

회전원판법을 적용한 Modified Dephanox 공정의 하수처리특성

Characteristics of Wastewater Treatment in Applying RBC Modified Dephanox Process

강민구 · 김금용 · 류홍덕 · 이상일[†]

Min-Koo Kang · Keum-Yong Kim · Hong-Duck Ryu · Sang-Il Lee[†]

충북대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

(2010년 2월 22일 접수, 2010년 5월 24일 채택)

ABSTRACT : This study was performed with the object in which it improves the nitrification by using RBC, that is one of the biological waste water treatment process. By applying the Modified Dephanox process to RBC in this research in order to evaluate the improvement of the nitrification by RBC a research was conducted.

There is the most conspicuous feature of the process of using RBC. it is that the nitrification can be smoothly performed even if the suspended solid of the high concentration as the interference factor in the nitrification tank is flowed in.

Moreover, as a result of experiment, TCOD removal efficiency of the process showed up more than about 90%. when influent TCOD loading rate was 0.04~0.1 kg / day · m³. and T-N removal efficiency is high at about 75% in spite of the process operating of the laboratory scale was observed. Also, As increasing influent PO₄³⁻-P, T-P loading rate, PO₄³⁻-P, T-P removal efficiency was increased.

Finally, it was elucidated that the utilization of RBC in external nitrification system resulted in not only high nitrification performance but also stable system operation by minimizing inhibitory effect of overflowed suspended solid (SS).

Key Words : COD/TKN ratio, Modified Dephanox process, RBC(rotating biological contactor), Nitrification

요약 : 본 연구는 생물학적 폐수처리공정의 하나인 회전원판법(RBC)을 이용하여 질산화 반응을 향상 시키는 목적으로 수행되었다. 그 일환으로 회전원판법(RBC)에 의한 질산화반응의 향상을 평가하기 위해서 본 연구에서는 Modified Dephanox 공정에 회전원판법(RBC)을 적용하여 연구를 수행 하였다. 회전원판법(RBC)을 이용한 공정의 가장 두드러진 특징은 질산화 반응조 안으로 질산화반응에 방해인자로 작용하는 고농도의 부유성 고형물(suspended solid)이 유입되어도 질산화반응을 원활히 수행할 수 있다는 데 있다. 게다가 공정의 운영결과 TCOD 제거 효율은 유입 TCOD 부하율이 0.04~0.1 kg/day · m³ 일 때는 약 90%이상의 TCOD 제거효율이 나타났다. T-N 제거효율은 약 75% 정도로 실험실규모의 공정운영에도 불구하고 높은 제거효율이 관찰되었다. 또한 인 의 경우 PO₄³⁻-P 및 T-P 제거효율은 유입 PO₄³⁻-P 및 T-P 부하율이 증가할수록 제거효율은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 결론적으로 Modified Dephanox 공정에서 독립질산화 반응을 수행하는 회전원판법(RBC)의 이용은 높은 질산화반응을 수행할 뿐만 아니라 유입되는 부유성 고형물(suspended solid)의 영향을 최소화하여 안정적인 처리효율을 나타내는 시스템이다.

주제어 : COD/TKN비, Modified Dephanox 공정, 회전원판법, 질산화반응

1. 서 론

우리나라의 경우 대부분의 주거시설 및 건물에 정화조가 설치되어 있어 일부 유기물들이 그곳에서 분해됨에 따라 실제 하수처리장으로 유입되는 하수의 C/N비가 낮다는 특징이 있다.¹⁾ 또한 2012년부터는 500 m³ 이상의 처리장을 대상으로 총인의 농도를 0.2 mg/L까지 강화될 예정이기 때문에 기존의 영양염류제거 공정보다 영양염류의 제거효율에 있어

확실한 처리공정이 필요한 실정이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 류²⁾는 수리학적체류시간(Hydraulic Retention Time, HRT)을 줄이고 유입되는 하수 내 유기물을 최대한 이용하여 국내하수의 특징인 낮은 COD/TKN비에서도 영양염류를 처리할 수 있는 Modified Dephanox 공정(Fig. 1)을 제안하였다. Modified Dephanox 공정은 혐기성 접촉조, 1차침전조, 질산화조, 탈질조, 간헐폭기조, 무산소조, 재폭기조, 최종침전조로 구성되어 있는 다단 슬러지(Two-sludge)

[†]Corresponding author : E-mail : gatorlee@chungbuk.ac.kr Tel : 043-261-2469 Fax : 043-272-2469

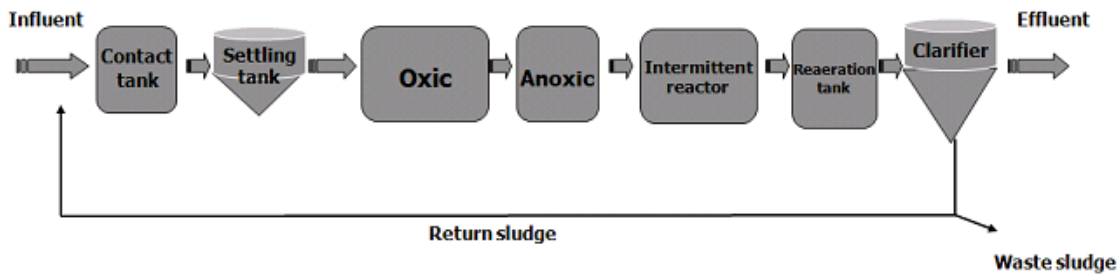


Fig. 1. Modified Dephanox process.

