

## 정수처리에 이용되는 나노여과막시스템의 성능예측방법 확립

### Treatability Prediction Method for Nanofiltration Systems in Drinking Water Treatments

강미아<sup>1,\*</sup> · 伊藤雅喜<sup>2</sup>

Kang, Meea<sup>1,\*</sup> · Itoh, Masaki<sup>2</sup>

1 안동대학교 공과대학 환경공학과

2 일본 국립보건의료과학원 수도공학부

(2005년 6월 22일 논문 접수; 2005년 9월 27일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

This research is conducted to develop predictable method of real scale nanofiltration treatability with small scale nanofiltration experiments. As a result of comparing calculated values with measured values, they are in a good agreement for the concentrations in filtered water and concentrated water. The results of that are not affected by change of system recovery from 20% to 95%.

The proposed method is produced using constant recovery of elements, that is, no considering the pressure change. we can predict filtrated flux and contaminant concentrations with the method. The method has the following steps. (1) Calculate recovery of each element with water quality level after fixing recovery elements, (2) Predict system recovery with recovery of elements in 1, 2, 3, and 4 banks, (3) Run small scale nanofiltration experiments in predicted water quality and (4) Simulate large scale nanofiltration system for forecasting actual water quality.

As the cost for nanofiltration pretest will reduced if we use the proposed method, it will be a promising method for introducing nanofiltration to supply safe drinking water.

**Key words:** Nanofiltration Membrane, Treatability Prediction, System Recovery, Drinking Water Treatment, System Evaluation

**주제어:** 나노여과막, 성능예측, 시스템회수율, 정수처리, 시스템평가

#### 1. 서 론

막여과법은 반투과의 성질을 이용하여 어떤 물질

을 성질이 다른 물질과 분리 혹은 전달하는 것으로 정의될 수 있으며, 단순하게 어떠한 크기 이상을 분리 혹은 전달하는 것 이외에도 전하반발력, 용해도, 확산률 등의 성질을 이용하여 분리 혹은 전달을 강화

\*Corresponding author Tel: +82-54-820-6267, Fax: +82-54-820-6187, E-mail: wdream@andong.ac.kr (Kang, M.A.)

시키기도 한다(조재원, 2004). 이러한 분리를 위하여 필요한 추진력에는 압력, 농도차, 전기자장 등이 있다. 응용분야로는 바닷물로부터 청정수를 만드는 공정(분리), 피부에 부착하여 니코틴을 전달하여 금연을 돕는 약품(전달), 흐름속에서 산소만을 감지하는 장비(선택적 전달), 산소만 투과시키는 콘택트렌즈 등을 들 수 있다. 이와 같이 막여과는 단순히 분리만을 의미하는 것이 아니라 선택적 전달 및 상대적 전달 모두를 의미한다.

정수처리에 사용되는 정밀여과막(Microfiltration)은 막공경이 상대적으로 크며, 이 MF를 이용하면 0.05~0.1 $\mu$ m 이상의 입자를 제거할 수 있다(수도막여과법입문, 2002). 더욱이 한외여과막(Ultrafiltration)을 이용하면 0.005~0.01 $\mu$ m의 불순물을 거의 완전하게 제거할 수 있다.

나노여과법(NF법)은 역삼투법과 한외여과법의 중간에 위치하며, 입경으로는 1nm 정도, 분자량으로는 최대 수백달톤 정도까지의 용해성 또는 콜로이드성의 유기물 등을 제거대상으로 하는 막여과법이다. 고도처리의 기능을 갖고 있으며 활성탄처리에 상당하는 정수처리방법 중 하나이다. 나노여과법에서는 전처리로서 고액분리를 하여 원수중의 현탁물질을 충분히 제거할 필요가 있다(Amy, 1990; Blau, 1992; Fu, 1994).

나노여과법은 기존의 재래식 정수장에서 제거가 불가능한 수중의 미량 유해물질을 제거하는데 탁월한 방법으로 보고되고 있으며, 이를 이용한 정수처리를 수행하면 수도물을 마시는 것으로부터 발생하는 건강리스크를 저감할 수 있다(Magara, 1998; 강미아, 1999; Kang, 2000; Itoh, 2001; Sato, 2002).

정수처리공정으로의 나노여과막 시스템의 실용화를 위해서는 수량을 충분히 공급하여 급수량을 충족하여야 한다. 이를 위해 일반적으로 트리형배열(tree type array)이 사용되어 회수율을 높인다. 그러나 이 시스템을 이용하여 실제로 실증실험을 하기 위해서는 장치의 규모가 대형화되는 문제가 발생할 뿐 만 아니라 경제적인 부하도 발생하는데, 이것은 나노여과막을 수처리공정으로 도입하는 데에 걸림돌이 된다. 그래서 현재까지는 나노여과막의 처리성평가를 위해서 수개의 엘리먼트를 직렬 또는 직렬·병렬로 조합하여 순환식의 흐름 운전방식을 채택하여 시스템의 실증실

험을 하고 있다. 이 방식으로는 비교적 소형의 시스템에서 실험이 가능하며, 트리형의 장치를 이용한 실험을 하기 때문에 비용을 가늠할 수가 없다.

따라서 순환식의 소형실험장치를 이용하여 실제 사용될 대형 트리형시스템의 처리성평가를 할 수 있다면 새로운 정수처리시스템의 나노여과막도입이 보다 용이해져 양질의 수도물생산에 이바지하게 되리라 기대한다.

