멤브레인(Membrane Journal)
Vol. 22, No. 2 April, 2012, 135-141

# 세라믹 정밀여과막 공정을 위한 최적 응집조건

임 재 림† · 이 경 혁 · 이 영 주 · 박 종 율*

한국수자원공사 K-water 연구원, *Metawater 서울사무소
(2012년 4월 16일 접수, 2012년 4월 27일 수정, 2012년 4월 27일 채택)

# Optimum Coagulation Conditions for Ceramic Microfiltration Membrane Process

**Jae-Lim Lim†, Kyung-Hyuk Lee, Young-Joo Lee, and Jong-Yul Park***

Water Research Center, K-water Institute, 462-1 Jeonmin-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea
*Metawater Seoul Office, Rm 1305 Kwanghwamun Officia B/D, Sinmoon-ro 1ga, Jongro-gu, Seoul, Korea
*(Received April 16, 2012, Revised April 27, 2012, Accepted April 27, 2012)*

요 약: 본 연구는 Y 정수장의 세라믹 정밀여과막 공정을 위한 최적의 응집 조건을 도출하고자 수행되었다. 쟈테스트 결과 Y댐 원수의 pH를 7로 조정 시 응집효율이 가장 우수하였으며, 원수 탁도가 10 NTU 이하인 평상시 탁도 조건하에서 최적 응집제 주입량은 3 mg/L (as $Al_2O_3$)인 것으로 나타났다. 최적 응집제를 선정하기 위하여 응집제 종류(PAC, PACS (II), PAHCS)별로 미니모듈 실험장치를 이용하여 평가한 결과 PAC를 주입하고 원수 pH를 7로 조정한 경우 비여과유속 감소율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 원수 탁도를 10～150 NTU로 변화시키며 미니모듈에서 비여과유속 감소율을 평가한 결과 원수탁도 10～30 NTU 조건에서는 응집제 주입량 증가에 따라 비여과유속 감소율이 크게 감소하였으나 원수탁도가 50 NTU 이상에서는 응집제 주입량을 증가시켜도 비여과유속 감소율에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 Y 정수장을 위해서는 원수탁도 10 NTU 이하에서는 PAC (11% as $Al_2O_3$) 30 mg/L, 10～50 NTU에서는 30～50 mg/L, 50 NTU 이상에서는 50 mg/L이 적절하다.

**Abstract:** This study was carried out to find the optimum coagulation conditions for ceramic microfiltration process of Y water treatment plant. When pH of raw water from Y Dam was adjusted to 7, the efficiency of coagulation was the best and the optimun dosage of coagulant was 3 mg/L(as $Al_2O_3$) for turbidity of raw water less then 10 NTU in Jar test. In mini module test, the decay rate of specific flux was the lowest when PAC (poly Aluminum Chloride) was used among coagulants and pH was adjusted to 7. The decay rate of specific flux for raw water turbidity of 10～30 NTU was greatly decreased with increase of dosage of coagulant (PAC) while the rate was not significantly decreased for turbidity more than 50 NTU. In conclusion, the optimum dosage of PAC (11% as $Al_2O_3$) was 30 and 50 mg/L for raw water turbidity of less than 10 NTU and more than 50 NTU, respectively. The dosage of PAC should be increased linearly 30 to 50 mg/L depending on raw water turbidity of 10 to 50 NTU.

***Keywords***: *ceramic microfiltration membrane, coagulation, TMP, specific flux*

## 1. 서 론

정밀여과막 공정의 전처리로 응집공정 도입은 물속의 자연유기물질(Natural Organic Matter, NOM)을 감소시켜 막오염을 감소시킴으로써 막의 투과속도를 증가시키는 것으로 알려졌다[1-3]. 즉, 응집을 정밀여과 공정의 전 단계에 도입 시 플록의 크기가 증가하여 막 표면에 쌓이는 케이크층의 여과저항을 감소시킬 수 있고, 비가역적 막 오염물질인 용존 유기물을 플록 안에 고정화시킬 수 있어 이로 인한 막오염을 감소시켜 막의 투과 속도를 증가시킬 수 있는 것으로 보고되었다[4-6]. 또한 막여과 단독 운전의 경우에 비해서 유기물 제거효율이 향상되어 소독 부산물(DBPs)의 전구체인 Humic 성분의 제거도 일부 가능한 것으로 알려졌다[2,7].