공정으로서 외부질산화(external nitrification)조에서 유동성 담체(Linpor)나 부상여재를 사용하여 질산화박테리아를 농축배양하기 때문에 겨울철 낮은 온도와 짧은 수리학적 체류시간에서도 암모니아성 질소제거 효율의 저하가 거의 없으며 유입되는 독성물질에도 질산화반응 수행하는데 있어 다른 공정보다 영향을 덜 받는 장점을 가지고 있다.^{3~5)} 이러한 장점에도 불구하고 1차침전조에서 완전히 침전되지 않은 유기물을 흡착한 활성슬러지가 질산화조로 유입되면 질산화효율의 저하, 유동성 담체의 폐색 및 질산화조 안에서 유동되지 않는 담체에 의한 Dead zone의 생성을 가져와 질소제거효율을 감소시키는 문제가 발생하였다.⁶⁾ 민¹⁾은 이때 질산화효율이 저하된 질산화조가 다시 그 기능을 회복하기 위해

서는 2~3일의 기간이 필요하다고 보고하였다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위해 강 등⁷⁾의 연구에서는 역세수를 통한 자동역세에 의해 담체에 흡착된 유기물의 탈리를 유도하는 방법도 제시되었다. 하지만 역세주기에 따라 질산화 효율의 차이를 보였으며 역세가 진행되는 동안 담체가 유실되는 문제점도 발생했다. 이에 유기물의 유입으로 질산화조 담체의 폐색과 질산화효율의 저하에 의한 질소제거효율 감소를 개선하기 위해 강 등⁹⁾은 담체에 흡착된 유기물의 탈리를 위해 역세과정이 필요하지 않은 RBC(rotating biological contactor)형태의 외부질산화(external nitrification)조를 적용한 새로운 형태의 Modified Dephanox 공정을 제안하였다(Fig. 2).

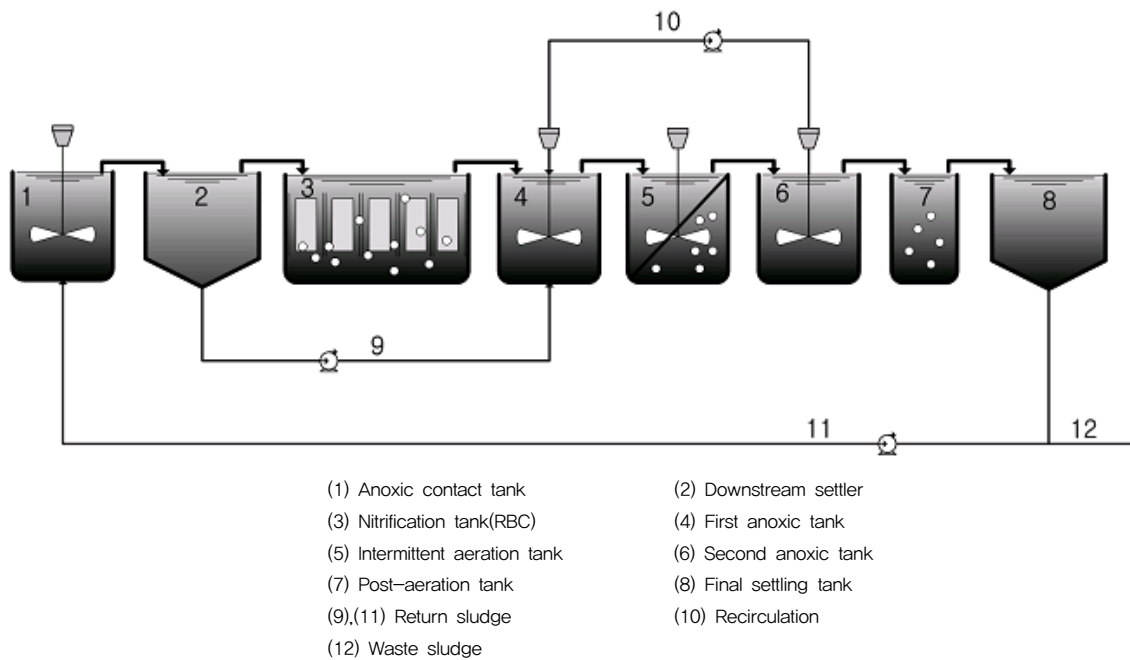


Fig. 2. Modified Dephanox process with RBC nitrification reactor.

