Journal of the Korean Society of Water and Wastewater
Vol. 20, No. 3, pp. 339-343, 2006

상하수도학회지, 기술정보
20권 3호, pp. 339-343, 2006

— 기술정보 —

막여과 정수장 배출수처리시설 설계사례

— Technical Information —

A Case Study for Designing Residuals Treatment Fecilities 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

1. 서 론

G정수장 막여과시설 도입을 위해 정수처리 공정선정 기본계획이 수립되어 막여과 기술의 평가가 수행됨에 따라 향후 G 막여과시설에서 발생하는 배출수를 효율적 처리 및 관리하기 위해 막여과 배출수 처리시설에 대한 국내외 사례를 조사하고, 실험을 통하여 현재 우리나라 상수도시설기준에 규정되어 있지 않은 막여과 배출수처리시설의 설계인자를 평가하여 G 막여과시설에 최적의 배출수 처리시설을 도입하고자 한다.

취수원이 동일한 현도취수장(청주권관리단)의 원수특성 및 각 시설의 운영현황 검토를 통하여 원수의 SS/탁도비, 배출수의 특성 및 계획수질을 결정하였으며, 현재 우리나라 상수도 시설기준에 규정되어 있지 않는 막여과시설 배출수 처리시설의 설계를 위하여 국내외의 막여과시설 배출수 처리시설의 현황에 대해 조사한 후 배출수 처리방법을 결정하고, 사용되는 약품(응집제)의 종류, 최적주입량 및 효율성을 평가하였다.

본 원고에서는 응집침전 농축기술의 평가를 위하여 전처리 방법(PAC, 활성탄) 등 다양한 막여과 시설 운영조건에서 발생하는 배출수에 대해 침전관 실험을 통해 표면부하율, 체류시간 등의 설계인자를 결정하여 배출수 처리시설의 용량산정을 통해 배출수처리시설의 설계 및 공정선정방법에 대해 제시하였다.

2. 국내 · 외 막여과공정 배출수처리시설의 설계사례

2.1. 국내

국내 막공정 배출수처리 시스템 현황을 **Table 1**에 나타내었다. 운영시설 9개 중에 배출수를 하천방류 또는 폐수처리장 직송하는 곳이 7개 정수장이고, 나머지 2곳은 기존 정수장의 배출수 처리시설을 이용하여 처리하고 있어 현재 국내에는 막공정 배출수를 설계하여 처리하는 곳은 한곳도 없는 실정이다. 따라서 수공에서 막공정 배출수를 설계하여 시범 운영하고 추후 운영자료들에 대한 문제점을 보완하여 신규시설에 적용함으로서 기술력 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2.2. 일본

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: ytmoon@kowaco.or.kr (Moon, Y.T.)

Table 1. 국내 막공정 배출수처리시설 현황

시설명	소재지	완공 연도	시설규모 (m^3/day)	대상 원수	도입막 제조사	배출수처리 시 스 템	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
STX에너지공업 용수처리시설	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 도입예정)	'05. 5 중순 완공예정
거창 위천정수장	경남 거창	2005	800		Memcor	하천방류	'05. 10 완공예정

정수장의 슬러지처리방식에 약품침전을 추가한 형태로 적용되었다. 체류시간은 4시간 수준으로 하여 농축조의 용량을 산정하였다. 특히 탈수기 가동빈도가 초기계획은 3회/주였으나, 현재운용은 1회/6개월로 하는 것은 탈수기로 유입되는 슬러지의 농도가 초기계획값은 1%였으나, 현재운용값은 6~11%로 유입되는 슬러지의 양이 11배나 차이가 있었다.

2.3. 미국

2.3.1. 설계사례

미국 펜실바니아주의 Lancaster시의 두개의 다른 취수원의 물을 처리하기위하여 저압력 멤브레인(ZENON사 500제품, 침지형) 설치를 검토한 예가 있으며, 이때, 원수의 평균유입 탁도는 20NTU 이나, 강우 후에 500~1,000NTU로 급격하게 증가한다. 배출수의 농도는 250NTU이나 강우시에 15,000NTU까지 높게 유입된다. 이러한 수질을 기초로 한 침강실험 결과, 폴리머를 주입하지 않은 기본 설계값으로 부상속도는 0.2gpm/ft^2, 고형물 부하는 915ft^2/STPD, 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 인자의 도출이 필요하다.