†교신저자(e-mail: jllim@kwater.or.kr)

Lee 등(2000)은 응집 전처리로 투과 플럭스가 향상되는 원인으로 크게 3가지를 제시하였다. 첫째는 장기 운전 시 비가역적 막오염을 일으키는 용존 유기물(DOM)을 응집에 의해 막세공으로의 접근, 투과를 감소시키기 때문이며, 둘째는 크기가 큰 플록이 형성되어 막표면의 케이크 층의 비저항이 감소하기 때문이라고 하였다. 그러나 입자의 크기 이외에 케이크의 조밀성이 비저항에 영향을 줄 수 있는데 응집제 혹은 미세 플록이 큰 플록 사이에 형성된 공극을 채우게 되면 조밀성이 증가해 오히려 비저항이 증가하게 된다. 셋째는 응집에 의하여 입자의 크기가 커지면 역수송 속도가 증가하여 막표면에 쌓이는 케이크층이 감소하기 때문인 것으로 보고하였다[8].

혼화 · 응집-정밀여과 공정에서는 기존의 혼화 · 응집-침전-모래여과 공정에서와 같이 침강성이 좋은 플록을 얻는 것이 필수조건이 아니라 막 오염을 최소화 시키는 혼화 · 응집공정이 필요하다. 따라서 정밀여과막과 한외여과막을 위한 응집조건을 도출하기 위하여 급속혼화 방식과 응집제 종류 등에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 이들 연구결과들[8,9]부터 응집-정밀여과 공정에서는 sweep coagulation 조건보다는 전하중하 조건이 막여과 공정의 효율 면에서 우세하다는 것이 보고되었다.

한편 Y 정수장의 수원으로 알려진 Y댐은 규모가 작고, 운전기간동안 댐 방류량이 적어서, 조류 발생이 많고, 유기물 중 polysaccharide가 다른 원수와 비교해서 상대적으로 많은 특성을 지니고 있다. 특히 Polysaccharide 성분은 응집이 잘 되지 않기 때문에 응집제 소모량이 많은 것으로 보고되고 있다. 알루미늄 계열의 응집제를 과량 주입할 경우 잔류알루미늄이 막오염을 일으키고, 관리비가 높아져서 경제성이 낮아지게 된다. 따라서 막간차압에 영향을 주지 않으면서 응집제 주입량을 최소화 할 수 있는 최적의 응집 조건을 찾는 것이 무엇보다도 중요하다.

일반적으로 응집에 영향을 미치는 대표적인 요인은 응집제 종류, 응집 pH 및 응집제 주입량 등이다. 따라서 본 연구는 전오존-응집-세라믹 정밀여과-입상활성탄 공정으로 구성된 Y 정수장의 세라믹 정밀여과막 공정을 위한 최적 응집 조건을 도출하고자 수행되었다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험장치

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 본 실험에 이용된 미니모듈

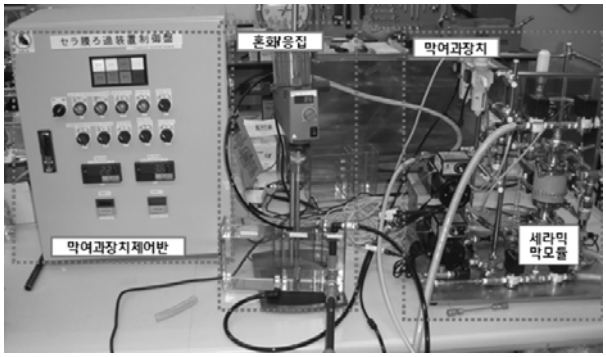


**Fig. 1.** Mini module test equipment.

**Table 1.** Specification of Ceramic Membrane Module

| | Mini module | CFL2KHM-010N module |
|---|---|---|
| 공칭공경(μm) | 0.1 | 0.1 |
| 모듈 크기(mm) | $\phi$30 × L100 | $\phi$180 × L1500 |
| 채널직경(mm) | 2.5 | 2.5 |
| 채 널 수 | 61 | 2000 |
| 막면적($m^2$) | 0.048 | 25 |
| 막의 형태 | Monolith type | Monolith type |

실험장치는 막여과시설 제어반, 혼화/응집 시설, 막여과 시설로 구성되어 있다. 막여과 시설에 장착된 미니모듈은 실제 Y 정수장에 도입되는 세라믹 정밀여과막과 동일한 재질의 막으로서 막면적이 0.048 $m^2$이고 공칭공경이 0.1 μm인 모노리스형 모듈이다(Table 1). 혼화/응집 시설에는 G (속도구배)값을 조절할 수 있도록 교반기가 설치되어 있고, 펌프의 작동과 막여과 운전은 PLC (Programmable logic controller)를 통해 자동으로 제어된다. 실제 세라믹 막여과 시설과 마찬가지로 미니모듈 장치도 급수 → 여과 → 역세척 → 감압 → 급수 순으로 진행되며, 실제 시설과 동일한 방식으로 운전되도록 제작되었다.

