

## 기존 하수처리장 성능개선을 위한 NPR공정의 적용

문태훈 · 고광백 · 송의열<sup>\*,†</sup>

연세대학교 공과대학 토목환경공학과 환경공학연구소  
<sup>\*</sup>대전광역시 시설관리공단

### An Application of the NPR Process for the Treatability Improvement of an Existing Sewage Treatment Plant

Tae Hoon Moon · Kwang Baik Ko · Eui Yeol Song<sup>\*,†</sup>

School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University  
<sup>\*</sup>Daejeon Metropolitan City Facility Management Corporation  
(Received 16 August 2007, Accepted 19 September 2007)

#### Abstract

Most of the sewage treatment plants in Korea are being operated by using the conventional activated sludge process. Recently, as the water criteria have been strict with regard to such main culprits of eutrophication, the existing sewage treatment plants are obliged to upgrade their treatment technology to meet the criteria. Under such circumstances, this study was aimed at analyzing the conditions of an existing sewage treatment plants in Korea, and thereupon, test its treatment performance for the actual sewage water by operating a pilot plant. When the pilot plant was operated with the NPR process at the capacity of 30 m<sup>3</sup>/day, the average contents of BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N and T-P in the effluents were 7.0 mg/L, 9.7 mg/L, 5.1 mg/L, 8.0 mg/L and 0.23 mg/L, respectively, which were very stable in general. Accordingly, if the NPR process used for this pilot plant to upgrade the treatment technology for the sewage treatment plat could be adopted, the effluent water quality criteria effective beginning from 2008 would be met.

**keywords** : Attached growth, Biological nutrient removal, NPR process

## 1. 서론

환경부에서는 1996년부터 국내 하수처리장의 방류수중 질소와 인의 배출허용기준을 각각 60 mg/L, 8 mg/L으로 규제하기 시작하여 그 기준치는 2002년부터 한강수계를 우선적으로 질소 20 mg/L, 인 2 mg/L로 강화시켜 규제하고 있으며, 2008년 이후에는 전국 모든 하수처리장으로 확대토록 하수도법을 정비한 상태이다(환경부, 2003). 또한, 산업단지 또는 농공단지 등에서 발생하는 산업폐수(오수포함)를 처리하는 폐수종말처리장에 대해서도 단계적으로 질소와 인의 배출허용기준을 강화하여 2013년 이후에는 질소 20 mg/L, 인 2 mg/L로 배출하도록 수질환경보전법을 정비한 상태이다.

이러한 국내 수질환경정책 방향의 전환에 따라 최근에 하수처리를 목적으로 건설중이나 도입예정인 하수처리장은 대부분 유기물과 질소·인 제거를 포함하는 고도처리공정이다(환경관리공단, 2003). 그러나 국내의 많은 하수처리장은 아직까지도 표준활성슬러지법으로 운영되고 있어 질소와 인 등 영양염류 제거에는 한계가 있는 실정이다(환경부,

2001~2003). 따라서 유기물 제거 위주의 기존 하수처리장을 고도처리시설로 전환하는 것이 매우 중요한 실정이며, 이러한 시설개량사업은 비용 및 효과를 고려하여 사업범위 및 시기, 투자우선순위, 재원확보대책 등의 종합적인 계획을 통해 추진하여야 한다.

국내 대부분의 하수처리장에 적용되어 있는 표준활성슬러지법을 질소 및 인을 개별적으로 또는 동시에 제거할 수 있는 고도처리 공법으로 개선하기 위해서는 기존 하수처리장의 운영실태 등을 체계적으로 분석하고, 고도처리공정의 처리성능에 대한 사전검증을 통하여 최소한의 범위 내에서 효과적인 개선이 될 수 있도록 추진되어야 한다.

