

침지형 평막과 전해탈인을 이용한 하수고도처리기술

장정화, 정호찬, 전재홍, 김형건*
(주) 코레드 부설연구소, 금호산업(주) 건설기술연구소*

Advanced Sewage Water Treatment Process Using Submerged Flat Sheet Membrane And Electro-Phosphorus Removal

Jeong-Hwa Jang, Ho-Chan Jung, Jae-Hong Jeon, Hyoung Gun, Kim*
R&D center, KORED Co., Ltd., Kumho Institute of Construction
Technology*

1. 서론

환경규제가 점차 강화되어지고 있는 현 시점에서 활성슬러지공법과 막분리공정을 조합하여 고농도 MLSS의 유지가 가능한 MBR(Membrane BioReactor) 공정은 처리수질이 안정적이고 낮은 F/M비의 유지에 의해 슬러지 발생량이 감소되는 등의 장점으로 인해 공정에 대한 연구와 현장적용이 꾸준히 증가되고 있다.

이처럼 MBR 공정은 SRT를 길게 유지할 수 있어 높은 MLSS 조건하에서 운전이 가능한 관계로 처리수질이 높고 안정적인 장점을 갖고 있으나 이 같은 장점은 SRT가 짧을수록 제거율이 향상되는 생물학적 인제거 방식과 상충되는 관계로 동절기와 같이 SRT를 증가시켜 운전하는 경우에는 인제거율이 저하되는 문제점을 갖고 있다. 이에 따라 계절에 관계없이 인제거율이 높고, 처리수질이 안정적이고, 소규모 하폐수 고도처리설비에서 대규모 처리시설까지 쉽게 적용할 수 있는 현장 적용성과 운영의 편의성이 높은 고도처리기술의 개발이 요구되고 있다.

또한 현재 국내에 적용된 MBR 공정에 이용되는 대부분의 분리막이 고가의 수입산인 관계로 공정의 보급 및 시장확대에 어려움이 있으며, 이에 따른 국외기술에 의한 시장잠식이 우려되고 있다. 이와 같은 상황에서 MBR 공정을 대중화하고, 외화유출을 방지하기 위해서는 MBR 공정의 핵심기술인 분리막과 모듈의 국산화가 우선적으로 요구되어진다

따라서 본 연구에서는 국내기술로 자체개발한 분리막과 모듈을 사용하였으며, MBR 공정의 단점인 인제거율 저하문제를 전해탈인장치를 설치함으로써 해결하려고 하였다.

2. 실험

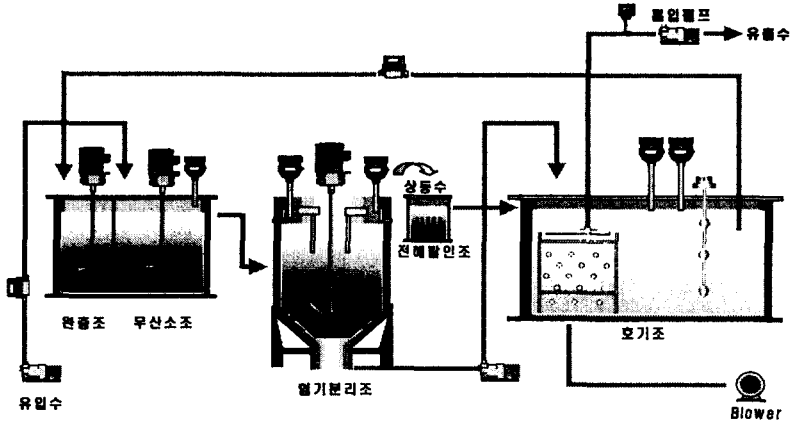


그림 1. 침지형 평막과 전해탈인을 이용한 하수고도처리기술의 개념도

본 기술은 그림 1.에서와 같이 완충조, 무산소조, 혐기분리조, 전해탈인조 및 호기조로 구성된 처리공정내에서 생물학적인 질산화/탈질화, 인방출/인과잉섭취를 통하여 유기물과 질소·인을 제거하고, 동시에 혐기분리조의 인방출과 침전분리에 의해 인농도가 높아진 혐기상등수를 전해탈인조의 알루미늄 극판에서 용출된 알루미늄 이온과 반응시켜 전해응집시킴으로써 인을 제거한다. 또한, 호기조 내부에 0.2 μ m 공경의 정밀여과 평막(Neofil[?])을 침지하여 이온성 물질 및 콜로이드성 물질을 제외한 오염물질과 호기조내 활성미생물을 고액분리한다.

위와 같은 일련의 과정을 통하여 유기물과 질소를 제거할 수 있으며, 특히 SRT를 길게 유지하여 슬러지 감량화를 도모하면서도 안정적인 인제거율을 확보할 수 있다.

2-1 처리대상수의 성상

본 시설의 처리대상수는 G시 환경사업소에 유입되는 원수로서, 1차 침전지를 거치지 않은 상태로 유입되는 하수를 미세스크린(1mm)에서 거친 후 본 시설로 유입시켜 처리하였다. 유입수 성상에는 수온은 4.90~24.00℃, pH 7.14~7.57, DO 0.70~4.50mg/L, COD_{cr} 94.30~222.39mg/L, T-N 18.86~38.60mg/L, T-P 1.74~6.40mg/L, 부유물질 23.00~172.00mg/L로 유입되었다. C/N(BOD/T-N)비는 1.00~4.38로 생물학적 처리의 적정비율인 4~10의 범위보다 낮았으며, C/P(BOD/T-P)비도 5.03~65.14로 적정비율인 20~50보다 낮게 측정되었다.

