

유동상 Media를 이용한 기존하수처리장의 Retrofitting 가능성 평가

Evaluation on the Possibility of a Retrofitting Treatment Using Moving Media of Existing Wastewater Treatment

고 태 호* 박 운 지** 이 찬 기***
Ko, Tae-Ho Park, Woon-Ji Lee, Chan-Ki

Abstract

In this study, as MBBR(Moving Bed Biofilm Reactor) process using waste tire media is suggested for retrofitting with advanced wastewater treatment and the removal property of organic matter and nutrient and the capacity of media are evaluated through long-term operation with pilot plant following seasons, the application capacity of retrofitting with MBBR process to a existing wastewater treatment is studied.

As a result of the long-term operation of the process, it is proved that there is no loss and abrasion of media, and also that it is possible to secure the sufficient attached bio-mass. The values of organic matter and nutrient in effluent are suitable for the strict discharged water quality standards in every season including winter.

Keywords : *waste tire media, advanced wastewater treatment*
MBBR, discharged water quality standards

1. 서론

2003년 말 기준 국내에서 운영되고 있는 하수처리장은 242개소이며, 이중 31.4%인 76개소만이 고도처리 공법을 도입하여 운영중이다. 따라서 국내 하수처리장의 경우 실질적인 질소와 인의 제거가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

게다가 2008년부터 전지역으로 BOD 10 mg/L, T-N 20 mg/L, T-P 2 mg/L로 강화되는 방류수 수질기준에 따라, 대부분의 하수처리장에 적용되어 있는 활성슬러지 공법은 질소 및 인까지 제거할 수 있는 고도처리공법으로의 전환이 필요하며, 기존의 시설의 고도처리공법으로 개조(retrofitting)

또한 활발히 진행되고 있다[1].

특히, 반응조내 높은 미생물의 농도 유지로 고부하 처리가 가능하며, 부하변동에 강한 장점이 있는 생물막 공법의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이중 유동상 media를 이용한 생물막 공법은 공기를 이용하여 media를 유동시키므로 산소전달이 유리한 장점이 있다[2].

현재 국내에 설치되어 있는 하수처리장 활성슬러지 공법은 대다수가 HRT 6시간 내외로 설계되어 있어서 BNR 공법 적용시에는 반응조 용량 부족현상이 나타나 기존처리장용량을 확장할 필요가 있다. 그러므로 기존의 HRT 6시간을 유지하여 반응조 확장 없이 유기물 및 영양염류 제거를 방류수 수질기준에 맞추기 위해서는 특별한 공법선정이 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 활성슬러지공정을 고도처리공정으로 retrofitting하는 방안으로 저렴한 제

* 강원대학교 대학원 환경공학과 석사과정

** 강원대학교 대학원 환경공학과 박사과정

*** 강원대학교 환경공학과 교수, 공학박사

조원가, 적합한 비중, 우수한 내마모성 및 미생물에 독성이 거의 없는 페타이어 media를 이용한 MBBR(Moving Bed Biofilm Reactor)공정을 제안하고, pilot plant 규모로 장기간 운전하여 계절에 따른 유기물 및 영양염류의 제거특성과 media의 기능을 고찰함으로써 기존 하수처리장의 MBBR 공정으로의 retrofitting 가능성을 알아보았다.

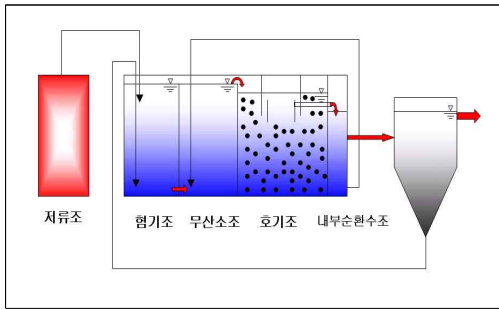


Fig. 1. Schematic diagram of process

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같이 혐기, 무산소, 호기조, 내부순환수조로 구성되었으며 호기조 내에 media를 충전시킨 pilot plant 규모의 MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor)공정이다.

실험에 사용된 혐기조, 무산소조, 호기조 그리고 내부순환수조의 반응조용량은 각각 13.95 m³, 18.60 m³, 27 m³, 4.13 m³으로 원수저장탱크와 침

전조의 용량을 제외한 반응조의 총 용량은 63.68 m³이다.