그러므로 본 연구에서는 순환형식의 소형실험장치와 트리형식의 대형시스템의 양자결과를 비교하여 실제 막여과시스템에서의 성능을 예측하기 위한 실험방법을 명확하게 확립하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 나노여과막(NF)의 특성

Table 1에 나타낸 바와 같은 성능을 지닌 나노여과막을 이용한 시스템을 일본 오키나와현 金武(긴)담을 수원으로 하는 石川(이시가와)정수장에 설치하였다. 대형규모의 트리형시스템 1개와 소형규모의 순환형막장치 2개를 설치하였으며, 유입수로는 石川(이시가와)정수장의 응집, 침전공정후의 상등수를 사용하여 MF로 전처리한 것을 사용하였다. 대형 및 소형 장치에 대해서 Fig. 1에서 사진을 보여주며, 그림 2에서는 시스템흐름을 나타내었다. 대형트리형시스템에서의 bank는 나노여과장치시스템을 구축하는 각 단계를 의미하며, 하나의 bank에는 5개의 엘리먼트로 구성된 수개의 엘리먼트조들로 구성되어 있다. 본 연구에서는 트리형배열로 구성된 대형나노여과막시스템의 8-4-2-1엘리먼트조의 4단계와 6-3-1엘리먼트조의 3단으로 실험을 하였다. 또한 엘리먼트조내에서는 5개의 엘리먼트들이 직렬로 연결되어 있으며, 이들 사이에서 시료를 채취하여 그 전·후의 수량과 수질을 분석하여 실제 측정값으로 하고, 계산값과 비교하였다. 공급수량과 농축수량을 일정하게 설정하고 자동 또는 수동운전을 하였으며, 각 bank에서 요구되는 수량에 맞추어지도록 각 bank의 유량계를 조정하였다. 또한 여과수량 0.6m/d로 운전을 하는데 있어서는 각 bank에서 공급수압과 농축수압의 차를 압력손실로 두어 압력손실이 0.2MPa 이내에서, 여과수량 0.8 m/d로 운전을 하는데 있어서는 압력손실이 0.3MPa

Table 1. NF 막 특성

SU-600 (Toray Ind., Japan)		
type: spiral-wound NF	NaCl(500mg/L)	rejection(%): 68.4
material:		Flux(m/d): 0.83
piperazine polyamide	MgSO <sub>4</sub> (500mg/L)	rejection(%): 97.3
		Flux(m/d): 0.82
	glucose(100mg/L)	rejection(%): 87.6
		Flux(m/d): 0.91

이내에서 운전되도록 유지관리에 노력하였다. 소형 나노여과장치에서도 동일한 방법으로 여과를 수행하였다.

2.2. 대형 및 소형 나노여과막장치의 처리성 비교

2.2.1. 트리형식의 대형 NF시스템의 성능예측을 위한 접근방법

트리형에서 조내에 복수로 수납되어 있는 엘리먼트에 가해지는 압력, 유량, 농도 등의 조건은 측정하기가 어렵고, 또 시스템의 조건에 따라서 물질의 제거율이 변화할 가능성이 크다. 그러므로 각 엘리먼트의 처리상황을 예측하기 위해서는 막엘리먼트의 계산식을 이용한다(伊藤雅喜, 1999a; 伊藤雅喜, 1999b).

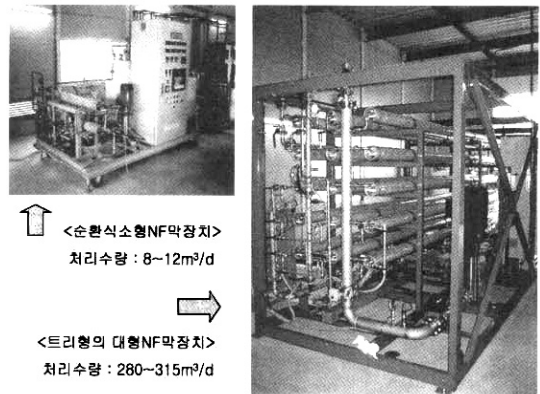


Fig. 1. 대형 및 소형 나노여과막장치 사진.

- 비순환식 흐름에 대한 계산식  
 유량을  $Q$ , 농도를  $C$ , 제거율을  $R$ 로 둘 때, 다음식에 따라 수량과 농도, 제거율을 각각 계산한다.

