

Membrane Roles in Potable Water Treatment

Yasushi Maeda

먹는물에서 분리막의 역할

야쓰시 마에다 박사

1996. 9. 20

Dow chemical Japan Limited
Gotemba, Shizuoka, Japan

Membrane Roles in Potable Water Treatment

Introduction

Due to more stringent regulations in drinking water, membrane separation has been playing an increasingly important role. Seawater desalination by reverse osmosis is a typical example and has been used world-wide. Although the existing technology based on coagulation and media filtration is well established and reliable technology, with the advance of industrial and agricultural activities it is difficult for this technology to remove contaminants such as nitrate and synthetic organic chemicals. To meet the drinking water standards and produce higher quality water, several membrane filtration research programs have been initiated which include Japanese MAC21 and New MAC21 projects⁽¹⁾. In this paper, potable water application of reverse osmosis (RO) and nanofiltration(NF) and their case histories will be explained in more detail.

1. Drinking Water Standard

In Japan the drinking water quality standards were revised in December 1992 and enforced from December 1993⁽²⁾. The new standard consists of two parts. One is the quality standard for health related contaminant level and the other is the standard for acceptability of tap water. Health related contaminant levels are shown in Table 1. Compared with the WHO standard and maximum contaminant levels(MCLs) set by U.S. EPA, contaminant levels listed in Table 1 are almost the same. However, the number of parameters related to health effects is about half of the WHO drinking water quality guidelines. And area specific differences also exist. For example, the

standard for atrazine is $3\mu\text{g}/\ell$ in the U. S. and $0.1\mu\text{g}/\ell$ in the countries of the EC; in addition the EC requires that the total concentration of pesticides and related compounds does not exceed $0.5\mu\text{g}/\ell$ ⁽³⁾. Atrazine is not specified in Japan. Instead, the standard for simazine is set at $3\mu\text{g}/\ell$.

Regarding current trends in drinking water regulations, it seems that WHO has a plan to revise the drinking water quality guidelines by the end of 1997. More stringent MCLs are also expected in the U.S. Under these circumstances, it has become difficult to meet the standards for components such as trihalomethane, chlorinated solvents, lead and arsenic with conventional technologies. Many municipalities have added membrane separation technology to their plants. In the U.S. RO for brackish water desalination and NF for membrane softening and disinfection by-product(DBP) removal are the major applications. In Europe, microfiltration(MF) and ultrafiltration(UF) have been adopted in several plants to produce potable water from surface water supply.

2. Membrane Roles in Potable Water Treatment

Several membrane technologies exist as shown in Figure 1. There are four general categories of crossflow membrane filtration: MF, UF, NF, and RO⁽⁴⁾. MF removes particles in the range of approximately 0.1 to 1 micron. In general, suspended particles and large colloids are rejected while macromolecules and dissolved solids pass through the MF membrane. Applications include removal of bacteria, flocculated materials, or TSS (total suspended solids). UF provides macromolecular separation for substances in the 20 to 1000 Angstrom range (up to 0.1 micron). All dissolved salts and smaller molecules pass through the membrane. Most UF membranes have molecular weight cut-off values between 1,000 and 100,000. RO is the finest level

of filtration currently available. The RO membrane acts as a barrier to all dissolved salts and organic molecules with a molecular weight greater than approximately 100. NF is a pressure-driven membrane process with a wide range of performance characteristics between RO and UF. NF membranes offer high rejection of salts of divalent anions as well as organics having a molecular weight above 200.

FilmTec Corporation, a wholly subsidiary of The Dow Chemical Company, has offered a wide variety of spiral wound RO and NF elements to the markets. Typical RO/NF elements are shown in Figure 2 with some chronological highlights. The FILMTEC* FT30 membrane is made of a thin-film composite which consists of three layers: an ultra-thin polyamide barrier layer on top, a microporous polysulfone interlayer, and a non-woven polyester web (Figure 3). FILMTEC* FT30 membrane is classified in different types of elements, each selected and optimized with respect to the application and the needed conditions for it. Basically four types RO and four types NF elements are currently available:

- TW30 - typically used for tap water
- BW30 - typically used for brackish water
- SW30 - typically used for sea water
- SW30HR - typically used for sea water with higher rejection
- NF55, 70, 90 - typically used for municipal water application
- NF45 - typically used for food and pharmaceutical application

Depending on the product water requirements, an appropriate element can be selected. It might be also possible to combine these elements to produce the desired TDS water. To better illustrate the difference between RO and NF, a model system treating relatively low TDS water (ca. 100mg/ℓ) will be evaluated. Feed water quality and a

system configuration having a 5-3 array is shown in Figure 4. In calculating system performance, FILMTEC RO System Analysis (ROSA) was used. As can be seen in Figure 5, the BW elements give the better TDS rejection and are considered to be suitable for ultra pure water production in the semiconductor industry and also brackish water desalination in municipal application. For NF elements, the required operating pressure is much lower than that of RO and the elements are typically applied to applications where high salt rejection is not required such as municipal water supply and process water in food & beverage.

Membrane roles in municipal water supply is summarised in Figure 6. Feed water supply contains a wide variety of contaminants which have to be removed. MF/UF can remove macromolecules and micro particles which include humic substances and harmful ions such as pesticides, nitrate, arsenic, and lead. Recently NF has attracted attention of municipalities due to its broad spectrum of separation capability. NF involves:

- Natural organic matter(NOM) removal
 - Color, TOC, disinfection by-product(DBP) precursor -
- Membrane softening
- Synthetic organic chemicals(SOC) removal

There are many NF plants in the U.S., mainly Florida, as indicated in Table 4. Also, a large drinking water supply company in France has been conducting a large scale pilot trial to install 140,000m³/D NF capacity in Mery-sur-Oise⁽⁵⁾. In Japan the Water Purification Process Association conducted the national project, so called "MAC21", from Fiscal Year(FY) 1991 through 1993 under the direction of the Ministry of Health and Welfare. As a result of the project, guidelines

for the introduction of a membrane filtration facility in a small-scale water supply were generated. The second phase of the project started from FY 1994 in Japan. In this project NF has been playing an important role.

3. RO Roles in Potable Water Treatment

In the U.S. many brackish and seawater desalination plants are installed and operated by Municipalities. It was reported in 1992 that the installed and operated by Municipalities. It was reported in 1992 that the installed capacity of brackish water and seawater desalination was 80 million gallon per day(MGD) and 20MGD, respectively⁽⁶⁾. Thus RO can be considered to be a well established technology. For several inorganic contaminants EPA determined that RO is a Best Available Technologies(BATs)⁽⁷⁾.