호기조 내에 media 충전율은 15%(v/v)로 하였으며, 호기조내에 원통형 baffle를 설치하여 media의 유출을 방지하였다.

2.2 Media공정의 특징

Media 이용 공정은 비교적 직경이 작은 media를 사용함으로써 기존의 활성슬러지 공정보다 동일 용적당 높은 미생물을 유지하여 고효율을 얻을 수 있는 장점을 가지며 고농도 산업폐수처리에 효과적으로 이용될 수 있다고 평가되고 있다. 특히 부유성장 미생물을 활용하는 공정과 달리 부착미생물을 이용하는 공정은 긴 SRT를 제공할 수 있으므로 *Heterotrophs*에 비해 성장속도가 느린 질산화 미생물(*Autotrophs*)의 유지가 용이하여 하·폐수의 고도처리에 많이 이용되고 있다[3],[4].

또한 고농도의 미생물을 확보하여 오염물질을 처리함으로써 처리율이 높아 반응기 부피를 크게 줄일 수 있을 뿐만 아니라 슬러지 팽화(bulking) 현상을 사전에 방지할 수 있는 장점을 지니며, 유동상 media를 공기를 이용하여 유동시키므로 산소 전달에 유리하다[5],[6].

2.3 실험방법

실험기간은 2003년 8월 26일부터 2004년 9월 2일까지 실시하였으며, 실험 결과를 가을(8월 26일~11월 31일)·겨울(12월 1일~3월 11일)·봄(3월 12일~5월 20일)·여름(5월 21일~9월 2일)으로 나누어 분석을 하였다.

Table 1에 반응조의 운전조건에 대하여 나타내

Table 1 Operation conditions of the fluidized biofilm process

항 목	가 울	겨 울	봄	여 름
F/M ratio(kg BOD/kg MLVSS · day)	0.17	0.13	0.15	0.17
F/M ratio(kg COD/kg MLVSS · day)	0.28	0.21	0.23	0.30
Flow Rate(m ³ /day)	230			
MLSS(mg/L)	2,683	3,082	2,857	2,502
MLVSS(mg/L)	1,838	2,830	2,491	1,983
SRT(day)	11.2	12.4	13.7	14.7
Temp(°C)	17.4	10.4	13.6	21.1
Sludge Return Rate(%)	50			
Internal Recycling Rate(%)	200			
HRT (hr)	Anaerobic Tank	1.45		
	Anoxic Tank	1.94		
	Aerobic Tank	2.81		
	Total	6.20		

었다. 유입유량은 230 m³/d(9.6 m³/hr)로 운전하였으며 내부반송율은 유입 원수량의 200%로, 슬러지 반송율은 50%로 운전하였다. 잉여슬러지는 1일 약 1~3 ton 정도 폐기하였고, 수리학적 체류시간(HRT)는 6.2hr 이었으며, 고형물 체류시간(SRT)는 7.3~25.5day로 반응조 수온은 8.5~24.5℃로 운전하였다.

F/M(kg COD/kg MLVSS · day)비는 0.13 ~ 0.78의 범위로 여름철에 가장 높고 변화폭도 크게 나타났으나, 평균적으로 계절별 F/M 비는 약 0.2~0.3으로 비슷한 값을 나타내었다.

반응조내의 기능을 검토하기 위하여 혐기조와 호기조내에 각각 ORP meter와 DO meter를 설치하여 측정하였으며, 호기조내의 용존산소 농도(DO)는 1.0~6.0 mg/L를 유지하였다. 혐기조와 무산소조는 교반기를 설치하여 혼합을 유도하였으며, 호기조는 수중믹서와 diffuser를 설치하여 혼합 및 적정 DO를 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Media의 기능평가

Media의 유동성을 평가한 결과 각 지점별 media 분포는 비교적 골고루 유동되고 있는 것으로 나타났다. 본 반응조가 lab scale이 아니라 pilot plant 규모이고 호기조 깊이가 3m 임을 감안할 때 실제 하수처리장으로서의 적용시 media의 유동은 우수할 것으로 판단된다.

Media의 마모성 평가를 위하여 2년 이상 가동 중인 반응조의 media를 이용하여 채분석을 실시한 결과를 Table 2에 나타내었다. 반응조의 media중 4 mm 이상인 것은 1차, 2차, 3차 각각 약 98.3%, 96.3%, 97.3%로 초기의 media에 비해 약 1.6~3.6%정도 작게 측정되었다. 그리고 3.35mm 이하가 약 0.4%로 측정되었다. 따라서 반응조내 media 마모에 대한 우려는 거의 없는 것으로 판단된다.