$$Q_p = Q_i r_e = r_e$$

$$Q_c = Q_i - r_e = 1 - r_e$$

$$Q_m = \frac{Q_i + Q_c}{2} = 1 - \frac{r_e}{2}$$

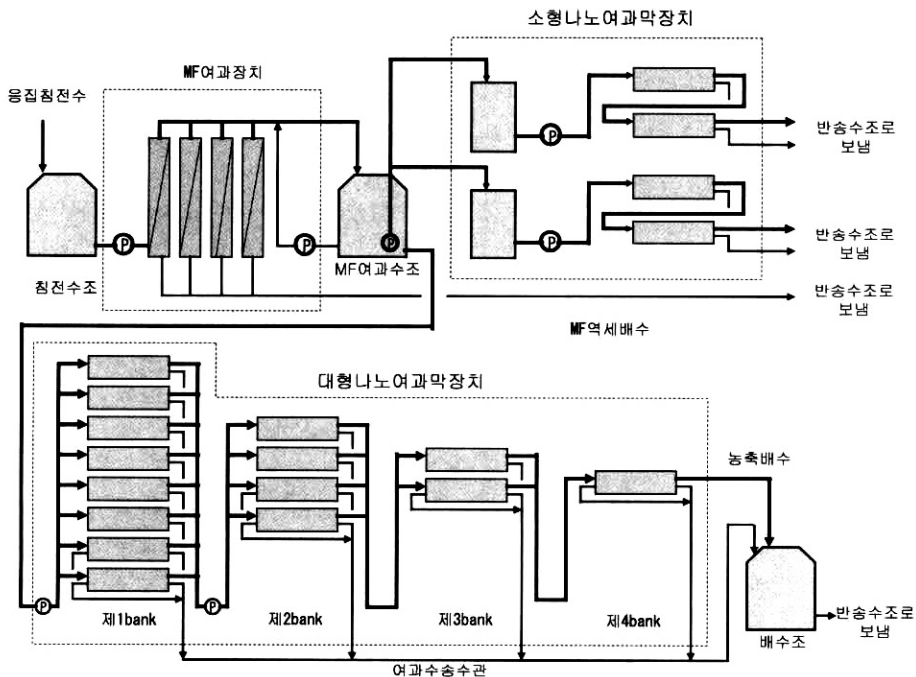


Fig. 2. 대형 및 소형 나노여과막장치의 흐름도.

여기서  $Q_i$ : 유입수량(1로 가정)  
 $Q_p$ : 여과수량  
 $Q_c$ : 농축수량  
 $Q_m$ : 엘리먼트내 평균수량  
 $r_e$ : 엘리먼트 회수율

$$C_p = C_m(1 - R_m) = \frac{(1 - R_m)(r_e - 2)}{r_e(1 + R_m) - 2}$$

$$C_c = \frac{C_i Q_i - C_p Q_p}{Q_c} = \frac{r_e(1 - R_m) - 2}{r_e(1 + R_m) - 2}$$

$$C_m = \frac{C_i + C_c}{2} = \frac{r_e - 2}{r_e(1 + R_m) - 2}$$

단  $r_e = \frac{Q_p}{Q_i}$   
 $R_m = 1 - \frac{C_p}{C_m}$

여기서  $C_i$ : 유입농도(1로 가정)  
 $C_p$ : 여과수내 농도  
 $C_m$ : 엘리먼트 평균농도  
 $r_e$ : 엘리먼트 회수율  
 $R_m$ : 평균제거율

위에서 서술한 방법에 의해 엘리먼트 회수율과 제거율이 구해지면 아래와 같이 여과수량과 여과수내 농도 등을 계산할 수 있다. 단, 트리형시스템의 각 bank 유속을 일정하게 운전한다.

$$Q_{st} = \frac{A_m \cdot \mathcal{J}}{r_s}$$

$$Q_{sp} = A_m \cdot \mathcal{J}$$

$$Q_{sc} = Q_{st} - Q_{sp} = A_m \cdot \mathcal{J} \left( \frac{1}{r_s} - 1 \right)$$

여기서  $Q_{st}$ : 시스템에서의 총공급수량  
 $Q_{sp}$ : 시스템에서의 총여과수량  
 $Q_{sc}$ : 시스템에서의 농축수량  
 $\mathcal{J}$ : 유속  
 $A_m$ : 총막면적  
 $r_s$ : 시스템 회수율

• 순환식흐름에 대한 계산식  
 원수량  $Q_0 = 1$ 로 가정하면,  
 공급수량:  $Q_i = 1 + a$   
 여과수량:  $Q_p = (1 + a)r_e$   
 농축수량:  $Q_c = (1 + a)(1 - r_e)$   
 순환수량:  $Q_r = a$   
 농축배수량:  $Q_b = 1 - (1 + a)r_e$   
 원수농도  $C_0 = 1$ 로 두면

$$\text{막공급수농도: } C_i = \frac{r_e(1 + R_m) - 2}{r_e\{1 + (1 + 2a)R_m\} - 2}$$

$$\text{막여과수농도: } C_p = \frac{(r_e - 2)(1 + R_m)}{r_e\{1 + (1 + 2a)R_m\} - 2}$$

$$\text{막농축수농도: } C_c = \frac{r_e(1 + R_m) - 2}{r_e\{1 + (1 + 2a)R_m\} - 2}$$

$$\text{엘리먼트내 평균농도: } C_m = \frac{r_e - 2}{r_e\{1 + (1 + 2a)R_m\} - 2}$$

여기서 순환수량비율:  $a = \frac{Q_r}{Q_0}$

엘리먼트회수율:  $r_e = \frac{Q_p}{Q_i}$

평균제거율:  $R_m = 1 - \frac{C_p}{C_m}$

### 2.2.2. 순환형식의 소형장치의 수질안정시간 계산 방법

소형순환장치주변의 물질수지에 대한 Fig. 3은 아래에 있다. 원수조 내의 물질수지에 대해서는 식 (1)과 같이 정의한다.

$$V \frac{dC_i}{dt} = C_b Q_b + C_c Q_d - C_i Q_i \quad (1)$$

또한 본 연구에서는 엘리먼트주변의 물질수지에 대해 2개의 엘리먼트를 1개의 엘리먼트로 가정하여 평균제거율을 사용한다.

$$R_{obs} = 1 - \frac{C_p}{\frac{C_i + C_c}{2}} \quad (2)$$

단, 여기서는 엘리먼트부착은 무시하며, 막전후의 물질수지를 계산하면 식 (3)이 된다.

