

# 온도가 MLE 및 M-Dephanox 공정의 유기물, 질소 및 인 제거 효율에 미치는 영향

류흥덕<sup>†</sup> · 이상일

충북대학교 공과대학 환경공학과

## Effect of Temperature on Removals of Organic Matter, Nitrogen and Phosphorus in MLE and M-Dephanox Processes

Hong-Duck Ryu<sup>†</sup> · Sang-Il Lee

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

(Received 27 June 2005, Accepted 22 August 2005)

### Abstract

The present study evaluated effect of temperature on removals of organic matter (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) in Modified-Dephanox (M-Dephanox) process, which is hybrid system, comparing with those of Modified-Ludzack Ettinger (MLE) under the suspended-growth bacteria, as control. M-Dephanox process was more stable than MLE process in the removal of C, N, P, especially in nitrification, as the temperature was decreased from 25°C to 16°C. As the temperature was decreased from 25°C to 16°C, the removal efficiency of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N of M-Dephanox process was decreased by 3.8%, but that of MLE process decreased by 25.7%. T-N removal efficiency of M-Dephanox was higher than MLE process by 27.1% and 26.9% at 25°C and 16°C of temperature, respectively.

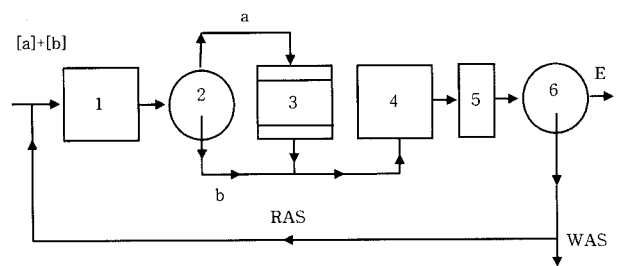
**keywords** : hybrid, Modified-Dephanox (M-Dephanox), Modified-Ludzack Ettinger (MLE), Nitrification, Suspended-growth, Temperature

### 1. 서론

부유성장 미생물과 부착성장 미생물을 동시에 이용하는 하이브리드(hybrid) 공정은 운영 및 경제적인 측면에서 많은 장점을 지니고 있다. 그 중에서도 하이브리드 공정은 부유성장 미생물을 이용하는 공정에 비해 일반적으로 낮은 온도에서도 처리가 잘 되는 것으로 알려져 있다(Tarek et al., 2002; Liu et al., 1996). 대표적인 하이브리드 공정으로는 Dephanox 공정(Fig. 1)을 들 수 있다. Dephanox 공정은 하이브리드 공정이면서 다단 슬러지 공정(two-sludge system)으로서 활성슬러지에 의한 유기물 흡착 기작을 이용하여 질산화 미생물과 탈질 및 인 제거 미생물이 서로 혼합되지 않고 분리된 공간에서 각자의 역할을 수행하게 된다. 대표적인 다단슬러지 공정은 Fig. 2와 같다. Dephanox 공정은 질화박테리아가 독립된 반응조에서 질산화를 수행하므로(external nitrification) 질산화 반응시 소요되는 수리학적 체류시간을 줄이고 유기물을 활성슬러지에 흡착시켜 탈질에 바로 이용하기 때문에 단일 슬러지 공정에서 처럼 산화에 의한 유기물 손실을 최소화 시킬 수 있다는 장점이 있다(Kuba et al., 1996). 하지만 이러한 장점에도 불구하고 Dephanox 공정이 지니고 있는 단점 중 하나는 1차 분리조로부터 유기물을 흡착한 활성슬러지가 탈질조로

유입되는 과정에서 암모니아성 질소 및 유기질소도 같이 유입되어 탈질반응조에 후속되는 재포기조에서 질산화 된 질산염이 탈질이 되지 않고 그냥 방류된다는 구조적인 문제를 꼽을 수 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 류등(2004a, 2004b)이 Modified-Dephanox(M-Dephanox) 공정을 제안하였다.

본 연구에서는 질소처리 효율을 향상시킨 하이브리드 형태의 M-Dephanox 공정의 온도 영향을 평가하기 위해 부유성장 미생물만을 이용하면서 단일슬러지공정(single-sludge)



- (1) Anaerobic tank
- (2) Downstream settler
- (3) Biofilm reactor
- (4) Anoxic tank
- (5) Post-aeration tank
- (6) Final settling tank

Fig. 1. Configuration of activated sludge system according to Wanner et al. (1992).

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

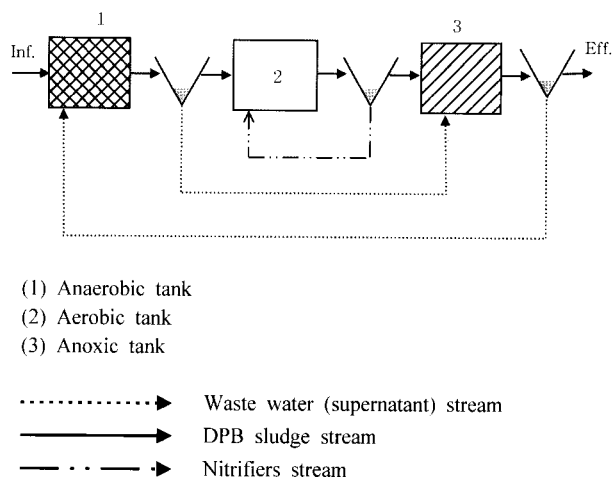


Fig. 2. Basic configuration of a two-sludge system (Kuba et al., 1996).

system)인 Modified-Ludzack Ettinger (MLE) 공정을 대조군으로 사용하였다. 본 연구를 위해 MLE 공정을 대조군으로 사용한 이유는 우리나라 하수처리장에서 운영되는 영양염류 처리공정의 약 50%가 MLE 공정으로 보고되고 있기 때문이다(환경부, 2003).

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 도시하수의 성상

본 연구에 사용된 폐수는 C시 도시하수 처리장의 1차 침전지로 유입되는 도시하수를 사용하였으며 유입수 성상은 Table 1과 같다. TCOD와 SCOD의 농도는 각각 약 356, 117 mg/L,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  및 TKN은 각각 약 32, 44 mg/L로 관찰되었다. 본 연구에 사용된 도시하수의 TCOD/TKN 비는 약 8로 관찰되었다.