Y 정수장에 도입되는 실제 세라믹막모듈(NGK, 모델명 : CFL2KHM-010N)이 설치된 모형플랜트는 처리용량이 125～175 $m^3$/일로서 두 계열로 구성되어 있다. 한 계열은 Y 정수장에 도입되는 전오존-혼화/응집-세라믹막여과-입상활성탄 공정으로 구성되어 있으며, 나머지 한 계열은 혼화/응집-세라믹막여과 공정으로 구성되었다. 본 실험에는 혼화/응집-세라믹막여과 공정으로 구성된 시설을 이용하였으며, 한 계열에는 2개의 세라믹막모듈이 설치되어 있고, 혼화/응집 반응조에는 G값을 조절할 수 있는 기계식 교반장치(back mixer)가 설치되어 있다. 모형플랜트에 설치된 세라믹막의 상세 사양은 Table 1에

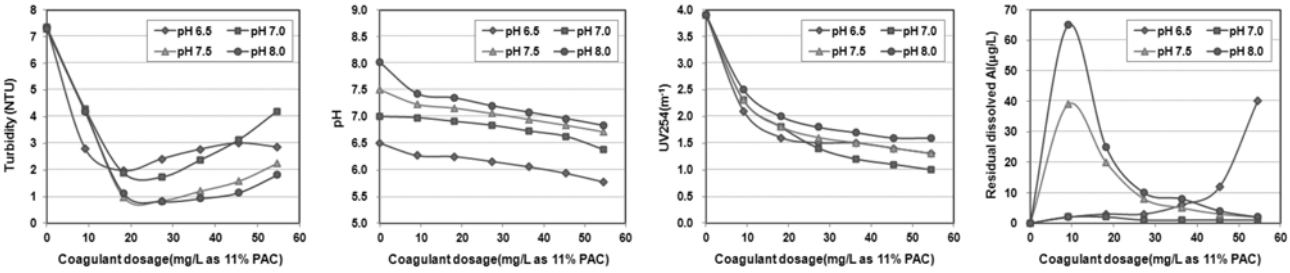


**Fig. 2.** Variation of turbidity, pH, UV254, Al concentraion according to dosage of coagulant and pH of raw water.

정리된 바와 같다.

모형플랜트 운전방식은 실제시설과 동일하게 급수 → 여과 → 역세척 → 감압 → 급수 순으로 진행되며, 하루에 1회 200 mg/L 차아염소산나트륨 또는 1,500 mg/L 황산으로 번갈아 유지세척(Chemically Enhanced Backwash, CEB)을 실시하였다. 일반적인 고분자 재질의 막과는 달리 역세탱크에서 가압된 고압수(500 kPa)를 이용하여 역세척하며, 200 kPa의 압축공기를 이용하여 3초 내에 역세척시 탈리된 오염물질을 배출시킨다. 유지세척도 역세척과 동일한 방법으로 진행되나 역세척과는 달리 15분간 약품용액에 침지시키는 과정이 포함되어 있다.

### 2.2. 실험방법

자테스트에서 최적 응집 pH와 응집제 주입량을 찾기 위해 황산($H_2SO_4$)과 수산화나트륨(NaOH)을 사용하여 원수 pH를 6.5, 7.0, 7.5, 8.0으로 각각 조정하고, 응집제(11% PAC)주입량별(9, 18, 27, 36, 45, 54 mg/L)로 실험하였다. 혼화·응집조건은 급속 1분(250 rpm), 완속 15분(30 rpm), 침전 30분이었으며, 침전 후 상등수의 탁도, UV254, pH, 잔류용존 Al 등을 측정하여서 응집 효율을 비교하였다.

자테스트를 통해 선정된 최적 응집 조건이 세라믹 막여과 전처리 조건으로서 적절한지 검증하기 위해 미니모듈 실험장치를 이용해 투과성 테스트를 실시하였다. 동시에 최적 응집제 종류도 선정하기 위하여 기존에 사용하고 있는 PAC (11% $Al_2O_3$, 비중 1.19)와 함께 고염기도 응집제인 PACS(II) (12.5% $Al_2O_3$, 비중 1.2)와 PAHCS (10% $Al_2O_3$, 비중 1.2)를 $Al_2O_3$ 기준으로 3 mg/L를 주입하며 비여과유속 감소율을 비교하였다. 정유량 전량여과(Dead-end) 방식으로 운전하였고, 막오염을 빠르게 발생시키기 위하여 여과유속을 Y 정수장 설계치인 2.5 $m^3/m^2$·일의 2배인 5 $m^3/m^2$·일로 운전하였다. 전처리 응집조건은 급속혼화만 5분 실시하였고 이때 G 값은 240 $sec^{-1}$이었다. 고탁도 유입시 최적 응집제 주입량을 선정하기 위하여 태풍으로 원수탁도가 높아졌을 때 채수한 원수를 사용하여 탁도를 10～150 NTU로 변화시키며 자테스트와 미니모듈 실험장치를 이용해 투과성 테스트를 실시하였다.