3.1 Home Tap Water Purification Systems

The Demand for home tap drinking water system(point-of-use, POU) will continue to grow significantly in many countries throughout Pacific. Many types of tap water purification systems exist, which include activated carbon(AC) alone, AC with RO, AC with MF/UF, and etc. There are advantages and disadvantages for each system. Customers should select an appropriate system based upon their concerned contaminant removal potential such as hardness, heavy metals, trihalomethane(THM), chlorine, and odor. Among those, an RO system can be considered to be the finest filter and can remove many contaminants from tap water. Inorganic removal capabilities of POU RO system are shown in Table 2⁽⁸⁾. Very high rejections were obtained. There have been also many research works regarding organic and pesticide removal by RO.

3.2 Nitrate Removal -BW30-400

The much higher nitrate concentrations that have recently been found in ground water is mainly due to the extensive use of artificial fertilizers. Current regulation in the U.S. Safe Drinking Water Act sets the Maximum Contaminant Level(MCL) of 45mg/ℓ as nitrate(10 mg/ℓ as nitrogen)⁽⁹⁾. Several techniques to remove nitrate have been evaluated including ion exchange, biological denitrification, and RO.

Recently an actual waterworks plant in the city of Tustin, California, has started in operation based on FilmTec BW30-400 RO elements. Figure 7 shows the schematic flow diagram of the plant and Table 3 shows the design basis. The plant is capable to produce 7600 m³/D(2 MGD) of RO permeate and 12,000m³/D(3.2 MGD) of blended product.

4. NF Roles in Potable Water Treatment

Nanofiltration is sometimes referred to as membrane softening. NF membranes can be used for hardness reduction or softening in water sources where the sulfate levels are medium to high. It was said that the idea of membrane softing was first proposed by a Florida based OEM in 1976. However, this membrane technology was not wide spread till 1984 when a three month pilot study proved the effectiveness of NF membrane, designated as N-50. In 1985, this membrane was redesignated NF-50 and labelled as a nanofilm membrane by FilmTec⁽¹¹⁾. After flow rates and MgSo4 refection have been improved, it was designated NF-70. Since then, NF-70 has been a typical element in this field. After the extensive research works and pilot tests, the number of municipal water treatment facilities based on the NF have dramatically increased as shown in Figure 8. Table 4 shows a partial list of NF70/90 installation in municipal water application. It should be noted that NF70 has been adopted in Europe

recently. It is expected that nanofiltration membranes will be used globally for high quality potable water supply.

Another major focus of NF technology is for NOM and SOC removal. NF has proven effective in color, TOC, THM precursor and pesticide removal. Such organic removal is critically important in the state of Florida and Europe. Examples of performance of NF70 on Florida groundwater are shown in Table 5. NF70 shows the higher THM precursor rejection with lower operating pressure of 60 psig. As mentioned before, MCLs of pesticide is very low in Europe. Several researchers have evaluated the separation characteristics of NF membranes for these components. In Figure 9, the rejection of various SOCs are plotted against their molecular weights. It has been proven that NF70 is capable of removing organic substances having a molecular weight of more than 250.

Conclusion

In this paper several advantages of RO/NF technologies have been described. However, it should be noted that membrane technology does not solve all the water treatment problems encountered in municipalities. Membranes can provide effective and highly optimized solutions when integrated with conventional technologies such as coagulation, sand filtration, and activated carbon treatments.

References

1. Y.Magara, S.Kunikane, and M. Itoh, ICOM'96 Proceedings, Yokohama, 1042, 1996,
2. Y. Magara, S. Kunikane, and M.Itoh, AWWA 1994 Annual Conference Proceedings, Management and Regulations, 685(1994)
3. D.R.U.Knappe, M.J.Prados, and G.Dagois, AWWA 1993 Annual Conference Proceedings, Water Research, 561(1993)
4. FILMTEC MEMBRABES Technical Manual, 3.2page 2, December 1993
5. P. Cote, Proceedings of the IDA World Congress on Desalination and Water Sciences, Abu Dhabi, Vol. 1, 265(1995)
6. W. Leitner, Desalination, 88, 279(1992)
7. S.W.Clark, M.J.Parrotta, M.A. Thompson, and G.W. Harrington, AWWA Seminar Proceedings, Membrane Technologies in the Water Industry, 13(1991)
8. K.P. Fox and T.J. Sorg, J. AWWA 79(10)81(1987)
9. B.W.Jr.Lykins and R.M. Clark, J Environ. Eng., 120(4), 783(1994)
10. W.J. Conlon, Desalination, 56, 203(1985)
11. W.J Conlon and S.A. McClellan, FS/AWWA, FPCA, and FW & PCOA 58th Annual Conference, 1984

Table 1

Japanese Drinking Water Quality Standards

Contaminants	Standard mg/L	Contaminants	Standard mg/L
General bacteria	100/ml	1,2-Dichloroethane	0.004
E. Coli.	ND/100ml	1,1-Dichloroethylene	0.02
Cyanide ion	0.01	cis-1,2-Dichloroethylene	0.04
Mercury	0.0005	Dichloromethane	0.02
Lead	0.05(0.01)	Benzene	0.01
Chromium (6+)	0.05	Total trihalomethane	0.1
Cadmium	0.01	Chloroform	0.06
Arsenic	0.01	Bromoform	0.09
Selenium	0.01	Bromochloromethane	0.03
Fluoride	0.8	Dibromochloromethane	0.1
Nitrate and Nitrite as N	10	Thiram	0.006
Trichloroethylene	0.03	Simazine (CAT)	0.003
Tetrachloroethylene	0.01	Benthiocarb	0.02
Carbon tetrachloride	0.003	1,3-Dichloropropane (D-D)	0.002
1,1,2-Trichloroethane	0.006		

(Health related contaminants)