Table 1. Characteristics of the average value of municipal wastewater (n=50)

Parameter	Concentration, mg/L
TCOD <sub>cr</sub> (mg/L)	342 ± 117(STDEV)
SCOD <sub>cr</sub> (mg/L)	118 ± 29
TKN (mg/L)	45.1 ± 6.1
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)	32.7 ± 3.7
T-P (mg/L)	6.9 ± 1.9
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	2.4 ± 0.7
TCOD <sub>cr</sub> /TKN	7.6

### 2.2. Modified-Ludzack Ettinger (MLE) 공정 및 Modified-Dephanox (M-Dephanox) 공정 운영

하이브리드 공정인 M-Dephanox 공정의 온도 영향을 평가하기 위해 우리나라 하수처리장 upgrade시 A/O 계열로서 널리 이용되는 부유성장 미생물(suspended-growth bacteria)을 이용한 MLE 공정과, 부유성장 미생물과 부착성장 미생물(attached-growth bacteria)을 동시에 이용하는

M-Dephanox (Modified-Dephanox) 공정을 상호 비교하였다. 공정의 개략도는 Fig. 3에 도시한 바와 같으며 각 공정의 운영 조건은 Table 2와 같다. 각 공정의 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time, HRT) 및 미생물 체류시간(Sludge Retention Time, SRT)은 각각 6 hr 및 12 day (일)로 운영하였다. SRT 조정시 방류수에 유출되는 SS의 양은 무시하였다. 본 연구는 겨울철인 1, 2월에 수행한 관계로 온도 영향 관찰시 온도를 높이기 위해 MLE 공정의 호기조(1 on Fig. 3)에, M-Dephanox 공정의 질화반응조(5-1, 5-2 on Fig. 3)에 봉히터(rod heater)를 설치하여 호기조 및 질화반응조의 온도를 25°C로 일정하게 유지하였으며, 낮은 온도에서의 영향 관찰시는 설치되어 있는 봉히터를 제거하였다. 봉히터 제거후 반응조의 평균 온도는 약 16°C였다. 최종침전지에서의 슬러지 반송율은 두 공정 모두 유입유량과 같은 비율인 1Q로 운영하였다. MLE 공정의 경우 호기조에서 무산소조로의 내부 순환비는 4Q로 운영하였으며, M-Dephanox 공정의 경우 1차 고액분리조(4 on Fig. 3)에서 무산소조(2 on Fig. 3)로의 슬러지 유입은 1Q로 하였다. M-Dephanox 공정의 질산화 반응조 1, 2(5-1, 5-2 on Fig. 3)에는 유동상 매디아를 충전하여 하이브리드(hybrid) 형 혹은 two-sludge 시스템 방식으로 운영하였으며, 유동상 매디아는 cubic type의 Linpor(size: 12×12×15 mm)를 사용하였으며 각 반응조의 Linpor 매디아 충전율은 약 18%로 하였다. M-Dephanox 공정의 간헐포기조(6 on Fig. 3)의 호기/비포기 시간은 1 hr/1 hr으로 운영하였으며 유입수는 실험 기간 동안 반응조내로 연속 주입되도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유기물 제거 특성

MLE 및 M-Dephanox 공정의 온도에 따른 유기물 제거 특성은 Fig. 4에 도시하였다. 반응조의 온도가 25°C에서 16°C로 감소함에 따라 MLE 공정의 TCOD 제거효율은 약 73.0%에서 86.7%로 증가하였으며 SCOD 제거효율 역시 71.7%에서 77.2%로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. M-Dephanox 공정 역시 온도가 감소함에 따라 TCOD 제거효율은 87.4%에서 92.0%로 증가하였으며 SCOD 제거효율도 78.5%에서 81.6%로 증가하였다. 온도가 감소했음에도 불구하고 유기물 제거효율이 감소하지 않는 원인은 일반적으로 유기물을 에너지원으로 하는 종속영양 미생물은 온도의 영향을 크게 받지 않기 때문인 것으로 사료되며, 25°C에서보다 16°C에서 공정을 운영할 때 유입수의 TCOD 및 SCOD 농도가 더 높았기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 M-Dephanox 공정이 MLE 공정에 비해 TCOD는 25°C에서 약 14.3%, SCOD는 6.8% 더 높게 관찰되었으며, 16°C에서는 TCOD가 5.3%, SCOD가 4.4% 더 높게 관찰되어 단일 슬러지 공정에 비해 하이브리드 공정의 유기물 제거 효율이 더 높음을 관찰할 수 있었다.



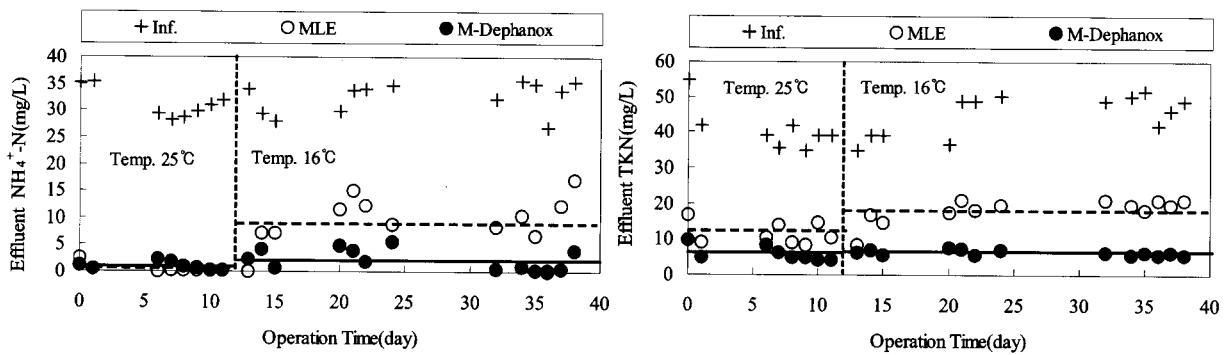


Fig. 5. Characteristics of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and TKN removal between suspended process (MLE) and hybrid process (M-Dephanox).

을 보이고 있으며 그 차이가 1.7%에 불과하지만 온도가 16°C로 낮아짐에 따라 MLE 및 M-Dephanox 공정의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  제거효율은 각각 72.8, 93.0%로서 M-Dephanox 공정의 암모니아성 제거효율이 약 20.2% 더 높은 것을 관찰할 수 있다. 또한 온도가 낮아지면서 MLE 공정은 25.7%의 암모니아성 질소 제거율이 감소한 반면 M-Dephanox 공정은 단지 약 3.8%의 암모니아성 질소 제거효율의 감소를 보이고 있다.

