

막여과 정수장에서의 배출수처리시설 설계인자 평가

Evaluation of Design Parameter on Residuals Treatment Facilities in Membrane Water Treatment Plants

문용택* · 서인석 · 김홍석 · 박노석 · 안효원

Moon, Yong-Taik* · Seo, In-Seok · Kim, Hong-Suck · Park, No-Suk · Ahn, Hyo-Won

한국수자원공사 수자원연구원

(2005년 12월 13일 논문 접수; 2006 2월 13일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The characteristics of backwash and concentrate discharges depend upon the quality of the water being treated and the net recovery of the membrane system. This paper is to indicate a design methods on the capacities of residuals treatment facilities in membrane processes for drinking water. We operated a demonstration membrane plant with a recovery rate of 90% for designing G-water treatment plant. We investigated on design parameter (optimum coagulant dosage and surface loading rate etc.) to design efficiently the residuals treatment facilities.

The settling test was conducted with 1m columns dosing PACl to kaolin and membrane residuals under the experimental condition that discharge permit was under a 60mg/L. When the quantity of membrane residuals was 1,575m³/day, the estimated results for 1st thickener demonstrated the surface loading rate of 14.4m/day, detention time of 5.83hr, available depth of 3.5m.

Key words: Residuals, Raw Water Quality, Recoveries, solids concentration, design methods, surface loading rate

주제어: 침전물, 원수 수질, 회수율, 고형물 농도, 설계방법, 표면부하율

1. 서론

국내 막공정 배출수처리 시스템 현황을 **Table 1**에 나타내었다. 운영시설 9개 중에 배출수를 하천방류 또는 폐수처리장으로 직송하는 곳이 7개 정수장이고, 나머지 2곳은 기존 정수장의 배출수처리시설을 이용

하여 처리하고 있어 현재 국내에는 1차 막공정 정수처리시설을 설치하여 2차막으로 배출수를 처리한 후 하수처리장과 연계하여 처리되도록 설계한 곳은 있으나, 막공정 배출수를 자체처리하기 위해 배출수처리시설을 설계한 사례는 없다.

일본 이마이찌 정수장의 막공정 배출수처리시설은 저류조, 약품침전 농축조로 운영하고 있어 일반적인

*Corresponding author Tel: +82-42-860-0377, FAX: +82-42-860-0399, E-mail: ytmooon@kowaco.or.kr (MOON, Y.T.)

Table 1. 국내 막공정 배출수처리시설 현황

시설명	소재지	완공 년도	시설규모(m ³ /day)	대상원수	도입막 제조사	배출수처리시스템	비 고
삼성ATC공업용수 정수장(일부 생활용수)	충남 아산시	2004	20,000(공업) 5,000(생활)	호소수	Zenon	폐수처리장직송	2nd Stage 적용
Camp영평 (미군부대정수처리장)	경기도 포천시	2003	650	지하수	Zenon	하천방류	
미군부대정수처리장	경기도 파주시	2003	1,200	지하수	Zenon	하천방류	
삼성전자(기흥) 공업용수전처리시설	경기도 용인시	2001	60,000	호소수(팔당)	Zenon	폐수처리장직송	2nd Stage 적용
STX에너지공업용수처리시설	경북 구미시	2004	4,800	하천수	Zenon	하천방류	
수공 시흥정수장	경기도 시흥	2004	3,600	호소수(팔당)	Asai-Kasei	기존 정수장에서 처리	
포천 이동정수장	경기도 포천	2004	1,500	지하수	Asai-Kasei	평상시 방류 농축조 운영	기존시설 이용
LG Philips LCD전용정수장	경기도 파주	2005	20,000	하천수	Asai-Kasei	폐수처리장직송	2nd Stage 적용
거창 위천정수장	경남 거창	2005	800		Memcor	하천방류	

정수장의 슬러지 처리방식에 약품침전을 추가한 형태로 적용되었다. 체류시간은 4시간 수준으로 하여 농축조의 용량을 산정하였다. 특히, 탈수기 가동빈도가 초기계획은 3회/주였으나, 현재운용은 “1회/6개월”로 하는 것은 탈수기로 유입되는 슬러지의 농도가 초기계획값은 1%였으나, 현재 운용값은 6~11%로 유입되는 슬러지의 양이 11배나 차이가 있었다(齋藤 健一, 2002; 平田守, 2001).