RBC 형태의 질산화조에서 질산화박테리아를 부착성장 시키기 위한 담체는 공극이 약 10 mm 정도로서 미생물의 부착이 용이한 폴리우레탄 재질을 사용하였다. 미생물이 부착된 담체가 회전하는 RBC 형태의 질산화조는 물과 미디어가 회전하면서 생긴 회전력에 의해 발생한 마찰력과 에어레이션에 의한 버블에 의해 탈리작용을 유도하기 때문에 1차침전조에서 유입되는 유기물을 흡착한 활성슬러지에도 질산화효율이 저하되지 않고 약 98% 이상의 암모니아성 질소의 제거효율을 유지하였다.

RBC 형태의 질산화조를 적용한 Modified Dephanox 공정은 유입된 하수가 혐기성 접촉조에서 활성슬러지에 의해 흡착 및 흡수되어 자연유하방식에 의해 1차침전조로 유입된다. 1차침전조에서 유기물을 흡착한 활성슬러지는 침전 후 바로 탈질조로 유입되어 탈질박테리아로 하여금 원활하게 탈질반응을 유도할 수 있도록 하여 질소를 제거하는 시스템으로 되어있다. 민 등¹⁰⁾은 혐기성 접촉조에서의 유기물 흡착 정도가 높을수록 질소제거효율이 향상된다고 보고 하였다. 이러한 거동은 유입된 하수의 유기물 이용을 최대화 할 수 있기 때문에 낮은 COD/TKN비의 우리나라 하수에서도 별도의 외부 탄소원 없이도 효과적으로 영양염류를 제거할 수 있는 장점을 가지고 있다. 류 등³⁾의 연구에 따르면 무산소조에서 탈질조로 내부순환을 시켜주었을 때 평균 총질소의 제거효율이 향상된다고 보고되었다. 이는 내부순환을 시켜주는 것이 NO₃⁻-N의 농도를 감소시키며 탈질반응에 이용되는 유기물의 양이 증가되어 질소제거가 향상된 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 질산화조에 유동성 담체를 사용한 기존 Modified Dephanox 공정의 문제점을 개선하기 위한 연구로서 RBC 형태의 질산화조를 적용한 Modified Dephanox 공정을 이용하여 하수의 고도처리에서 영양염류 대한 처리능력을 평가하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험에 사용된 도시하수의 성상

본 연구에 사용된 도시하수는 C시 환경사업소 하수처리장으로 유입되는 폐수를 사용하였으며 도시하수의 성상은 Table 1 과 같다.

유입된 하수의 성상은 TCOD_{cr} 및 SCOD_{cr} 농도가 각각 177.6, 68.5 mg/L 였으며, TKN 및 NH₄⁺-N의 농도는 각각 46.8, 23.6 mg/L로 나타났다. PO₄³⁻-P와 T-P의 농도는

2.1, 4.1 mg/L 였으며 C 도시의 TCOD_{cr}/TKN 비는 평균 약 3.8로 비교적 낮은 것으로 관찰 되었다.

2.2. RBC 형태의 Modified Dephanox 공정의 운영

본 연구에서 제안한 RBC 형태의 Modified Dephanox 공정의 운전조건은 Table 2에 나타났다. 초기 처리효율의 안정화를 위한 순응기간은 약 20일 정도가 필요하였으며 약 150일간의 공정의 운전으로 처리효율을 평가하고자 하였다. 공정의 수리학적체류시간(Hydraulic Retention Time, HRT)은 8 hr으로 하였으며 미생물 체류시간(Sludge Retention Time, SRT)은 20 day(일)로 유지하였다. 실험 기간 중 외부 질산화조의 온도는 24℃에서 운영하였다. 원수의 공급과 무산소조에서 탈질조로 행해지는 내부순환(Internal Recycle)과 1차침전조에서 탈질조로 행해지는 슬러지 이송, 최종침전지에서 혐기성 접촉조로의 슬러지반송(Return Activated Sludge)을 위하여 정량펌프를 이용하였다. 최종침전조에서 혐기성접촉조로의 반송슬러지유량과 1차침전조에서 탈질조로의 유기물이 흡착된 활성슬러지의 이송 유량은 1Q로 유지하였다. 질소제거효율의 향상을 위한 무산소조에서 탈질조로의 내부순환은 1~2Q로 변환하면서 운전하였다. 또한 질산화조에서 미생물의 부착성장을 위해 사용된 담체는 폴리우레탄 재질로서 지름 120 mm 두께 25 mm를 6개를 지름 10 mm 길이 300 mm인 스테인리스 축에 고정하여 사용하였으며 분당 회전수는 2~3 rpm을 유지하였다. 호기조건을 유지하기 위해서 두 개의 산기관을 사용하여 평균 DO 농도를 2~3 mg/L로 운영하였다. 각 반응조의 MLSS의 농도는 4000~4500 mg/L를 유지하였으며 VSS/TSS 비는 평균 약 66 ± 8% 정도로 낮게 유지되었다. 이는 실험에 쓰인 폐수를 C시의 하수처리장에서 채취하여 저장조에 넣어 사용했기 때문에 저장조 자체의 유기물을 이용한 탈질작용에 의한 원인으로 사료된다. 또한 간헐폭기조에서 호기와 비포기 시간은 0.5 hr/0.5 hr로 운영하였다.