TKN 제거효율 역시 같은 경향을 보여주고 있음을 Fig. 5를 통해 관찰할 수 있다. 온도 25°C에서 MLE 및 M-Dephanox 공정의 TKN 제거효율은 각각 71.4, 85.5%로서 M-Dephanox 공정이 MLE 공정보다 14.1% 더 높은 제거특성을 관찰할 수 있으며, 온도가 16°C로 낮아짐에 따라 MLE 및 M-Dephanox 공정의 TKN 제거효율은 각각 59.7,

85.7%의 제거효율을 보여 M-Dephanox 공정이 MLE 공정에 비해 약 26% 더 높은 제거효율을 관찰할 수 있었다. 또한 온도가 낮아지면서 MLE 공정은 11.7% TKN 제거효율이 감소한 반면 M-Dephanox 공정은 약 86%의 효율을 그대로 유지하고 있음을 관찰할 수 있다.

소표본에서 모평균을 검정하는 통계학적 방법인 t-검정을 통하여 상기 실험결과를 검정한 결과  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  제거효율의 경우 16°C에서는 95% 신뢰범위에서, TKN의 경우 25°C와 16°C 모두 95% 신뢰범위에서 M-Dephanox 공정이 MLE 공정에 비해 효율이 좋았음이 확인되었다(Table 3). 암모니아성 질소 및 TKN 제거효율이 MLE 공정에 비해 M-Dephanox 공정이 더 좋은 이유는 M-Dephanox 공정은 다단 슬러지 공정으로서 질화박테리아가 유기물이 대부분 제거된 독립된 반응조에서 질산화를 수행하게 되며(external

Table 3. T-test results about numerical difference of average  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and TKN removal efficiencies of MLE and M-Dephanox processes

	T-test (one-sided test)		
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency	TKN removal efficiency	
	16°C	25°C	16°C
Null Hypothesis ( $H_0$ )	( $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ )	( $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ )	( $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ )
Alternative Hypothesis ( $H_1$ )	( $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ )	( $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ )	( $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ )
Significance Level ( $\alpha$ )	0.05	0.05	0.05
$t_{\alpha}(n_1+n_2-2)$	1.711	1.761	1.711
$S_p^2$	125.23	31.71	24.58
**Test Statistic (t)	4.59	4.99	13.35
Critical Region ( $t \geq t_{\alpha}(n_1+n_2-2)$ )	4.59 > 1.711	4.99 > 1.761	13.35 > 1.711
Results	In 95% confidence	In 95% confidence	In 95% confidence
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency in M-Dephanox process were higher than that in MLE process	TKN removal efficiency in M-Dephanox process were higher than that in MLE process	

\*  $S_p^2 = [(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2]/(n_1+n_2-2)$

\*\*  $t = (X_1 - X_2) / [S_p^2(1/n_1 + 1/n_2)]^{1/2}$

where,

$\mu_1$  : Sample values of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  or TKN removal efficiency in M-Dephanox process

$\mu_2$  : Sample values of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  or TKN removal efficiency in MLE process

$n_1$  : Numbers of sample of M-Dephanox process

$n_2$  : Numbers of sample of MLE process

$S_1$  : Standard deviation of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  or TKN removal efficiency in M-Dephanox process

$S_2$  : Standard deviation of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  or TKN removal efficiency in MLE process

$X_1$  : Average value of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  or TKN removal efficiency in M-Dephanox process

$X_2$  : Average value of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  or TKN removal efficiency in MLE process

nitrification) 이로 인해 농축 부착 질화균에 의한 질산화 반응을 원활하면서도 안정적으로 수행할 수 있기 때문이다 (Kuba et al., 1996). 상기 실험 결과는 온도에 민감하고 전체 공정의 수리학적 체류시간을 결정하는 질산화 반응이 온도가 낮아짐에 따라 부유성장 미생물만을 이용하는 MLE 공정은 그 영향을 크게 받지만 M-Dephanox 공정처럼 부유 성장 미생물과 부착성장 미생물을 동시에 이용하는 공정일 경우 그 영향을 상대적으로 적게 받으며 온도 변화에 안정적임을 의미하는 것이다(Tarek et al., 2002; Liu et al., 1996). 본 연구자의 견해로는 우리나라와 같이 온도가 낮은 겨울이 있는 나라에서는 부유성장 미생물만을 이용하는 공정보다는 부유성장과 부착성장 미생물을 동시에 이용하는 공정이 더 바람직할 것으로 사료된다.

### 3.3. T-N 제거특성

온도가 감소에 따른 MLE 및 M-Dephanox 공정의 T-N 제거효율은 Fig. 6과 같다. 25°C에서 16°C로 온도가 감소하면서 MLE 및 M-Dephanox 공정의 T-N 제거효율에는 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다. 25°C에서 MLE 및 M-Dephanox 공정의 T-N 제거효율은 각각 39.9, 67.0%, 16°C에서는 37.5, 64.4%로 관찰되어 온도가 감소함에 따라 MLE 공정은 2.4%, M-Dephanox 공정은 2.6% 감소하였다. 온도가 낮아져도 MLE 공정의 T-N 제거효율이 감소하지 않은 원인은 Fig. 5에서 볼 수 있는 바와 같이 온도가 낮아지면서 암모니아성 질소 제거효율이 25.7% 정도의 커다란 폭으로 감소하면서 방류수 중의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도도 동시에 감소하였기 때문이다. 전반적으로 온도 25°C

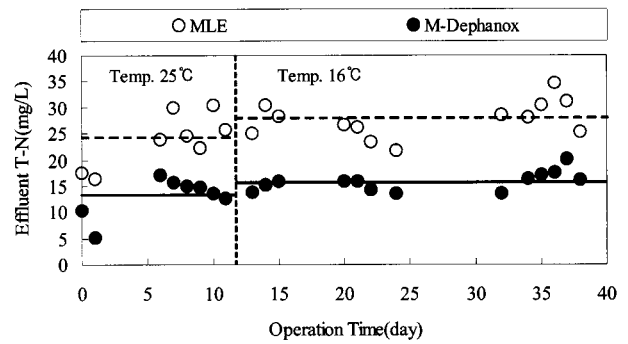


Fig. 6. Characteristics of T-N removal between suspended process (MLE) and hybrid process (M-Dephanox).