모형플랜트 응집시설은 실제 시설에 설계된 조건인 급속혼화(G = 240 $sec^{-1}$) 5분 후 완속교반(G = 50 $sec^{-1}$) 15분간 처리된 물은 세라믹 막여과 시설에서 120분간 2.5 $m^3/m^2$·일의 여과유속으로 전량여과방식으로 여과되었다. 응집효율을 향상시키기 위하여 황산을 이용하여 원수 pH를 7로 조정하였고, 원수탁도에 따라 응집제 주입량을 30～50 mg/L로 변경 주입하며 막간차압의 변화를 살펴보았다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 세라믹 정밀여과막 공정을 위한 최적 응집조건 선정

세라믹 정밀여과막 공정을 위한 최적 응집조건을 도출하기 위하여 우선적으로 Y 정수장 실시설계시 응집제로 선정된 PAC를 사용하여 자테스트를 실시하였다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 원수 탁도 7.4 NTU 조건하에서 PAC를 25～35 mg/L (11% $Al_2O_3$,) 주입하였을 때 탁도 제거율이 가장 높게 나타났는데, 그 이하로 주입 시에는 플록이 잘 형성되지 않고, 그 이상 주입 시에는 플록은 형성되나 잘 가라앉지 않는 특성을 나타냈다. 특히, pH 8 조건하에서 가장 우수한 탁도 제거율을 나타냈다. 유기물의 지표인 UV254의 경우 모든 pH 조건하에서 주입량이 증가할수록 값이 낮아지는 경향을 나타내었으며, 탁도와는 달리 pH 7 조건하에서 감소율이 가장 높았다.

Fig. 2에서 pH 6.5 조건하에서는 응집제 주입량이 최적 주입량 이상으로 주입시 탁도 뿐만 아니라 잔류 알루미늄 농도도 크게 증가하였다. pH 7 조건하에서는 응집제 주입량에 무관하게 잔류 용존 알루미늄이 거의

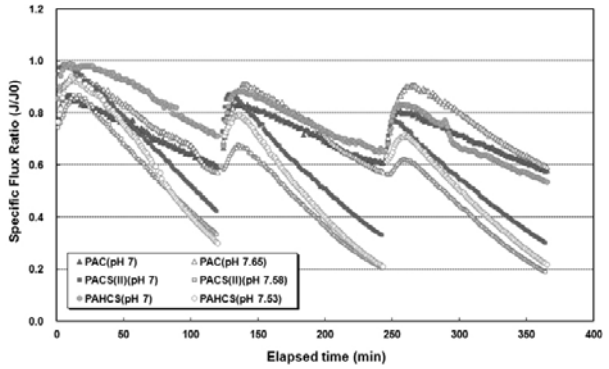


**Fig. 3.** Change of specific flux according to the type of coagulants and pH of raw water in mini module test (J : specific flux for target water, $J_0$ : specific flux for pure water).

검출되지 않았으나, pH 7.5와 8에서는 응집제 주입량이 낮을 때 오히려 높은 농도의 알루미늄이 잔류하는 것으로 나타났다. 쟈테스트 결과를 종합해볼 때 완전한 플록형성을 필요로 하지 않는 막여과 공정을 위해서는 Y 댐 원수의 pH를 7로 조정 시 응집효율이 가장 우수하며, 아울러 원수 탁도가 10 NTU 이하인 평상시 탁도 조건하에서 최적 응집제 주입률은 PAC (11%)준으로 30～35 mg/L임을 알 수 있다.

따라서 쟈테스트 결과를 근거로 미니모듈 장치를 이용하여 응집제 종류별로 $Al_2O_3$ 기준으로 3 mg/L를 주입하고, pH 7 조정 유무에 따른 막여과 유속을 비교하였다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 PAC (11%)와 PAHCS (10%) 응집제를 주입한 경우 pH를 7로 조정한 것이 조정하지 않은 것(pH 7.58～7.65)보다 순수 대비 원수의 비여과유속(specific flux, 막여과 유속을 보정차압으로 나눈 값) 비($J/J_0$, J : 대상 원수에 대한 비여과유속, $J_0$ : 순수에 대한 비여과유속)의 감소율이 낮은 것으로 나타났으며, 특히 PAHCS를 주입한 경우 매우 큰 차이를 보여 pH 조절이 막여과 측면에서 매우 중요함을 알 수 있었다. 반면에 PACS(II) (12.5%)의 경우에는 원수 pH 조정에 따른 효과가 거의 나타나지 않았다. 즉, 비여과유속의 경우 초기 수 분 동안 여과유속이 증가한 후 감소하는 것으로 나타났는데 감소하기 시작하는 지점을 기준으로 비여과유속 비의 감소율을 계산해본 결과 Y 정수장의 수질 특성상 PAC를 주입하고 원수 pH를 7로 조정한 경우 가장 작은 것으로 나타났다.