Table 2 Media size distribution in the aerobic tank (Unit : %)

	초기 Media	반응조 Media			
		1차	2차	3차	평균
4.75 mm 이상	98.20	94.08	88.79	93.54	92.14
4.75~4 mm	1.66	4.22	7.46	3.74	5.14
4~3.35 mm	0.12	1.28	3.35	2.34	2.32
3.35 mm 이하	0.02	0.42	0.39	0.39	0.40

Table 3 Seasonal characteristics of MLSS and COD concentration

	가을	겨울	봄	여름
호기조 MLSS(mg/L)	2,460	2,988	2,533	2,425
부유미생물량(kg)	56.46	68.57	58.13	55.65
부착미생물량(kg)	15.72	14.59	13.81	16.53
부착미생물농도(mg/L)	3,383	3,603	3,410	4,081
총미생물농도(mg/L)	2,673	3,080	2,665	2,673
부착미생물/총미생물(%)	21.8	17.5	19.2	22.9

Media의 부착미생물량을 측정된 결과 단위면적당 부착미생물량, 생물막 두께, 생물막 건조밀도 모두 22.5℃의 여름철이 가장 높은 값을 나타내었으며, 9.5℃의 겨울철이 가장 낮은 값을 보였다. Wang등(2000)[7]의 연구에서도 다공성 media를 이용한 Hybrid 공정에서 20℃의 온도에서 가장 높은 부착미생물량을 얻었다고 보고하고 있는데 본 연구에서도 동일한 연구 결과를 보였다. 그리고 호기조에 15%로 충전된 media로 인하여 확보되는 부착미생물량은 계절별로 15.72 kg, 14.59 kg, 13.81 kg, 16.53 kg이었고, 총미생물량과 부착미생물의 비율은 계절별 21.8%, 17.5%, 19.2%, 22.9%로 분석되었다. 따라서 15%(v/v)으로 media를 충전하였을 때 평균 20%의 부착미생물이 확보되는 것으로 나타났다.

3.2 유기물 제거

실험기간동안 유입 및 유출수의 TBOD의 농도 변화와 제거효율을 Fig. 2에 나타내었다. TBOD는 평균 91.4%의 제거효율을 나타내었으며, 수질분석 결과 유출수의 농도가 현행 특정지역 하수종말처리시설 BOD 배출기준농도인 10 mg/L 이하를 충분히 만족시키는 것으로 나타났다.

또한, 유입수의 유기물농도가 불안정함에도 불구하고 유출수 농도가 안정하게 나타난 것은 media 공정의 장점으로 충격부하에 대한 적응력이 강한 이유로 판단되며, 온도가 10℃이하의 낮은 온도에서도 90%이상의 높은 제거효율을 나타내는 것으로 보아 호기조내 유동상 media가 처리효율에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 판단된다.

전체적인 유기물제거를 보면 여름철이 가장 높은 제거효율을 보였으나, 다른 계절과 비교하였을 때 큰 차이는 나타나지 않은 것을 알 수 있다. 이는 media로 인하여 충분한 미생물이 확보되어 처리효율이 높아져 온도에 영향을 크게 받지 않은 것으로 판단된다.