Table 1. Influent wastewater characteristics

Parameter	Concentration, mg/L
TCOD _{cr} (mg/L)	177.6±68.3
SCOD _{cr} (mg/L)	68.5±16.6
TKN (mg/L)	46.8±6.6
NH ₄ -N (mg/L)	23.6±2.8
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	2.1±0.5
T-P (mg/L)	4.1±0.9
TCOD _{cr} /TKN	3.8±1.5

Table 2. Operational parameter of RBC type Modified Dephanox

	RBC type Modified Dephanox	
	Value (L)	Volume ratio(%)
Volume of anoxic contact tank (0.5 hr)	4.3	9.26
Volume of nitrification tank (2.5 hr)	10	21.55
Volume of anoxic tank (1.51 hr)	7.5	16.16
Volume of intermittent aeration tank (1.51 hr)	7.5	16.16
Volume of anoxic tank (1.51 hr)	10	21.55
Volume of post-aeration tank (1.15 hr)	7.1	15.3
Return sludge flow rate (Q)	1	
Activated bypass flow rate (Q)	1	
Recirculation rate (Q)	1~2	
HRT (hr)	8	
SRT (day)	20	
Temperature (°C)	24	

2.3. 분석항목 및 분석방법

본 연구에서 분석한 주요 항목은 TCOD_{Cr}(5220-COD-D, HACH), SCOD_{Cr}(5220-COD, HACH), NH₃⁺-N (Nessler 법, HACH), NO₂⁻-N(OPTIZEN 3200UV (Mecasys. KOR)), NO₃⁻-N(OPTIZEN 3200UV (Mecasys. KOR)), PO₄³⁻-P(OPTIZEN 3200UV (Mecasys. KOR)), T-P 등이었으며 이중 TCOD_{Cr}, SCOD_{Cr}는 Standard Methods⁸⁾ 와 HACH DR-4000에 준하여 측정하였으며, NH₄⁺-N, TP는 각각 HACH manual의 Nessler 법 및 HACH phospho Ver 3 방법을 이용하여 측정하였다. 또한 TKN은 Italy Milano 에서 제조된 VELP(UDKCO30)를 이용하여 측정하였다. SCOD_{Cr}, NH₃⁺-N는 공극 크기가 1.2 μm인 GF/C 여과지 (Whatmann)에 여과하여 측정하였으며, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N 는 유기물 간섭을 막기 위하여 공극크기가 0.45 μm인 membrane 여과지에 여과하여 측정하였다. 미디어에 부착 성장 된 미생물은 scanning electron microscopy(SEM, MS2, Sigma)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유기물 유입 부하에 따른 유기물 제거영향

Fig. 3은 TCOD 부하율에 따른 TCOD의 제거효율을 나타낸 것이다. 대상폐수로부터 유기물의 유입에 따른 TCOD 제거 효율은 유입 TCOD 부하율이 약 0.02~0.10 kg/day · m³ 범위에서 약 80% 이상의 TCOD 제거효율이 관찰되고 있으며 또한 유입부하율이 0.04~0.1 kg/day · m³일 때는 약 90% 이상의 TCOD 제거효율이 나타났다. 이는 RBC 형태의

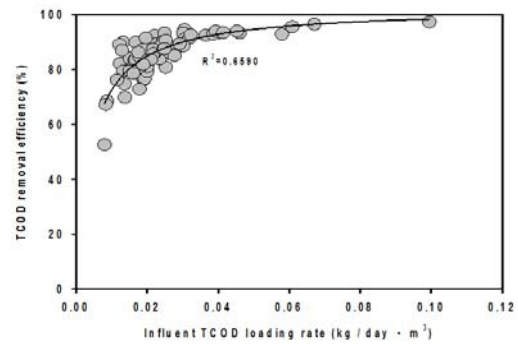


Fig. 3. TCOD removal efficiency according to influent organic loading late.

질산화조를 가진 Modified Dephanox 공정이 유기물 유입 부하 변동에도 안정적으로 대상폐수로부터 유기물 제거효율을 유지한다는 것을 의미하며 민¹⁾과 류²⁾의 결과와도 일치한다. 하지만 우수의 유입등과 같은 영향으로 유입되는 유기물의 양이 현저하게 저하되는 경우에는 혐기성접촉조의 활성 슬러지에 유기물의 흡착이 적게 일어나 유기물의 제거효율이 다소 감소하는 결과를 나타냈다.¹⁰⁾

3.2. 질소 부하가 암모니아성 질소 및 TKN 제거에 미치는 영향

Fig. 4는 NH₄⁺-N 부하가 RBC 형태의 질산화조 적용시킨 Modified Dephanox공정에서 NH₄⁺-N 제거 효율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. NH₄⁺-N 유입 부하의 범위가 0.0003~0.0016 kg/day · m³사이에서는 약 95% 이상 암모니아성 질소를 제거하는 것으로 나타났으며, 0.0016 kg/day · m³ 이상에서는 제거효율이 급속히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 RBC 형태의 외부질산화조가 질산화박테리

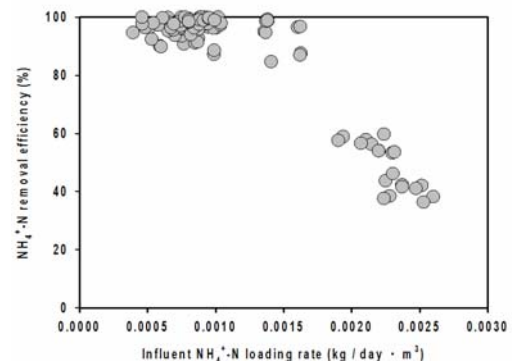


Fig. 4. NH₄⁺-N removal efficiency according to influent NH₄⁺-N loading late.