미국 펜실바니아주의 Lancaster시의 두개의 다른 취수원의 물을 처리하기 위하여 저압력 멤브레인(ZENON사 500제품, 침지형) 설치를 검토한 예가 있으며, 이때, 원수의 평균유입 탁도는 20 NTU이나, 강우 후에 500~1,000 NTU로 급격하게 증가한다. 배출수의 농도는 250 NTU이나 강우시에 15,000 NTU까지 높게 유입된다. 이러한 수질을 기초로 한 침강실험 결과, 최대 유출농도는 1.2%(24시간 침전 후 농도) 및 상등수 수질은 15mg/L를 적용하였다. 특히, 유출슬러지의 최대농도를 1.2%로 적용하였으나, 취수원이 호소수와 하천수가 분리되어 있고, 슬러지의 침강특성이 매우 차이를 나타내는 우리나라의 특성에 적합한 설계인자의 도출이 필요하다(Delphos, P.J., 2005).

AWWA에 의하면 막공정 배출수 처분과 처리방법은 하천 및 하수처리장 방류, 라군, 토양 살포, 착수정오로의 회수 및 건조상 등의 방법으로 처리하고 있으며, 주로 하천방류를 하고 있다. 하천방류는 폐수와 폐수배출지역의 수질에 의해 달라지는 미국의 National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)의 규정에 의해 방류된다. 세 가지 방법으로 라군으로 부유물질을 제거하여 방류하는 방법과 원수의 수질이 좋은 경우 부유물질이 적은 막세척수를 전처리없이 방류하는 방법, 그리고, pH가 높거나 낮을 때 중화시켜 방류하는 방법 등이 있다. 하수처리장 방류로 막공정 배출수는 처리규모 또는 처리용량에 관계없이 처리할 수 있다. 처리방법은 1차처리 또는 처리능력이 있는 하수처리장으로만 가능하다. 착수정오로의 회수는 높은 농도의 미생물(크립토스포리디움 등) 등이 다량 함유되어 있을 경우 1차 처리가 필요하며, 고액분리된 막세척수를 재순환하는 것은 회수율을 높이고, 경제적으로도 유리하다. 건조상은 건조기후인 경우 적합하며, 여러 해 동안 막 배출수를 축적할 수 있기 때문에 충분한 공간을 확보할 수 있는 장점이 있다고 제시하고 있다(Malmrose, P., 2003).

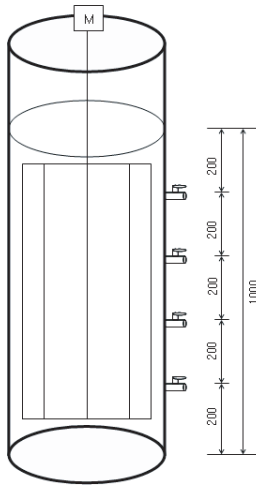


Fig. 1. Apparatus for settling analysis.

우리나라 수도시설 기준에 막여과 정수시설의 물리적 세척 배출수처리하는 기존 정수처리공정의 배출수 처리방법과 동일하게 처리하도록 되어 있다. 그러나, 농축조 설계에 있어서 막여과 정수시설의 배출수는 농도가 낮아 고형물 입자가 서로 독립적으로 침강하여 일반적인 독립침전 이론을 적용할 필요가 있으나, 기존 정수처리공정의 배출수와 동일하게 계면침강특성 평가를 통한 고형물부하율(Surface loading rate)를 적용하는 것은 부적합할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 막여과 공정의 배출수 처리 시설을 설계하는데 있어서 적절한 설계인자를 제시하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

실험재료는 향후 설치될 정수장과 동일한 취수장의 원수수질자료를 근거로 고탁도시에 유입되는 탁도와 비슷한 농도로 하여 조제한 카울린합성배출수, 실제 막여과시설 배출수를 사용하였다. 침강실험에 사용한 응집제는 폴리머와 PACI이며, 폴리머는 국내 K사에서 제조된 폴리 아크릴 아마이드 계통의 제품인 강이온성 양이온계 폴리머를 사용하였고, PACI은 Al_2O_3 함량이 11%, 비중 1.4인 액상을 사용하였다. 또한 침전관은 아크릴 재질로 직경이 30cm이며 1.5m의 총 높이에 1m까지 배출수를 채울수 있도록 제작

하였다. 시료채취관은 수면 1m로부터 20, 40, 60, 80cm로 20cm 간격으로 하였으며 Fig. 1에 나타났다.

2.2. 응집제의 효율성 및 최적주입량 평가

카울린 합성배출수, 및 막여과시설 배출수의 슬러지에 대하여 비이커에 500ml를 넣고, 농도별 PACI 및 폴리머 주입량을 달리하여 각각의 비이커에 주입한 후 3분간 100rpm으로 교반한 후 메스실린더에 넣어 10분간 정지한 후 상등수의 수질을 측정하여 최적주입량을 결정하였다.

