

# 학술발표 I - j

## R/O Membrane System을 이용한 하수처리

이 규현, 안 준수, 유 제강

선경건설(주) 부설연구소

The Application of R/O Membrane System in Municipal Wastewater Reclamation

Kyu-Hyun Lee, June-Shu Ahn, and Je-Kang Yoo

Sun Kyong Engineering & Construction LTD. R & D Center

### 1. 서론

산업화, 선진화 및 인구의 급격한 도시집중화 현상 등으로 인하여 생활 및 공업 용수의 사용량은 급증하고 있으며, 이로인한 하.폐수의 발생량도 증가하고 있다. 그렇지만 한정된 수자원을 가지고 용수 확보를 위한 댐등의 건설도 한계가 있으며, 또한 하.폐수의 방류로 인한 환경오염의 측면도 신중히 다루어져야 한다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 한가지 방법으로써 하.폐수 재활용 공정이 이용될 수 있으며, 최근 역삼투막 System을 이용한 재활용 공정이 활발한 연구와 실제 적용 사례를 통하여 적용가능성을 입증하고 있다.

본 고에서는 미국 Orange County에서 도시 하수의 2차 처리수에 대하여 재활용공정 System으로 R/O Membrane을 적용하여, 이로부터 Product Water인 재생수를 지하수 이용에 따른 해수침투를 막기위해 지하수지층 주입수로 사용할 목적으로, 3년간의 장기간에 걸쳐 Pilot Plant 실험과 Field Plant Test를 실시한 결과들, 요약하여 소개하고자 한다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 1) Pilot Plant

Pilot Plant의 용량은 10,000gpd이며 R/O Feed water(원수)는 Lime Clarifier로 처리된 배출수이다. 장치는 Membrane Module에 Scale 침적을 방지키위해 pH 조정과 Inhibitor(SHMP)를 첨가시키며, Lime Clarifier에서 Carry Over된 부유물질로부터 고압 Pump 및 Membrane Elements 보호용으로 고압 Pump앞에 25 $\mu$ Cartridge Filter를 설치하였다. 사용된 Membrane은 Spiral Wound Type의, Cellulose Acetate(CA) 및 Polyamide(PA) Membrane이다.

#### 2) Full Scale Plant

전처리공정과 R/O 탈염공정으로 대별되며, R/O Membrane System의 용량은 5 mgd이다. 여기서 전처리공정은 Chemical Clarification, Nitrogen Removal, Recarbonation, Filtration, A/C Adsorption, Disinfection & Microfiltration 공정으로 구성되어 있다. 사용된 Membrane은 Spiral Wound Type, Asymmetric Cellulose Diacetate Membrane이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 1) Pilot Plant 실험

CA 및 PA Membrane을 적용하여 Membrane 재질에 따른 비교실험과, PA Membrane에 대한 차등 압력 적용에 따른 실험을 실시하였다. R/O Membrane에 의한 회수율은 85%로 조작하였다.

##### ① Cellulose Acetate(CA) 및 Polyamide Membrane(PA) 비교실험

CA R/O System에 대한 실험을 실시한 후, 6시간만에 pH Control 실패로 인하여 운전이 중단되었다. 산주입장치의 조정에 대한 몇가지 시도가 있었으나 완전한 해결책을 찾지 못했으며, 결국 2단계 pH조정을 실시키로 하고, 1단계 황산 주입에 의해 pH11.0에서 pH8.0으로 감소시키고, 2단계에서 pH 5.5~5.8으로 조정하였다.

CA Membrane에 대한 3000시간의 실험결과, TDS와 COD가 90%이상 제거되었으며, NH<sub>3</sub>-N는 거의 100%감소되었다. PA Membrane에 대한 2,400시간의 실험결과, TDS는 약 99%, COD는 95%이상 제거되었으며, Sulfate, NH<sub>3</sub>-N는 거의 100% 제거되었다. 이들 두 Membrane의 실험결과에 대한 수질분석 결과를 Table 1에 나타내었다.