$$C_i Q_i = C_p Q_p + C_c Q_c \quad (3)$$

위의 \* (1), (2), (3)식을  $C_i$ 와  $t$ 에 대해서 풀면,

$$C_i = \frac{C_b}{M} \left\{ Q_b - (Q_b - M) \exp\left(-\frac{M}{V} t\right) \right\}$$

$$M = Q_i - B Q_d$$

$$B = \frac{2Q_i - A Q_p}{2Q_c + A Q_p}$$

$$A = 1 - R_{obs}$$

여기서,  $V$ : 원수조 용량

$C_i$ : 공급수농도,

$C_p$ : 여과수농도,

$C_c$ : 농축수농도,

$C_b$ : 원유입수농도

$Q_i$ : 공급수유량,

$Q_p$ : 여과수유량,

$Q_c$ : 농축수유량,

$Q_b$ : 원유입수유량

### 2.3. 운전조건 및 측정항목

트리형배열의 대형나노여과장치에서는 여과수량과 시스템의 회수율을 변화하면서 4계열의 실험을 수행하였다. 실험조건은 Table 2에 나타내었으며, 엘리먼트 회수율의 예측은 2.2.1에서 기술한 방법을 이용하였다.

수질측정을 위해서는 수도수질핸드북에 있는 방법(일본수도신문사, 1996)에 따라 상수에 적합한 시험방법을 채택하여 pH, 전기전도도, Sb, Na, K, Ca,

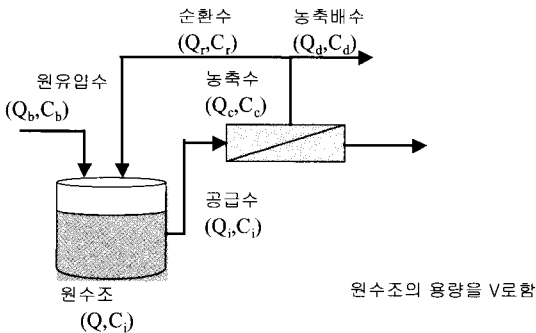


Fig. 3. 순환형식의 소형장치주변의 물질수지.

Table 2. 실험조건

bank 구성	여과수량(m/d)	시스템회수율(%)		
		85	90	95
8-4-2-1(4단계)	0.6	-	1계열	2계열
6-3-1(3단계)	0.8	3계열	4계열	-

Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, E260, TOC, 색도 등을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 장치특성

#### 3.1.1. 평균압력과 여과유량과의 관계

트리형배열에서는 운전을 하면 할수록 여과수의 압력이 높아지고 평균압력에 영향을 미치므로 bank의 평균압력을 실제의 막압차  $\Delta P$ 를 사용하여 나타내었다. 장치의 특성을 파악하기 위해 대형장치와 소형장치 모두 여과수량과 출구농축수량을 변화시키면서 실험을 하였다. 여과수량 0.4m/d, 농축수량 40L/min의 조건에서, 6-3-1(3단계)시스템에서의 막차압과 여과유량과의 관계를 Fig. 4. A-C에 나타내었는데, 실제막차압과 여과유량은 비례관계로 잘 나타났다. Fig. 4. D에서는 소형장치를 이용한 결과를 나타내었는데, 여기서도 평균압력과 여과유량과의 관계는 양호한 직선관계를 나타내었다.

### 3.2. NF막시스템의 수량예측에 대한 타당성검토

실제의 장치에서는 실험조건에 맞추도록 운전을 하더라도 설계시(실험조건)의 조건을 운전시에 정확하게 재현한다는 것은 사실상 불가능하다. 그래서 각 계열의 설계시조건과 운전시의 유속을 조사하여 Fig. 5에 나타내었다. 계열 1, 2는 8-4-2-1(4단계) bank로 구성된 대형나노여과막장치에서, 계열 3, 4는 6-3-1(3단계) bank로 구성된 대형나노여과막장치에서 운전하였다. 운전시의 값은 제어판에 의한 값이며, 제어판은 수동으로 조정하지만 정유량제어를 하였기 때문에 유량계의 값은 항상 일정값을 나타내지는 않는 대신 일정범위를 정해 그것을 만족하도록 하였다.

계열별 각 bank에서의 설계시(Fig. 5에서 -으로 표시)와 운전시(Fig. 5에서 bar표시)의 유량을 보면, 계열 1, 2에서는 3, 4bank의 유량이 감소하였으며, 계

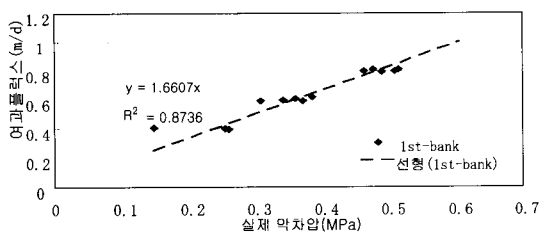


Fig. 4.A. 평균압력과 여과유량과의 관계(제1bank).

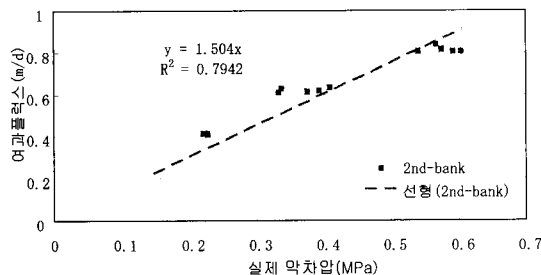


Fig. 4.B. 평균압력과 여과유량과의 관계(제2bank).