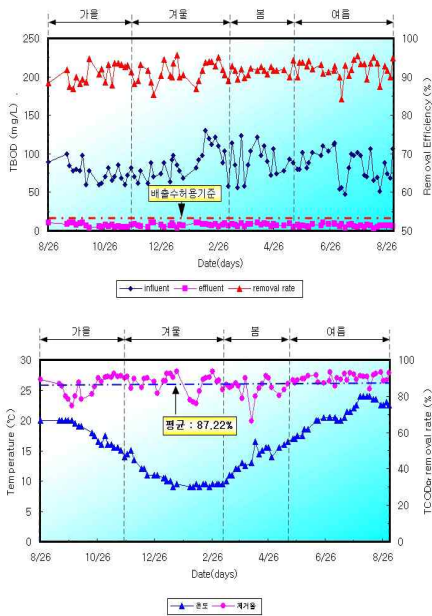


Fig. 2 Influent and effluent TBOD concentration during the operation period

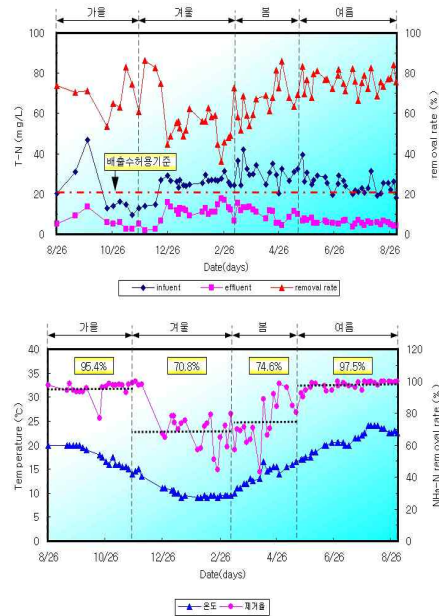


Fig. 3 Influent and effluent T-N and NH₃-N concentration during the operation period

3.3 질소 제거

계절에 따른 T-N, NH₃-N의 유입, 유출농도와 제거효율을 Fig. 3에 나타내었다. 가을철의 경우 T-N의 유입, 유출수의 농도는 평균 20.51 mg/L, 3.56 mg/L로 68.4%의 제거효율을 나타냈으며, 겨울철의 경우 유입 25.15 mg/L, 유출 10.43 mg/L로 56.96%의 제거효율을 보였다. 봄, 여름철은 유입 28.96 mg/L, 24.99 mg/L 유출 9.92 mg/L, 5.66 mg/L로 각각 66.0%, 76.2%의 제거효율을 나타냈다.

T-N의 경우는 온도가 높은 여름철의 경우 높은 제거효율을 보였으며, 겨울철의 경우 60% 이하의 낮은 제거효율을 보이고 있는데, 이는 낮은 수온과 빈부하로 인하여 탈질조의 탄소원 부족에 기인한 것으로 판단된다. 전체적으로 유입되는 질소의 농도가 다소 불규칙하게 변화함에도 불구하고 유출수의 T-N농도는 하수종말처리시설 방류수 수질기준 농도인 20 mg/L를 만족시키는 것으로 나타났다.

계절별로 온도가 증가할수록 질소제거 효율이 NH₃-N기준으로 70%에서 97%로 약 27%이상 증가하는 것으로 나타났다.

그리고 Eckenfelder(1970)[8]에 의하면 질산화는 5°C ~ 45°C 범위에서 가능하다고 하였으며, 최적온도는 25°C ~ 35°C임을 제시하였는데, 본 실험에서는 20°C ~ 25°C의 범위로 운전된 경우에 높은 제거효율을 보여주고 있다.

3.4 인 제거

운전기간 동안 유입 및 유출수의 T-P 농도와 제거효율은 Fig. 4와 같다. 유입, 유출수의 평균 농도는 2.24 mg/L, 0.74 mg/L로 64.1%의 평균제거효율을 나타내었고 계절별로 살펴보면 가을철 2.06 mg/L, 1.05 mg/L 제거효율 45.3%, 겨울철 2.37 mg/L, 0.41 mg/L 제거효율 81.7%로 나타났으며, 봄과 여름철은 79.8%, 53.7%의 제거효율을 나타내었다. T-P의 제거효율은 겨울철이 가장 높은 81.7%를 나타냈으며 가을철에 가장 낮은 제거효율을 나타냈다. 그리고 Fig. 4와 같이 방류수 수질기준인 2 mg/L를 충분히 만족시키는 것으로 나타났다.

온도가 낮은 겨울철에 가장 높은 인 제거 효율을 나타내었는데, 이는 Ekama(1986)[9]의 연구결과인 14°C와 22°C로 운전하였을 때 낮은 온도인 14°C에서 더 높은 인 제거효율을 나타낸 것과 같은 것으로 나타났다. 또한, 저온성 미생물은 20°C에서 최적 성장률을 가지는 활성슬러지 미생물보다 낮은 온도에서 더 많이 성장된다고 보고되었으며 [10], 이러한 저온성 미생물의 영향으로 인해 낮은 온도에서 더 높은 인 제거효율을 나타낸 것으로 판단된다.