2.3. 표면부하율 평가

침전관 1m까지 배출수를 채운 후 최적주입량의 응집제를 투여하고 150rpm에서 약 1분간 교반을 한 후 침전관 실험을 수행하였다. 시료채취시간은 배출수를 채운 후 시료를 채취한 후 응집제를 투여한 후 정해진 시간간격인 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120분에 시료를 채취한 후 탁도를 측정하여 제거효율을 분석하여 표면부하율을 산출하였다.

카울린 합성배출수, 막여과 시설 배출수를 이용한 침전관 실험은 2차에 걸쳐서 수행하였다. 1차 및 2차 부유물질의 농도를 모두 20~1300mg/L 범위에서 수행하였으며, 각 배출수에 최적주입량의 PACI을 주입한 후 각 시료채취관(20, 40, 60, 80cm)에서 정해진 시간간격(0, 5, 10, 30, 60, 90, 120분)으로 시료를 채취한 후 탁도를 측정한 후 제거효율을 분석하여 표면부하율을 평가하였다. 1차 및 2차 실험 모두에서 120분 이내에 5% 이상의 탁도 제거효율을 얻었다. 표면부하율의 평가에서 각 농도별 제거효율은 최종방류수의 부유물질 농도가 60mg/L를 기준으로 제거효율을 산정한 후 산정된 제거효율에 해당되는 표면부하율을 구하였다(Tchobanoglous, G., et al., 2003; Kenna, E.N. and Zander, A.K., 2001).

3. 결과 및 고찰

3.1. 사용약품 결정 및 최적주입량 평가

3.1.1. 사용약품 결정

응집실험을 수행한 결과, 최적 약품주입량은 폴리머가 PACI보다 적었으나, 단점으로는 폴리머는 과다주입 하였을 경우 상등수의 수질이 혼탁한 현상이 나

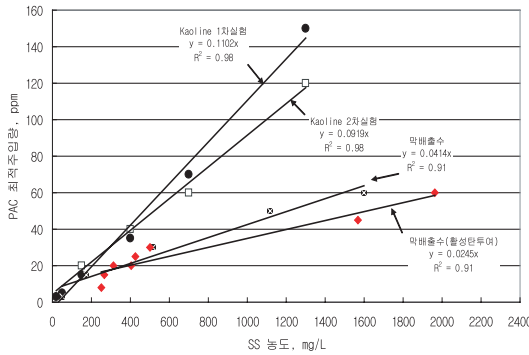


Fig. 2. Optimum PACI dose at various SS concentration for Residuals.

타나고 특히 현장에서 폴리머를 사용할 때 난용해성인 폴리머를 현장에 적용할 때 용해가 되지 않은 상태로 용해조 바닥에 겔 (gel) 상태로 남아 적정 주입량을 투여하기가 어렵다. 따라서 원액 그대로 사용함으로써 현장에서 취급하기가 편하고, 적정주입범위를 벗어나도 혼탁문제가 없어 상등수의 하천방류에 위험성이 없는 PACI를 배출수 처리의 사용약품으로 선정하였다.

3.1.2. PACI 최적 주입량 결정

G 정수장 막여과과정 배출수의 효율적인 응집을 위하여 배출수 농도별 최적 PACI 주입량을 평가하여 Fig. 2에 나타내었다.

카올린에 근거한 배출수의 응집에 있어서 최적주입량은 막여과시설의 전처리 조건에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 카올린을 희석한 배출수의 실험에서 PACI의 최적주입량은 1차 및 2차 실험에서 유사한 특성을 나타내었으며, PACI 최적주입량은 배출수의 부유물질(SS) 농도의 9~11% 수준으로 관계식은 다음과 같다.

$$\text{PACI 최적주입량(ppm)} = (0.09 \sim 0.11) \times \text{배출수의 SS 농도(mg/L)} \quad (1)$$

또한, 막여과 pilot plant 배출수는 침전 후 상등수는 매우 깨끗하였으며, 카올린을 희석하여 응집한 경우보다 적은 양의 PACI가 소요되는 것으로 나타났다. 막여과 배출수의 PACI 최적주입량은 아래와 같

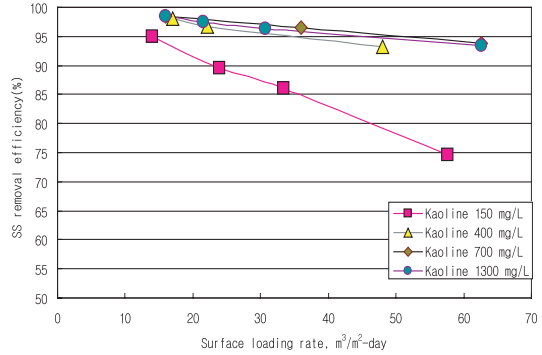


Fig. 3. Surface loading Tests - Varing Kaoline (1st Exp.) (Up-flowing sedimentation: design criteria in KOREA).