에서는 M-Dephanox 공정이 MLE 공정에 비해 약 27%, 16°C에서는 약 26% T-N 제거효율이 더 높은 것으로 관찰되었다.

M-Dephanox 공정의 T-N 제거효율이 MLE 공정보다 높다는 것을 소표본에서 모평균을 검정하는 통계학적인 방법인 t-검정을 통하여 검정한 결과 25°C 및 16°C 모두 95% 신뢰범위에서 M-Dephanox 공정이 MLE 공정에 비해 T-N 제거효율이 높음을 확인할 수 있었다(Table 4). M-Dephanox 공정의 T-N 제거효율이 MLE 공정에 비해 더 높은 원인은 별도의 반응조에서 독립성장하는 부착성 질화 박테리아에 의한 높은 질산화 효율과(Deguchi et al., 1994; Randall et al., 1996; Park et al., 2003; Kazuaki et al., 1995; Zhao et al., 1996; Rakkoed et al., 1999; Polprasert et al., 1995) 탈질을 하는데 있어서 부유성장 미생물만을 이용하는 공정에 비해 유입수에 함유된 유기물 이용을 효

Table 4. T-test results about numerical difference of average T-N removal efficiencies of MLE and M-Dephanox processes

	T-test (one-sided test)	
	T-N removal efficiency	
	25°C	16°C
Null Hypothesis (H <sub>0</sub> )	(H <sub>0</sub> : μ <sub>1</sub> = μ <sub>2</sub> )	(H <sub>0</sub> : μ <sub>1</sub> = μ <sub>2</sub> )
Alternative Hypothesis (H <sub>1</sub> )	(H <sub>1</sub> : μ <sub>1</sub> > μ <sub>2</sub> )	(H <sub>1</sub> : μ <sub>1</sub> > μ <sub>2</sub> )
Significance Level (α)	0.05	0.05
t <sub>α(n<sub>1</sub>+n<sub>2</sub>-2)</sub>	1.761	1.711
S <sub>p</sub> <sup>2</sup>	223.90	93.80
**Test Statistic (t)	3.62	7.09
Critical Region (t ≥ t <sub>α(n<sub>1</sub>+n<sub>2</sub>-2)</sub> )	3.62 > 1.761	7.09 > 1.711
Results	In 95% confidence	In 95% confidence
	T-N removal efficiency in M-Dephanox process were higher than that in MLE process	

\* S<sub>p</sub><sup>2</sup> = [(n<sub>1</sub>-1)S<sub>1</sub><sup>2</sup> + (n<sub>2</sub>-1)S<sub>2</sub><sup>2</sup>]/(n<sub>1</sub>+n<sub>2</sub>-2)

\*\* t = (X<sub>1</sub>-X<sub>2</sub>)/[S<sub>p</sub><sup>2</sup>(1/n<sub>1</sub> + 1/n<sub>2</sub>)]<sup>1/2</sup>

where,

μ<sub>1</sub> : Sample values of T-N removal efficiency in M-Dephanox process

μ<sub>2</sub> : Sample values of T-N removal efficiency in MLE process

n<sub>1</sub> : Numbers of sample of M-Dephanox process

n<sub>2</sub> : Numbers of sample of MLE process

S<sub>1</sub> : Standard deviation of T-N removal efficiency in M-Dephanox process

S<sub>2</sub> : Standard deviation of T-N removal efficiency in MLE process

X<sub>1</sub> : Average value of T-N removal efficiency in M-Dephanox process

X<sub>2</sub> : Average value of T-N removal efficiency in MLE process

울적으로 이용할 수 있어 탈질 효율을 향상시킬 수 있기 때문이다(Kim et al., 1997; Liu et al., 1998).

3.4. 인 제거특성

유기물 제거효율처럼 인 제거효율도 온도의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다. 25°C와 16°C에서 MLE 공정의 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 제거효율은 각각 0.8, 13.7%로 매우 낮았으며 M-Dephanox 공정은 각각 60.3, 59.3%로 온도의 영향을 거의 받지 않았음을 관찰할 수 있다(Fig. 7). 25°C와 16°C에서 MLE 공정의 T-P 제거효율은 각각 35.8, 38.3%, M-Dephanox 공정은 73.3, 68.3%로 온도가 낮아짐에 따라 M-Dephanox 공정의 T-P 제거효율이 약 5% 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 7). 25°C와 16°C에서 모두 M-Dephanox 공정의 T-P 제거효율이 높은 것으로 나타났으며 소표본에서 모평균을 검정하는 통계학적인 방법인 t-검정을 통하여 검정한 결과 25°C 및 16°C 모두 95% 신뢰범위에서 M-Dephanox 공정이 MLE 공정에 비해 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 및 T-P 제거효율이 높음을 확인할 수 있었다(Table 5).

Table 6은 온도에 따른 MLE 및 M-Dephanox 공정의 유기물, 질소 및 인 제거효율을 비교하기 쉽도록 표로 나타낸 것이다.

3.5. M-Dephanox 공정의 유기물 흡착 효율 및 부착성 미생물에 의한 질산화 특성

질화반응조 1, 2에서의 질산화 반응은 Fig. 8 및 Table 7과 같다. 질화반응조 1, 2에서의 평균 암모니아성 질소 제

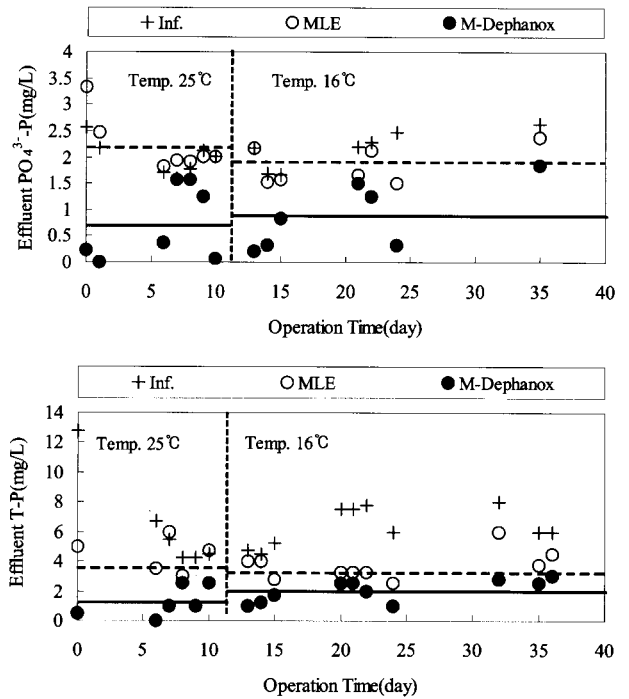


Fig. 7. Characteristics of phosphorus removal between suspended process (MLE) and hybrid process (M-Dephanox).