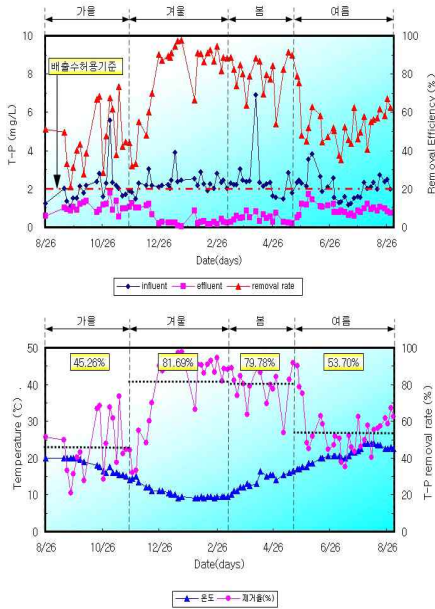


Fig. 4 Influent and effluent T-P concentration during the operation period

3.5 처리공정의 시설 설계값 선택

하수처리장 유출수의 수질이 변하기 때문에 허용 요구값보다 낮은 평균 유출수 농도가 유지되도록 하수처리장을 설계하여야 한다. 규정된 표준값을 만족할 수 있는 설계 평균값을 예측하기 위한 두 가지 접근방법이 있다. 첫 번째는 신뢰상수를 포함하는 통계적 접근 방법과 두 번째 그래프를 이용한 접근방법이다[11]

따라서 본 논문의 MBBR공정을 pilot plant 규모로 장기간 운전한 data를 통하여 처리시설을 설계할 때 설계 평균값을 예측하였다.

실험기간동안 유출수의 BOD₅, T-N, T-P를 이용하여 설계값을 계산하였다. 예측방법은 앞에서 언급한 COR 방법과 Log-확률 그래프 방법을 사용하였으며 1년의 실험기간동안 99%의 신뢰수준을 적용하여 설계수질을 예측하였다.

■ COR 방법

COR 방법을 사용하는데 있어서 평균 구성값(설계값)은 확률을 근거로 한 표준과 관련된 값이다. 평균값은 다음과 같이 구하여 진다.

$$m_d = (COR)X_S \quad (1)$$

m_d : 평균설계값(g/m³, mg/L)

X_S : 특정 설계값을 만족해야 할 고정된 표준값(g/m³, mg/L)

COR : 신뢰 상수

신뢰상수는 식(2)에 의하여 결정할 수 있다.

$$COR = (V_x^2 + 1)^{1/2} \exp\{-Z_{1-\alpha} [\ln(V_x^2 + 1)]^{1/2}\} \quad (2)$$

V_x : 현 분포비의 변화상수 = σ_x/m_x

σ_x : 처리공정으로부터 운영값의 표준편차

m_x : 처리공정으로부터 운영 평균값

$Z_{1-\alpha}$: 정규분포의 평균값으로부터 떨어진 표준편차의 수

$1-\alpha$: 사건의 누적 확률(신뢰수준)

위의 식에서 신뢰도와 누적확률은 Niku *et al.* (1979)[11]이 제시한 값을 사용하였다.

표준 통계 소프트웨어 프로그램을 이용하여 실험기간동안 data에 대한 통계값을 결정하였다.

Table 4 Determine the statistics data using standard statistical software package

Parameter	Value		
	BOD	T-N	T-P
배출수기준	10	20	2
평균	7.37	8.85	0.75
표준 오차	0.32	0.46	0.04
중앙값	7.00	7.87	0.80
최빈값	8.20	5.26	0.87
표준 편차	3.04	3.82	0.40
분산	9.26	14.55	0.16
범위	26.80	15.95	1.75
최소값	3.20	1.63	0.05
최대값	30.00	17.59	1.80
관측 수	92	69	92

다음으로 누적확률 99%에서 식(2)를 이용하여 신뢰성 계수를 결정하였다.

a. 통계분석의 결과를 이용하여 V_x 값을 결정

$$V_x = \frac{\sigma_x}{m_x} = 0.4126(\text{BOD}), 0.4309(\text{T-N}), 0.5364(\text{T-P})$$

b. Niku(1979)가 제시한 99%의 누적확률 $Z_{1-\alpha}$ 값은 2.326 이다.

c. 신뢰성 계수를 결정한다.

$$COR = (V_x^2 + 1)^{1/2} \exp\{-Z_{1-\alpha} [\ln(V_x^2 + 1)]^{1/2}\}$$

$$\text{BOD} = 0.54, \text{T-N} = 0.54, \text{T-P} = 0.51$$

년 표준값에 대한 99% 신뢰성에 대한 설계 방류농도를 결정한다.