막여과수에 대해 UV254와 잔류 알루미늄을 측정한 결과 pH 7로 조정하였을 때 UV254 값과 잔류 알루미늄 농도가 가장 낮은 것으로 나타나 앞선 쟈테스트 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 응집제 중에서도 PAC를 사용하였을 때 가장 좋은 수질을 나타냈다. 결론적으로 Y 정수장 세라믹 정밀막여과 공정을 위해 가장 효과적인 응집제는 PAC이며, pH를 7로 조정하는 것이 막간차압의 안정성 측면에서 유리하다고 볼 수 있다(Table 2).

**Table 2.** Decay Rate of Specific Flux Ratio According to the Type of Coagulants and pH of Raw Water in Mini Module Test

| | PAC | | PACS (II) | | PAHCS | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | pH 7 | pH 7.65 | pH 7 | pH 7.58 | pH 7 | pH 7.53 |
| 1차 ($min^{-1}$) | 0.0025 | 0.0036 | 0.0052 | 0.0053 | 0.003 | 0.0067 |
| 2차 ($min^{-1}$) | 0.0023 | 0.0035 | 0.0049 | 0.0047 | 0.0023 | 0.0057 |
| 3차 ($min^{-1}$) | 0.0022 | 0.0033 | 0.0042 | 0.0044 | 0.0029 | 0.0048 |
| 평균 | 0.0023 | 0.0035 | 0.0048 | 0.0048 | 0.0027 | 0.0057 |

### 3.2. 고탁도 유입시 최적 응집제 주입량 결정

세라믹 정밀막여과 공정을 도입한 Y 정수장을 설계할 당시 최고 탁도는 50 NTU 이하였으나 최근 여름철 잦은 태풍발생과 집중호우로 인하여 최고 탁도가 50 NTU를 크게 상회하는 사례가 모형플랜트 운영기간동안 발생하였다. 이때 탁도물질이 Y 댐에 유입되면서 탁도와 함께 유기물질 농도도 높아져 기존의 응집제 주입량인 30 mg/L (11% PAC)에서 모형플랜트 세라믹 정밀여과막의 막간차압이 상승되었으나, 응집제 주입량을 증가시킨 결과 안정화되는 것을 관찰할 수 있었다(3.3장에서 상세 언급). 따라서 Y 정수장의 세라믹막여과 공정의 경우 탁도 비례 응집제 주입량 설정이 가능할 것으로 판단되어 쟈테스트와 미니모듈 테스트를 실시하였다. 실험에 사용된 원수는 태풍의 영향으로 원수 탁도가 높아졌을 때와 낮아졌을 때 채취한 것으로 실제 Y 정수장의 원수조건이라고 볼 수 있다.

Table 3은 탁도에 따른 원수 수질 특성을 나타낸 것으로서 탁도가 높아짐에 따라 UV254 값뿐만 아니라 철, 망간의 농도도 높아지는 경향을 나타내었다. 특히, 망간의 경우 용존망간보다는 주로 고형망간 농도가 증가하였다.

우선적으로 원수 탁도에 따른 응집의 특성을 알아보기

**Table 3.** Characterization of Water Quality according to Raw Water Turbidity

| 탁도(NTU) | UV254($cm^{-1}$) | 철(mg/L) | 망간(mg/) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 총 | 용존 |
| 13.9 | 0.064 | 0.18 | 0.064 | 0.011 |
| 23.5 | 0.071 | 0.29 | 0.09 | 0.01 |
| 32.4 | 0.068 | 0.31 | 0.119 | 0.02 |
| 54.5 | 0.072 | 0.49 | 0.151 | 0.015 |
| 71.8 | 0.081 | 0.51 | 0.192 | 0.028 |
| 109 | 0.087 | - | - | - |
| 151 | 0.096 | - | - | - |

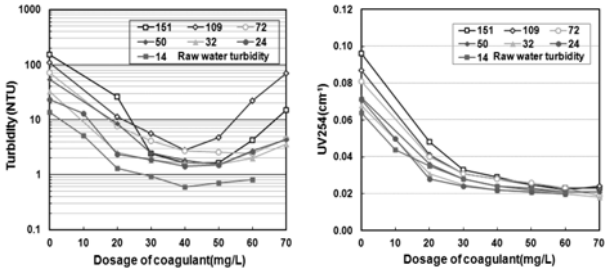


**Fig. 4.** Variation of residual turbidity and UV254 according to turbidity of raw water & dosage of coagulant in Jar test.

위해 자테스트를 실시하였다. 이때 사용한 응집제는 이전 응집제별 실험을 통해 최적으로 판단되어진 PAC (11% as $Al_2O_3$)를 사용하였다. 원수의 pH가 탁도에 따라서 7.0～7.2 범위를 나타내 별도로 pH 조정을 실시하지 않았다.