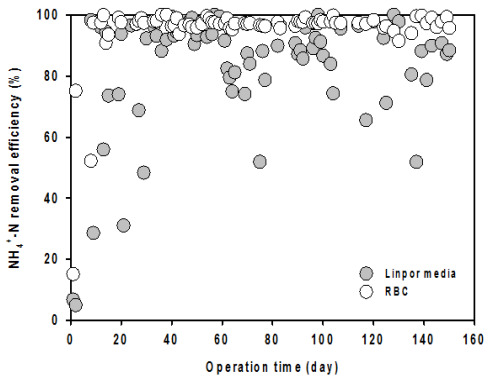


Fig. 5. Comparison of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ Removal efficiency in modified dephanox nitrification reactor between Linpor media and RBC.

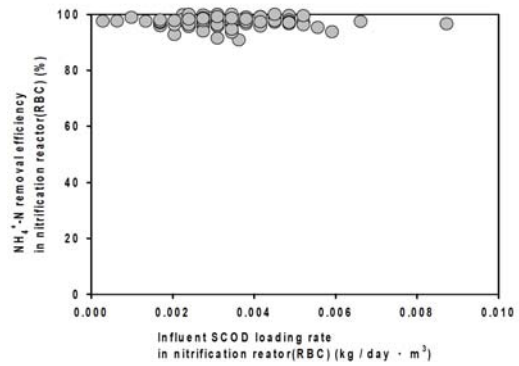
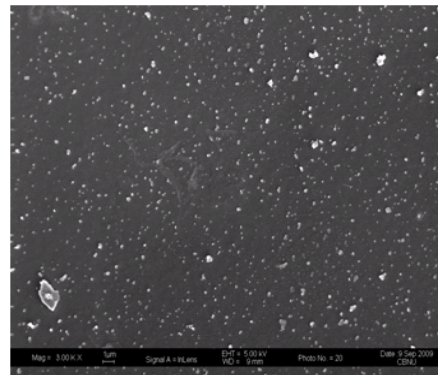


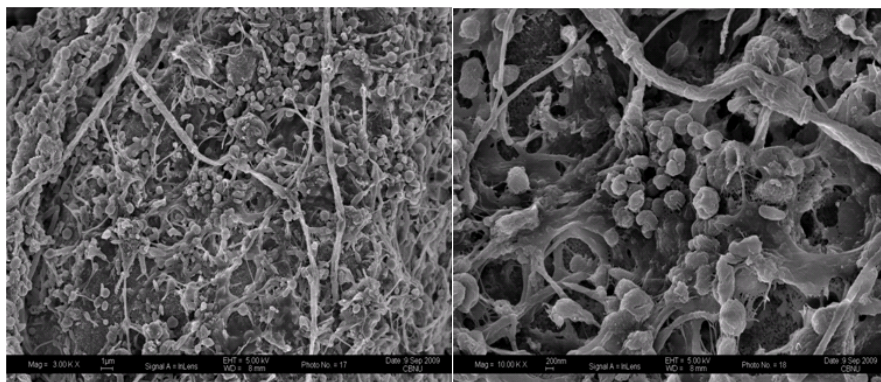
Fig. 6. Characteristics of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal in nitrification reactor according to SCOD concentration in downstream settler.

이를 부착성장 시키는데 유리하기 때문에 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 유입 부하에도 안정적으로 제거하는 것으로 사료된다. 상기와 같은 실험결과는 Modified Dephanox 공정이 여재에 의한 부유 및 부착 성장으로 질산화 박테리아와 탈질 박테리아를 별도의 반응조에서 독립적으로 성장하여 처리하는 다단 슬러지 (two-sludge)공정이기 때문에 일반적인 단일 슬러지 공정

인 활성슬러지공정보다도 높은 암모니아성 질소 처리효율을 가지고 있다는 연구와 일치하는 결과이다.^{11,12)} 기존의 부상 여재를 사용한 Modified Dephanox 공정의 경우 후단의 질산화조로의 유기물의 유입이 증가되어 질산화 효율이 저하된다고 보고되었다.¹⁾ 하지만 강 등⁹⁾의 연구결과에 따르면 RBC 형태의 질산화조를 가진 Modified Dephanox 공정의



a) Polyurethane media (×3000)



b) Microbes attached on the media (× 3000, 10000)

Fig. 7. SEM analyses of polyurethane media and microbes attached on the media.