거효율은 온도 25°C에서 각각 81.1, 97.8%, 16°C에서 67.4, 94.7%로 나타나 25°C와 16°C 모두 두 번째 질화반응조에서 약 95% 이상의 높은 암모니아성 질소 제거효율을 관찰

Table 5. T-test results about numerical difference of average PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P and T-P removal efficiencies of MLE and M-Dephanox processes

	T-test (one-sided test)			
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P removal efficiency		T-P removal efficiency	
	25°C	16°C	25°C	16°C
Null Hypothesis (H <sub>0</sub> )	(H <sub>0</sub> : μ <sub>1</sub> = μ <sub>2</sub> )	(H <sub>0</sub> : μ <sub>1</sub> = μ <sub>2</sub> )	(H <sub>0</sub> : μ <sub>1</sub> = μ <sub>2</sub> )	(H <sub>0</sub> : μ <sub>1</sub> = μ <sub>2</sub> )
Alternative Hypothesis (H <sub>1</sub> )	(H <sub>1</sub> : μ <sub>1</sub> > μ <sub>2</sub> )	(H <sub>1</sub> : μ <sub>1</sub> > μ <sub>2</sub> )	(H <sub>1</sub> : μ <sub>1</sub> > μ <sub>2</sub> )	(H <sub>1</sub> : μ <sub>1</sub> > μ <sub>2</sub> )
Significance Level (α)	0.05	0.05	0.05	0.05
t <sub>α(n<sub>1</sub>+n<sub>2</sub>-2)</sub>	1.782	1.782	1.812	1.734
*S <sub>p</sub> <sup>2</sup>	853.55	434.74	821.38	207.90
**Test Statistic (t)	3.81	4.10	2.27	4.65
Critical Region (t ≥ t <sub>α(n<sub>1</sub>+n<sub>2</sub>-2)</sub> )	3.81 > 1.782	4.10 > 1.782	2.27 > 1.812	4.65 > 1.734
Results	In 95% confidence	In 95% confidence	In 95% confidence	In 95% confidence
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P removal efficiency in M-Dephanox process were higher than that in MLE process		T-P removal efficiency in M-Dephanox process were higher than that in MLE process	

\* S<sub>p</sub><sup>2</sup> = [(n<sub>1</sub>-1)S<sub>1</sub><sup>2</sup> + (n<sub>2</sub>-1)S<sub>2</sub><sup>2</sup>]/(n<sub>1</sub>+n<sub>2</sub>-2)

\*\* t = (X<sub>1</sub>-X<sub>2</sub>)/[S<sub>p</sub><sup>2</sup>(1/n<sub>1</sub> + 1/n<sub>2</sub>)]<sup>1/2</sup>

where,

- μ<sub>1</sub> : Sample values of T-N removal efficiency in M-Dephanox process
- μ<sub>2</sub> : Sample values of T-N removal efficiency in MLE process
- n<sub>1</sub> : Numbers of sample of M-Dephanox process
- n<sub>2</sub> : Numbers of sample of MLE process
- S<sub>1</sub> : Standard deviation of T-N removal efficiency in M-Dephanox process
- S<sub>2</sub> : Standard deviation of T-N removal efficiency in MLE process
- X<sub>1</sub> : Average value of T-N removal efficiency in M-Dephanox process
- X<sub>2</sub> : Average value of T-N removal efficiency in MLE process

**Table 6.** Comparison of average efficiencies of MLE and M-Dephanox processes

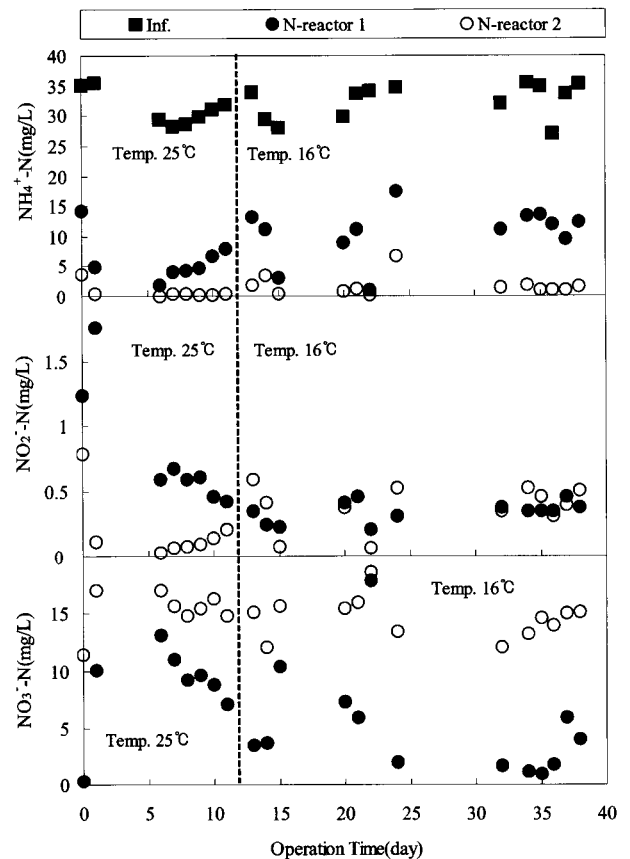
	Operation conditions			
	HRT : 6 hr SRT : 12 day			
	Removal efficiencies (%)			
	Temperature			
	25°C		16°C	
	MLE	M-Dephanox	MLE	M-Dephanox
TCOD <sub>cr</sub>	73.0 ± 22.6	87.4 ± 5.1	86.7 ± 4.8	92.0 ± 3.0
SCOD <sub>cr</sub>	71.7 ± 16.6	78.5 ± 12.5	77.2 ± 9.7	81.6 ± 6.9
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	98.5 ± 2.3	96.8 ± 2.7	72.8 ± 14.6	93.0 ± 6.1
TKN	71.4 ± 6.8	85.5 ± 4.1	59.7 ± 6.3	85.7 ± 3.0
T-N	39.9 ± 17.5	67.0 ± 11.8	37.5 ± 12.3	64.4 ± 6.0
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0.8 ± 2.2	60.3 ± 41.3	13.7 ± 13.7	59.3 ± 26.1
T-P	35.8 ± 31.7	73.3 ± 25.2	38.3 ± 18.0	68.3 ± 9.7