다.

$$\text{PACI 최적주입량(ppm)} = 0.0414 \times \text{배출수의 SS 농도(mg/L)} \quad (2)$$

또한, 활성탄을 투여 시 막여과 pilot plant 배출수는 침전성이 매우 양호하였으며, PACI가 소요량도 크게 감소한 것으로 나타났다.

$$\text{PACI 최적주입량(ppm)} = 0.024 \times \text{배출수의 SS 농도(mg/L)} \quad (3)$$

참고로, H취수장을 취수원으로 하는 "A지역 침식 막여과시설"의 2차농축수(349 NTU, SS 286 mg/L)를 대상으로 PACI 20~100ppm 범위에서 평가한 결과, 최적주입량은 80ppm 정도로 나타나 카올린을 이용한 경우보다 매우 많은 응집제가 소모되는 것으로 나타났다.

3.2. 카올린 합성배출수를 이용한 실험

표면부하율의 평가에서 각 농도별 제거효율은 최종 방류수의 부유물질 농도가 60mg/l를 기준으로 표면부하율을 평가하였다.

Fig. 3에서 표면부하율 1차 평가결과, 배출수 SS 농도 1300mg/L에 대해 30.6m/day로 나타났으며, 안전율(0.65)을 고려한 결과, 표면부하율이 19.89m/day 정도이면 최종방류수의 SS를 60mg/L 이하로 획득할 수 있는 것으로 나타났다.

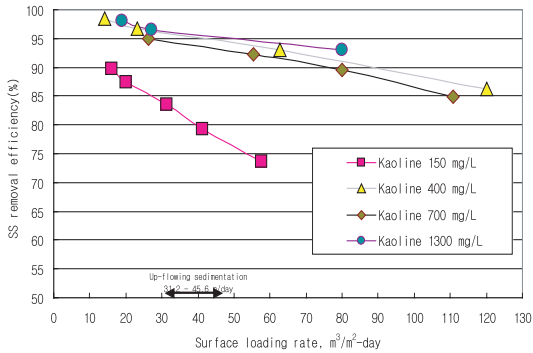


Fig. 4. Surface loading Tests - Varing Kaoline (2nd Exp.).

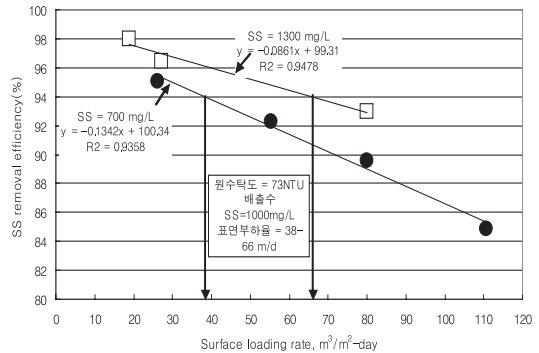


Fig. 6. Surface loading Tests - Kaoline at Turbidity 730NTU (2nd Exp.)

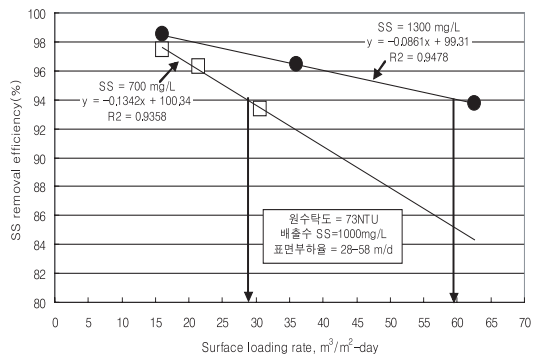


Fig. 5. Surface loading Tests - Kaoline at Turbidity 730NTU (1st Exp.)

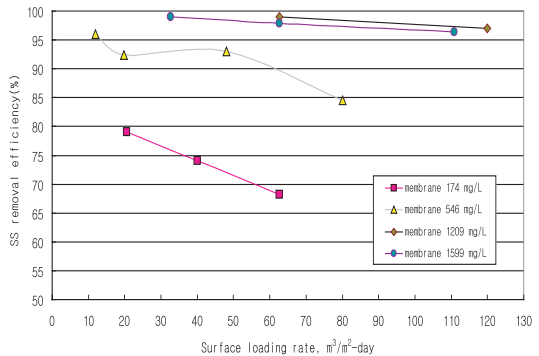


Fig. 7. Surface loading Tests - Backwash residuals at Various Concentration (used Kaoline).