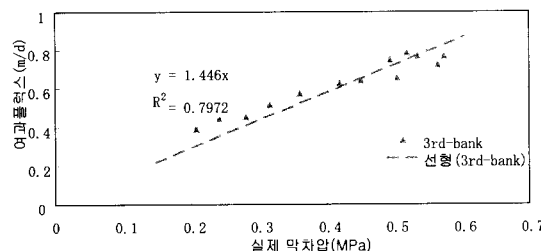


Fig. 4.C. 평균압력과 여과유량과의 관계(제3bank).

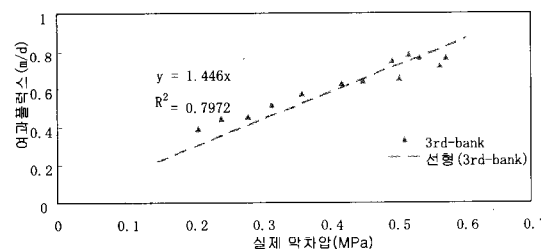


Fig. 4.D. 소형나노여과장치의 평균압력과 여과유량과의 관계.

열 3, 4에서는 3bank의 유량이 감소하였다. 이것은 최종 bank 부근에서 공급수농도가 증가하고 압력이 감소하는 것이 그 원인인 것으로 해석된다. 그러나 각 계열에서의 제1, 2bank의 유량이 다소 높게 나타났으므로, 시스템회수율의 관점에서 보면 수%의 적은 정도에 지나지 않아 전체시스템에 미치는 영향은 적을 것으로 사료된다.

다음에는 운전시의 값을 근거로 각 계열의 각 bank의 엘리먼트 회수율을 계산하였다. 유량에 근거한 계산값이므로 유량의 변화와 유사한 결과를 보였다. 이 또한 각 계열에서의 제1, 2bank의 엘리먼트회수율이 다소 높게 나타났으므로 시스템회수율에는 큰 영향이 없을 것으로 사료된다.

### 3.3. 계산값과 실제 측정값의 비교

각 계열운전에서 실제 측정된 제거율(실측값)과 앞서 2.2에서 기술한 식에 의해 2개의 엘리먼트의 제거율의 평균값을 대입하여 산출한 값(계산값)을 비교하였다. 본 연구서는 시스템회수율( $r_s$ )는 20~95%, flux가 0.6m/d인 계열2의 결과만을 제시하였다. 다른 계열의 결과도 거의 유사하였음을 밝혀둔다. 여러 항목을 측정 및 분석하였는데 그 중에서 E.C.(전기전도도), Na, Cl의 결과를 Fig. 6.1A-C에서 Fig. 6.3A-C에 나타내었다. 6.1은 E.C., 6.2는 Na, 6.3은 Cl를 나타낸다. 또 A는 대형과 소형 나노여과막장치에서의 계산값과 실측값의 제거율을 나타내고, B는 농축수에서의 농도변화, C는 여과수에서의 농도변화를 의미한다.

Fig. 6.1에 나타난 E.C.의 결과를 보면, 농축수 및 여과수의 농도로 계산된 계산값과 실측값은 거의 동일한 값을 나타냄을 알 수 있다. Fig. 6.2에 나타난 Na의 결과를 보면, E.C.와 마찬가지로 계산값과 실측값은 거의 동일한 값을 나타내었다. 단 Fig. 6.3에 나타난 Cl의 경우에는 대형과 소형 시스템 양자에서 계산값과 실측값의 제거율의 차이를 보였다. 그러나 모든 계열에서 유사한 양상을 보였으므로 실험상의 오차가 원인이 될 수도 있었다고 추측된다. 특히 여과수의 농도변화(Fig. 6.3.C)에서는 대형시스템에서의 실측치와 계산치가 큰 차이를 나타내는데, 이것은 대형시스템의 경우, 시스템후단으로 갈수록 물질의 농도가 높아져 제거율이 농도에 의존하기 때문인 것으로 사료된다. 그러므로 대형시스템에서 계산값을 정확히 산정하기 위해서는, 제거율의 농도의존성을 고려하여 대입하는 제거율을 결정하면 실측값과 일치할 것이다. 그러나 본 연구에서 사용한 소형막장치에서의 성능예측을 할 때에는 소형장치만으로는 압력의 차이도 있으므로 농도의존성을 고려하기가 곤란하여 평균제거율을 채택하였다.