본 연구에서는 기존 하수처리장의 운전현황 및 문제점 등을 조사·분석하고, 포기조를 NPR 공정으로 고도 개선 시 필요한 총 생물반응조 체류시간은 6.1시간으로 이에 맞는 30 m<sup>3</sup>/일 규모의 Pilot Plant를 통해 검토, 분석하여 기존 하수처리장을 효과적으로 개선할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험장치

기존 S하수처리장의 포기조 체류시간은 5.6시간으로 이

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
ssong68@hanmail.net

를 NPR공정으로 전환하기 위해 필요한 생물반응조 체류시간은 총 6.1시간으로 기존 포기조 용량보다 0.5시간에 해당하는 용량이 추가적으로 필요하였다(코오롱건설(주), 2000). NPR공정으로 개선 시 처리효율 검증에 위한 30 m<sup>3</sup>/일 규모의 Pilot Plant를 S하수처리장내 제1처리장 유입구 부근에 설치하여 실제 제1처리장으로 유입되는 하수를 중심으로 처리효율에 대한 평가를 실시하였다. Pilot설비는 기존 포기조를 NPR공정으로 전환시 필요한 HRT를 만족할 수 있도록 폭×길이×높이를 결정하였으며, 2차 침전지는 현재 기존 구조물의 수면적과 최대한 근접할 수 있도록 제작하였다.

유입원수 공급펌프 및 각 반응조의 교반장치는 회전수를 제어할 수 있도록 Inverter를 설치하였으며, 혐기조와 무산소조에는 ORP Meter를 각각 설치하고, 호기조에는 DO Meter를 설치하여 송풍량을 제어할 수 있도록 하였다. 각 단위공정별 세부 규격은 Table 1과 같다.

**Table 1.** Specification of the pilot plant

Items		Specification
HRT (hours)	Anaerobic	0.75
	Anoxic	2.35
	Aerobic	3.0
	Secondly settling pond	3.6
Standards (m <sup>W</sup> ×m <sup>L</sup> ×m <sup>H</sup> )	Anaerobic	1.2×0.67×1.16
	Anoxic	1.2×1.56×1.6
	Aerobic	1.2×1.99×1.6
	Secondly settling pond	ø1.6×2.2
BioCube packing factor (%)		12

**2.2. 운전조건 및 방법**

공정의 운영 초기에 기존 S하수처리장내 제2처리장(A<sub>2</sub>O 공법으로 운전중)에서 채취한 생물반응조 슬러지를 종균으로 사용하여 약 20일 동안 슬러지를 순응시키면서 증식 배양하였다. NPR공정의 성능평가를 위한 유입하수는 제1처리장으로 유입되는 원수를 유입수로 사용하였으며, 처리성능평가는 이후 15일 동안 채수하여 분석하였다.

한편, 각 반응조의 용존산소, 온도, MLSS, MLVSS는 자체적으로 매일 주기적으로 측정하여 반응조의 운영상황을 파악하였고, 무산소조와 혐기조의 용존산소 농도는 0.5 mg/L이하, 호기조의 용존산소 농도는 2.0 mg/L이상이 되도록 하였다.

BioCube 담체내 미생물이 계획치인 20,000 mg/L까지 부착하는데 소요되는 시간은 약 10일 정도 걸렸으며, 정상상

**Table 3.** Nature of inflow water

Classification	Analysis result			Analysis result of "S" (2002)		
	MIN.	MAX.	Average	MIN.	MIN.	Average
BOD	77.9	291.9	166.4	40.4	348.0	120.8
COD <sub>Mn</sub>	60.0	168.0	102.3	30.5	240.7	68.2
SS	81.0	270.0	156.8	56.0	365.0	166.4
T-N	26.6	41.4	34.6	23.92	50.46	35.45
T-P	2.40	6.85	3.66	1.87	7.76	3.46

**Table 2.** Operating conditions of the pilot plant

Items	Specification
Inflow flux (m <sup>3</sup> /day)	30
Water temperature (°C)	11~14.5
SRT (day)	17.3 (9.9)
F/M ratio	0.19
MLSS (mg/L)	3,100 Biocube : 22,000
BioCube packing ratio (%)	12
NYCY ratio (%)	100~200
RAS ratio (%)	50
Inflow moisture ratio (%)	30~70

**Table 4.** Analysis of treatment efficiencies (Unit : mg/L)

Classification	Influent	Effluent	Removal efficiencies (%)
BOD	166.4	7.0	94.9
COD <sub>Mn</sub>	102.3	9.7	89.7
SS	156.8	5.1	96.1
T-N	34.6	8.0	73.6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	20.9	2.4	87.9
T-P	3.66	0.23	93.2

태에서 MLSS농도는 3,100 mg/L를 유지하였고 담체내 MLVSS/MLSS비는 운전 전기간에 걸쳐 0.75~0.83으로 담체 내부에 무기물의 축적은 발생하지 않았다.