##### ② 고압 및 저압적용 TFC Polyamide Membrane Performance

두번째 실험에서는 Thin Film Composite(TFC) PA Membrane에 대하여 적용 압력이 고압(400psi)인 경우와 저압(200~250psi)인 경우, 즉 압력 조건 영향에 따른 Membrane 성능실험을 실시하였으며, 또한 저압인 경우 고 Flux가 적용되었다. 다른 실험조건은 상기와 동일하다. 조작압력이 400psi인 고압인 경우와 200~250psi인 저압인 경우에 대하여, 각각 6,431시간과 1185 시간동안 실험을 실시하였다. 여기서 저압의 경우, 초기 489시간동안은 200psi, 후기 696시간동안은 250psi 압력을 적용하여 실험을 실시하였다. Table 2에 이들 두 실험결과에 대하여 원수 및 처리수의 수질분석 결과에 대하여 나타내었다.

#### 2) Full Scale Plant 실험

하수처리장으로부터 장치내로 들어오는 유입수는 유기물, 무기물 및 각종 생물학적 오염물질을 함유하고 있다. 이와 같은 오염물질을 제거하는데 있어서 여러가지 처리공정들이 적용될 수 있으며, 각각의 공정들은 특정 목적, 즉 수중에 함유된 특정 성분을 제거하는데 효과적으로 적용된다. 그러므로 본 연구에서는, 전처리 공정과 R/O Module에 대한 각각의 제거효율과 조작 특성에 대하여 실험을 실시하였으며, 27개월동안의 실험기간동안, R/O Membrane에 의한 제거율과 Productwater 유량변화에 대한 실험결과를 Fig. 1에 나타내었다.

#### 3) System Modification

70년대 초, Process Development 초기단계에, 1,2차 하수처리 배출수 중에 다량 함유되어 있는 Biological Debris가, 이것을 Feedwater로써 사용한 R/O Membrane 표면에 Fouling을 유발시켜 System의 성능저하를 가져왔다. 이와같은 실험결과를 통하여 R/O System을 이용한 도시하수 재생공정은, 효율적인 전처리 공정과 함께 Membrane Cleaning이 Key Point라는 결론에 이르게 되었다.

Orange County의 Water Factory-21에서는 지난 24년간에 걸친 경험을 토대로, 현재의 Technology를 비교 연구 검토하였다.

㉔ 현재의 처리공정

Lime Clarification - Nitrogen Removal - Recarbonation - Multimedia - Filtration - A/C Adsorption - Disinfection - Microfiltration - R/O Module

㉕ Lime Clarification을 생략한 처리공정

㉖ Feedwater중에 함유된 Biofoulant 농도를 감소시키기 위해 U/F Membrane Module을 적용시킨 처리공정

이와 같은 전처리 System의 개선에 관한 연구는, 더 나아가 오존이나 오존과 자외선을 조합한 방법에 의해 TOC Reduction 효율을 평가하기 위해 연구 Project를 진행 중에 있다.

#### 4. 결 론

- 1) Water Factory 21(WF 21)은 생물학적 처리를 거친 하수를 R/O Membrane System을 적용하여 해수 침투를 막기위한 지하수지층의 주입수로 이용하고자할때, 그 가능성에 대하여 실험을 실시하였다.
- 2) Pilot 실험에서는, 전처리공정을 단순화한 Lime/RO 공정만으로도 실험을 성공적으로 수행하였으며, 이 실험에서 전처리공정 중 Air Stripping, Mixed Media Filtration, A/C adsorption등이 생략되어 상당한 비용 절감 효과를 얻을 수 있었다.
- 3) 저압(200~250psi), 고 Flux용 Membrane을 사용한 Pilot 실험에서, 염제거율은 90%이상, Flux는 11~13gpm에 이르렀다. 하지만 저압 Membrane 적용 가능성은 성공적이었지만, Feed의 유속이 증가함에 따른 Membrane 표면의 Fouling 가속으로 인하여 시간이 경과함에 따라 Flux가 급격히 감소하였다.
- 4) 3년여간의 Full Scale Plant(5mgd)의 운전결과, R/O System을 이용한 하수의 재생공정은 하수중의 오염물질, 즉, 무기물, 유기물, 중금속, 세균등에 대하여 매우 효과적으로 제거할 수 있음이 입증되었다.
- 5) 전처리 System의 효율성을 증가시키기 위한 Modification으로써 Lime Clarification을 생략한 경우와, Biofoulant 문제를 해결키 위해 U/F Membrane Module을 적용시킨 System을 비교한 결과, 처리 비용면에서, 현재의 System과 비교하여 상당한 비용절감 효과를 얻을 수 있었다.