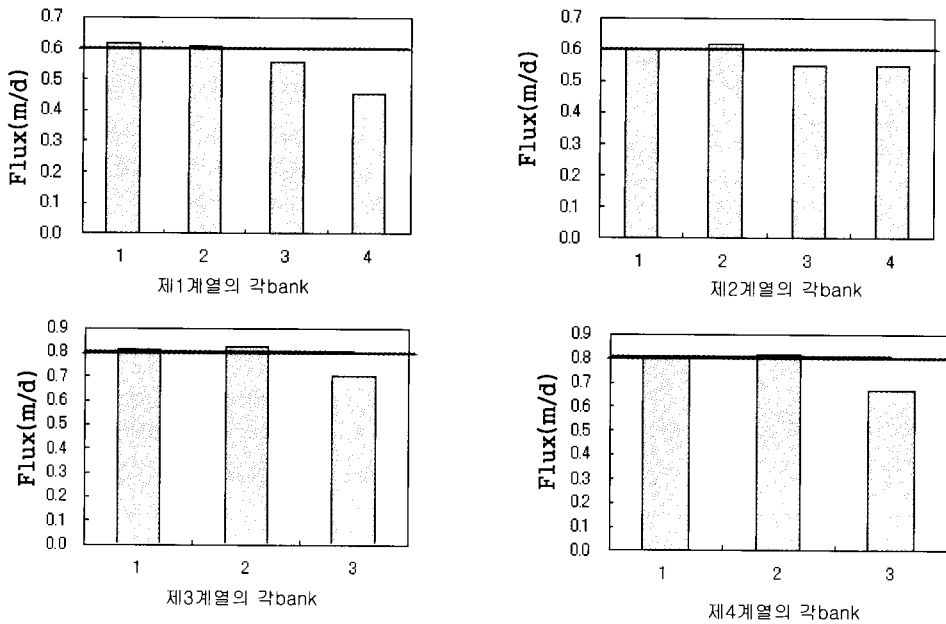


Fig. 5. 계열별 각 bank에서의 설계시와 운전시의 유량(·: 설계시 유량, bar: 운전시 유량).

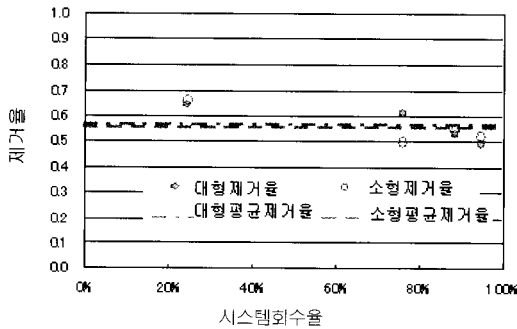


Fig. 6.1.A. 대형 및 소형장치에서의 E.C. 제거율(원수 E.C.: 205  $\mu$ s/cm).

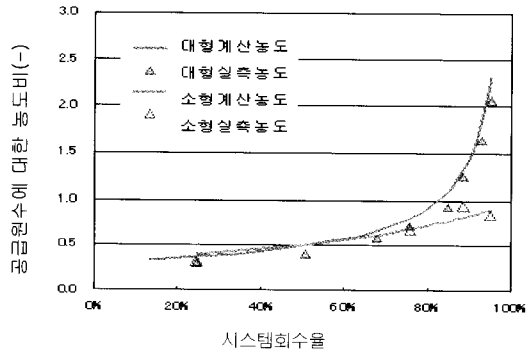


Fig. 6.1.C. 대형 및 소형장치의 여과수중의 E.C. 농도.

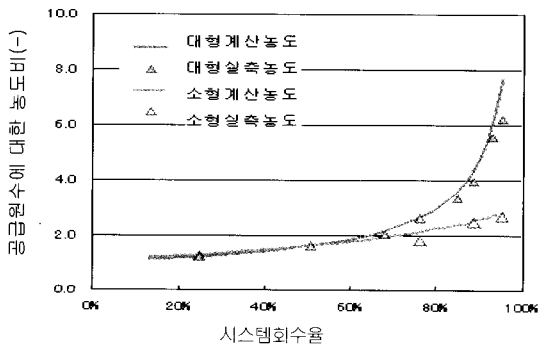


Fig. 6.1.B. 대형 및 소형장치의 농축수중의 E.C. 농도.

대상으로 한 각 수질인자들은 대형장치에서의 제거율과 평균제거율이, 소형장치에서의 제거율과 평균 제거율은 거의 같은 값을 나타냈으며, 이 수질인자들은 농축수와 여과수의 농도변화에 대한 계산값과 실측값의 일치성도 아주 높았다.

### 3.4. 소형장치를 이용한 대형장치의 성능예측

소형장치에 의해 구해진 평균제거율을 이용하여 대형장치의 계산식에 대입하고, 이를 설계시의 농축수와 여과수의 농도계산값과 대형장치에서 실제로 구한 실측값과 비교하였다. 3.3에 그 결과를 나타낸 계

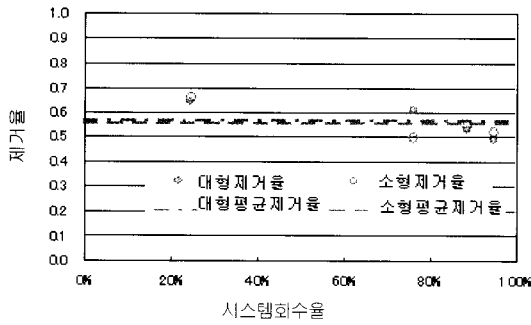


Fig. 6.2.A. 대형 및 소형장치에서의 Na 제거율(원수 Na: 32.0 mg/L).

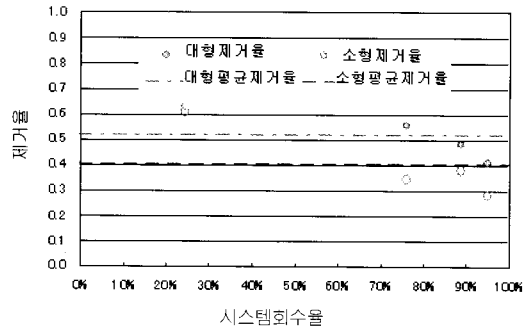


Fig. 6.3.A. 대형 및 소형장치에서의 Cl 제거율(원수 Cl: 28.9 mg/L).