할 수 있었으나 온도가 낮아지면서 암모니아성 질소 제거 효율이 감소하는 경향을 관찰할 수 있었으며 특히 첫 번째 질화 반응조에서의 평균 암모니아성 질소 제거효율이 약 13.7%나 감소하는 것으로 나타났다. 질화반응조 1, 2에서의 질산화 효율의 저하는 온도의 영향뿐만 아니라 질화 반응조로 유입되는 유기물 농도에도 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 1차 고액 분리조 및 질화반응조 1, 2에서의 평균 SCOD 농도는 25°C에서 53.9, 41.1, 28.2 mg/L, 16°C에서 43.6, 25.9, 20.4 mg/L로 관찰되어(Table 7) 무산소 흡착조에서 흡착되지 않은 유기물들이 질화반응조로 유입되어 질산화 반응의 저해가 일어나는 것으로 사료된다. 1차 고액 분리조에서의 유기물 농도가 질산화 반응조에서의 암모니아성 질소 제거율에 미치는 영향 및 질산화 반응조의 유기물과 암모니아성 질소 제거율의 관계를 Fig. 9, 10에 각각 도시하였다. 1차 고액분리조로부터 질산화 반응조로 유입되는 TCOD 및 SCOD 농도가 증가할수록 질산화 반응조에서의 암모니아성 제거효율도 감소하며(Fig. 9), 질산화 반응조 1, 2에서의 SCOD 농도가 증가함에 따라 암모니아성 제거효율도 동시에 감소함을 관찰할 수 있었다(Fig. 10). Fig. 10에서 주목할 만한 사실은 첫 번째 질산화 반응조에서 유기물이 질산화에 미치는 영향이 두 번째 질산화 반응조보다 크다는 것이다. 25°C에서 첫 번째 질산화 반응조에서의 SCOD 농도가 약 28 mg/L에서 61 mg/L로 증가하면서 암모니아성 질소 제거효율이 35% 이상 감소한 반면 두 번째 질산화 반응조에서는 SCOD 농도가 약 7 mg/L에서 56 mg/L로 증가하면서 단지 약 9%의 암모니아성 질소 제거효율의 감소가 관찰되었다. 16°C에서는 첫 번째 질산화 반응조에서 SCOD 농도가 12 mg/L에서 38 mg/L로 증가하면서 암모니아성 질소 제거효율이 약 17% 감소한 반면 두 번째 질산화 반응조에서는 SCOD 농도가 7 mg/L에서 33 mg/L로 증가하면서 약 15%의 암모니아성 질소 제거효율 감소가 관찰되었다. 25°C에서보다 16°C에서 첫 번째 질산화 반응조에서의 암모니아성 제거효율 감소가 적은 원인은 질산화 반응조로 유입되는 유기물 부하가 25°C에서보다 16°C에서 더 적었기 때문인 것으로 사료

**Table 7.** NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N removal efficiency and concentration of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in nitrification reactor 1, 2

	SCOD (mg/L)		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N removal (%)		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)	
	25°C	16°C	25°C	16°C	25°C	16°C	25°C	16°C
	Nitrification reactor 1 (*15.45%, □0.93hr)	41.1	25.9	81.1	67.4	0.8	0.3	8.7
Nitrification reactor 2 (*15.45%, □0.93hr)	28.2	20.4	97.8	94.7	0.2	0.4	15.3	14.7
Downstream settler	53.9	43.6						

Symbol \*corresponds to volume ratio of nitrification reactor  
Symbol □corresponds to hydraulic retention time of nitrification reactor



**Fig. 8.** NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentration in nitrification reactors.

된다. 결론적으로 두 번째 질산화 반응조에서 90% 이상의 암모니아성 질소 제거효율을 달성하기 위해서는 두 번째 질산화 반응조에서의 SCOD 농도가 25°C에서는 약 56 mg/L, 16°C에서는 약 27 mg/L 이하가 되어야 하며(Fig. 10), 1차 고액분리조에서 첫 번째 질산화 반응조로 유입되는 TCOD 및 SCOD 농도는 25°C에서 115, 69 mg/L, 16°C에서는 89, 54 mg/L 이하가 되어야 함을 관찰할 수 있었다(Fig. 10). 무산소 접촉조에서 유기물이 적절하게 제거된다면 질산화 반응조에서의 질산화 반응은 1.86 hr 정도의

