup>2</sup>, 농축수량을 9.2ℓ/min으로 설정하여 실험하였다. 실험초기의 해수의 수질조건을 Table 1에 나타냈다.

염소를 제거한 해수를 RO평막 실험장치에 공급하여 염소이온, 투과수량 및 전기전도도를 측정하였으

Table 2. Results of treatment sea water on RO(UTC-80)

Run Time (hr)	Chloride (mgCl <sup>-</sup> /ℓ)	Permeate (ml/min)	Conductivity (μS/cm)	Rejection (%)
0	98	2.4	356	99.49
24	74.8	2.2	268	99.61
48	63	2.02	224	99.68
72	61.5	1.90	223	99.68
168	59.4	1.84	205	99.69
192	59.4	1.7	205	99.69
216	59.4	1.7	205	99.69
312	62.5	1.6	223	99.68

며, 염의 저지율도 계산하였다. 투과수에 대한 실험결과를 Table 2에 나타냈다.

상기 표에서 알 수 있듯이, 실험초기의 투과수량은 막 자체 압밀화의 물리적인 영향도 있지만, 실험 초기 단계부터 서서히 감소했다. 염소이온 및 전기전도도는 실험개시 약 70시간 후, 변화가 거의 없이 일정하였으며, 염 저지율도 99.7% 정도였다.

#### 3.1.2. 해수의 RO막(NTR-70SWC)에의 영향

운전제어 여과 방식은 cross flow이며, 압력 56±0.56kgf/cm<sup>2</sup>, 농축수량을 5.1ℓ/min으로 설정하여 실험하였다. 실험초기의 해수의 수질조건은 Table 3과 같다.

상기 3.1.1절의 실험과 같이, 염소를 제거한 해수를 RO 평막 실험장치에 공급하여 동일한 항목을 측정하였다. 투과수에 대한 실험결과를 Table 4에 나타냈다. 이 표에서도 위의 실험과 같이, 실험초기의 투과수량은 막 자체의 압밀화의 물리적인 영향도 있지만, 실험 초기단계에서 서서히 저하하였다.

Table 1. Characteristics of sea water

Item	Measurement	Item	Measurement
Temp.	17.0 ℃	SS	2.3 mg/ℓ
pH	8.5	T-S	38600 mg/ℓ
Turbidity	0.41 mg/ℓ	Chloride	19400 mgCl <sup>-</sup> /ℓ
Conductivity	51100 μS/cm	Total Hardness	6580 mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ

Table 3. Characteristics of sea water

Item	Values	Item	Values
Temp.	16.3 °C	SS	1.9 mg/ℓ
pH	8.38	T-S	38400 mg/ℓ
Turbidity	0.75 mg/ℓ	Chloride	19100 mgCl/ℓ
Conductivity	49100 μS/cm	Total Hardness	6560 mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ

Table 4. Results of treatment sea water on RO(NTR-70SWC)

Run Time (hr)	Chloride (mg Cl/ℓ)	Permeate (ml/min)	Conductivity (μS/cm)	Rejection (%)
0	84.0	2.9	309	99.56
24	62.2	2.4	219	99.67
48	59.4	2.3	215	99.69
144	60.6	2.1	216	99.68
168	61.0	1.86	213	99.68
192	65.1	1.6	235	99.64
216	67.2	1.86	240	99.63
312	73.4	1.6	258	99.62
336	73.4	1.6	271	99.62
360	73.4	1.5	270	99.62
384	76.2	1.4	272	99.60
456	76.9	1.38	278	99.60
480	76.2	1.38	274	99.60
504	80.4	1.36	282	99.58
528	81.1	1.36	289	99.58
552	81.8	1.3	290	99.57
624	83.9	1.22	308	99.56
648	94.4	1.2	316	99.51

염소이온 및 전기전도도는 실험개시부터 서서히 상승하여 운전개시 648시간 후는 초기의 실험치 보다 높은 값을 나타냈다. 또, 시간에 의한 염소이온 농도의 증가에 대해 상대적으로 투과수량은 감소했다. 즉 이들의 절대값은 일정했다. (염소이온농도 × 투과수량 = | 일정 |)

막의 내구성은 막의 재질에 의해 다르다고 생각되지만, 본 실험에 사용된 막의 내구성은 약 600시간으로, 이 이상에서는 실험 초기의 염소이온 및 전기전도도의 값 보다 높게 나타났다. 염 저지율은 99.6%이었다.