Fig. 4에서 2차 평가결과, 배출수 SS 농도가 1300 mg/L 일때, 27.1m/day이었으며, 배출수 SS 농도가 700mg/L일 때는 60m/day 정도에서 배출수의 수질기준(60mg/L)을 준수할 수 있을 것으로 나타났으며, 안전율(0.65)을 고려한 결과(Table 3 참조), 표면부하율이 각각 17.55m/day 및 39m/day이면 최종방류수의 SS를 60mg/L 이하로 획득할 수 있는 것으로 나타났다.

Fig. 5, Fig. 6은 SS 농도를 700mg/L, 1300mg/L로 수행한 결과이며, 이때 평가한 표면부하율을 이용하여 원수 탁도가 73 NTU이고, 배출수의 SS는 1000mg/L에서의 표면부하율을 계산하였다. 1차 및 2차 실험에서 표면부하율은 각각 28, 38m³/m²-day로 나타났다.

3. 2. 막여과시설 배출수

3.2.1. 활성탄 미투여시

K막여과 pilot plant에서 원수에 카올린을 인위적으로 주입하여 실제로 배출되는 배출수를 대상으로 실험을 수행한 결과는 Fig. 7에 나타났다. 카올린을 인위적으로 희석하여 평가한 1차 및 2차 실험에서보다 빠른 침전특성을 보였으며, 표면부하율을 평가한 결과, 배출수 SS 농도 1599mg/L에서 96.3% 제거효율(최종방류수 SS 농도를 60mg/L 획득)을 얻기 위한 표면부하율은 110m/day이었으며, 배출수 SS 농도 546mg/L에서는 89%의 제거효율을 필요로 하며, 표면부하율은 64m/day 정도이었다. 또한, 배출수 SS 농도가 174mg/L일 때는 66%의 제거효율이 필요하며 표면부하율은 69m/day이었다. 상기의 표면부하율에 안전율(0.65)을 고려한 결과, 각 농도에서 표면부하

율은 71.5m/day, 41.6m/day 및 44.85m/day이었다.

3.2.2. 활성탄 투여 시

막배출수의 침전관실험에 의한 침전성을 평가하는 실험에서 막여과 시설의 전처리 시 활성탄을 투입하는 경우 침전시간이 크게 단축되는 것으로 나타났다. 활성탄 미주입시에는 약 1시간 정도 침전 후 탁도 제거효율이 안정상태에 도달하였으나, 활성탄으로 전처리를 한 경우, 5분 이내에 침전이 거의 완료되어 시간별 시료채취를 통한 탁도 제거효율을 평가하는 것이 불가능하여 표면부하율 평가에는 반영하지 않았다.

3.2.3. C정수장 침전슬러지

막여과시설 배출수의 침전특성을 간접적으로 비교 평가하기 위해 C정수장 침전지의 슬러지를 채취하여 침전관 실험을 수행하였다. 초기실험에서 C정수장 침전슬러지에 PACl을 주입하여 침전특성을 평가하였으나, PACl의 주입 유무에 관계없이 유사한 침전특성을 보였다. 따라서, 후속되는 실험은 무약주 형태로 수행하였다. C정수장 슬러지를 이용하여 침전관 실험을 수행한 결과, 150mg/L에서는 실험결과 해석이 가능하나, 400mg/L 이상에서는 침전속도는 매우 빠르면서도 독립인자 침전과 간접침전의 중간형태를 보였으나, 명확한 계면 또한 관찰할 수는 없어 침전 부하율과 고품물부하의 중간에 해당되었다. 따라서, 침전관 실험의 결과가 카울린이나 막여과 pilot plant 배출수의 침전특성과는 다른 특성을 보이는 것으로 나타났다.

3.2.4. H취수장 침지식 막여과시설 배출수

G정수장의 막여과 배출수 처리시설의 효율적인 설계를 위하여 실제 H취수장 원수를 이용하여 침지식 막여과시설을 운영 중인 천안(아산)소재의 막여과 정수처리시설의 슬러지를 채취하여 표면부하율을 분석한 후 비교 평가하였다. 실험에는 막여과 공정에서 배출되는 슬러지를 농축목적으로 맴브레인을 적용한 처리시설의 슬러지, 즉 2nd stage 배출수처리시설의 슬러지를 이용하였다. 실험에 앞서, 슬러지의 특성을 파악하기 위해 탁도에 대한 부유물질의 비율을 측정하였다. 측정결과, SS/NTU의 비율이 0.8~1의 범위로 나타났으나, 이는 일반적인 정수장 슬러지의 비율

Table 2. Characteristics of Membrane residuals(2nd Exp.)