**2.3. 분석항목 및 방법**

시료는 일정한 유량의 유입 및 유출수에 대하여 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P 등을 1회 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P 등을 1회/일 분석하였으며, 생물반응조내 운영상태 파악을 위한 온도, ORP, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, PO<sub>4</sub>-P, 알칼리도, MLSS, MLVSS 등을 1회/일 분석하였다. 또한, 슬러지의 침전특성을 파악하기 위하여 SV<sub>30</sub>를 측정하였고, 슬러지 폐기가 슬러지 반송라인에서 이루어지므로 SRT를 유지하기 위해 반송슬러지농도를 매일 측정하여 슬러지 폐기량을 조정하였다.

유출수와 각 반응조의 미생물 농도가 일정하게 유지되고 정상상태에 도달했다고 판단되었을 때 2차침전지 유출수에 대한 보존수질 만족여부를 파악하기 위한 실험분석을 전문분석기관(한국기기유화시험연구원)과 동시에 실시하였다.

시료 분석방법은 수질공정시험방법 및 Standard Method 방법에 따라 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 유입수의 성상 및 특성

본 pilot plant 원수는 S하수처리장내 유입수를 사용하였으며, 실험기간동안의 유입원수의 주요 성상을 살펴보면 평균 BOD 166.4 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 102.3 mg/L, SS 156.8 mg/L, T-N 34.6 mg/L, T-P 3.66 mg/L로 나타났다. 2002년 평균 유입 수질과 비교시 BOD, COD<sub>Mn</sub>을 제외하고 SS, T-N, T-P는 비슷한 값을 나타내고 있다(성남시 4년간 운영자료, 1999~2002). BOD값이 높게 나타난 것은 본 실험기간이 봄철로 강우에 의한 우수가 유입되지 않았던 것으로 판단된다(도, 2002).

#### 3.2. 제거효율 분석

짧은 HRT(6.1시간) 조건에도 불구하고 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P의 제거효율은 각각 94.9%, 89.7%, 96.1%, 76.1%, 93.2%로 매우 우수하여 안정적인 처리수를 얻을 수 있었다. 특히, 담체에 부착된 고농도의 질산화균에 의한 암모니아성질소의 제거효율은 87.9%로 나타나 전기간에 걸쳐 매우 안정적이었고, 유출수 중 평균 암모니아의 농도는 2.4 mg/L로 매우 낮았음을 알 수 있다.

##### 3.2.1. 유기물 및 SS제거

Fig. 1은 운전기간 동안의 BOD 농도 변화를 나타낸 것으로 유입수 평균 166.4 mg/L에서 유출수 평균 7.0 mg/L로 제거효율 94.9%를 나타내 안정적인 처리수질을 나타내었다.

Fig. 2는 운전기간 동안의 COD<sub>Mn</sub> 농도 변화를 나타낸 것으로, 유입수 평균 농도 102.3 mg/L에서 유출수 평균 9.7 mg/L로 제거효율 89.7%를 나타내 안정적인 처리수질을 나타내었다.

Fig. 3은 운전기간 동안의 SS 농도 변화를 나타낸 것으로, 유입수 평균 농도 156.8 mg/L에서 유출수 평균 5.1 mg/L로 제거효율 96.1%를 나타내 안정적인 처리수질을 나타내었다.

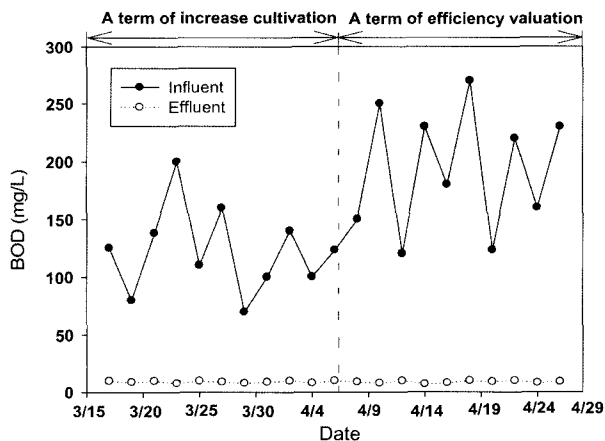


Fig. 1. Concentration variation of BOD as functions of elapsed time.