본 실험에서, 원해수를 장시간 RO막에 투과시키

면, 이것은 막에 대한 물리적 원인, 즉 원수의 현탁 물질, 스케일 성분 및 고압 배관의 녹이 RO 평막의 표면에 축적되어 이 fouling으로 인해 막의 성능이 저하된다고 생각된다.

### 3.2. 유타해수의 RO막에의 영향

#### 3.2.1. 유타해수의 RO막(UTC-80)에의 영향

운전조건 및 원해수의 수질은 Table 5 및 6과 같다. 운전개시부터 염소이온이 일정하게 되는 72시간 후, 유타수의 emulsion을 해수에 첨가하여, oil 농도가 0.3~0.8mg-oil/ℓ 인 유타해수를 만들어 RO평막 실험장치에 공급했다. 측정항목은 상기 실험과 같다. 실험결과를 Fig. 3, 4, 5에 나타냈다.

그림에서 투과수량은 압밀화의 영향과 더불어 실험초기 단계부터 서서히 저하했으며, 해수만의 실험결과와 비교해 차이는 거의 없었다.

염소이온 농도는 해수만의 실험과 비교하면, oil을 첨가한 시점에서 상당히 상승하는 경향을 나타냈다. oil을 첨가한 시점에서 약 650시간 후는 운전개시의 염소이온 농도보다 높은 값을 나타내므로 운전을 정지했다.

해수만의 여과시간이 짧기 때문에 실험초기 단계 밖에 비교할 수 없지만, oil의 영향을 상당히 받은 것은 확실했다. 또한, 전기전도도도 oil을 첨가한

Table 5. Operating conditions of RO system

Temp.	25±0.2 °C
Pressure	56±0.4 kgf/cm <sup>2</sup>
Concentrate	5.1 ℓ/min
Filtration type	Cross flow filtration
Material	UTC-80

Table 6. Characteristics of sea water

Item	Value	Item	Value
Temp.	14.1 °C	SS	1.8 mg/ℓ
pH	8.47	T-S	37600 mg/ℓ
Turbidity	0.49 mg/ℓ	Chloride	19200 mgCl/ℓ
Conductivity	51000 μS/cm	Total Hardness	6570 mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ

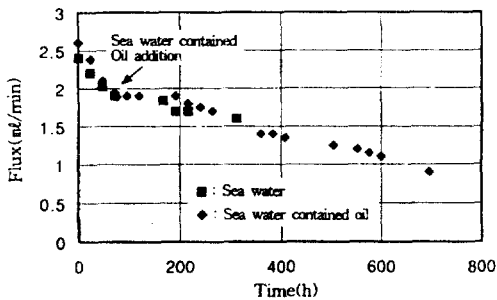


Fig. 3. Permeate variation with time after injection of sea water containing oil.

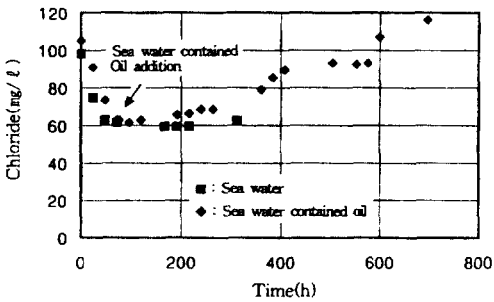


Fig. 4. Chloride variation with time after injection of sea water containing oil.

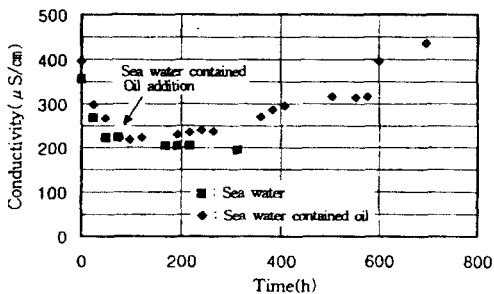


Fig. 5. Conductivity variation with time after injection of sea water containing oil.

시점에서 서서히 상승하여, 해수만의 실험결과와 비교하면 높은 값을 나타냈다. 염의 저지율은 oil을 첨가한 시점에서 조금씩 감소하여, 운전을 정지하기 직전은 더욱 저하했다. 실험을 중지할 때의 저지율은 99.4%이었다.