Raw Sludge		
pH	SS(mg/L)	NTU
6.9	286	349

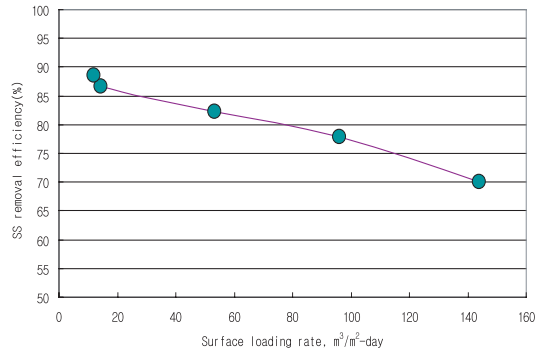


Fig. 8. Surface loading rate test - Backwash residuals of submerged membrane type.

인 1.3 수준보다 매우 낮은 값을 나타내는 것으로 나타났다. 따라서, 탁도에 대한 SS비를 0.82로 결정하고 이에 근거하여 계산하였다.

슬러지는 H취수장 막여과시설로 운반한 후 적정량의 PACl을 투입한 후 침전실험을 수행하였다. 배출수의 특성은 Table 2와 같다.

PACl의 투입량은 80mL/m³이었으며, 1차실험에서 보다 많은 양의 PACl이 투입되었으며, 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 표면부하율을 평가한 결과, 침전성이 비교적 양호한 것으로 나타났으며, 최종처리수의 SS 농도를 60mg/L 기준으로 표면부하율은 80m/day로 나타났으며, 안전율(0.65)을 고려하면 52m/day로 1차실험에서 보다, 침전성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

3.3. 표면부하율 평가 및 선정

최종처리수의 SS 농도를 60mg/L 기준으로 했을 때 상기의 여러 막여과시설 운영조건 및 슬러지 조건에서 발생하는 슬러지의 침전관 실험에서 평가한 표면부하율을 종합하면 전처리 조건에 다소 표면부하율에 차이를 보이고 있으며, 활성탄을 투입하는 경우에는 침전속도가 매우 빠른 특성을 나타내고 있으며, 카울린을 이용하여 평가한 결과에서는 대체로 17.55~

Table 3. Comparisons of Surface loading rates on the waste generated from kaoline and raw water

Classification		Surface loading rate ¹⁾ (m ³ /m ² -day)	Surface loading rate (× 0.65, safety factor) ²⁾ (m ³ /m ² -day)	Influent turbidity to thickener
Artificial sludge(Kaoline)	Kaoline(1st)	28	18.2	1000mg/L
	Kaoline(2nd)	38	24.7	
	Kaoline(1st)	30.6	19.89	1300 mg/L
	Kaoline(2nd)	27.1	17.55	
Casing membrane type	Waste after dosing kaoline	65	42.25	546 mg/L
		110	71.5	1599 mg/L
Submerged membrane type	Landing type(1st)	23.04 ~ 33.12	14.9 ~ 21.5	325mg/L
	Landing type(2nd)	80	52	286mg/L
Rapid coagulation and sedimentation type ³⁾		-	57.6 ~ 72	-
Up-flowing sedimentation type ³⁾		-	31.2 ~ 45.6	-
Example of Japan ⁴⁾		-	14.4	-

1) Supernatant clarity: below SS 60mg/L

2) Typical Safety factor in literatures on the surface loading rate for designing a water treatment sedimentation (MetCalf & Eddy: 0.65-0.85, Reynolds: 0.65, Schroeder: 0.65-0.85).

3) Design guidelines of water treatment plant in S. Korea

4) 日本 いまいち浄水場 設計資料 (2001)

24.7m/day의 범위로서 나타나 일본의 설계사례인 14.4m/day와 큰 차이를 보이지는 않고 있다. 특히, HD를 취수원으로 하고 침식막여과 배출수를 이용한 평가에서는 매우 상이한 결과가 나타났으며, 1차에서는 14.9m/day, 2차에서는 52m/day이었다. 우리나라 상수도시설기준 상의 고속응집침전지나 상향류식 침전지 보다는 낮은 표면부하율에서 운영하여야 하는 것으로 나타나, 일반적인 침전지 시설기준의 적용이 어려운 것으로 나타났다.