Fig. 4는 탁도별로 각각 자테스트를 실시한 결과를 보여주고 있는 것으로서 탁도가 증가할수록 최적 응집제 주입량 범위가 증가하는 것을 알 수 있으나 대체적으로 30～50 mg/L에서 탁도제거율이 높은 것을 알 수 있다. 한편 유기물 농도와 관련 있는 UV254 값은 응집제 주입량이 증가할수록 값이 낮아지는 것으로 나타났다.

자테스트 결과를 토대로 원수 탁도 10, 20, 30, 50, 70, 100, 150 NTU에 대해 응집제 주입량에 따른 시간별 막여과유속(flux)을 미니모듈 장치를 이용하여 측정한 결과 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 원수 탁도 10 NTU에서는 응집제 주입량이 40 mg/L일 때 시간에 따른 비여과유속 비의 감소율이 평균 0.0004 ($min^{-1}$)로 가장 적어 10 NTU 탁도 조건하에서 최적 주입량인 것으로 나타났다.

Fig. 6은 10 NTU와 동일한 방식으로 탁도별(10～

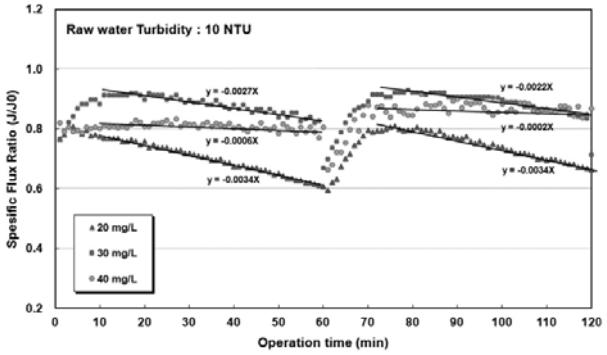


**Fig. 5.** Variation of specific Flux ($J/J_0$) according to dosage of coagulant for 10 NTU (J : specific flux for target water, $J_0$ : specific flux for pure water).

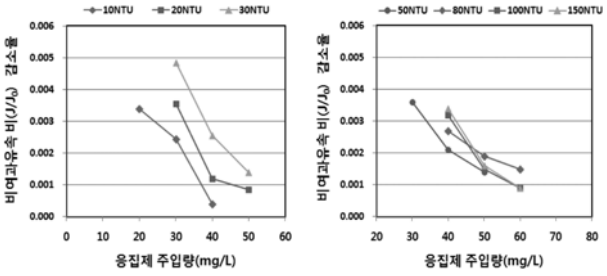


**Fig. 6.** Decay rate of specific flux ratio according to turbidity and dosage of coagulant (J : specific flux for target water, $J_0$: specific flux for pure water).

150 NTU) 응집제 주입량을 변경시켜 실험한 결과를 정리한 것으로서 응집제 주입량이 증가할수록 비여과유속 감소율이 감소하는 것으로 나타났다. 앞선 자테스트 결과에서 볼 수 있듯이 일반적으로 응집제가 과량으로 주입될 경우 탁도제거율이 오히려 감소하고, 잔류알루미늄 농도가 증가하는 반면에 유기물 제거율은 응집제 주입량이 증가할수록 증가한다. 따라서 고분자 재질의 정밀여과막 공정에서 과량의 응집제가 주입될 경우 잔류 알루미늄으로 인한 막 파울링이 일어나 적절한 양의 응집제 주입이 중요한 것으로 알려졌다[10]. 그러나 Y 정수장에 도입된 세라믹 정밀여과막은 역세척 방식이 고분자막과는 달리 5 bar의 고압수를 이용하기 때문에 역세척 과정에서 잔류 응집제로 인한 파울링이 효과적으로 제거되며, 응집제 주입량이 증가할 경우 유기물 제거율이 높아 이로 인한 파울링이 감소하기 때문에 응집제 주입량이 증가할수록 비여과유속 감소율이 감소한 것으로 사료된다.

원수탁도 10～30 NTU 조건에서는 동일한 응집제 주입량에서 비여과유속 감소율이 탁도가 증가할수록 크게

감소하고, 응집제 주입량 증가에 따라 비여과유속 감소율이 크게 감소하였다. 반면에 원수탁도가 50 NTU 이상에서는 응집제 주입량이 증가할수록 비여과유속 감소율이 감소하나 원수탁도에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 이러한 결과는 원수탁도가 10～30 NTU인 조건하에서 탁도증가에 따라 응집제 주입량을 비례적으로 증가시키는 것이 필요하며, 50 NTU 이상에서는 탁도가 증가하여도 일정량 이상 과도하게 응집제를 주입할 필요가 없다는 것을 의미한다.