본 실험에서, 유탁해수의 oil 농도를 0.3~0.8 mg-oil/ℓ 로 만들어 RO 평막 실험장치에 공급하여, 투과수의 A중유의 농도변화를 조사하였다. 실험초기 투과수에 oil은 거의 검출되지 않았으나, 시간이 경과하면 투과수에 약 10ppb 정도 유출되었다. 이것은 RO 평막 표면에 oil의 부착함과 동시에, 고압 배관의 녹, 해수의 현탁 물질 및 스케일 성분의 축적 등에 의한 fouling으로 인해 막 성능, 투과수량 및 투과수 수질이 저하되는 것으로 생각된다.

### 3.2.2. 유탁해수의 RO막(NTR-70SWC)에의 영향

유탁해수의 실험에 있어, 압력  $56 \pm 0.4 \text{ kgf/cm}^2$  및 농축수량을 5.1 ℓ/min으로 운전조건을 설정하여 실험을 행하였다. 운전 방식은 cross flow 여과 방식이다. 실험초기의 해수의 수질조건은 Table 7 과 같다.

실험개시 72시간 후에 유탁수의 emulsion을 해수에 첨가하였으며, 유탁해수의 oil 농도를 0.3~0.8mg-oil/ℓ 로 만들어 RO 평막 실험장치에 공급했다. 측정항목은 상기 실험과 같으며, 실험결과를 Fig. 6, 7, 8에 나타냈다.

그림에서 실험초기 단계인 운전개시 72시간 후 oil을 첨가했지만 염소이온 농도는 oil을 첨가한 시점에서 서서히 상승하는 경향을 나타냈으며, 해수만의 실험과 비교하면 높은 농도를 나타냈다. 운전개시 약 650시간 후는 실험 초기치 보다 높은 값을 나타냈다. 또한, 이 실험에서도 시간에 의한 염소이온

Table 7. Characteristics of sea water

Item	Value	Item	Value
Temp.	14.1 °C	SS	1.8 mg/ℓ
pH	8.47	T-S	37600 mg/ℓ
Turbidity	0.49 mg/ℓ	Chloride	19200 mgCl <sup>-</sup> /ℓ
Conductivity	51000 μS/cm	Total Hardness	6570 mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ

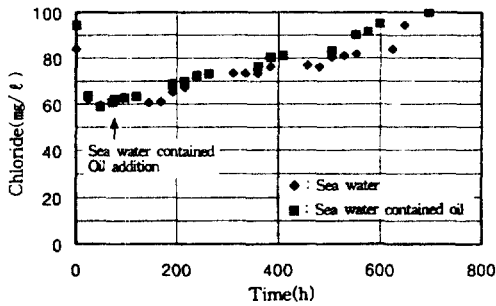


Fig. 6. Chloride variation with time after injection of sea water containing oil.

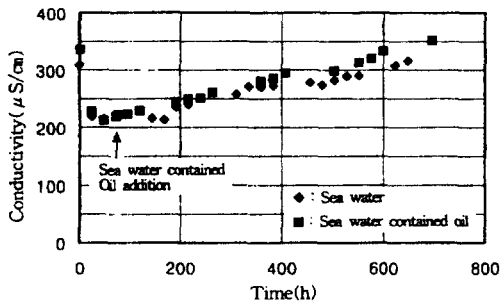


Fig. 7. Conductivity variation with time after injection of sea water containing oil.

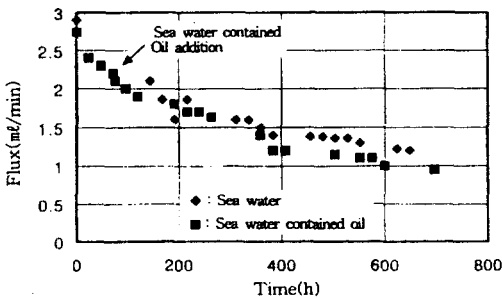


Fig. 8. Permeate variation with time after injection of sea water containing oil.

농도의 증가에 대해 상대적으로 투과수량은 감소했으며, 이들의 절대값은 일정했다. 전기전도도도 oil을 첨가한 시점에서 서서히 상승하였고, 해수만의 실험과 비교하면 약간 높은 값을 나타냈다.

투과수량도 실험 초기는 해수만의 실험 결과와 같이 서서히 저하하지만, 시간이 경과할수록 많은 차가 생겼다.

### 3.2.3. 유탁해수의 RO막(NTR-70SWC)에의 재현성 실험

유탁해수의 재현성 실험을 Table 8처럼 설정하여 행하였다. 실험초기의 해수의 수질조건은 상기 Table 7과 같다. 본 재현성 실험도 운전개시 70시간 후에 유탁수의 emulsion을 RO 평막 실험장치에 공급하였으며, oil 농도는 0.3~0.8mg-oil/ℓ로 조정하였다.