실험결과를 종합하여 Table 3에 나타냈으며, 이를 종합해보면 배출수 처리시설의 효율적 및 안정적인 운영을 위해 1차 농축조의 표면부하율은 14.4m/day 즉, 1cm/min으로 결정하는 것이 안정성 면이나 운영 관리 면에서 타당할 것으로 판단된다(Tchobanoglous, G. Burton, F.L., and Stensel, H.D., 2003; Reynolds, T.D., 1982; Schroeder, E.D., 1976).

3. 4. 체류시간 및 고형물부하율 검토

표면부하율과 고형물부하율을 비교평가하기 위해 침전관 실험에서 구해진 표면부하율을 이용하여 고형물부하율로 환산하였다. 표면부하율은 다음 식에 의해 구해진다.

$$V_o = Q/A \quad (4)$$

여기서, V_o = 표면부하율

Q = 1차 농축조의 슬러지의 유입량

A = 1차농축조 표면적

따라서, 표면부하율 결정에 의한 고형물부하 계산은 다음과 같다.

$$G_b = V_o \times 1,000 \times C_o \times 10^{-6} \quad (5)$$

여기서, G_b = 중력에 의한 고형물 부하(kg/m² · day)

C_o = 1차 농축조 유입슬러지의 농도 (mg/L)

카올린 조제 및 원수에 카올린 주입에 의한 막배출수에 대한 실험결과 카올린 조제 1차, 2차 및 원수에 카올린 주입에 대한 고형물부하는 HD취수장 최대탁도인 73 NTU를 기준(배출수 SS 1000mg/L)으로 각각 18.2, 24.7kg/m² · day으로 나타났으며, 이러한 결과는 상수도시설기준의 농축조 설계 시에 적용되는

Table 4. Raw Water Quality at Maximum Turbidity

Raw Water			Remarks
Qi	15,750	m ³ /일	Safety Factor : 1.05 Times
Turbidity(NTU)	73		
SS	99	mg/L	SS/NTU Ratio : 1.36

Table 5. 1st Thickener Capacity at Maximum Turbidity

1st thickener			Remarks
Inflow Quantity	1,575	m ³ /day	Shape : Round Height : 3.5m Surface Area : 110 m ²
Detention Time	5.83	hr	
Thickener Capacity	382.8(about 385)	m ³	
Turbidity(NTU)	730		SS/NTU Ratio : 1.3
SS	990	mg/L	
PACl	94.9	mL/m ³	
Solid Produced	1.52	ton/day	
Supernatant Water Content	1,357.7	m ³ /day	

고형물부하의 범위인 10~20kg/m² · day의 범위와 비교하여 유사 또는 약간 높게 나타났다.

또한, 체류시간은 아래 식에 의거하여 구할 수 있다.

$$\text{체류시간} = 24 \times V_t / Q \quad (6)$$

여기서, Q = 1차 농축조로의 슬러지의 유입량
V_t = 농축조 용량(깊이: 4m)

1차 농축조의 체류시간의 결정에서 대부분 4~5시간 범위이며, 활성탄으로 전처리를 한 경우에는 2시간이면 충분하나, 상기의 표면부하율 14.4m³/m²-day 및 농축조 유효깊이 3.5m에 근거하면 체류시간은 5.83시간으로 약 6시간 정도이다.

우리 나라 상수도시설기준에 막여과 시설의 배출수지에 대한 기준이 없기 때문에 농축조의 표면부하율 및 체류시간은 외국의 사례 및 실험결과에 의해 결정하여 적용하였으며, 농축조의 유효수심은 우리나라 상수도시설기준상의 3.5~4m 범위에서 3.5m로 결정하였다.

3.5. 기존 응집침전 농축조의 설계인자

원수의 최고탁도는 73 NTU에서 회수율 90%일 때

하루 1,575m³의 유량으로 SS 949mg/L, 탁도 729.9 NTU의 배출수가 농축조로 유입되면서 PACl을 94.9 mL/m³을 주입하면 유입슬러지의 SS는 966.25mg/l로 1차농축조로 유입된다.

$$S = Q(b \cdot Tu + k_1 \cdot PACl) \times 10^{-6} \quad (7)$$

여기서, S: 건조중량으로 표시되는 슬러지 발생량 (ton DS/일)

Q: 농축조로 유입되는 배출수량(1,575m³/일)

b: 탁도와 SS의 환산비(SS/TUR: 1.36)

Tu: 농축조로 유입되는 배출수 탁도 (729.9NTU)

k₁: 약품사용에 의한 슬러지 발생비율 (0.184)

PACl: 폴리 염화알루미늄 사용량(94.9 ml/m³)

따라서, 계산된 고형물 발생량은 1.52ton DS/일이 발생되며, 평가결과는 Table 4~5에 나타났다.