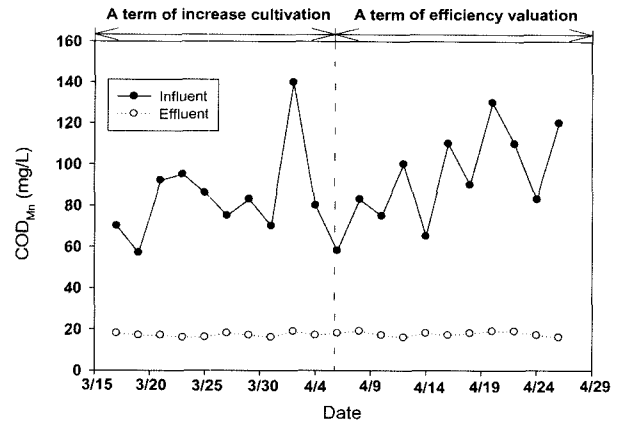


Fig. 2. Concentration variation of COD<sub>Mn</sub> as functions of elapsed time.

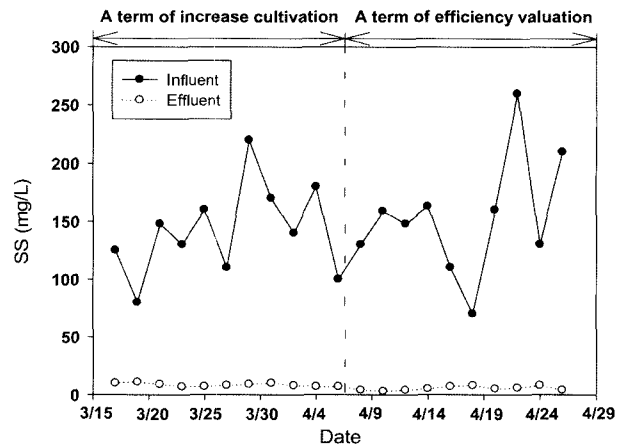


Fig. 3. Concentration variation of SS as functions of elapsed time.

##### 3.2.2. 질산화 및 질소제거효율

Fig. 4와 Fig. 5는 운전기간동안 반응조에서의 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)와 질산성질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)의 농도변화를 나타낸 것으로 혐기조와 무산소조에 비해 호기조에서 암모니아성 질소가 현저히 감소하는 반면, 질산성질소는 호기조에서 증가하는 전형적인 A<sub>2</sub>O공정과 유사한 Profile을 보이고 있다.

BioCube 담체 투입 후 질산화균의 순응에 걸리는 시간은 약 20일 정도로 매우 짧았으며, 운전기간 동안의 평균 질산화율은 85% 이상의 질산화로 유출수중의 T-N은 대부분 NO<sub>3</sub>-N 형태였다(고 등, 1993). Fig. 6은 유입 및 유출수중의 T-N 농도변화를 나타낸 것으로 평균 질소제거율은 73.6%로 나타나 탈질용 유기물의 충분한 공급과 내부반송이 있다면 질소제거 효율은 더욱 향상되었을 것으로 판단된다.

##### 3.2.3. 인제거효율

Fig. 7과 Fig. 8은 반응조에서의 Ortho-P의 농도 변화를 나타낸 것으로 혐기조에서는 세포내 인방출에 따라 높은 인농도를 보이고 호기조에서는 인의 과잉섭취에 의해 낮은 농도를 보이고 있어 혐기-호기에 의한 생물학적 인제거가 원활히 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

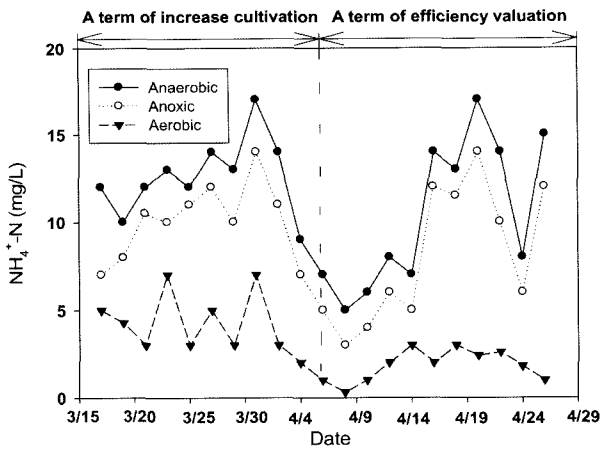


Fig. 4. Variation of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  as functions of elapsed time.