측정항목은 상기 실험과 같으며, 실험결과를 Fig. 9, 10, 11에 나타냈다.

본 실험기간은, 상당히 짧았다. 염소이온 농도는 oil을 첨가한 시점에서 상당히 상승하는 경향을 나타냈다. oil을 첨가한 시점에서 약 164시간 후는 운전개시의 염소이온 농도보다 높은 값을 나타냈다. 원해수의 여과 지속시간 보다 약 1/4 정도 밖에 실험할 수 없었다.

Table 8. Operating conditions of RO system

Temp.	25±0.2 °C
Pressure	56±0.4 kg/cm <sup>2</sup>
Concentrate	5.1 ℓ/min
Filtration type	Cross flow filtration
Material	NTR-70SWC

전기전도도는 oil을 첨가한 시점에서 서서히 상승하지만, 해수만을 실험한 결과와 비교하면 높은 값을 나타냈다. 투과수량은 실험초기에 막 자체의 압밀화(compactation)의 물리적인 영향으로 실험초기 단계에서 조금씩 저하되지만 해수의 실험결과와 차이는 거의 없다. 저지율도 oil을 첨가한 시점에서 조

금씩 감소하지만, oil이 유입되면 확실히 저하했다. 운전 정지시의 저지율은 99.53% 이었다.

이상의 재현성 실험에서는 유분이 RO막 시스템에 유입되면, RO막 장치에 대한 유분의 부착과, RO막 자체에 유분이 부착하여 fouling을 일으켜, 거의 운전을 행할 수 없었다. 즉 유분의 영향으로 인해 막 성능, 투과수량 및 투과수 수질이 상당히 저하되는 것으로 고찰된다.

실험 3.1의 (1)과 (2)에서, 운전초기의 투과수 수질 및 저지율은 확실하게 UTC-80의 막이 성능은 좋았지만, 3.2의 (1)과 (2)의 실험에서 결과를 보면 양쪽 막의 성능은 거의 같았다.

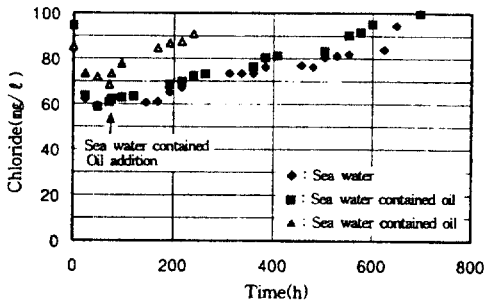


Fig. 9. Chloride variation with time after injection of sea water containing oil.

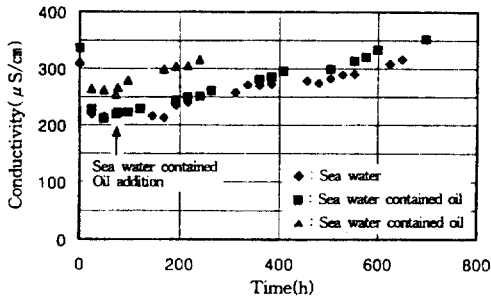


Fig. 10. Conductivity variation with time after injection of sea water containing oil.

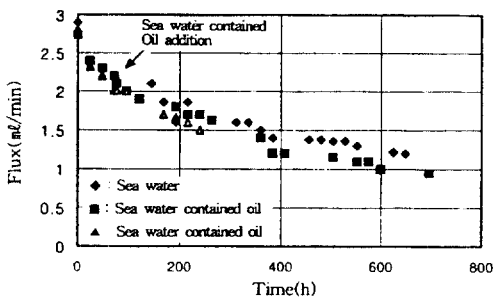


Fig. 11. Permeate variation with time after injection of sea water containing oil.

### 3.3. 증류수를 이용한 유탁 실험

본 실험에서는 증류수에 A증류를 첨가하여 제조한 유탁수가 RO막에 미치는 영향을 검토하였다. 우선, 증류수 200 l를 5 l/min으로 순환시켜 시간이 경과함에 따라 RO 평막 실험장치의 고압배관에 대해 어느 정도 녹이 발생하는가를 MF값으로 조사했다. 그 측정치를 다음 Table 9에 나타냈다.

이처럼 증류수를 RO 평막 실험장치에 순환시켜 녹 혹은 오염물질이 발생하는 것을 조사하였지만 Table 9와 같이 24시간 후의 MF값은 거의 변하지 않았다. 그러나 증류수를 교환하지 않고 연속적으로 순환시킬 때는 고압배관의 오염으로 MF값은 상당히 높을 것으로 생각된다.