2차농축조의 시설용량은 Table 4에 제시한 바와 같이 2000년 5월, 6월 사이 C정수장의 농축조 유출슬러지 및 탈수케익의 평균 함수율을 분석한 결과 각

각 98.22, 74.3%로 나타났으나, 본연구에서는 유출 슬러지의 농도를 1.2%로하여 적용하였다.

고형물 발생량은 1.52ton/일로서 방류수 수질 60mg/L를 고려하여 용량을 산정한 결과는 다음과 같다.

① 1차농축조의 유출슬러지량 (1차농축조 유출슬러지의 2차농축조로의 유입량)

$$\bullet S = 118.5\text{m}^3/\text{일}$$

② 1차농축조 상등수량(방류수량)

$$\bullet \text{상등수량} = 1,357.7\text{m}^3/\text{일}$$

③ 2차농축조의 총 유입량 및 상등수량(방류수량)

- 탈리여액과 여포세척수를 2차농축조로 유입시키는 조건에서 2차 농축조로 유입되는 총량은 1차농축조의 유출슬러지의 2차농축조로의 유입량 118.5에 탈리여액과 여포세척수를 합친 217.3m³/일이 유입된다. 1차농축조에서 유출된 슬러지가 2차농축조로 유입되어 최종 탈수기로 유입되는 슬러지의 함수율을 98.8%로 예상했을때 2차농축조에서의 유출슬러지량 및 상등수량은 다음과 같다.

$$\bullet \text{유출슬러지량}(S) = 47.1\text{m}^3/\text{일}$$

$$\bullet \text{등수량} = 170.2\text{m}^3/\text{일}$$

4. 결론

1. 기존 정수처리공정의 배출수처리 시설은 슬러지의 농도가 높아 계면침강특성 평가를 통한 고품물부하율을 적용하고 있으나, 막여과 정수시설의 배출수는 농도가 낮아 고품물 입자가 서로 독립적으로 침강하여 일반적인 독립침전 이론을 적용한 침전지의 설계인자인 침전지 이론에 의한 표면부하율을 적용하는 것이 타당한 것으로 나타났다.

2. 막여과시설 배출수의 SS 949mg/L, 탁도 729.9

NTU(원수의 최고탁도 73 NTU, 회수율 90 %)에서, 최종처리수의 SS 농도를 60mg/L 이하로 했을때 1차 농축조의 표면부하율은 14.4m/day 즉, 1cm/min로 하는 것이 타당하며, 이때, 체류시간은 5.83시간, 유효깊이는 3.5m로 산정되었다.

3. 우리나라 수도시설 기준에 막여과 정수시설의 물리적 세척 배출수처리는 기존 정수처리공정의 배출수처리방법에 준하여 처리하도록 되어 있다. 그러나, 막여과 정수시설과 기존 정수시설에서 발생하는 배출수의 농도 및 특성이 상이한 바, 막여과 정수시설의 농축조 설계에 있어서 슬러지의 침강특성을 충분히 고려하여 설계인자를 적용하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 환경부 (2004) 상수도시설기준.
2. 齋藤 健一 (2002) 日本最大の膜ろ過施設～ 木縣今市市瀨尾浄水場稼働状況, 日本膜學會, p. 1-2-1.
3. 平田守 (2001) 瀨尾浄水場の概要と膜ろ過装置の採用經過, 日本水道技術ジャーナル, 第19巻.
4. Malmrose, P. (2003) AWWA Residuals Management Research committee, Committe report: Residuals Management for Low-Pressure Membranes, *J. AWWA*, pp. 68-82.
5. AWWA (1999) Water Quality and Treatment-A Handbook of Community Water Supplies, McGraw-Hill, USA.
6. Delphos, P.J. (2005) Low-Pressure Membrane Solid :Not Just Another WTP Sludge, AWWA Membrane Technology Conference.
7. Kenna, E.N., Zander,A.K. (2001) Survey of Membrane Concentrate Reuse and Disposal, Membrane Practices for Water Treatment, AWWA, Denver.
8. Reynolds, T.D. (1982) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, pp. 83-86.
9. Tchobanoglous, G. Burton,F.L., and Stensel, H.D. (2003) Wastewater Engineering Treatment and Reuse (4th Ed.), pp. 374-375.