2-2 운전조건

하루 평균 유입처리량은 평균 $52.49\text{m}^3/\text{d}$ 가 처리되었으며, 호기조내 평균 MLSS는 $10,508\text{mg/L}$ 로 운전되었으며, 호기조내 MLVSS는 평균 $7,240\text{mg/L}$ 로 조사되었다. VSS/TSS비는 평균 0.69로 나타났다. 초기 운전조건에는 슬러지 폐기를 거의 하지 않고 운전하였으나 점차 VSS/TSS가 떨어지고 미생물의 활성도가 낮아지는 관계로 SRT를 점차 단축시키며 운전하였다. 전해탈인조의 평균 전압은 $1.38\sim 1.72\text{V}$, 전류는 $4.9\sim 5.4\text{A}$ 로 유지하여 운전하였으며, 운전기간동안 전압의 완만한 상승을 나타내었는데, 이는 극판표면부식에 따른 표면저항에 따른 것으로 사료된다.

3. 결과

3-1 유기물질 제거

유입수의 평균 BOD농도는 70.07mg/L , COD_{Mn} 47.03mg/L 였고, 대부분의 유기물질은 무산소조에서 제거되었다. 최종 처리수는 BOD 2.23mg/L , COD_{Mn} 7.53mg/L , COD_{Cr} 24.17mg/L 로 각각 96.69%, 83.53%, 85.99%의 제거율을 보였다.

3-2 질소 제거

T-N은 평균 25.11mg/L 가 유입되어 무산소조를 거치면서 8.72mg/L 로 65.23%가 제거되었으며, 유출수에는 6.06mg/L 로 전체적으로 75.33%의 제거율을 보이고 있다.

유입수에 대한 각 반응조의 질소계열 거동을 살펴보면 암모니아성 질소의 경우는 유입수, 완충조, 무산소조, 혐기분리조, 전해탈인조, 호기조, 유출수의 평균 농도가 각각 12.69, 6.09, 5.62, 6.8, 5.73, 1.42, 0.59mg/L 으로 처리되었고, 질산성질소의 경우는 1.23, 3.84, 1.44, 1.38, 1.47, 4.61, 5.14mg/L 순으로 증가하는 경향을 나타내었다. 완충조에서는 호기조의 질산성 질소 농도 4.61mg/L 가 3.84mg/L 로 감소하게 되는데, 이는 완충조가 DO 저감을 시키는 효과와 함께 내생탈질 작용으로 질소를 제거하기 때문인 것으로 판단되며, 결과적으로 이 같은 완충조의 탈질반응은 무산소조의 탈질부하율을 감소시키는 효과를 나타낼 것으로 예상된다.

3-3 인 제거

유입수의 T-P의 농도는 평균 3.06mg/L 을 나타내었고, 혐기분리조에서 T-P는 평균 4.05mg/L 로 인방출 반응이 일어나고 있음을 알 수 있다. 혐기분리조에서 분리된 고농도의 인은 전해탈인조와 호기조를 거치면서 평균 0.94mg/L 로 처리되어 배출되었다.

이와 같은 결과에서 볼 수 있듯이 본 처리기술의 핵심기술인 혐기분리조에서의 인의 방출, 그리고 전해탈인에 의한 인 제거 반응 및 호기조에서의 인의 과잉섭취로 인하여 안정적인 처리가 가능함을 알 수 있었다.

각 반응조의 PO₄-P 농도 변화를 보면 유입수, 완충조, 무산조소, 혐기 분리조, 전해탈인조, 호기조, 유출수의 농도가 각각 2.37, 2.04, 1.97, 3.57, 0.25, 1.86, 0.54mg/L 순으로 점점 낮아졌다. 특히 T-P 농도와 마찬가지로 혐기분리조에서 PO₄-P 농도는 3.57mg/L로 유입수의 인 농도보다 증가한 것으로 나타났으며, 전해탈인조를 거친 후 0.25mg/L를 나타낸 전해탈인조에서 인이 충분히 제거되고 있음을 알 수 있었다.

3-4 분리막의 차압과 Flux 특성

본 공정에 이용된 침지형 평막은 앞에서 말한 고농도의 MLSS를 유지하고 있는 호기조 내에 설치되어 흡입펌프를 통해 처리수를 배출한다. 운전기간 동안 막투과압력과 막투과유속의 변화를 살펴보면, 운전초기에는 11.7cmHg로 시작되어 운전개시 33일 경과시점까지 막투과압력이 점차적으로 상승하여 14cmHg에 도달한 후 점차 감소하여 운전기간 동안에 막투과압력은 평균 11.22cmHg로 유지되었으며, 운전기간동안(약6개월) 별도의 물리화학적 세정은 없었다.

막투과유량의 경우 운전기간동안에 0.42~0.45(평균 0.43)m³/m²·d로 유지되었다.

4. 결론

1. 기존의 생물학적 처리공법에서는 수온의 변화를 비롯한 여러 외부환경에 의하여 미생물의 상태가 변화하여 처리수질이 안정적이지 못한 단점을 갖고 있었으나, 본 기술에서는 전해탈인공정을 추가하여 COD_{cr} 85.99%, T-N 75.33%, T-P 79.64% 부유물질 99.36%의 높은 제거율을 보이며 안정적인 처리가 가능하였다.

2. 혐기분리조 상등수를 전해탈인조에서는 평균 5.13A, 1.67V수준의 낮은 전압·전류를 이용함으로써 경제성을 높일수 있었고, 별도의 혼화조, 중화조, 침전조 없이 물의 전해에 의해 발생된 미세기포를 통하여 불용화된 인을 부상분리시켰다.

3. 친수성이 우수한 PES(Polyethersulfone)재질의 분리막을 사용하여 fouling 현상이 적어 장기간 동안 막의 세정 없이 안정적인 운전이 가능하였다.