응집제 주입량을 증가시킬수록 비여과유속 감소율이 감소하나 응집제를 과다하게 주입시 막여과수의 잔류알루미늄 농도가 수질기준치(0.05 mg/L) 이상으로 검출될 우려가 있고, 응집제 비용도 높기 때문에 경제성 등을 고려하여 응집제를 주입해야 한다. 계절적으로 원수 수질이 변하기 때문에 최적 응집제 주입량이 금번 실험결과와 동일하게 나타나지는 않겠지만, 고탁도가 유입되는 시기는 폭우와 태풍의 영향을 받는 7～9월 사이로서 유사한 결과를 나타낼 것으로 추측된다. 따라서 금번 실험결과들을 바탕으로 막여과 장치에서 탁도에 비례하여 응집제 주입량을 설정하면 고탁도가 유입되는 시기에도 비교적 안정적으로 자동 운전이 가능할 것으로 사료된다.

즉, Fig. 7은 탁도 비례 응집제 주입량 설정 화면으로 X축은 탁도, Y축은 응집제 주입량을 나타낸 것으로 앞선 실험 결과를 바탕으로 X1은 10 NTU, X2는 50 NTU로 설정하고, Y1은 30 mg/L, Y2는 50 mg/L로 설정할 수 있다. 향후 설정치를 변경한 후 고탁도가 유입되었을 때, 차압 변화를 확인하여 실험을 검증 및 보완할 경우 Y정수장 세라믹막여과 공정에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3. 응집제 주입량과 막간차압의 변화

본 장에서는 모형플랜트에서 실제 고탁도가 유입되었을 때 응집제 주입량에 따른 막간차압 변화를 살펴보았다. Fig. 8은 7월 장마기간 중 원수 탁도 증가에 따른 막간차압변화를 나타낸 것으로서 2010년 7월 11일 원수 탁도가 25 NTU 이상으로 증가하자 유지세정 후 보정차압이 제대로 회복되지 않고 증가하는 경향을 나타냈으나 응집제 주입량을 30에서 40 mg/L로 증가시킨 결과 상승하던 보정차압이 감소하였다. 7월 14일 원수탁도가 다시 30 NTU 이상으로 유입되어 일시적으로 보정차압이 증가하였으나 탁도가 감소됨에 따라 보정차압이 다시 안정성을 되찾았다.

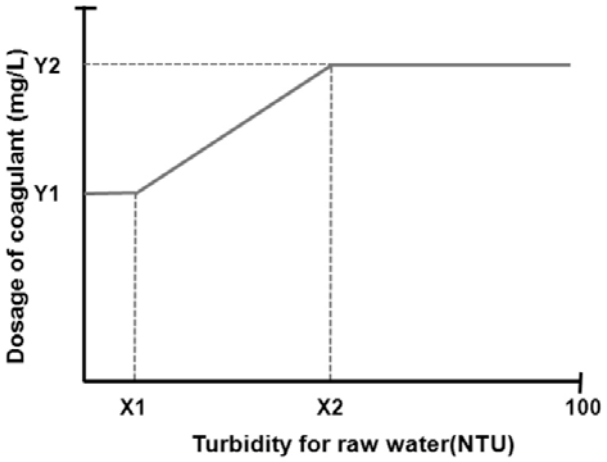


**Fig. 7.** Determination of coagulant dosage according to raw water turbidity for Y water treatment plant.

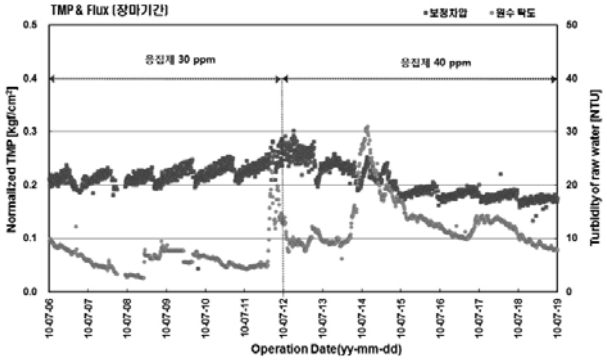


**Fig. 8.** Variation of normalized TMP according to raw water turbidity and dosage of coagulant during rainy season (2010. 7).

9월 초에 다시 태풍 말로의 영향으로 원수 탁도가 70 NTU (온라인 계측기가 아닌 실제 측정시 최고 154 NTU) 이상으로 증가함에 따라 보정차압이 급격하게 증가하였으나 응집제 주입량을 30에서 50 mg/L로 증가시킨 결과 보정차압이 빠르게 회복되었다(Fig. 9). 이후 탁도가 30 NTU 이하로 감소된 시점에 응집제 주입량을 40 mg/L로 감소시키자 초기에 보정차압이 다소 증가하는 경향을 나타내었으나 서서히 회복되는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 원수 탁도가 증가시 입자성물질 뿐만 아니라 유기물질의 농도가 높아지며 이로 인하여 세라믹막의 보정차압이 크게 증가하나 앞선 장에서 제시된 탁도 비례 응집제 주입량 프로그램을 이용하여 탁도에 비례하여 응집제 주입량을 적절하게 증가시킬 경우 고탁도 시기에도 세라믹 막여과 공정을 안정적으로 운영할