#### [참고문헌]

- 1) Evaluation of Membrane Processes and Their Role in Wastewater Reclamation, Orange County Water District Report to OWRT, November Vol. I ~ III (1979-81).
- 2) Richard, G.S., William, D., and Martin, G.R., "Municipal Wastewater Reclamation and Reverse Osmosis" National Water Supply Improvement Association, Vol. I, 225(1990)

Table.1 Pilot Plant Operation  
Typical Salt Rejection, COD & NH<sub>3</sub>-N Reduction

Constituent	Feed(mg/ℓ)		Permeate(mg/ℓ)		Rejection(%)	
	CA	PA	CA	PA	CA	PA
Sodium	177	159	11	1.4	93.8	99.1
NH <sub>4</sub>	10	0.5	1.1	<0.1	89.0	>80.0
SO <sub>4</sub>	227	320	1.6	1.0	99.3	99.7
Cl	210	186	14	7.5	93.3	96.0
NO <sub>3</sub>	20	11	5.8	0.3	71.0	97.3
TDS	749	885	42	11	94.4	98.8
COD	23	21	2.0	<1.0	91.3	>95.2
NH <sub>3</sub> -N	6.6	1.1	N.D	N.D	-	-

ND-Not Detectable

Table 2. TFC-PA Membrane  
Typical Water Quality Performance

Constituent	Feed(mg/ℓ)		Permeate(mg/ℓ)		Rejection(%)	
	A1	B2	A	B	A	B
Sodium	185	219.0	1.8	12.4	99.0	94.3
Nitrate	13	0.2	0.3	<0.1	97.7	>50.0
Ammonia	29	28.0	1.5	4.8	94.8	82.9
Sulfate	405	410.0	0.9	3.6	99.8	99.1
Chloride	210	239.0	10	37.4	95.2	84.4
TDS	1017	1023.0	33	64.4	96.8	93.7
COD	23	29.6	<1.2	1.43	>94.8	95.3

A : Applied High Pressure (400psi)  
B : Applied Low Pressure (200~250psi)

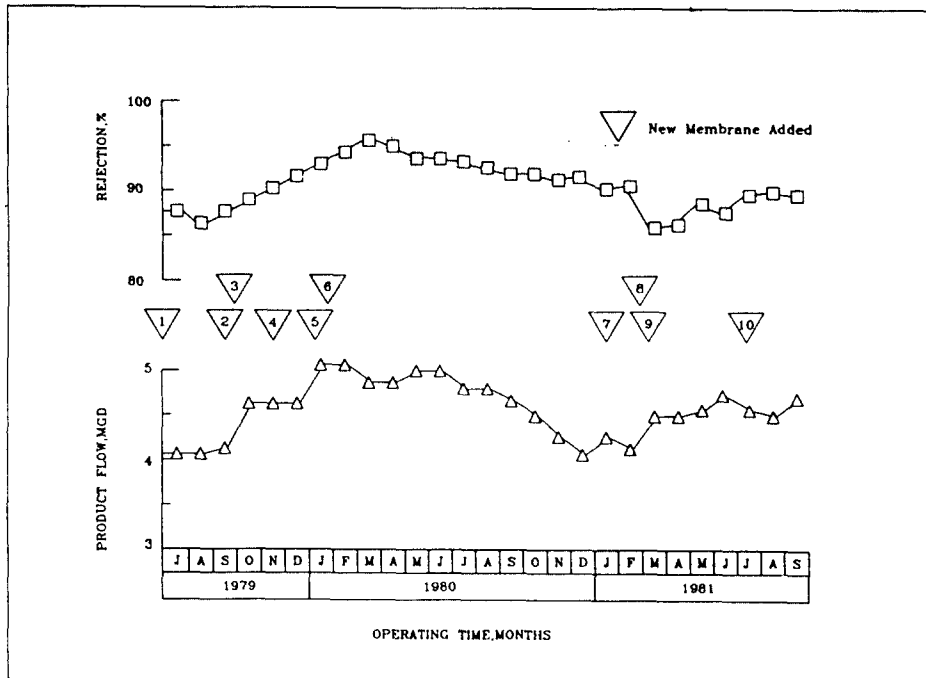


Figure 1. Total Plant Product Flow and Rejection Over an Extended Period of Operation