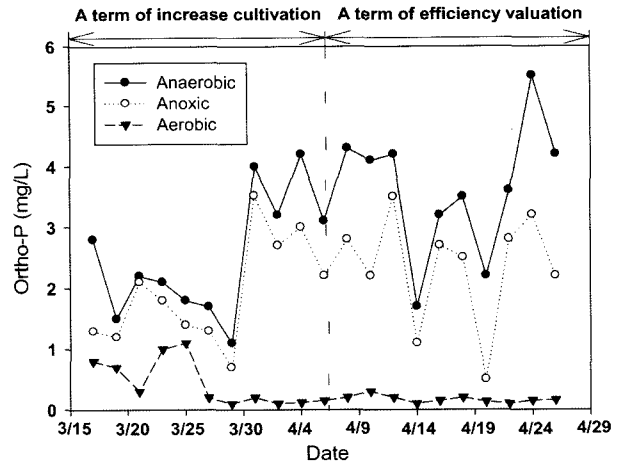


Fig. 7. Variation of Ortho-P as functions of elapsed time in reactor.

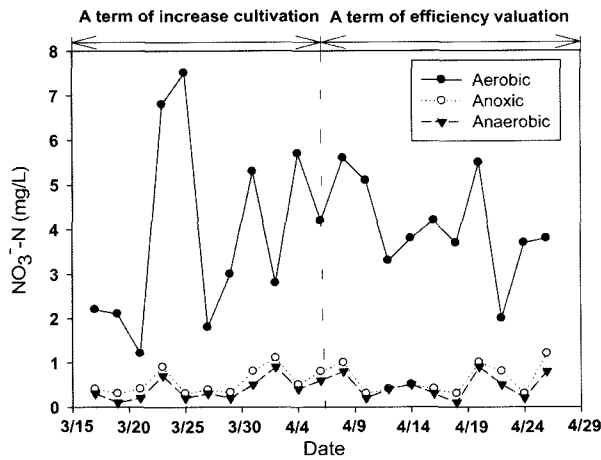


Fig. 5. Variation of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  as functions of elapsed time.

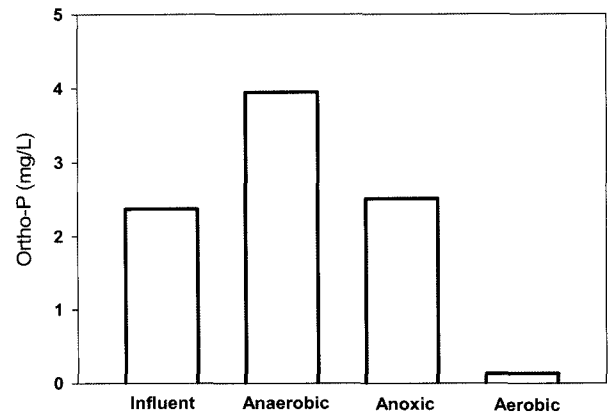


Fig. 8. Variation of Average Ortho-P concentrations as functions of reaction time in organism reactor.

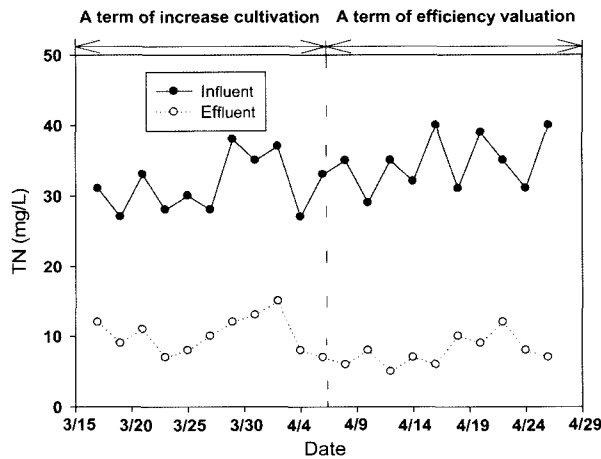


Fig. 6. Concentration variation of T-N as functions of elapsed time.