2.3.2. 막공정 배출수의 처리

AWWA(Committee Report: Residuals Management for Low-Pressure Membranes, 2003)에 의하면 막공정 배출수 처분과 처리방법은 하천 및 하수처리장 방류, 라군, 토양 살포, 착수정으로의 회수 및 건조상 등의 방법으로 처리하고 있으며, 주로 하천방류를 하고 있다. 하천방류는 폐수와 폐수배출지역의 수질에 의해 달라지는 미국의 National Pollutent Discharge Elimination System(NPDES)의 규정에 의해 방류된다. 세 가지 방법으로 라군으로 부유물질을 제거하여 방류하는 방법과 원수의 수질이 좋아 막세척수의 부유물질이 낮아 방류하는 방법, 그리고 pH가 높거나 낮을때 중화시켜 방류하는 방법 등이 있다. 하수처리장 방류로 막공정 배출수는 규모에 관계없이 처리할 수 있다. 처리방법은 1차처리 또는 처리능력이 있는 하수처리장으로만 가능하다. 착수정으로의 회수는 높은 농도의 미생물(크립토스포리디움 등) 등이 다량 함유되어 있을 경우 1차 처리를 요하며, 고액분리된

상하수도학회지, 기술정보
20권 3호, pp. 339-343, 2006

막세척수를 재순환하는 것은 회수율을 높이고, 경제적으로도 유리하다. 건조상은 건조기후인 경우 적합하며, 여러해 동안 막 배출수를 축적할 수 있기 때문에 충분한 공간을 확보할 수 있는 장점이 있다고 제시하고 있다.

3. G 막여과 pilot plant 배출수의 특성

3.1. 배출수의 SS/탁도 비율

막여과 공정에서 배출되는 배출수의 탁도(NTU)와 부유물질(SS)의 비를 분석한 결과, 활성탄을 제외시에는 일반적인 정수장의 비율과 유사한 1.36 수준으로 나타났으며, 활성탄을 포함한 경우 비율은 3.13으로 나타나 큰 차이를 보이고 있다.

3.2. 응집제 효율성 및 수질평가

본 실험에서는 카올린을 인공조제하여 탁도를 인위적으로 증가시켜 실험을 수행하였다. 응집실험은 크게 두 가지로 구분하여 수행하였으며, **Fig. 1**에 나타내었다.

1) 카올린을 인공조제한 후 막여과 시설의 원수에 73NTU까지 주입한 후 전처리 조건(PAC 및 활성탄)의 유무에 따라 배출되는 배출수

2) 카올린을 인공조제한 후 막여과 시설에 주입하지 않고 직접 희석한 배출수

4. 사용약품 결정 및 표면부하율 평가

4.1. 사용약품 결정

응집실험을 수행한 결과, 폴리머는 응집실험 결과 PAC보다 약품주입량은 적었으나, 단점으로는 과다주입 하였을 경우 상등수의 수질이 혼탁한 현상이 나타나고 특히 현장에서 폴리머를 사용할 때 약품용해조에서 1,000mg/L로 용해하여 사용하고, 난용해성으로 현장에서 적용할 때 용해가 되지 않은 상태로 용해조 바닥에 겔(gel) 상태로 남아 적정 주입량을 투여하기가 어렵다. 따라서 PAC를 원액 그대로 사용함으로서 현장에서 취급하기가 편하고, 실험결과 과량주입 하였을 경우에도 상등수의 혼탁문제가 없어 적정 주입범위를 벗어나도 상등수의 하천방류에 위험성이 없는 것으로 나타났다.

따라서 폴리머보다는 PAC가 적용하기 용이한 것으로 나타나 G 막여과시설 배출수처리시설의 제1농축조로 유입되는 배출수의 사용약품은 PAC로 선정하였다.

4.2. 표면부하율 평가 및 선정

최종처리수의 SS 농도를 60mg/L 기준으로 했을때 실험결과를 종합하여 **Table 2**에 나타냈으며, 이를 종합해보면 배출수 처리시설의 효율적 및 안정적인 운영을 위해 1차 농축조의 표면부하율은 14.4m/day 즉, 1cm/min으로 결정하는 것이 안정성 면이나 운영관리면에서 타당할 것으로 판단된다.