Figure 1

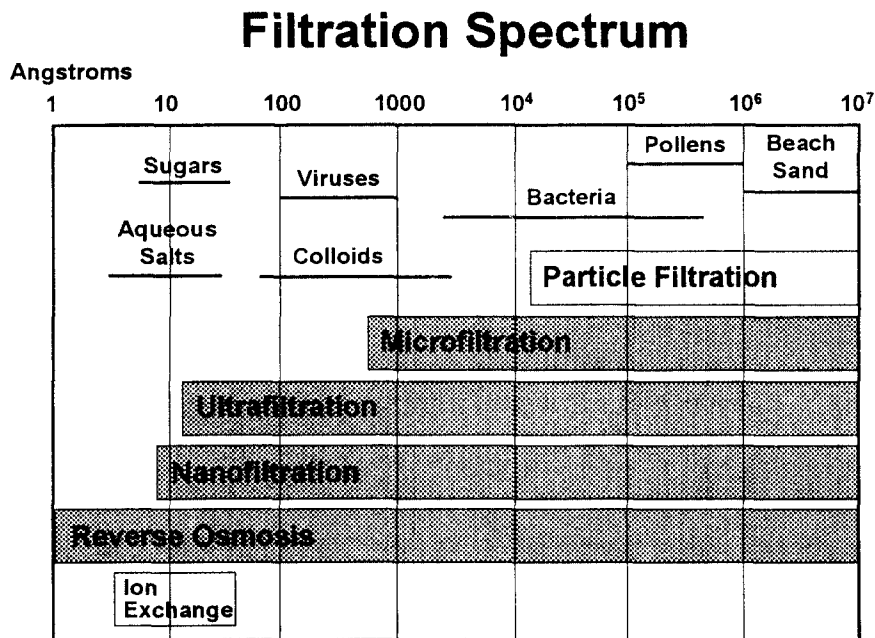
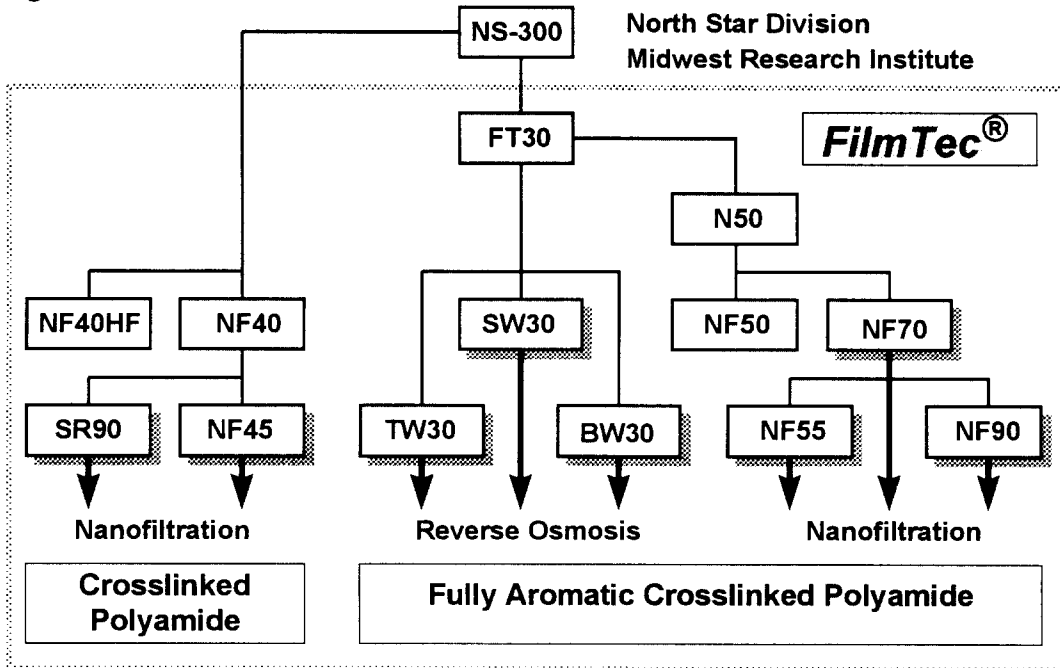


Figure 2



FILMTEC® RO/NF Elements

Figure 3

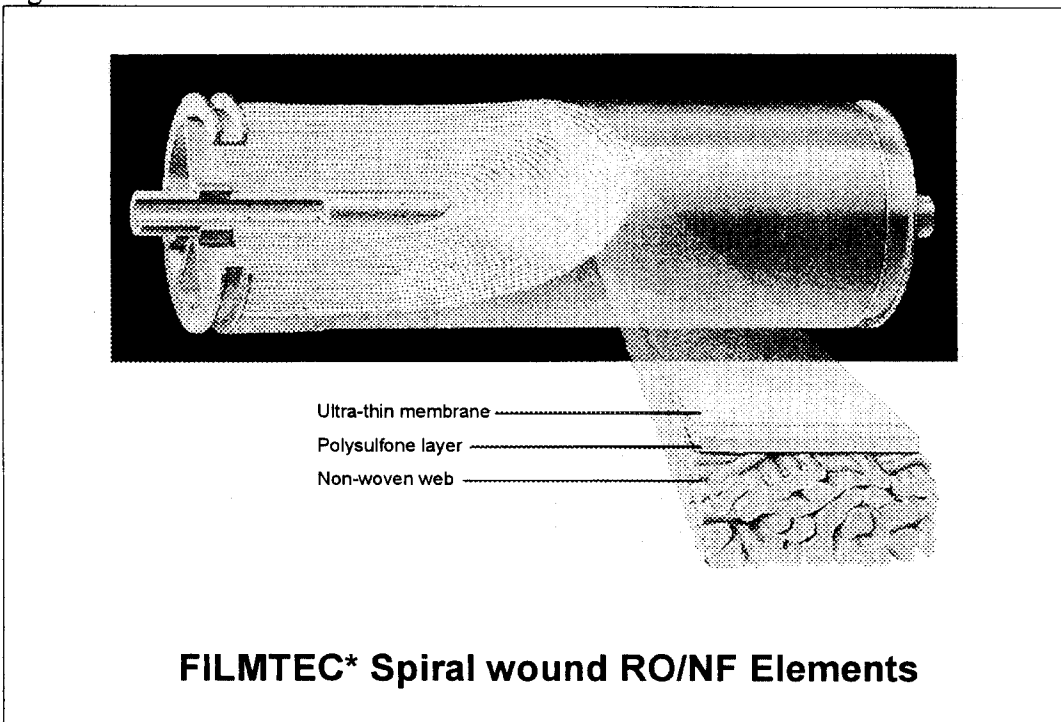


Figure 4

•• Feed Analysis ; (mg/l)