$$\text{a. 평균 설계 BOD} = (COR)X_S = 0.54 \times 10 = 5.4 \text{ mg/L}$$

- b. 평균 설계 T-N = (COR)X_s = 0.54 × 20
= 10.8 mg/L
- c. 평균 설계 T-P = (COR)X_s = 0.51 × 2
= 1.03 mg/L

■ Log-확률 그래프 방법

년 표준에 대한 99% 신뢰성에 대한 BOD와 T-N, T-P의 설계 방류수 농도를 예측하기 위하여 Log-확률 용지에 각 항목의 data를 Fig. 5, 6, 7에 나타내었다.

BOD에 대한 설계 방류수 농도를 결정하면, BOD 값은 방류수 허용기준인 10 mg/L와 99%의 점들을 통하여 측정된 자료로서 같은 기울기를 가진 선들을 지나고, 50%에 해당하는 값을 유념하여 결정하였다. 결정된 값은 다음과 같다.

BOD설계 (10 mg/L, 99%) = 5.2 mg/L

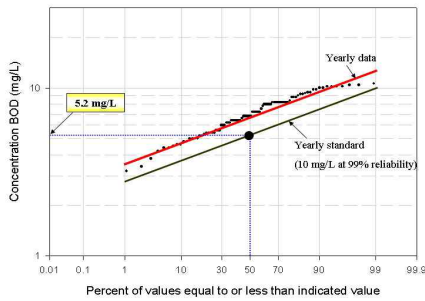


Fig. 5 Probability distributions of effluent BOD concentration value

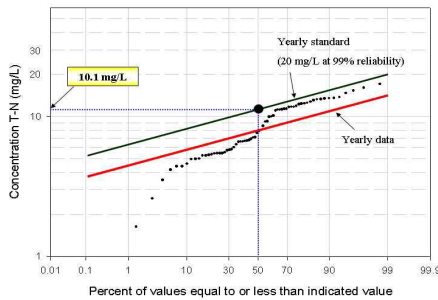


Fig. 6 Probability distributions of effluent T-N concentration value

T-N 값은 방류수 허용기준인 20 mg/L와 99%의 점들을 통하여 측정된 자료로서 같은 기울기를 가진 선들을 지나고, 50%에 해당하는 값을 유념하여 결정하였다.

T-N설계 (20 mg/L, 99%) = 10.1 mg/L

T-P에 대한 설계 배출수 농도를 결정하기 위하여 T-P 값은 방류수 허용기준인 10 mg/L와 99%

의 점들을 통하여 같은 기울기를 가진 선들을 지나고, 50%에 해당하는 값을 유념하여 결정하였으며 Fig. 7에 나타내었다.

T-P설계 (2 mg/L, 99%) = 0.53 mg/L

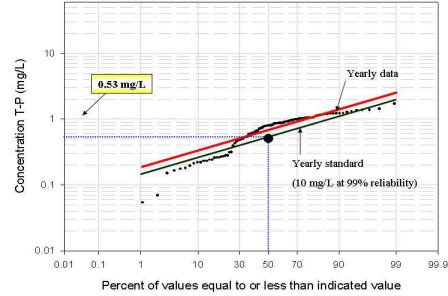


Fig. 7 Probability distributions of effluent T-P concentration value

4. 결론

국내하수처리장 retrofitting이 용이할 것으로 판단되는 페타이어 media를 사용한 MBBR공정을 장기간 운전함으로써 계절별 변화에 따른 유기물 및 영양염류 제거특성 그리고 media의 기능을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 호기조내 media의 유동성을 측정된 결과 각 지점별 media는 비교적 골고루 유동되고 있었으며, center well로의 유실은 없는 것으로 나타났다. 그리고 media의 마모로 인한 media 보충도 필요 없는 것으로 나타났다. 또한 15%(v/v)으로 media를 충전하였을 때 평균 20%의 부착 미생물이 확보되는 것으로 나타났다.
- (2) 유기물 제거는 BOD의 경우 평균 91.4%로 유기물 제거가 양호하였으며, 현행 특정지역 하수종말처리시설 방류수 수질기준인 10 mg/L를 충분히 만족시키는 것으로 나타났다. 계절별 처리효율은 가을 90.63%, 겨울 91.3%, 봄 91.6% 그리고 여름 92.1%로 여름철이 가장 높은 것으로 나타났으나 다른 계절과 비교하였을 때 큰 차이를 나타내지는 않았다. 이는 media로 인하여 충분한 미생물의 확보로 유기물 제거효율이 향상된 것으로 판단된다.
- (3) 질소 제거는 T-N의 경우 평균 67.3%의 제거효율을 보였으며, 계절별로 살펴보면 가을, 겨울, 봄 그리고 여름의 경우 68.4%, 56.9%, 66.0% 그리고 76.2%로 나타났으며, 온도가 높은 여름