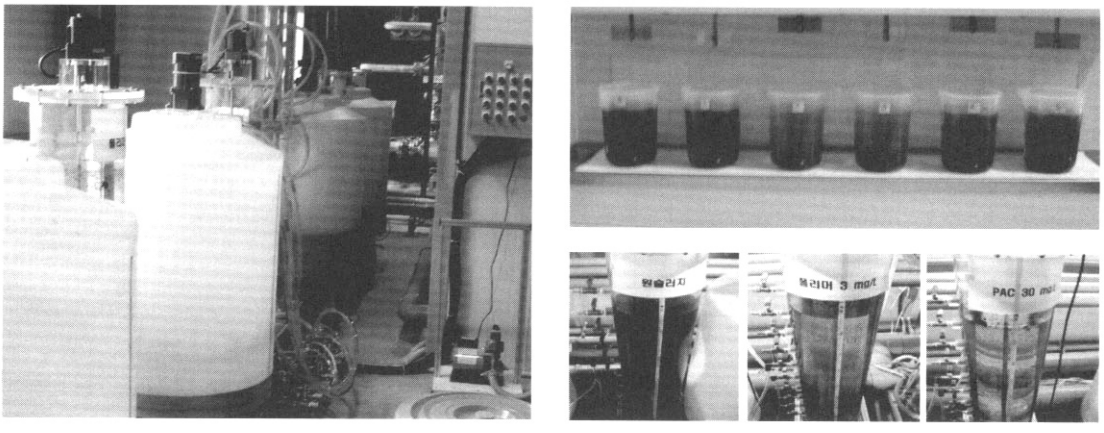

Fig. 1. 침전관 장치 및 침전실험.

Table 2. 카올린과 막배출수에 대한 표면부하율 비교

구 분		표면부하율[1] (m^3/m^2-day)	표면부하율 (×0.65, safety factor)[2] (m^3/m^2-day)	농축조 유입슬러지의 농도
인공조제 카올린	Kaoline(1' st)	28	18.2	1000mg/L
	Kaoline(2nd)	38	24.7	
	Kaoline(1' st)	30.6	19.89	1300 mg/L
	Kaoline(2nd)	27.1	17.55	
막여과시설 배출수	Waste after dosing kaoline	65	42.25	546 mg/L
		110	71.5	1599 mg/L
침지식 막여과배출수	Landing type(1' st)	23.04~33.12	14.9~21.5	325mg/L
	Landing type(2nd)	80	52	286mg/L
고속응집침전지[3]		-	57.6~72	-
상향류식 침전지[3]		-	31.2~45.6	-
일본사례[4]		-	14.4	-

1) 최종방류수의 SS 농도를 60mg/L 기준
2) 침전지 설계 시 표면부하율 안전율 고려(MetCalf & Eddy: 0.65-0.85, Reynolds: 0.65, Schroeder: 0.65-0.85).
3) 상수도 시설기준
4) 日本 いまいち浄水場 설계자료

5. 배출수 처리공정 평가, 선정 및 운영방법

G 막여과시설 슬러지 처리시설은 기본적으로는 기존 정수장의 슬러지 처리시설과 유사한 중력농축방식을 채택하는 것으로 하여 3가지의 대안을 검토하였다. 첫 번째로는 정수장의 농축방식에 응집제를 첨가하는 응집침전농축방식, 두 번째로는 침전 및 농축의 효율이 우수한 고효율 응집침전농축방식(HEPICAF), 마지막으로는 침전 및 농축의 효율이 우수한 고효율 응집침전농축방식(HEPICAF)과 양호한 처리수질의 획득이 가능하고 여과속도가 매우 빠른 섬유사 여과기를 조합하는 방식이다.

상기 3가지의 대안을 검토한 결과, 본 G 막여과공정 배출수 처리시설의 공정은 정수장의 기존 중력농축시설에 응집제를 투입하여 운영하는 방식보다는 경

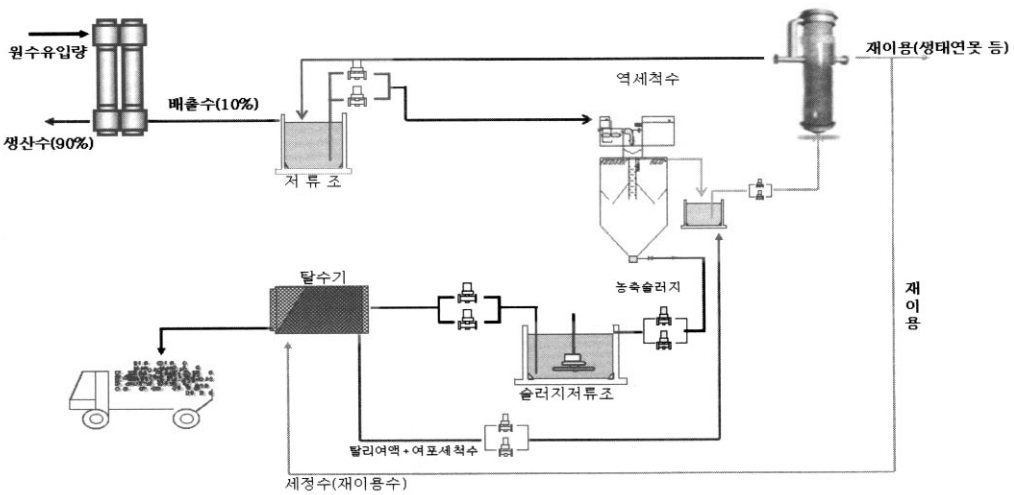

Fig. 2. 최종 선정된 배출수처리공정.