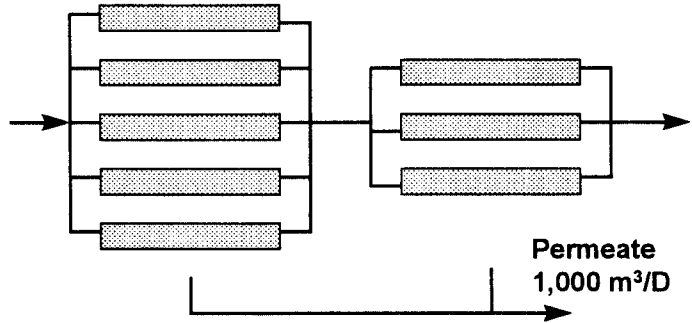
Na	Ca	SiO ₂	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
10.4	18.2	7.2	22.6	2.1	15.0	22.4

pH = 7.8
 TDS = 98mg/l
 Temp = 25°C

•Feed Source: Industrial water, Osaka

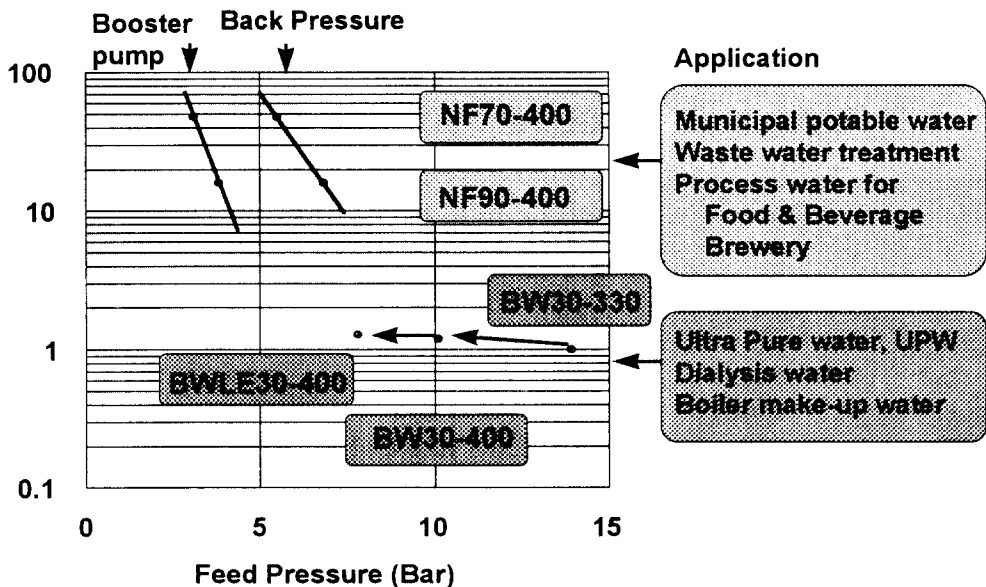
•cited from "Mizu no Eisei Kanri", 1979

System Configuration
 5 - 3 Array System
 Recovery; 75%
 6 Elements / vessel



1,000 m³/D capacity model system for ROSA calculation

Figure 5



RO/NF performance prediction by FilmTec ROSA

Figure 6

Membrane Role in Municipal Water Treatment

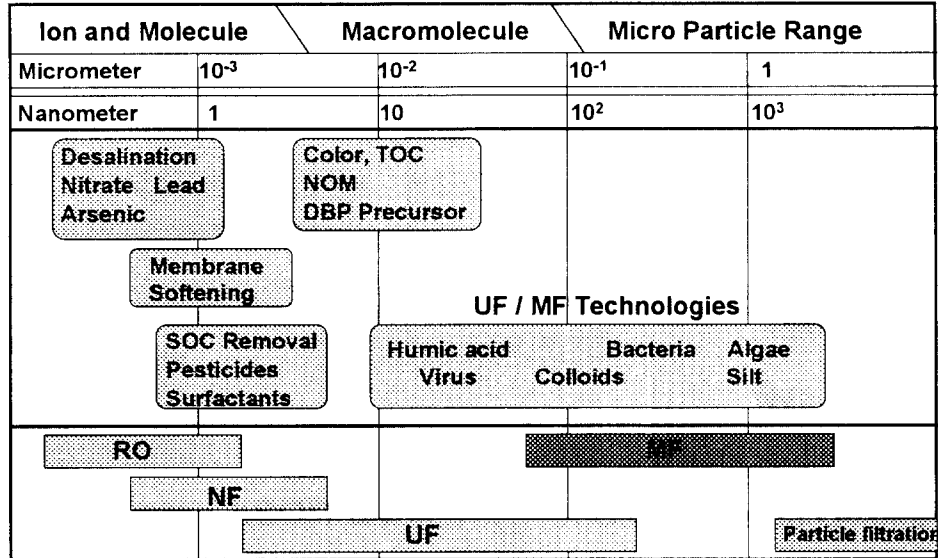


Table 2

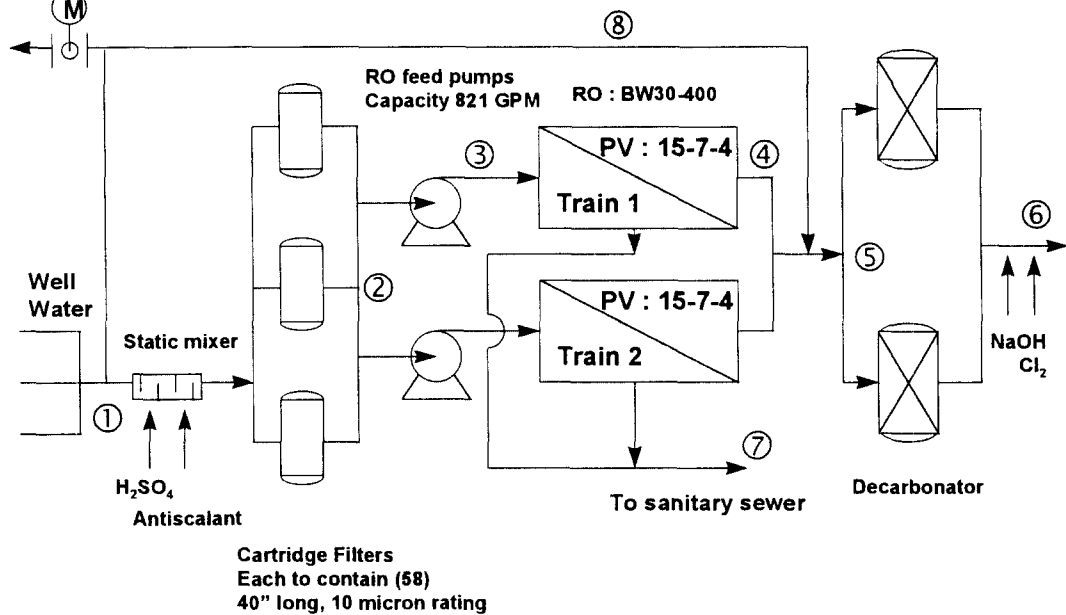
Inorganic Removal by Point-of-Use RO

Chemical Contaminant	Influent Concentration mg/L	Rejection %	Chemical Contaminant	Influent Concentration mg/L	Rejection %
Be	0.043	>97.7	Cu	4.81	>98.0
Hg(I)	0.017	>97.1	As ³⁺	0.101	73.3
Se ⁶⁺	0.083	>94.0	Zn ²⁺	5.42	>99.0
Se ⁴⁺	0.075	>99.3	Ni	0.239	>95.0
Pb	0.28	>98.3	U (total)	69.2 µg/L	>99.0
F	5.95	98.3	U (total)	182.5 µg/L	>99.0
Cd	0.045	>95.6			
Cr ⁶⁺	0.202	>97.5			
Cr ³⁺	0.19	>97.4			