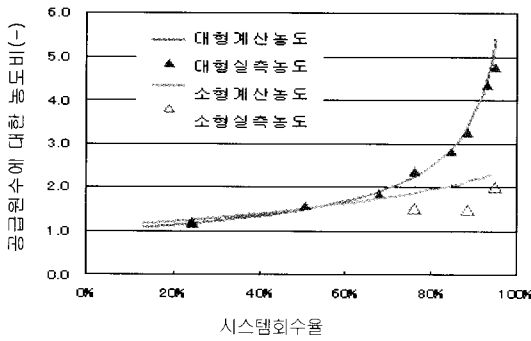


Fig. 6.2.B. 대형 및 소형장치의 농축수중의 Na 농도.

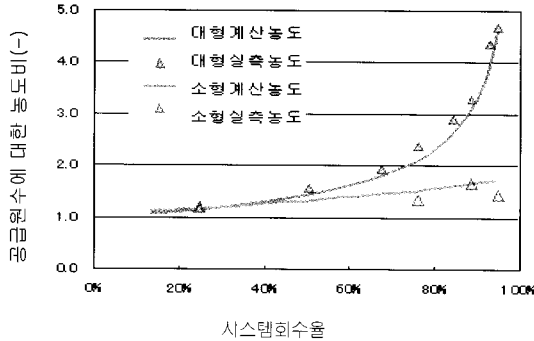


Fig. 6.3.B. 대형 및 소형장치의 농축수중의 Cl 농도.

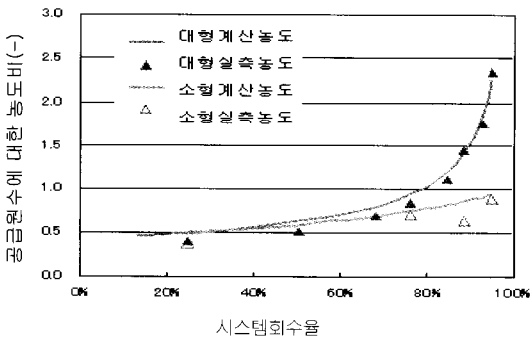


Fig. 6.2.C. 대형 및 소형장치의 여과수중의 Na 농도.

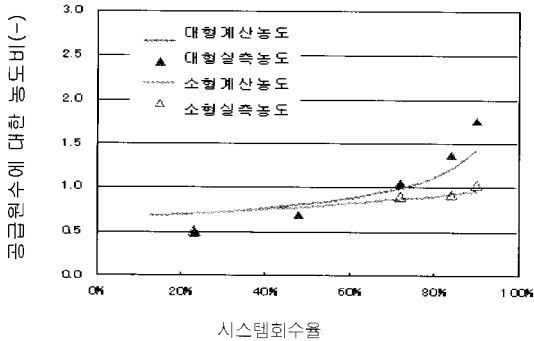


Fig. 6.3.C. 대형 및 소형장치의 여과수중의 Cl 농도.

결과 동일한 시스템을 이용하였으며, 2계열-flux(0.6 m/d)의 결과를 Fig. 7.1~7.4에 나타내었다. 시스템회수율( $r_s$ )은 20~95%로 변화하면서 E.C., Na, Cl 및 Ca의 제거율을 예측하였다. Cl을 제외한 모든 항목에서 실측값과 계산값이 일치하였는데, 이로써 Cl의 경우는 3.3에서 나타난 결과와 마찬가지로 농도의존

성이 높은 제거율을 보이므로 소형장치로 대형장치의 제거효율을 예측하기는 곤란한 점이 있음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 7.3에서 보는바와 같이 계산값보다 실측값이 더 높게 나타났으므로 수중에 공존하는 이온의 영향이 긍정적으로 작용하였음을 알 수 있다. 또 Cl은 파울링의 주요요소가 아니며, 정수수질에도



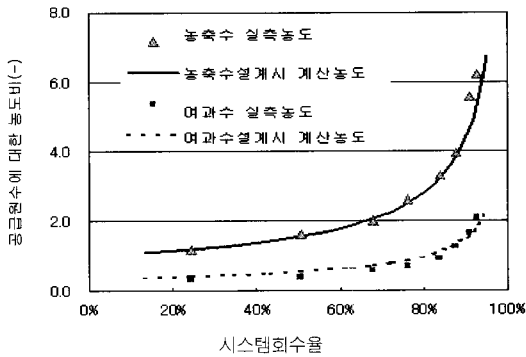


Fig. 7.1. 대형장치에서의 E.C에 대한 실측값과 계산값의 비교 (원수 E.C.: 205  $\mu$ scm).

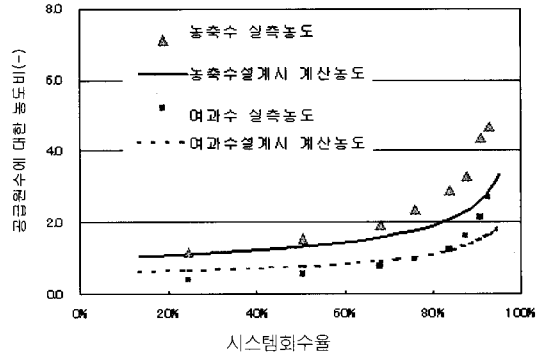


Fig. 7.3. 대형장치에서의 이에 대한 실측값과 계산값의 비교(원수 Cl: 28.9mg/L).