상하수도학회지, 기술정보
20권 3호, pp. 339-343, 2006

사판을 내부에 설치하여 운영하는 고효율 응집 · 침전 농축공정이 시설의 컴팩트, 부지면적 절감 및 설치비 등의 경제성측면에서 매우 유리하다. 그러나, 경제성, 처리수질의 안정성 및 최종처리수의 재이용 등 활용성 측면을 고려하면, 고효율 응집 · 침전 농축공정과 섬유사 여과기를 조합하는 공정이 유리한 것으로 나타났다.

따라서, G 막여과공정 배출수처리시설의 적용공정은 농축의 효율성이 우수하고 또한, 우수한 처리수질을 획득할 수 있는 고효율 응집침전 농축조(HEPICAF)와 섬유사여과기를 조합한 공정으로 하였으며, **Fig. 2**에 나타내었다.

6. 배출수 처리공정 물질수지

고효율 응집침전농축조(HEPICAF)와 섬유사여과기의 조합공정에 대한 물질수지도의 분석에서 기존 응집침전 농축조와 고효율 응집침전농축조의 체류시간은 각각 5.83, 1.4시간으로 이를 근거로 한 시설용량은 각각 430, 100m^3/일으로 약 4배 정도 차이가 있어 고효율 응집침전 농축조로 운영할 경우 기존 응집침전 농축조보다 시설용량을 4배정도 줄일 수 있는 것으로 나타났으며, 또한 기존 응집침전 농축조와 고효율 응집침전농축조의 섬유사여과기의 유입전 저류조 용량은 체류시간이 2시간인 경우 각각 280, 260m^3으로 차이가 없는 것으로 나타났으나 슬러지 저류조의 경우는 140, 60m^3/조로 약 2배 이상의 차이를 나타내 고효율 응집침전 농축조로 운영하는 경우 시설용량을 상당히 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

막여과시설에서 생산되는 정수생산량을 15,000m^3/일로 하여 원수유입량은 회수율과 통상적인 여유율을 고려하여 16,667m^3/일로 하였다.

또한, 고효율 응집침전농축조(HEPICAF)의 설계는 침강속도를 5cm/분으로 하였으며, 농축슬러지의 농도는 3%를 적용하였다.

7. 최종결론

현재 국내에는 막여과기술 도입의 필요성이 급격히 증가하고 있으나, 법제도의 미정비와 막여과시설 설계 및 운영기술의 부족으로 정수처리에 도입된 사례는 전무한 상태로 막여과 공정의 시설기준 마련이 시급하다.

G 막여과 배출수 처리시설의 설계에 있어서 상기에서 검토한바와 같이, 일반적인 개념의 농축조에 응집제를 주입하는 응집침전농축조로 설계하는 경우에는 표면부하율이 14.4m/day(1cm/min) 정도가 적당한 것으로 판단된다. 이는 일반적인 상향류식 침전지 보다는 고농도의 슬러지 농도로 인하여 낮은 표면부하율이 필요하며, 일반적인 정수시설의 농축조 보다는 유입슬러지 농도가 저농도로 인하여 슬러지 계면이 형성되지 않아 고형물 부하율을 적용하는데는 문제가 있다. 따라서, 막여과 배출수 처리시설의 설계에 있어서 농축기능을 고려하여 설계 시에는 solid flux 평가에 의한 고형물부하량 보다는 침전관실험에 의한 상향류식 침전지 개념의 설계인자인 표면부하율을 적용하는 것이 타당하다.

또한, 설계에 있어서는 경제성 뿐만아니라 최종처리수의 여포세척수나 기타용도로의 재이용을 충분히 고려하여야 한다.

향후계획은 본 결과를 실시설계에 반영한 후 막여과공정 배출수처리시설을 운영하면서 문제점에 대한 보완을 하여 새로운 설계 및 운영 가이드 라인을 제시하고자 한다.

참고문헌

1. Atasi, K., Cornwell, D., etc. (2003) AWWA Residuals Management Research committ -ee, Committe report: Residuals Management for Low-Pressure Membranes, *J. AWWA*, p. 68-82.
2. Delphos, P.J. (2005) Low-Pressure Membrane Solid: Not Just Another WTP Sludge, AWWA Membrane Technology Conference.
3. Japan Water Research Center (2000) *Guideline of Water Treatment Technologies.*
4. Kenna, E.N., Zander, A.K. (2001) Survey of Membrane Concentrate Reuse and Disposal, *Membrane Practices for Water Treatment*, AWWA, Denver.
5. Tchobanoglous, G. Burton, F.L.,and Stensel, H.D. (2003) *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4th Ed.), p. 374-375.