Point-of-use unit : AquaClear H-82, Culligan International Co.
 Pressure : 42 ± 2 psig (289 ± 14 kPa)

K.R. Fox and T.J. Sorg, J. AWWA 79(10) 81 (1987)

Figure 7



City of Tustin Nitrate Removal RO Plant

Table 3

City of Tustin Nitrate Removal RO Plant Design Basis

	Flow Rate (GPM)	TDS mg/l	Silica mg/l	Sulfate mg/l	Nitrate mg/l	pH
1 Well water	2456.5	1510	29.0	220	94	7.5
2 RO feed	1642.6	1393.7	29.0	333.9	94	6.31
3 Feed Train	821.3	1393.7	29.0	333.9	94	6.31
4 RO perm.	694.0	41.0	1.0	5.1	10.8	4.7
5 Blended product	2202	584.0	11.35	84.5	41.6	6.3
6 pH adjusted	2202	590.2	11.35	84.5	41.6	8.1
7 RO conc.	127.3	8972	181.7	2117.6	548.3	7.1
8 Blend water	814	1510	20.0	220	94	7.5

Temperature : 22 - 23 °C

Figure 8

Membrane Softening Plants in the U.S.

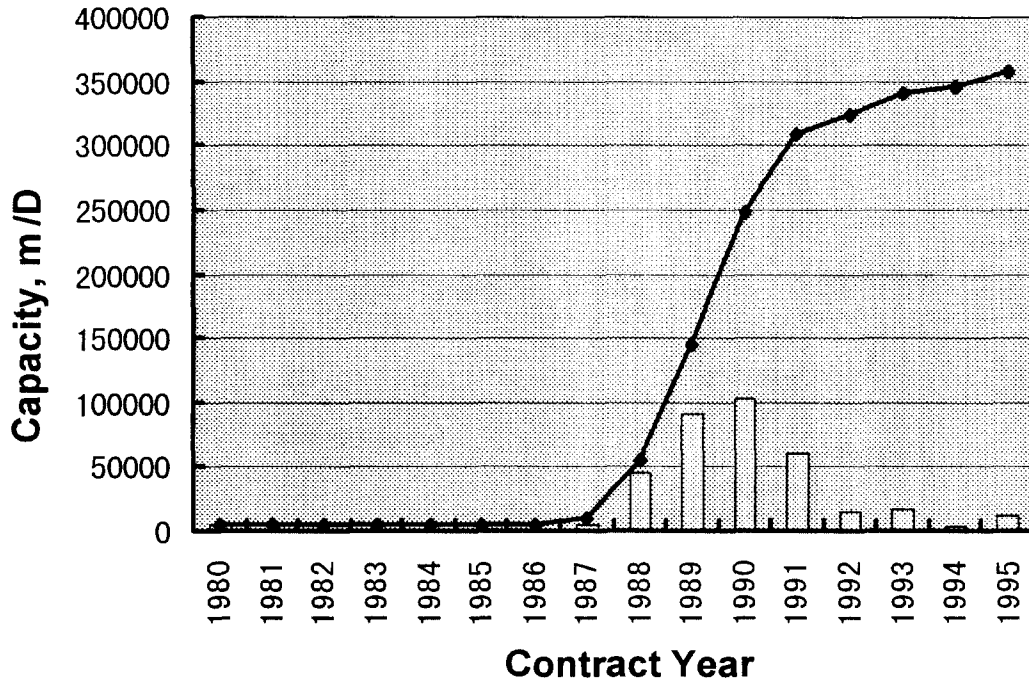


Table 4

FilmTec NF70/90 Reference List for Use in Potable water Application

Installation	Element	Start-up	Capacity	
			MGD	m ³ /D
Palm Beach Park of Commerce Florida, USA	NF70	1987	0.2	760
City of Sully, Iowa, USA	NF70	1988	0.2	760
City of Wachula, Florida, USA	NF70	1990	0.45	1700
Palm Coast Utilities, Florida	NF70	1992	2.0	7600
City of Chloride, Arkansas, USA	NF70	1993	0.14	530
City of Boynton Beach, Florida	NF70	1993	4.0	15000
Expansion	NF70	1997	4.0	15000
City of Royal Palm Beach, Florida	NF70	1993	1.5	5700
Corkscrew Florida, USA	NF70	1990	0.5	1900
Expansion	NF90	1995	0.5	1900
Expansion	NF90	1996	0.8	3040
City of Miramar, Florida, USA	NF70	1995	4.5	17000
Volusia County, Florida, USA	NF90	1995	0.5	1900
Jarny, France	NF70	1995	0.79	3000
Soiron, France	NF70	1995	0.79	3000
Baja Almanzora, Spain	NF70	1995	3.43	13000
Cooper City, Florida, USA	NF90	1997	3.0	11400



Table 5

RO, NF, UF Membrane Performance: Groundwater Near West Palm Beach, FL

Membrane	Pressure PSIG	Recovery %	THM Precursor		Rejection, % DOC*		Color		TH**	
			AID+	VOG++	AID	VOG	AID	VOG	AID	VOG
BW30	190	60	97		96	98	97	99	96	92
NF70	60	65	96		90	93	97	98	70	67
UF (2000)***	100	80	56		40	57	60	65	13	5

- * DOC = Dissolved organic carbon
- ** TH = Total hardness as ppm as CaCO₃
- *** UF = Ultrafiltration membrane with nominal MW cutoff 2000 (GIO DSI)
- + AID = Water from ACME Improvement District
- ++ VOG = Water from Village of Golf