전기전도도는 증류수를 원수로 사용하였기 때문에, 실험개시 48시간 후는 3μS/cm 정도로 일정한 값을 나타냈다. 실험개시 70시간 후, 유탁수를 첨가하였지만, 전기전도도는 큰 변화없이 약간 상승하는 경향을 나타내고 있다. 실험 결과를 Fig. 12에

Table 9. Rust generation by water circulating through high pressurized pipe

Sampling time (min)	Temp. (°C)	MF value (sec)
0	28.2	222
30	28.4	235
120	28.4	236
1440	29.0	236



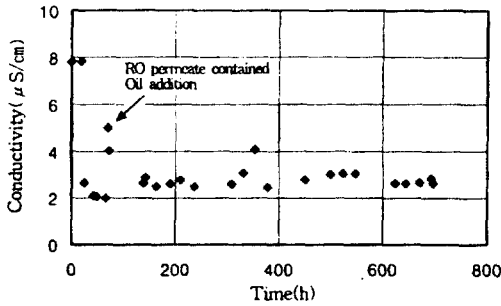


Fig. 12. Conductivity variation with time.

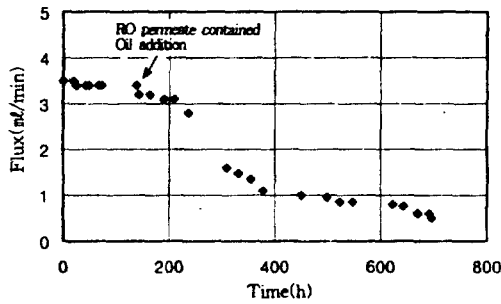


Fig. 13. Permeate variation with time.

나타냈다.

투과수량은 실험개시부터 거의 변화가 없었지만 유탁수를 첨가한 시점에서 서서히 저하하여 실험 종료시는 초기의 투과수량에 비해 약 30%밖에 투과하지 않았다. 실험 결과는 Fig. 13과 같다.

이상의 실험 결과로, 본 실험은 유탁해수를 이용한 실험과 상반된 결과를 나타내고 있다. 즉 유탁해수의 실험에는 염소이온이 상당히 상승하였지만, 유탁수는 투과수량이 상당히 감소하는 경향을 나타내고 있다.

이것은 oil이 막 표면에 서서히 부착하기 시작하면, 막의 재질 및 성능이 변화하여, 투과수질 및 투과수

량에 상당한 영향을 미친다고 생각된다.

### 3.4. 유탁수의 MF 값

본 실험은 막 표면에 oil이 부착하면 투과성능이 어떻게 변화하는가를 조사하기 위해, 유탁수를 이용하여 MF값을 측정하였다. 실험 결과 oil이 막 표면에 부착하기 시작하면, 투과성능은 현저하게 저하하였으며, 거의 여과를 할 수 없는 상태가 되었다. 본 실험에서 MF 값은 25.7℃에서 7654sec였다.

이처럼 RO막 표면에 oil이 부착하면, oil에 의한 fouling으로 인하여 막의 재질 및 성능이 변화하여, 이 영향으로 투과수량이 감소되었다고 생각된다.

### 3.5. 투과수량의 oil 농도

원수의 oil 농도를 0.3~0.8mg/l의 범위로 공급하였지만, 투과수에 유출되는 기름의 농도는 28.6~268µg/l으로, 시간이 지남에 따라 상당한 oil이 유출했다. 이것은 막 표면에 oil 및 현탁물질 등이 부착하여, 막의 노화로 인해 oil이 유출되었다고 생각된다.

또, 운전개시에서부터 약 650시간 전후의 RO막에 대한 유탁수 실험 중 염소이온(NaCl) 1500mg/l을 인공 조제하여 RO막에 공급하여 막의 성능을 확인했다. 결과를 Table 10에 나타냈다.