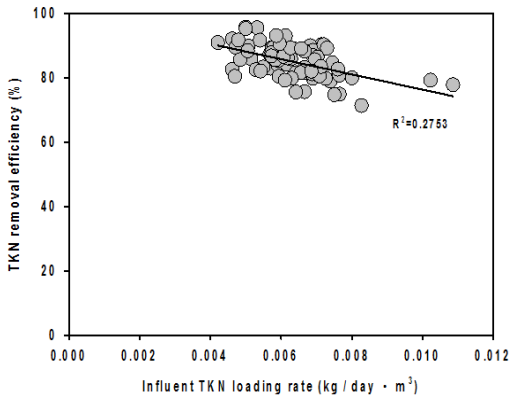


Fig. 8. TKN removal efficiency according to influent TKN loading rate.

경우 유기물의 유입에도 불구하고 평균 암모니아성 질소 제거효율이 약 98%를 유지한다고 보고되었다. Fig. 5는 외부 질산화조에 부상여재를 사용한 것과 RBC를 적용한 것에 대한 암모니아성 질소의 제거효율을 나타낸 것으로 RBC를 적용한 것이 안정적으로 암모니아성 질소를 제거하는 것으로 나타났다. 부상여재를 사용한 경우에는 효율이 급격히 감소하는 경향이 나타나는데 이는 1차 침전조를 거쳐 넘어온 유기물이 여재에 흡착되어 유동되지 않았기 때문이다. Fig. 6은 질산화조에 유입되는 유기물의 양에 따른 암모니아성 질소 제거효율을 나타낸 것으로 강 등⁹⁾의 연구결과와 일치하는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 질산화조에 사용된 여재의 SEM(scanning electron microscopy)분석결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 여재 표면에 질산화박테리아가 안정적으로 부착하여 성장되고 있는 것을 관찰할 수 있다. TKN 유입 부하에 따른 TKN 제거효율은 Fig. 8과 같이 나타

났다. TKN 유입 부하가 증가하면 할수록 TKN 제거효율이 감소하는 경향이 관찰 되었다. TKN 유입 부하가 약 0.004~0.006 kg/day · m³ 일 때는 90%이상의 제거효율이 나타났으나 0.008~0.011 kg/day · m³에서는 TKN 제거효율이 80%이하로 감소함을 알 수 있었다. 이는 실험기간의 대부분이 여름 장마철임을 감안해 볼 때 우수의 유입으로 인한 낮은 C/N비에 의해 질소제거에 필요한 유기물의 감소로 인해 제거효율이 감소된 것으로 사료된다.

3.3. 질소제거 특성

RBC 형태의 질산화조를 가진 Modified Dephanox 공정은 유기물의 유입부하가 증가하면 할수록 T-N 제거효율이 유입수의 낮은 C/N비로 인해 미세하게 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 9). 이는 다단슬러지공정(Two-sludge)인 Modified

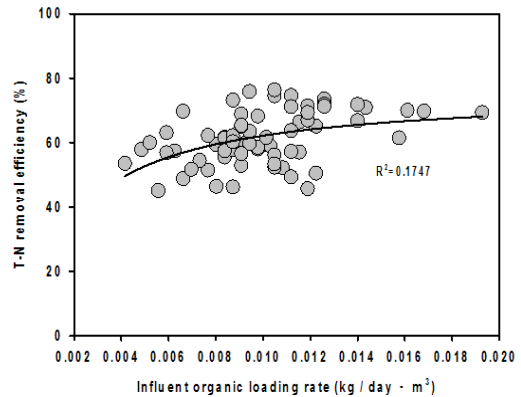


Fig. 9. T-N removal efficiency according to influent organic loading rate.

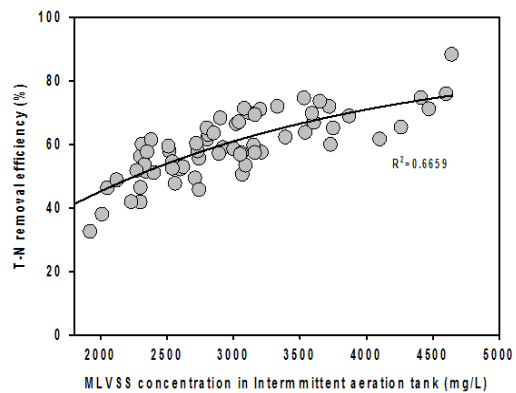
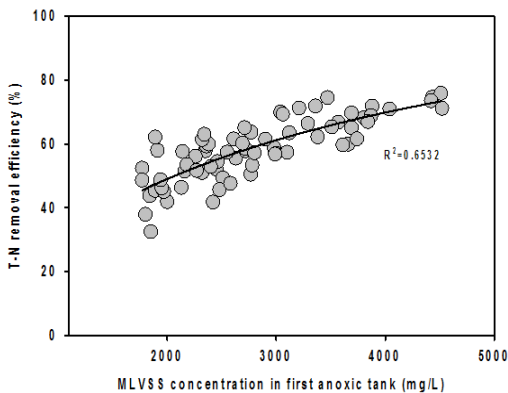


Fig. 10. T-N removal efficiency according to MLVSS concentration in first anoxic tank and Intermittent aeration tank (mg/L).