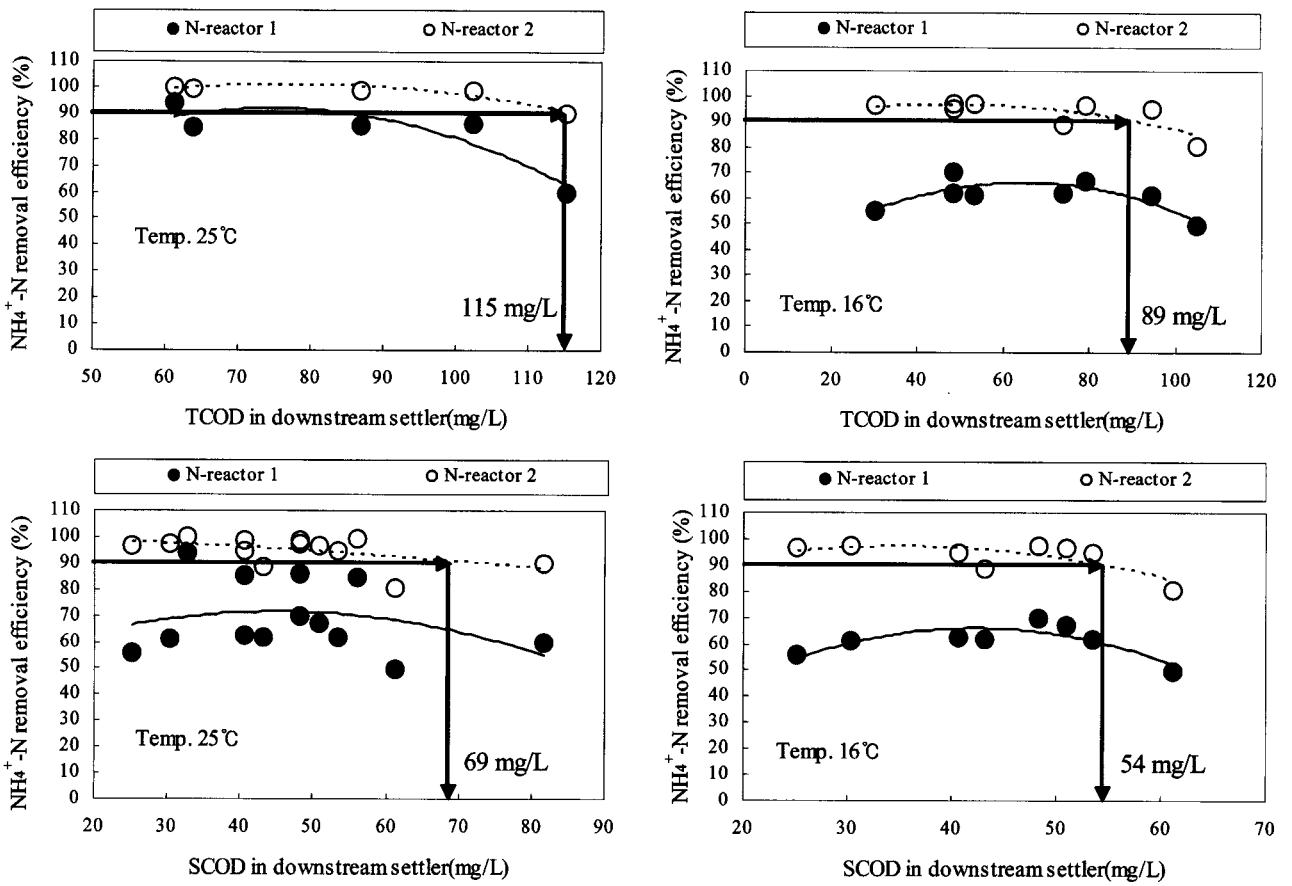


Fig. 9. Characteristics of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  removal in nitrification reactors according to TCOD and SCOD concentration in downstream settler.

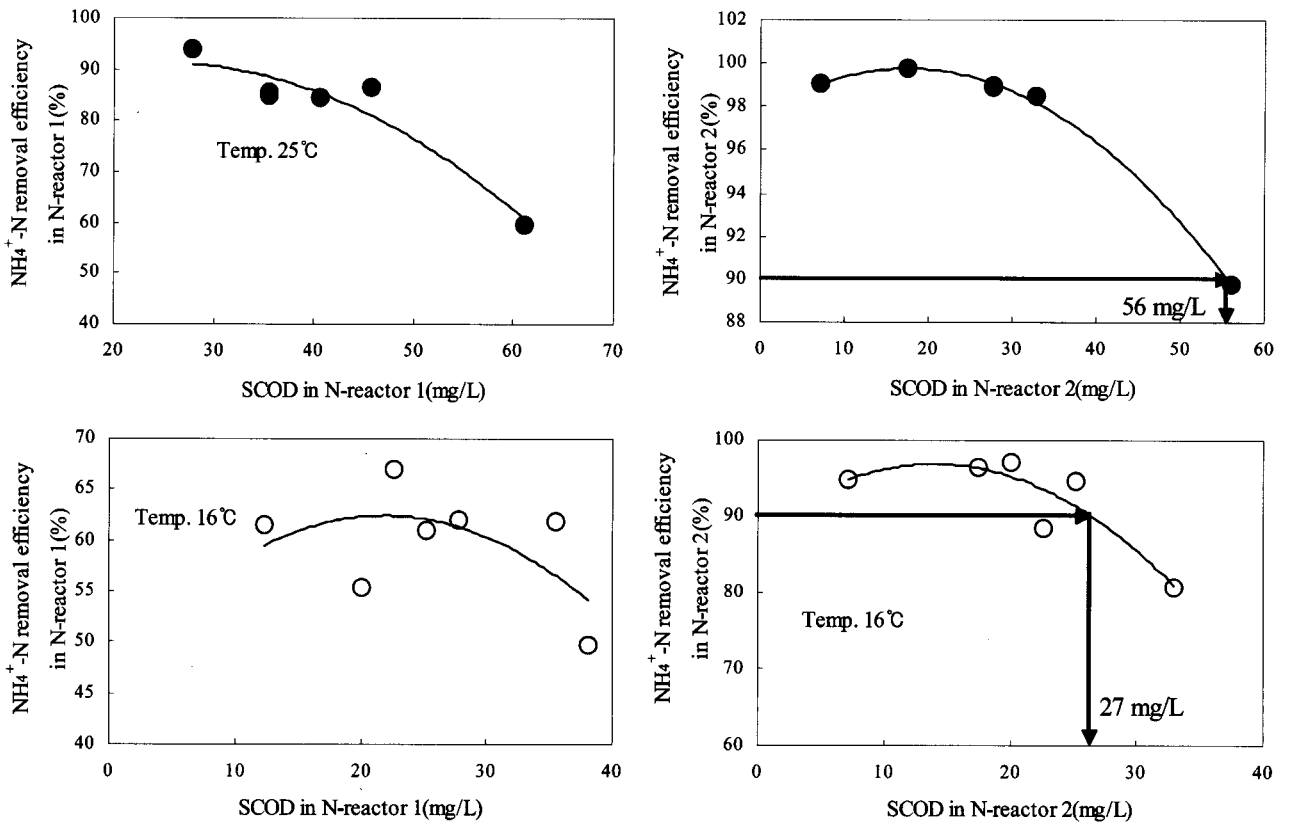


Fig. 10. Characteristics of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  removal in nitrification reactors according to SCOD concentration in nitrification reactors.



짧은 수리학적 체류시간에서 가능하며 이렇게 짧은 수리학적 체류시간에서 완벽한 질산화가 가능한 이유는 충진된 매디아에 질산화 박테리아가 농축되어 질산화 반응을 일으키기 때문이다. 질산화 반응조에서의 신속한 질산화는 전체 공정의 수리학적 체류시간(HRT)을 줄이는데 커다란 역할을 하게 된다.