이 표에서 알 수 있듯이 구연산(500mg/l)으로 3시간 세정 후 RO막 회복을 기했지만, 세정전보다 수질이 회복되지 않았다. 즉 유출염소의 세정전보다 높은 값을 나타내고 있으며, 또한 투과수량도 회복되지 않았다. 즉, 막은 회복되지 않았다. 이상의 결과로 RO막에 oil이 부착하면, 투과수 수질 및 투과수량에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 10. Recovery of membrane

Item	Inlet Chloride (mg-Cl <sup>-</sup> /l)	Outlet Chloride (mg-Cl <sup>-</sup> /l)	Inlet Conductivity (µS/cm)	Outlet Conductivity (µS/cm)	Permeate (ml/min)
Initial period	1500	4.0	4650	11.4	3.1
Before washing	1490	7.4	4650	26.3	0.55
After washing	1486	10	4650	36.1	0.68

지금까지 RO막 실험 결과에서, oil로 오염된 해수를 취수할 경우는 전처리(응집·침전)를 철저히 행하고 나서 RO막 시스템에 공급해야 한다. 그렇지 않을 경우는, RO막 시스템을 거의 운전할 수 없게 되며, 또한 막 전체의 교환을 조기에 행하여야 한다.

본 실험의 결과로, 기름으로 오염된 해수는 취수를 정지하는 것이 장치보호 및 처리 효율에 바람직할 것이다<sup>6)</sup>.

## 4. 결 론

유탕해수 및 유탕수를 RO막에 공급하여, 막의 내구성에 관해 실험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 해수를 RO막에 공급할 경우, 투과수량은 실험 초기부터 저하했다. 염소이온 및 전기전도도는 원수 중의 스케일 성분 및 현탁물질 등에 의한 fouling으로 인해 막의 성능이 떨어져 시간이 경과함에 따라 상승하였다. 염의 저지율은 99.6~99.7%였다.
- 2) 유탕해수의 emulsion을 0.3~0.8mg/l 범위로 만들어 RO막에 공급했지만, 막표면에 oil 및 스케일 성분 등으로 인해 실험 종료시 투과수에는 약 10ppb 정도의 oil이 유출했다.
- 3) 유탕해수를 RO막에 공급한 경우, 투과수량은 실험초기부터 서서히 저하하지만, 해수만의 실험결과 비교하면 차이가 거의 없었다. 그러나 염소이온농도 및 전기전도도는 oil을 첨가한 시점에서 상당히 상승하였다.
- 4) 유탕해수를 RO막에 공급한 재현성 실험에서, 여과시간은 상당히 짧았다. 염소이온은 oil을 첨가한 시점에서 상당히 상승한 반면, 투과수량은 상대적으로 감소했다. 즉 염소이온농도  $\times$  투과수량 = | 일정 | 하다.
- 5) 유탕수의 경우, 전기전도도는 큰 변화없이 약간 상승하는 경향을 나타내고 있다. 그러나, 투과수량은 실험개시부터 거의 변화가 없었지만 A중유를 첨가한 시점에서 감소하여 실험 종료시는 초기의 투과수량에 비해 약 30% 밖에

투과하지 않았다. 유탕해수를 이용한 실험과는 상반된 결과를 나타내고 있지만 oil이 유입되면 영향은 상당히 컸다.

- 6) Oil이 RO막 시스템에 유입되면, RO막 장치에 대한 oil의 부착과, RO막 자체에 oil이 부착하여 fouling을 일으켜, 거의 운전을 행할 수 없다. 즉 oil의 영향으로 인해 막 성능, 투과수량 및 투과수 수질이 상당히 저하되었다.
- 7) 생활용수의 대부분을 해수의 plant에 의존하고 있는 지역의 경우, oil에 오염된 해수를 취수할 때는, 해수의 oil제거에 대한 전처리 즉 여과, 활성탄, 응집, 침전 및 부상 분리를 행하고 나서 RO막 처리를 행하는 것이 중요하다.

## 사 사

본 연구는 동국대학교 전문학술지 논문게재 연구비 지원으로 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 日本通商産業省, 平成6年度海水淡水化技術開發調査報告書, pp. 60~91(1995).
2. 岡部利之, 趙奉衍, 後藤藤太郎, 太田敬一, "精密ろ過膜による海水淡水化の前處理," 第30回 研究發表會講演要旨, 日本工業用水協會, pp. 99 ~ 101(1995).
3. 趙奉衍, 黃龍雨, 金鍾國, "油濁海水의 調整과 性狀에 관한 研究," 大韓上下水道學會誌, 12(2) (1998).
4. 趙奉衍, 後藤藤太郎, 太田敬一, "油濁海水의 RO膜への影響," 第30回 研究發表會講演要旨, 日本工業用水協會, pp. 81~85(1995).
5. 海水淡水化用語集, (財)造水促進センター, pp. 2~3(1983).
6. 造水技術ハンドブック, (財)造水促進センター, pp. 520~537(1993).