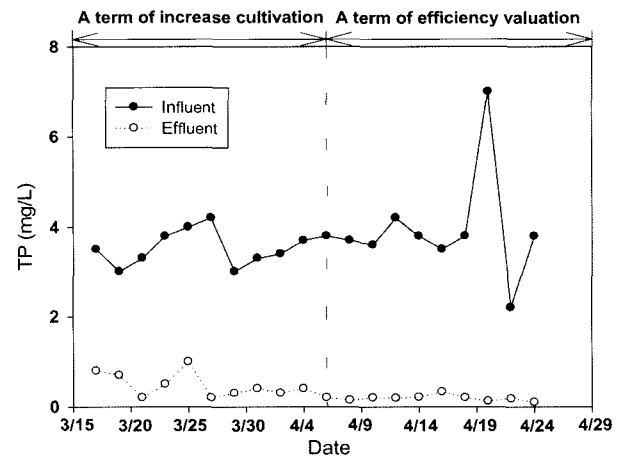


Fig. 9. Concentration variation of T-P as functions of elapsed time.

Fig. 9는 운전기간 동안 유입 및 유출수중의 T-P농도를 나타낸 것으로 평균 인 제거율은 93.2%로 매우 높게 나타나 계획수질보다 상당히 낮게 유지되었다. 인제거는 호기조에서 인을 과잉섭취한 미생물을 인발함으로써 달성되는데, NPR공정은 질산화를 위한 긴 SRT유지는 BioCube 담체에 부착된 미생물에 의해 가능하고 인 제거를 위한 짧은 SRT는 현탁 미생물을 제거함으로써 질소와 인 제거에 필요한

상반된 SRT 조건을 효과적으로 충족시키고 있는 것으로 판단된다(Shapiro et al., 1967).

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존 하수처리장 현황 분석 및 고도처리

pilot plant 운전을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 기존 S하수처리장의 현황 분석 결과, 2002년 현재 시설 용량 220,000 m<sup>3</sup>/일을 초과하여 하수가 유입되고 현행 법정 방류수수질기준은 준수하여 처리하고 있으나, 2008년 1월 1일 이후 강화되는 방류수 수질 기준을 준수하기 위해서는 유기물질 및 T-N, T-P의 제거효율을 향상시킬 수 있는 고도처리공정으로의 개선이 이루어져야 된다고 판단되며, 아울러 적체 슬러지에 대한 해소를 위하여 슬러지 처리체통의 개선이 시급한 것으로 판단된다.
- 2) 기존 S하수처리장의 포기조 체류시간은 현재 5.6시간이나 이를 NPR공정으로 전환시 필요한 생물반응조 체류시간은 총 6.1시간으로 이에 맞는 30 m<sup>3</sup>/일 규모의 Pilot plant 운전결과, BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P의 평균 방류수 수질은 각각 7.0 mg/L, 9.7 mg/L, 5.1 mg/L, 8.0 mg/L, 0.23 mg/L로 처리 효율은 각각 94.9%, 89.7%, 96.1%, 73.6%, 93.2%로 나타나 안정적인 처리수질을 나타내었다. 따라서, S하수처리장의 고도처리 개선을 위한

공정으로 이번 pilot plant에서 사용된 NPR공정으로 개선 시 2008년 이후 강화되는 방류수 수질 기준에 적합한 처리수질을 얻을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 고광백, 김영관, 강선홍, 김동진, 김진호, 독고석, 박철휘, 윤주환, 임재명, 조육상, 송창수, 한무영, 폐수처리공학, 동화기술 (1993).
- 도중호, ASM모형을 이용한 대규모 하수처리장의 시설 최적화 운영방안, 박사학위 논문, 경북대학교 (2002).
- 성남시, 4년간 운영자료 (1999~2002).
- 코오롱건설(주), NPR Process (2000).
- 환경관리공단, 환경신기술 설계자료집 (2003).
- 환경부, 가동중인 하수종말처리장 현황 (2001~2003).
- 환경부, 하수도시설 설치사업 업무처리일반지침(개정) (2003).
- Shapiro, J., Levin, G. V. and Humberto, Z. G., Anoxically Induced Release of Phosphate in Wastewater Treatment, *JWPCF*, **39**, pp. 1810 (1967).