Dephanox 공정의 특징 중 하나인 혐기성 접촉조의 역할을 잘 나타낸 결과이다. 이 공정에서 혐기성 접촉조의 역할은 유입된 대상폐수로부터 활성슬러지로 하여금 유기물을 흡착하여 후단의 1차 침전조로 유입되는데 이때 침전된 유기물을 흡착한 활성슬러지는 탈질조로 이송되어 탈질반응에 필요한 유기물을 최대한 이용할 수 있도록 하는 것이다. 이 과정에서 유기물의 유입이 많을수록 혐기성 접촉에서의 유기물의 흡착효율이 증가하여 탈질반응에 이용되는 유기물의 양이 증가하기 때문에 질소제거효율이 증가하는 것이다. 이와 같은 결과는 민¹⁾과 류²⁾의 연구결과와 유사한 경향이 나타났으며 Modified Dephanox 공정에서 있어 혐기성 접촉에서의 유기물의 흡착정도는 질소제거에 영향을 미친다는 결론을 얻을 수 있었다.

또한 질소를 제거하는데 있어 활성슬러지의 미생물의 양은 매우 중요한 것으로 관찰되었다. 본 공정을 운영함에 있어 미생물의 양과 질소제거효율 간의 관계는 Fig. 10 에 나타났다. 질소제거 기작이 있는 탈질조와 간헐폭기조에 있는 미생물의 MLVSS가 적어도 3500 mg/L 이상을 유지해야만 약 75%이상의 질소제거효율을 얻을 수 있었다. 본 연구에서 사용한 대상폐수의 C/N비가 3.8 ± 1.5 인 것과 실험실 규모의 연구로서 처리용량이 적은 것을 감안해 본다면 매우 안정적으로 질소를 제거하는 공정으로 사료된다. 약 75%이상의 질소제거효율을 얻기 위해서는 슬러지의 활성도인 MLVSS/MLSS의 값이 적어도 0.75이상인 유지되어야 한다 (Fig. 11). 하지만 민¹⁾의 연구에서 pilot plant 규모의 처리용량이 큰 경우에는 MLVSS/MLSS의 값이 0.70정도로 유지하여도 75%이상의 질소제거효율이 나타났다.

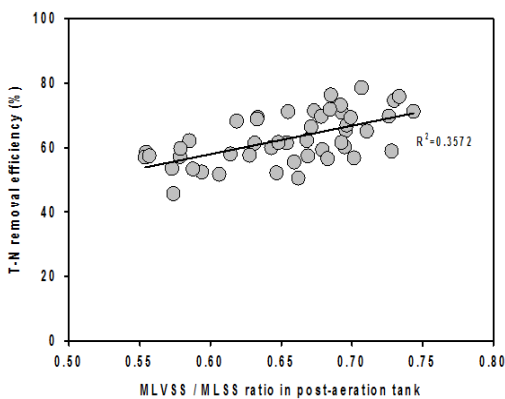


Fig. 11. T-N removal efficiency according to MLVSS/MLSS ratio in post-aeration tank.

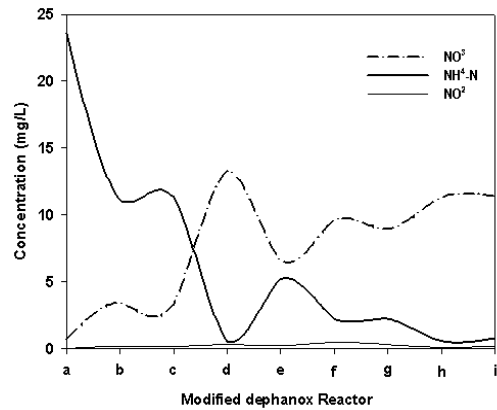


Fig. 12. Nitrogen concentration of each reactor. (a) Influent, (b) Anoxic contact tank, (c) Downstream settler, (d) Nitrification tank, (e) First anoxic tank, (f) Intermittent aeration tank (g) Second anoxic tank, (h) Post-aeration tank, (i) Final settling tank

Fig. 12는 Modified Dephanox의 각 반응조별 평균 질산염과 암모니아성 질소의 거동을 나타낸 것이다. 방류수의 질산염의 농도가 약 10 mg/L 이상으로 유출된다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 사용한 Modified Dephanox 공정의 경우 C/N비가 약 5일 경우 방류되는 질산염의 농도는 10 mg/L 이하로 유출되었다. 이는 Modified Dephanox 공정이 낮은 C/N비에서도 효과적으로 질소를 제거 할 수 있다는 것으로 보이며 앞으로 선진국 수준으로 강화될 방류수의 질소농도인 10 mg/L 이하를 만족시킬 수 있는 것으로 사료된다. 본 연구에서 사용한 RBC 형태의 Modified Dephanox 공정은 실험실 규모의 연구로서 탈질 반응에 수행되는 반응조의 형태가 현장에 설치되어 있는 반응조에 비해 대기와 접촉하고 있는 수표면 면적이 반응조 전체의 부피에 비해 상대적으로 크다. 이와 같은 이유 때문에 완전한 혐기와 무산소 조건을 만족하지 못하여 질소제거 효율이 다시 떨어지는 것으로 판단된다. 하지만 민¹⁾의 연구결과에 나타난 바와 같이 실제 규모의 처리용량으로 규모를 확장 시킨다면 같은 조건에서도 더욱 좋은 질소제거효율을 기대해 볼 수 있을 거라 판단된다. Fig. 13은 유입된 질소의 제거효율을 나타낸 것으로 우수가 유입된 부분은 효율이 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있다.