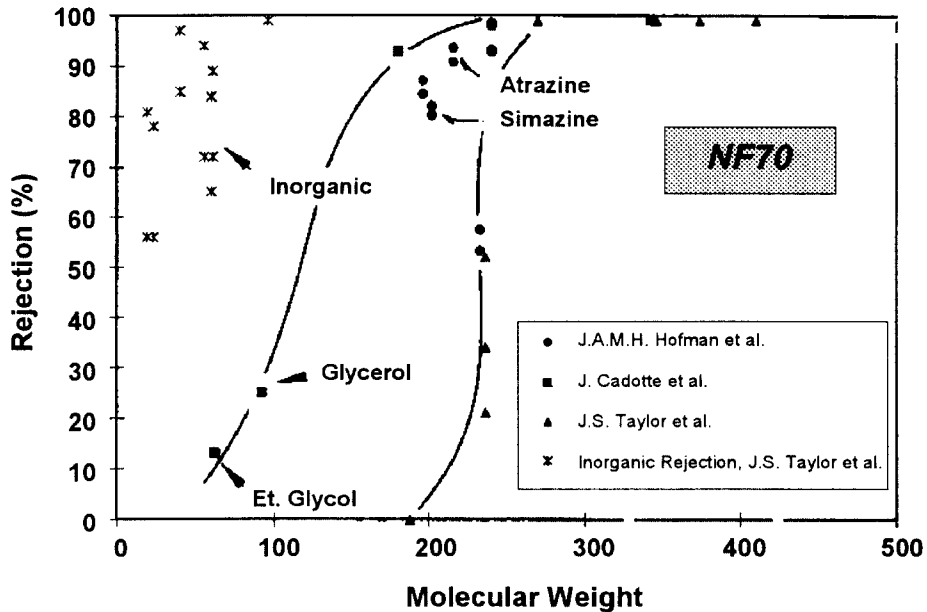
Feed water data:

	Temp. °C	TDS mg/L	THM Precursor mg/L	DOC mg/L	Color CPU	TH ppm as CaCO ₃
AID	25	490	.961	15	35	332
VOG	25	490	—	14.7	52	246

From Taylor et al 1987

Figure 9

SOC Rejection of NF70



먹는물에서 분리막의 역할

서론

음용수의 강력한 규제로 인해 막을 이용한 분리기술의 중요성이 증대되고 있다. 그예로 역삼투압(Reverse Osmosis)을 이용한 해수의 탈염화를 들 수 있으며 세계적으로 사용되고 있다. 비록 현재 사용되고 있는 응집(Coagulation) 및 여과(Media Filtration)등은 수처리에 있어 잘 확립된 기술이지만 산업의 발달과 농업활동등으로 인해 배출되는 질산염 및 합성 유기화학물질은 제거하지 못한다. 음용수 수질기준(Drinking Water Standards)을 만족시키고 양질의 물을 생산하기 위해 Japanese MAC21, NEW MAC21 Projects와 같은 Membrane Filtration Research Program 들이 시작되었다. 음용수를 처리하기 위한 RO와 NF의 기술과 역사에 대해 자세하게 설명하겠다.

1. 음용수 기준(Drinking Water Standard)

일본에서의 음용수 수질기준은 1992년 12월에 개정되어 1993년 12월에 시행되었다. 새로운 기준은 건강과 관련된 오염물질 농도를 규제하기 위한 수질기준과 수도수의 수질을 만족시키기 위한 기준으로써 크게 2부분으로 나뉜다.

건강과 관련된 오염물질의 기준은 표 1에 나타내었다. 표 1에 나타낸 오염물질의 농도는 WHO 기준 및 U. S. EPA의 최대 오염물질 농도(MCLs)와 거의 일치한다. 그러나 건강에 영향을 줄 수 있는 매개변수의 수치는 WHO에서 제시한 음용수 수질지침의 절반 정도이며 지역에 따라 확실한 차이를 보인다. 예를들어 미국에서 Atrazine의 기준은 $3\mu\text{g}/\ell$ 이나 EC 회원국에서는 $0.1\mu\text{g}/\ell$ 로 규정하고 있다(EC는 살충제 및 관련된 화합물의 총농도가 $0.5\mu\text{g}/\ell$ 을 초과하지 않도록 규제하고 있다). Atrazine에서는 일본에서는 규제하지 않는 Simazine를 $3\mu\text{g}/\ell$ 이하로 정하여 규제하고 있다.

표 1. 일본 음용수 수질기준

오염물질	수질 기준 (mg/ℓ)	오염물질	수질 기준 (mg/ℓ)
General bacteria	100/ml	1,2-Dichloroethane	0.004
E. Coil.	ND/100ml	1,1-Dichloroethylene	0.02
Cyanide ion	0.01	cis-1,2-Dichloroethylene	0.04
Mercury	0.0005	Dichloromethane	0.02
Lead	0.05(0.01)	Benzene	0.01
Chromium(6+)	0.05	Total trihalomethane	0.1
Cadmium	0.01	Chloroform	0.06
Arsenic	0.01	Bromoform	0.09
Selenium	0.01	Bromochloromethane	0.03
Fluoride	0.8	Dibromochloromethane	0.1
Nitrate and Nitrite as N	10	Thiram	0.006
Trichloroethylene	0.03	Simazine(CAT)	0.003
Tetrachloroethylene	0.01	Benthiocarb	0.02
Carbon tetrachloride	0.003	1,3-Dichloropropane(D-D)	0.002
1,1,2-Trichloroethane	0.006		

(Health related contaminants)

음용수 규정의 지표가 될 수 있는 WHO의 음용수 수질지침은 1997년 말에 개정될 예정이다. 또한 미국내에서는 더욱 강력하게 MCLs의 기준이 개정되리라 예상된다. 이러한 상황하에서 재래식 처리기술로 THMs, Chlorinated Solvents, Lead 및 Arsenic등의 기준을 정하기 어렵게 되었다. 많은 기관들에서 기존시설에 막 분리기술을 추가시켰다. 미국에서는 염수의 탈염화를 위하여 RO를, 연수화를 위하여 NF를 이용하고 Disinfection By-Product(DBP)를 제거하기 위하여 많이 사용하고 있다.

유럽에서는 MF 및 UF가 지표수를 음용수로 만드는 시설들에 채택되어 사용되고 있다.