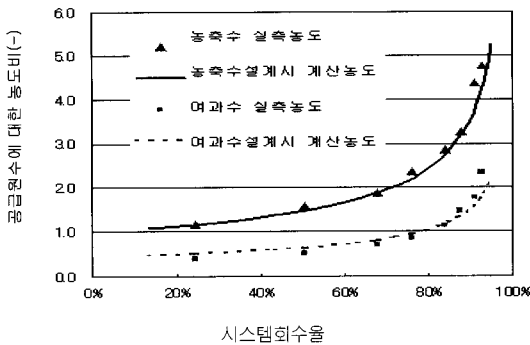


Fig. 7.2. 대형장치에서의 Na에 대한 실측값과 계산값의 비교 (원수 Na: 32.0mg/L).

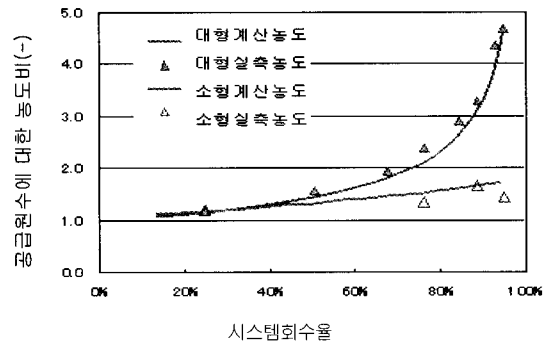


Fig. 7.4. 대형장치에서의 Ca에 대한 실측값과 계산값의 비교 (원수 Ca: 9.5mg/L).

큰 악영향을 미치지 않는다는 관점에서 접근하게 되면, 성능예측을 정확하게 하지 못한다 하더라도 사실상 크게 곤란한 점은 없을 것으로 사료된다.

그러므로 소형장치에서 각 bank의 2개 엘리먼트를 대표하는 수량조건에서 실험을 하여 각물질의 평균값이 구해지면, 대형장치에 의한 계산식에 그 평균값을 대입하여 대형장치에서의 농축수 및 여과수의 수질예측이 가능하다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 소형실험장치에 의한 실험결과에 의해, 엘리먼트 회수율을 일정하게 하는 방법, 즉 압력을 고려하지 않는 계산방법을 이용하더라도 대형장치에서의 총여과수량, 총여과수중의 물질농도는 계산에 의해 산출할 수 있는 것을 보여주었다.

즉 소형장치를 이용한 실험결과로써 트리형배열의

수질예측가능성에 대한 검토를 수행한 결과 다음과 같이 제안된 절차에 의해 그 가능성을 시사하였다.

(1) 엘리먼트 회수율을 일정하게 한 후, 수질계산을 하여 트리형 장치의 각 bank의 각 엘리먼트 회수율을 예측한다.

(2) 트리형 배열의 각 bank의 1bank의 1-2엘리먼트, 2, 3, 4 bank의 4-5엘리먼트에서의 2개 엘리먼트의 회수율과 시스템회수율을 예측하고, 예측에 대응한 수질조건에서 소형장치를 운전한다.

(3) 수질조건에 맞추어 소형장치의 안정시간을 충분히 하여 수질측정을 하고 각 조건에서의 물질종류에 따라 평균제거율을 구한다.

(4) 각 물질의 평균제거율을 대입하여 트리형 배열의 시뮬레이션을 행함으로써 물질별로 각 엘리먼트에서의 여과수 농도와 농축수 농도를 실질적으로 구할 수 있어 수질 예측을 한다.

## 참고문헌

- 강미아, Yasumoto Magara (1999) Nanofiltration을 이용한 정수과정의 유기물처리성평가에 관한 연구. *대한환경공학회지*, **21**(10), pp. 1907-1913.
- 조재원 (2004). *멤브레인공학*. 신광문화사, 서울.
- 水道膜ろ過法入門 (2002), pp. 9-26, 日本水道新聞社, 일본.
- 伊藤雅喜, 國包章一 (1999a), 半回分試験によるナノろ過膜の評価方法: *水道協會雜誌*, **68**(11), pp. 21-31.
- 伊藤雅喜, 國包章一 (1999b), 半回分試験によるナノろ過膜の基礎的性能評價. *水道協會雜誌*, **68**(12), pp. 29-41.
- Amy, G.L., Alleman, B.C., Cluff, C.B. (1990) Removal of dissolved organic matter by nanofiltration, *J. Envir. Engrg.*, **116**(1), pp. 200-205
- Blau, T.J., Taylor, J.S., Morri, K.E., Mulford, L.A. (1992), DBP control by nanofiltration: Cost and performance. *J. AWWA*, **84**(12), pp. 104-116.
- Fu, P., Ruiz, H., Thompson, K., Spangenberg, C. (1994) Selecting membranes for removing NOM and DBP precursors. *J. AWWA*, **86**(12), pp. 55-72.
- Meea Kang, Muzuo Kawasaki, Sinya Tamada, Tasuku Kamei and Yasumoto Magara (2000) Effect of pH on the removal of arsenic and antimony using reverse osmosis membranes. *Desalination*, **131**(1), pp. 293-298.
- M.Itoh, S. Kunikane, Y.Magara (2001) Evaluation of nanofiltration for disinfection by-products control in drinking water treatment. *Water Science and Technology: Water Supply*, **1**(5/6), pp. 233-243.
- Magara, Y., Kunikane, S., Itoh, M. (1998) Advanced membrane technology for application to water treatment. *J. Membr. Sci.*, **37**(10), pp. 91-99.
- Sato Yuko, Meea Kang, Tasuku Kamei, Yasumoto Magara (2002) Performance of nanofiltration for arsenic removal. *Water Research*, **36**(6), pp. 3371-3377.