#### 4. 결론

전탈질 공정으로서 A/O 계열을 대표하는 MLE 공정과 부유 및 부착 미생물을 동시에 이용하는 하이브리드 공정인 M-Dephanox 공정의 온도에 따른 유기물, 질소 및 인 제거 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유기물(TCOD, SCOD) 및 인 제거 효율은 온도가 25°C에서 16°C로 감소함에 따라 MLE 공정 및 M-Dephanox 공정 모두 온도의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 두 공정에서 온도 변화에 따라 그 차이가 가장 두드러지게 나타나는 항목은 질산화인 것으로 나타났다. 온도가 25°C에서 16°C로 감소함에 따라 MLE 공정의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  제거효율은 20.2% 감소하였으나 M-Dephanox 공정은 1.7%의 제거율 감소를 보였다. 또한 TKN 제거효율은 MLE 공정의 경우 온도가 감소함에 따라 11.7% 제거효율 감소를 보였으나 M-Dephanox 공정의 경우 효율저하가 관찰되지 않아 부유 및 부착성장 미생물을 이용하는 M-Dephanox 공정의 암모니아성 질소 제거특성이 MLE 공정에 비해 온도 변화에 매우 강함을 알 수 있었다. M-Dephanox 공정의 암모니아성 제거효율은 25°C와 16°C에서 각각 96.8, 93.0%, TKN은 85.5, 85.7%의 높은 제거효율을 보이고 있음을 관찰할 수 있었다.
- 3) 온도에 관계없이 유기물, 질소 및 인 모두 M-Dephanox 공정이 부유성장 미생물만을 이용하는 MLE 공정에 비해 상대적으로 더 높은 제거효율을 나타내었으며, 특히 낮은 온도에서는 하이브리드 형태의 M-Dephanox 공정이 기존의 A/O 계열형태의 공정보다 처리효율면에서 우수할 것으로 판단된다.
- 4) M-Dephanox 공정의 질산화 반응조에서의 평균 암모니아성 제거효율은 25°C와 16°C에서 각각 97.8, 94.7%로 관찰되어 온도가 낮아져도 큰 제거효율의 감소를 보이지 않았으나 1차 고액분리조에서 유입되는 유기물의 양(무산소 흡착조에서의 흡착효율)에 따라 질산화 반응조에서의 암모니아성 제거효율에 있어 차이가 있는 것으로 나타났다. 연구 결과 질산화 반응조에서 90% 이상의 암모니아성 질소 제거효율을 달성하기 위해서는 1차 고액 분리조에서의 TCOD 및 SCOD 농도가 25°C에서 각각 115, 69 mg/L, 16°C에서는 89, 54 mg/L 이하가 되어야 됨을 알 수 있었으며, 질산화 반응조에서의 용존 유기물을 기준으로 한다면 두 번째 질산화 반응조에서의 SCOD 농도가 25°C와 16°C에서 각각 56 mg/L 및

27 mg/L 이하가 되어야 함을 관찰할 수 있었다.

#### 참고문헌

- 류흥덕, 민경국, 이상일, 유입부하가 DEPHANOX 및 Modified- DEPHANOX 공정에 미치는 영향, *한국물환경학회지*, **20**(1), pp. 24-31 (2004a).
- 류흥덕, 민경국, 이상일, 온도 및 수리학적 체류시간이 Modified DEPHANOX 공정에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, **26**(3), pp. 313-320 (2004b).
- 환경부, 2003년말 기준 가동중인 하수종말처리시설 현황 (2003).
- Deguchi, H. and Kashiwaya, M., Study on Nitrified Liquor Recycling Process Operations Using Polyurethane Foam Sponge Cubes as a Biomass Support Medium, *Wat. Sci. Tech.*, **30**(6), pp. 143-149 (1994).
- Kazuaki, Y., Yuichi, O. and Akira, O., Simultaneous Removal of Carbonaceous and Nitrogenous Pollutants by a Plunging Liquid Jet Bioreactor with Crossflow Filtration Operated Under Intermittent Aeration, *Bioresource Technology*, **53**, pp. 57-62 (1995).
- Kim, Y., Mikawa, T., Tanaka, K. and Emori, H., Development of Novel Anaerobic/Aerobic Filter Process for Nitrogen Removal Using Immobilized Nitrifier Pellets, *Wat. Sci. Tech.*, **36**(12), pp. 151-158 (1997).
- Kuba, T., Van Loosdrecht, M. C. M. and Heijnen, J. J., Phosphorus and Nitrogen Removal with Minimal COD Requirement by Integration of Denitrifying Dephosphatation and Nitrification in a Two-Sludge System, *Wat. Res.*, **30**(7), pp. 1702-1710 (1996).
- Liu, J., Li, W., Wang, X., Liu, H. and Wang, B., Removal of Nitrogen from Coal Gasification by Nitrosification and Denitrosification, *Wat. Sci. Tech.*, **38**(1), pp. 39-46 (1998).
- Liu, J., Wang, B., Li, W., Jin, C., Cao, X. and Wang, L., Removal of Nitrogen from Coal Gasification and Coke Plant Wastewaters in A/O Submerged Biofilm-Activated Sludge(SBF-AS) Hybrid System, *Wat. Sci. Tech.*, **34**(10), pp. 17-24 (1996).
- Park, S. J., Oh, J. W. and Yoon, T. I., The Role of Powdered Zeolite and Activated Carbon Carriers on Nitrification in Activated Sludge with Inhibitory Materials, *Process Biochemistry*, **39**, pp. 211-219 (2003).
- Polprasert, C. and Sookhanich, S., Upgrading of Facultative Ponds to Treat a Toxic Organic Wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, **31**(2), pp. 201-210 (1995).
- Rakkoed, A., Danteravanich, S. and Puetpaiboon, U., Nitrogen Removal in Attached Growth Waste Stabilization Ponds of Wastewater from a Rubber Factory, *Wat. Sci. Tech.*, **40**(1), pp. 45-52 (1999).
- Randall, C. and Sen, D., Full-Scale Evaluation of an Integrated Fixed-Film Activated Sludge(IFAS) Process for Enhanced Nitrogen Removal, *Wat. Sci. Tech.*, **33**(12), pp. 155-162 (1996).
- Tarek, A. E., Vladimir, S., Grietje, Z. and Gatez, L., Low Temperature Pre-Treatment of Domestic Sewage in an Anaerobic Hybrid or an Anaerobic Filter Reactor, *Bioresource Technology*, **82**, pp. 233-239 (2002).

Wanner, J., Cech, J. S. and Kos, M., New Process Design for Biological Nutrient Removal, *Wat. Sci. Tech.*, **25**(4~5), pp. 445-448 (1992).

Zhao, Q. and Wang, B., Evaluation on a Pilot-Scale Attached-Growth Pond System Treating Domestic Wastewater, *Wat. Res.*, **30**(1), pp. 242-245 (1996).