2. 음용수 처리에서 막의 기능

그림 1.은 몇개의 막기술을 나타낸 것이다. 막 여과에는 일반적으로 4 가지 종류가 있다(MF, UF, NF, RO). MF는 대략 0.1~1 micro의 범위에 있는 입자들을 제거한다. 일반적으로 분자량이 큰 물질과 용존물들은 MF막을 통과하는 반면 부유입자 및 거대 Colloids는 제거된다. Bacteria, Flocculated Materials, 및 TSS(Total Suspended Solids)을 제거하는데 사용된다. UF는 20~1000 Angstrom(up to 0.1 micron) 범위의 물질들을 제거하기 위해 사용된다. 용해된 염분 및 작은 분자들은 모두 막을 통과한다. 일반적으로 UF막들은 1,000~100,000 범위의 분자들을 제거할 수 있다. 일반적으로 RO는 가장 작은 입자를 제거한다. RO막은 약 100 이상의 분자량을 가진 모든 용해된 염분 및 유기분자들을 제거하는데 사용된다. NF는 RO와 UF의 중간성격을 가진것으로써 넓은 범위에 적용되며 가압여과법을 사용한다. NF막은 200 이상의 분자량을 가진 유기물 및 2가 음이온인 염분의 제거에 높은 효율을 나타낸다.

<< 그림 1. Filtration Spectrum 참조 >>

Dow chemical Company의 자 회사인 FilmTec Corporation은 다양한 Spiral Wound RO와 NF을 생산하고 있다. 그림 2.는 전형적인 RO/NF 성분을 연대순으로 나타낸 것이다.

<< 그림 2. FILMTEC RO/NF Element 참조 >>

FilmTec FT30 막은 3개의 층으로 thin-film을 혼합하여 만들어진 다.(An ultra-thin polyamide barrier layer on top, a microporous polysulfone interlayer, and a non-woven polyester wed (그림3)).

<< 그림 3. FILMTEC Spiral wound RO/NF Elements 참조 >>

FilmTec FT30 막은 재질별 형태로 분류할 수 있으며 사용하는 형태와 적용방법에 따라 선택할 수 있다. 기본적으로 4종류의 RO와 4종류의 NF가 일반적으로 사용된다.

- TW30 - 수도수에 사용.
- BW30 - 염수에 사용.
- SW30 - 바닷물에 사용.
- SW30HR - 높은 제거율을 위해 바닷물에 사용.
- NF55, 70, 90 - 자치도시에 적용.
- NF45 - 식품과 제약에 적용.

요구되는 물의 성질에 따라 재질을 선택할 수 있다. 이것 또한 요구되는 TDS 값을 맞추기 위하여 이러한 재질들을 결합시키는 것이 가능하다. RO와 NF의 차이점을 추가적으로 설명하면 상대적으로 낮은 TDS 값(ca. 100mg/ℓ)을 기준으로 장치를 평가할 수 있다. 그림 4.는 5~3의 배열을 가진 System 형식과 원수의 질을 나타낸 것으로 FilmTec RO System Analysis(ROSA)를 사용하여 값을 산출하였다.

<<그림4. 1,000m³/D capacity model system for ROSA calculation 참조>>

그림 5.에서 나타낸 바와 같이 BW 재질은 TDS제거에 좋은 효과를 나타낸다. 산업사회에서는 염수의 탈염화 및 반도체 산업의 초순수를 생산하는데 적용된다. NF 재질에 사용되는 압력은 RO에 비하여 매우 낮으며 상수와 음식물등 완벽한 염분제거를 원하지 않는곳에 적당하다.

<<그림 5. RO/NF performance prediction by FilmTec ROSA 참조>>

그림 6은 자치적인 상수도에서의 막의 기능을 나타낸 것이다. 공급되는 원수에는 다양한 부유물이 포함 되어있다. MF/UF는 분자량이 큰 물질과 Humic 물질, 바이러스, 콜로이드 및 실트가 포함되어 있는 큰 입자들의 제거가 가능하다.

<< 그림 6. Membrane Role in Municipal Water Treatment 참조 >>

RO는 분자량이 낮은 물질들과 농약, 질산염, 비소 및 납과 같은 유해한 이온들을 제거하는데 사용된다. 근래에 NF는 분리능력이 광범위하기 때문에 자치도시들에 관심을 끌었다. NF가 관계하는 것은:

- * Natural organic matter(NOM) removal
 - Color, TOC, disinfection by-product(DBP) precursor -
- * Membrane softening
- * Synthetic organic chemicals(SOC) removal

표 4에서와 같이 미국(주로 Florida)에는 많은 NF 시설들이 있다. 또한, France에 거대한 상수공급업체를 Mery-sur-Oise에 140,000m³/D 용량의 NF를 설치하기 위해서 거대한 Pilot trial을 처리했다. 일본에 있는 Water Purification Process Association은 Ministry of Health and Welfare의 지도아래 1991년 회계연도(FY)부터 1993년까지 MAC21이라는 국가 계획을 시행했다. 계획의 결과로서 작은 상수공급업체안에 막여과 시설을 소개하는 정책이 초래되었다. 일본에서 두번째 계획이 1994년도 회계연도에 시작되었다. 이 계획에서 NF는 중요한 기능을 수행했다.

<<Table 4. FilmTec NF70/90 Reference List for Use in Potable water Application 참조>>

3. 음용수 처리를 위한 RO의 기능

미국에서 염수 및 해수를 탈염화 하는 많은 공장들은 자치정부가 직접 설치하여 가동하고 있다. 1992년에 보고된바에 의하면 염수 및 해수를 탈염화 시설의 설치 용량은 각각 1일(MGD) 8,000만갤런이고 20MGD 이다. 그러므로 RO는 아주 좋은 기술이라고 판단된다. EPA가 정한 몇 가지의 무기오염물질들에 대해서는 RO가 최고의 능력을 발휘할 수 있는 기술이다(BATs).

3. 1 가정용 정수기

가정에서 사용하는 수도물의 체계(POU)에 대한 의문은 태평양 연안의 많은 나라에서 중요한 사안으로 이어질 것이다. 정수기의 대부분은 활성탄(AC)만 사용하거나, RO와 AC를 같이 사용하거나, MF/UF와 AC를 같이 사용하는등의 형식을 취하고 있다.

소비자들은 경도, 중금속, 트리할로메탄(THM), 염소 및 냄새등의 오염물질을 제거할 수 있는 능력을 고려하여 알맞은 형식을 선택한다. 이러한 가운데 RO 형식은 수도물에 포함된 많은 오염물질들을 제거할 수 있는 가장 적합한 필터로 판단된다. POU RO형식의 무기물질 제거능력은 표 2에 나타낸 바와 같이 매우 높은 제거능력을 발휘한다. RO가 유기물질 및 농약을 제거한다는 사실은 많은 연구자료에서도 찾아볼 수 있다.