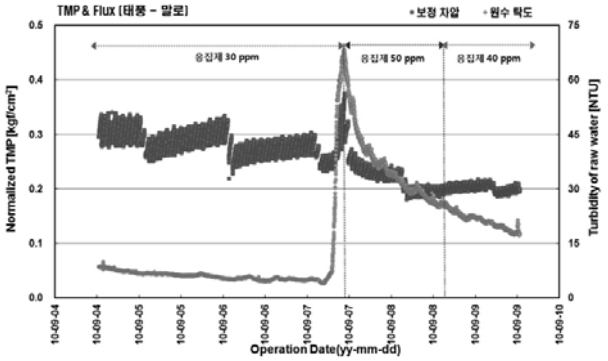


**Fig. 9.** Variation of normalized TMP according to raw water turbidity and dosage of coagulant during Typoon Mallo (2010. 9).

수 있음을 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

본 연구는 전오존-응집-세라믹 정밀여과-입상활성탄 공정으로 구성된 Y 정수장의 세라믹 정밀여과막 공정을 위한 최적의 응집 조건을 도출하고자 수행되었으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 대청댐과 용담댐과 비교시 수질이 상대적으로 좋지 않은 Y댐수를 원수로 사용하는 Y 정수장 세라믹 정밀여과막 공정을 위한 최적 응집제는 PAC (poly aluminium chloride)이며, 막간차압 안정성을 위해서 원수 pH를 7로 조정하는 것이 유리하다.

2) 원수 탁도가 증가시 입자성 물질 뿐만 아니라 유기물질의 농도가 높아지며 이로 인하여 세라믹 막의 막간차압이 크게 증가하나 탁도에 비례하여 응집제 주입량을 적절하게 증가시킬 경우 고탁도 시기에도 세라믹 막여과 공정을 안정적으로 운영할 수 있다. 즉, Y 정수장의 경우 10 NTU 이하의 평상시 탁도 조건하에서는 PAC (11% as $Al_2O_3$) 30 mg/L이 최적 주입량이다. 반면에 10～50 NTU의 고탁도 조건하에서는 탁도에 따라 비례적으로 30～50 mg/L를 주입하는 것이, 50 NTU 이상에서는 탁도와 무관하게 50 mg/L를 주입하는 것이 바람직하다.

## 참 고 문 헌


1. V. Lahoussine-Turcard, M. R. Wiesner, J. Y. Botterro, and J. Mallevialle, “Coagulation-flocculation with aluminium salts: influence on the filtration efficacy with microporous membranes”, *Wat. Res.*, **26(5)**, 695 (1992).
2. S. J. Juddi and P. HillisS, “Optimisation of combinded coagulation and microfiltration for water treatment”, *Wat. Res.* **35(12)**, 2895 (2001).
3. Y. Magara, S, Kunikane, and M. Itoh, “Advanced membrane technology for application to water treatment”, *Wat. Sci. Technol.,* **37(10)**, 91 (1998).
4. M. H. Cho and C. H. Lee, “Influence of flocculation conditions on filtration performance in the coagulation-MF process”, *Joint Fall Conference of Korean Society on Water & Wastewater and Korean Society on Water Environment*, **D-1**, 241 (2001).
5. J. H. Kweon, Y. H. Choi, S. H. Lee, and K. H. Ahn, “Coagulation characteristics of a natural water and the effects on microfiltration”, *Joint Fall Conference of Korean Society on Water & Wastewater and Korean Society on Water Environment*, **A-8**, 41 (2004).
6. Y. T. Ahn, J. H. Lee, H. S. Shin, K. E. Roh, and C. Y. Lee, “Effects of coagulation on pollutant removal and membrane fouling in drinking water treatment”, *Joint Fall Conference of Korean Society on Water & Wastewater and Korean Society on Water Environment*, **E-5**, 576 (2006).
7. H. C. Lee and J. Y. Park, “Advanced water treatment of high turbidity source by hybrid process of multi-channels ceramic microfiltration and activated carbon adsorption”, *Membrane Journal*, **18(4)**, 325 (2008).
8. J. D. Lee, S. H. Lee, M. H. Jo, P. K. Park, H. Lee, and J. W. Kwak, “Effect of coagulation conditions on membrane filtration characteristics in coagulation- microfiltration process for water treatment”, *Environ. Sci. Technol*., **34**, 3780 (2000).
9. J. S. Kim, S. Akeprathumchai, and S. R. Wickramasinghe, “Flocculation to enhance microfiltration”, *J. Membr. Sci.*, **182**, 161 (2001).
10. 米川 均, “淨水處理用モノリス形セラミック膜システムのろ過特性に關する研究”, 博士學位論文, 北海道大學大學院 工學研究科, 北海道 (2005).