

— 보고서 —

오존과 정밀여과막의 혼성공정을 이용한 하수 재이용 시설

— Report —

Shibaura Wastewater Reclamation Facility Using Ozonation and Microfiltration

김승현^{1,*} · 이철희²

Seung-Hyun Kim^{1,*} · Chul-Hee Lee²

1 경남대학교 토목공학과

2 영남대학교 환경공학과

작년 3월 일본에 오존과 정밀여과막 (Microfiltration, MF) 혼성공정을 이용한 하수 2차 처리수의 재이용 시설이 건설되었다. 막분리 시설의 혼성공정에 대한 연구가 실험실에서는 많이 진행되고 있으나, 실제로 현장에 설치되어 운영되고 있는 경우는 그리 많지 않다. 더구나 오존을 전처리 공정으로 사용하는 실지 플랜트 규모의 혼성시스템은 저자들이 아는 한 이 시설이 유일하므로, 막분리 혼성공정의 신기원을 이룩한 이 시설을 소개하고자 한다.

1. 재이용 시설

일본 도오쿄오도에 위치한 일일 처리용량 800,000m³의 시바우라 하수처리장은 하수처리 공정 중 가장 보편적인 활성슬러지 공정을 사용하여 인근하수를 처리하고 있다. 이 처리장은 그러나 다른 하수처리장과는 달리 재이용 시설을 갖추고 있어서, 2차 처리수중 일부를 (7,300m³/일) 모래여과 처리를 한 후 인근 주민들에게 공급하고 있다. 재이용수가 공급되는 지역은 일본에서 부유층 동네로 알려진 JR 시나가와역 주변으로, 이 지역 주민들은 재이용수를 화장실 용수로 사용하고 있었다. 그런데, 최근 주민들이 재이용수의

색도와 냄새에 대한 민원을 제기하였고, 이 문제를 해결하기 위하여 하수처리장은 기존의 모래여과시설을 고도처리시설로 교체기로 결정하였다.

재이용시설을 입찰하면서, 하수처리장이 제시한 중요한 조건은 설치비와 운영비를 일정수준으로 유지하는 것이었다. (설치비 10억 \yen , 운영비 50 \yen /m³ 미만) 입찰결과, 오존과 MF의 혼성공정을 제시한 수도기공이 최종사업자로 선정되었다. 수도기공은 2004년 3월 시공을 완료하고, 현재는 이 시설을 운영 중이다.

수도기공은 하수처리장 입구에 재이용 시설을 위한 건물을 신설하였다. 지하 1층, 지상 2층인 이 건물의 지하층은 펌프실, 지상 1층은 MF와 오존제거설비, 그리고 지상 2층은 오존발생설비가 각각 배치되었다. 펌프실에는 모두 10대의 펌프가 있는데, 이중 원수유입펌프가 3대(1대 예비포함), 역세척 펌프가 3대(1대 예비포함), 처리수 배출펌프가 2대, 그리고 역세수 배출펌프가 2대였다.

2. 오존시설

이 시설의 오존발생기는 Sumitomo 제품으로, 제품

*Corresponding author Tel: +82-55-249-2671, FAX: +82-55-249-2664, E-mail: shk.m@kyungnam.ac.kr (Kim, S.H.)

Table 1. Specification of ozone generator in the reclamation facility of the Shibaura plant

Description	Specification
Generator type	Plate-discharge type
Generation capacity	2.6kg/h
Ozone concentration	210g/Nm ³
Discharge power	26 KW

사양은 Table 1에 제시하였다. 이 오존발생기는 공기로부터 오존을 생산하는데, PSA(Pressure Swing Adsorption) 장치에 제오라이트를 충전하여 공기로부터 산소를 분리하고 있었다. 전처리를 거친 공기가 제오라이트를 통과하면서 질소가 제거되는데, 현장기술자에 의하면, PSA장치에 의해서 90% 이상의 산소 농도를 얻을 수 있다고 하였다.

2.1. 오존주입농도 결정

오존시설의 가장 중요한 조건은 주입농도의 결정이다. 시바우라 재이용 시설은 오존 주입농도를 MF 유출수가 아닌 유입수의 잔류오존농도를 기준으로 결정하고 있었다. 이 시설의 경우, MF 유입수의 잔류오존농도를 3mg/L로 유지하고 있었다. 현장기술자에 의하면, 하수 2차 처리수에 30mg/L 정도의 오존을 주입하면, MF 유입수의 잔류오존농도를 3mg/L 정도로 유지할 수 있다고 하였다. 이 정도의 오존이 주입되면 유출수의 잔류오존농도는 어느 정도 되는지를 문의하자, MF 유출수의 잔류오존농도는 0~0.5mg/L 정도 되는데 변화가 상당히 크다고 하였다. 그러므로, MF 유출수 대신 유입수의 잔류오존농도를 기준으로 오존의 주입농도를 결정하고 있다고 하였다.

현장기술자는 2차 처리수에 포함된 암모니아의 완전한 제거를 강조하였다. 이 시설은 암모니아로 인하여 잔류오존농도를 유지하는데 어려움을 많이 겪었기 때문에, 안트라싸이트 여재의 생물막을 (높이 1.5m) 설치하였다. 오존주입 전에 2차 처리수에 포함된 암모니아가 완전히 제거된 후에는, 오존주입량의 조절이 수월해졌다고 하였다.