표 2. Inorganic Removal by Point-of-Use RO

Chemical Contaminant	Influent Concentration mg/ℓ	Rejection %	Chemical Contaminant	Influent Concentration mg/ℓ	Rejection %
Be	0.043	> 97.7	Cu	4.81	> 98.0
Hg(I)	0.017	> 97.1	As ³⁺	0.101	73.3
Se ⁶⁺	0.083	> 94.0	Zn ²⁺	5.42	> 99.0
Se ⁴⁺	0.075	> 99.3	Ni	0.239	> 95.0
Pb	0.28	> 98.3	U(total)	69.2μg/ℓ	> 99.0
F	5.95	98.3	U(total)	182.5μg/ℓ	> 99.0
Cd	0.045	> 95.6			
Cr ⁶⁺	0.202	> 97.5			
Cr ³⁺	0.19	> 97.4			

3.2 Nitrate Removal -BW30-400

근래에 지표수에서 발견된 높은 농도의 질산염은 인공비료를 광범위하게 사용하기 때문이다. 미국의 Safe Drinking Water Act의 현행 규정은 nitrate(10 mg/ℓ as nitrogen)와 같이 최대 오염물질 농도(MCL)를 45mg/ℓ로 설정하였다. Nitrate를 제거하는 Ion exchange, Biological denitrification 및 RO을 포함한 몇 개의 기술이 평가되었다.

표 3. City of Tustin Nitrate Removal RO Plant Design Basis

NO	ITEAM	Flow Rate (GPM)	TDS mg/ℓ	Silica mg/ℓ	Sulfate mg/ℓ	Nitrate mg/ℓ	pH
1	Well water	2456.5	1510	29.0	220	94	7.5
2	RO feed	1642.6	1393.7	29.0	333.9	94	6.31
3	Feed Train	821.3	1393.7	29.0	333.9	94	6.31
4	RO perm.	694.0	41.0	1.0	5.1	10.8	4.7
5	Blended product	2202	584.0	11.35	84.5	41.6	6.3
6	pH adjusted	2202	590.2	11.35	84.5	41.6	8.1
7	RO conc.	127.3	8972	181.7	2117.6	548.3	7.1
8	Blend water	814.0	1510	20.0	220	94	7.5

근래 Tustin, California의 도시에 상수도 설비는 FilmTec BW30-400 RO를 이용하여 작동 시켰다. 그림 7.은 공장의 구조도를 보여주고 표 3은 설계원리를 보여준다. 이 설비는 정수수 7600m³/D(2 MGD 및 혼합수 12,000m³/D(3.2 MGD)를 생산할 수 있는 능력이 있다.

<<그림 8. Membrane Softing Plants in the U.S. 참조 >>

4. 음용수에서의 NF의 기능

NF를 이용한 여과는 막의 유연성과 관련이 있다. NF막은 황산염의 농도가 중상인 곳에서 물의 경도 제거 또는 연수화에 사용된다. 막을 이용한 물의 연수화는 1976년에 OEM을 기본으로하여 플로리다에서 처음으로 시작되었다. 그러나 이와 같은 막의 기술은 NF막(N-50으로 제작됨.)의 능력을 증명할 수 있는 3개월간의 현장실험을 통하여 증명된 1984년까지는 광범위하게 활용되지 않았다. 1985년에 막은 NF-50으로 다시 제작되었고 FilmTec에 의하여 NF막으로 명명되었다. 유량비와 MgSO₄제거가 향상된 후에, 이것은 NF-70으로 제작되었다. 그 이후로 NF-70은 현장에서 하나의 전형적인 방법으로 자리를 잡았다. 그 후로 광범위한 연구

와 현장실험이 실시되었으며 그림 8에서는 도시의 수돗물 처리에서 NF를 기본으로 사용하는 방법이 증가하였다는 것을 나타낸다. 표 4는 도시의 수돗물에 적용하기 위하여 설치된 NF70/90을 일부 나타낸 것이다. NF70은 유럽에서 최근에 적용하기 시작하였다. NF막은 수돗물의 질을 높이기 위하여 전세계적으로 사용되어질 것으로 전망된다.

**표 5. RO, NF, UF Membrane Performance:
Groundwater Near West Palm Beach, FL**

Membrane	Pressure (PSIG)	Recovery (%)	THM Precursor	Rejection, %		Color		TH**	
				DOC*	DOC*	AID	VOG	AID	VOG
BW30	190	60	AID+ VOG++	AID	VOG	AID	VOG	AID	VOG
NF70	60	65	97	96	98	97	99	96	92
UF(2000)***	100	80	96	90	93	97	98	70	67
			56	40	57	60	65	13	5

* DOC = Dissolved organic carbon

** TH = Total hardness as ppm as CaCO₃

*** UF = Ultrafiltration membrane with normal MW cutoff 2000(GIO DSI)

+ AID = Water from ACME Improvement District

++ VOG = Water from Village of Golf

Feed water data :

	Temp. (°C)	TDS (mg/ℓ)	THM Precursor (mg/ℓ)	DOC (mg/ℓ)	Color (CPU)	TH (ppm as CaCO ₃)
AID	25	490	.961	15	35	332
VOG	25	490	-	14.7	52	246

NF기술의 초점은 NOM과 SOC제거에 있다. NF가 색도, TOC, THM 전구물질 및 농약제거에 효과가 있다는 것이 증명되었다. 이와 같은 유기물질의 제거는 플로리다와 유럽에서는 비관적으로 생각하고 있었다. 플로리다의 지하수를 NF70에 적용한 예를 표 5에 나타내었다.

NF70은 60psig의 낮은 수압에서 적용하였을때 높은 농도의 THM 전구물질이 제거되었다. 이와 같은 것을 언급하기 이전에 농약의 최대허용농도(MCL_s)는 유럽에서는 매우 낮다. 일부 학자들은 각 부분별 NF막의 특성을 나누어서 평가하였다.

그림 9에서 다양한 SOC_s가 제외된 것은 이들의 분자무게와 반대되도록 설계되어진 것을 보여준다. NF70은 250 이상의 분자무게를 가지는 유기화합물질 제거에 효과가 있는 것이 증명되었다.

<< 그림 9. SOC Rejection of NF 70 참조 >>

결 론

이 논문에서는 RO/NF 기술의 몇 가지 이점을 기술하였다. 그러나 막기술이 도시내에서 나타나는 수처리의 모든 문제를 해결하지는 못한다. 막은 응집, 모래여과 및 활성탄 처리와 같은 기존의 기술과 연계되었을 때 높은 처리효율을 나타낸다는 것이 증명되었다.