철에 가장 높은 제거효율을 나타냈다. 또한 전체적으로 유출수의 T-N농도는 하수처리장 방류수 수질기준인 20 mg/L를 만족시키는 것으로 나타났다.

- (4) 인 제거는 T-P의 경우 가을, 겨울, 봄 그리고 여름철의 제거효율은 45.3%, 81.7%, 79.2% 그리고 53.7%로 겨울철이 가장 높게 나타났다. 유출수의 평균 농도는 0.74 mg/L로 방류수 수질기준인 2mg/L를 충분히 만족시키는 것으로 나타났다.
- (5) 실제 설계를 위한 유출수의 설계값을 예측하였다. 99%의 신뢰수준으로 COR 방법과 Log-확률 그래프 방법을 사용한 결과 BOD, T-N, T-P의 설계농도는 5.3 mg/L, 10.5 mg/L, 0.78 mg/L로 나타났다.

본 공정을 장기간 운전한 결과 media의 유실 및 마모에 대한 우려는 없는 것으로 나타났으며 충분한 부착미생물확보 또한 가능한 것으로 나타났다. 그리고 동절기 포함 모든 계절에 대하여 유출수의 유기물 및 영양염류 모두 강화되는 방류수 수질기준을 만족하였다.

따라서 페타이어 media를 이용한 MBBR 공정은 국내하수처리장의 retrofitting에 대하여 충분한 가능성이 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 환경부, “03년 하수종말처리시설 운영관리실태 분석”, 2004.
- [2] Rusten, B., M. McCoy, R. Proctor, and J. G. Siljuden, “The Innovative Moving Bed Biofilm Reactor/Solids Contact Reaeration Process for Secondary Treatment of Municipal Wastewater”, *Water Environment Research*, vol. **70**, p. 1083, 1998.
- [3] Heijnen, J. J., Loodsrecht, M., Mulger, R., Welterverde, R., and Mulder, A., “Development and Scale-up of an Anaerobic Biofilm Air-Lift Suspension Reactor”, *Water Science and Technology*, vol. **27**, p. 253~261, 1993.
- [4] Mishima, K., Nishimura, T., Goi, M., and Katsukura, N., “Characteristics of Nitrification and Denitrification of the Media Anaerobic-Anoxic-Oxic Process”, *Water Science and Technology*, vol. **34**, p. 137~143, 1996.

- [5] Rusten, B., Hem, L. J., & Odegaard, H., “Nitrification in a Moving Bed Biofilm Reactor”, *Water Research*, vol. **28**, p. 1425~1433, 1995.
- [6] Kim, Y. H., Cho, J. H., Kim, M. H., Lee, Y. W., “Nitrification of Municipal Wastewater with Biofilm Media”, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, vol. **19**(3), p. 415~424, 1997.
- [7] Wang, J., Shi, H., and Qian, Y., “Wastewater Treatment in a Hybrid Biological Reactor(MBBR): Effect of Organic Loading Rates”, *Process Biochemistry*, vol. **36**, p. 297~303, 2000.
- [8] Eckenfelder, W. W. Jr., & Ford, D. L., “Water Pollution Control”, 1970.
- [9] Ekama, G. A., Dold, P. L. and Marais, G. V. R., “Procedures for Determining Influent COD Fraction and the Technology”, vol. **18**, p. 91~114, 1986.
- [10] Randall C. W., Barnard J. L., & Stensel H. D., “Design & Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal”, Technomic Publishing Company, Inc, 1992.
- [11] Niku, s., E. D. Schroeder, and F. J. Samaniego, “Performance of Activated Sludge Processes and Reliability-Based Design”, *Journal Water Pollution Control Federation*, vol. **51**, p. 2841, 1979.