2.2. 배오존 처리

오존시설에서 배오존의 처리가 중요하다. 이는 배오존이 적절하게 처리되지 않고 공기 중에 체류하는

경우, 운영자들의 건강에 나쁜 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 실제로 국내 오존을 사용하고 있는 정수장의 운영자들은 배오존 문제를 오존시설의 가장 큰 문제점으로 지적하고 있다. 이 시설은 오존의 주입농도가 일반 정수장의 10배나 되기 때문에 배오존 문제가 훨씬 더 중요하였다. 국내에서 오존을 사용하고 있는 생활활성탄 정수장은 통상 3mg/L 정도의 오존을 주입하고 있었으나, 이 시설은 주입농도가 30mg/L에 이르고 있었다.

이 시설은 망간모래 여과와 활성탄 여과시설에 의존해서 배오존을 처리하고 있었다. 30~50cm 정도 높이로 설치한 망간모래를 50°C 정도까지 가열해서 사용하고 있었는데, 상당히 효율적이라고 하였다. 이 시설은 망간모래 여과로 공기 중에 체류하는 오존의 대부분을 제거하고 있었으며, 활성탄 여과는 오존의 추가제거가 필요한 경우를 위하여 설치하였다.

3. 막분리 시설

오존은 상당히 강력한 산화제이므로, 오존을 전처리로 사용하고 있는 경우에는, 화학적 내구성이 강한 분리막을 사용하는 것이 절대적으로 필요하다. 이 시설은 오존내성을 갖고 있는 PVDF MF를 (공극크기 0.1μm, Asahi Kasei 제품) 사용하고 있었다. 현장기술자에 의하면, 분리막의 수명은 일반 다른 분리막과 마찬가지로 5년이라고 하였다. 막분리 시설의 용량은 2,550 m³/일 이었고, 이 용량을 만족하기 위하여 모두 56개의 모듈을 2계열로 설치하였다. 막분리 시설은 십자흐름형으로 운전되면서 상당히 높은 투과속도를 유지하고 있었다.(4m/일) 반면, 선속도는 그리 높지 않았서, 입구측과 출구측의 선속도는 각각 0.11m/s, 0.036m/s 이었다.

오존에 의한 막의 파손은 막 자체보다는 모듈의 양쪽 접합부에서 발생할 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 현장기술자에게 이런 문제점에 대해서 문의하자, 현재까지 Asahi 제품의 분리막에서는 별다른 문제가 발생하지 않았다고 하였다. 현장기술자는 분리막 자체보다는 모듈의 중요성을 더 강조하였다. 오존농도가 워낙 높기 때문에 부식에 강한 재질을 사용해서 모듈을 제작하는 것이 중요하고, 모듈의 용접도 세밀한 주의가 필요하다고 하였다. 이 시설은 내구성이

Table 2. Water quality data

Item	Secondary effluent	Sand filtered	MF treated
Color, CU	16	13	1
Odor, TON	135	120	1
Turbidity, mg/L	2	1	0
Coliform, N/mL	2,200	220	ND
Cryptosporidium, N/10L	11~32	1.1~3.2	0

강한 SUS 316L 재질을 사용해서 모듈을 제작하였다.

오존처리는 막오염 저감에 상당히 효과적인 것으로 알려져 있다. 이런 효과에 대해 문의하자, 현장기술자는 오존주입에 따라서 막의 압력이 변하는 것으로 미루어, 오존에 의한 막오염 저감효과는 확실하다고 하였다. 오존주입을 중지하면 막의 압력이 곧바로 증가하였던 반면, 오존을 주입하면 막의 압력이 떨어졌다고 하였다.

4. 수질

오존처리는 이 시설의 목적인 색도와 냄새 문제를 확실하게 해결하고 있었다. 색도의 경우 현장에서 육안으로도 확인이 가능하였다. 기존의 처리시설인 모래여과 처리수를 육안으로 관찰한 결과 색도를 확인할 수 있었으나, 고도 처리시설인 오존처리수는 색도가 없었다. 또한, 냄새문제도 완전히 해결되었다. 오존냄새도 마찬가지로, 처리수에서 오존냄새를 맡을 수 없었을 뿐만 아니라, 오존처리수가 배출되는 지하층에서도 오존냄새가 전혀 나지 않았다.

기존의 처리시설을 거친 모래여과수와 고도처리공정을 거친 MF 처리수의 수질을 비교한 결과를 Table 2에 요약하였다. Table 2는 고도처리시설인 오존

+MF 처리시설의 우수성을 모든 수질항목에 대해서 잘 나타내 주고 있다. 기존 처리시설인 모래여과는 예상된 바와 같이 탁도를 포함한 미생물의 제거에는 효과적이었으나, 색도와 냄새제거에 취약한 문제점을 나타내었다. 반면, 오존과 MF를 조합한 고도처리는 민원의 주요원인인 색도와 냄새뿐만 아니라, 크립토스포리디움을 포함한 모든 미생물을 완벽하게 제거하였다.

5. 시설비와 운영비

현장기술자에게 확인한 바에 의하면, 이 시설의 건설비용은 분리막을 포함한 기계전기, 및 계장에 소요된 비용이 8억 2천만 원이었다(토목 및 건축비용 제외). 감가상각비를 포함한 오존과 MF를 조합한 재이용 시설의 운영비는 52 원/m³이었다. 이중 감가상각비가 50%이므로, 순수 운영비는 26 원/m³이었다.

사 사

저자는 시바우라 재이용 시설의 현장견학을 주선하고, 도와준 수도기공의 Yoshitsugu Jimbo 이사에게 심심한 사의를 표한다.