3.4. 인 제거 특성

Modified Dephanox 공정에서 유입부하에 따른 T-P 및 PO₄³⁻-P 제거효율은 Fig. 14, Fig. 15에 나타나 있으며 유입되는 T-P 및 PO₄³⁻-P 부하율이 증가할수록 제거효율은 증

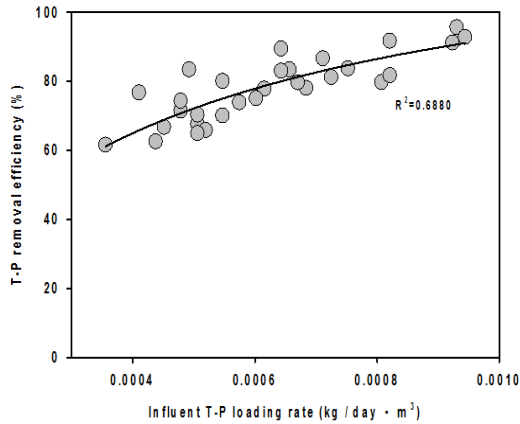


Fig. 14. T-P removal efficiency according to influent T-P loading rate.

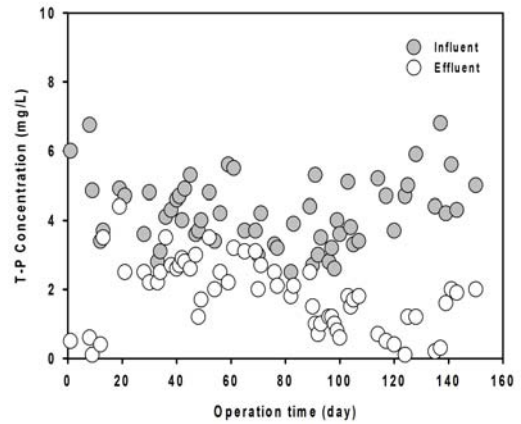


Fig. 16. Characteristics of T-P removal in Modified dephanox in applying RBC.

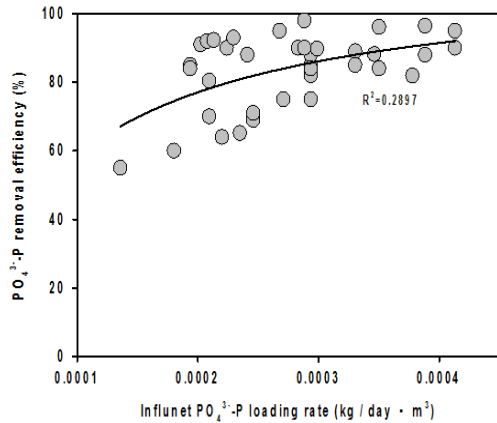


Fig. 15. PO₄³⁻-P removal efficiency according to influent PO₄³⁻-P loading rate.

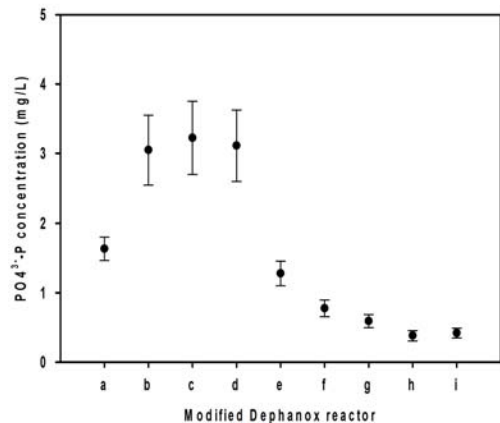


Fig. 17. PO₄³⁻-P concentration of each reactor. (a) Influent, (b) Anoxic contact tank, (c) Downstream settler, (d) Nitrification tank, (e) First anoxic tank, (f) Intermittent aeration tank, (g) Second anoxic tank, (h) Post-aeration tank, (i) Final settling tank

가하는 경향으로 보이고 있다. 이와 같은 결과가 나타난 것은 T-P 및 PO₄³⁻-P 부하율이 증가하는 것과 마찬가지로 유기물의 부하율도 증가하여 혐기성 접촉조로부터 인의 방출이 많이 일어나기 때문에 제거효율이 증가하는 것으로 사료된다. 이와 같은 실험결과는 민¹⁾ 과 류²⁾의 연구와도 유사한 경향을 나타냈다.

Modified Dephanox 공정은 혐기성 접촉조에서 인의 방출이 일어나고 후단의 호기조건에서 인의 흡착이 일어나는 기작으로서 인을 제거한다. 그 만큼 혐기성 접촉조에서의 인의 방출은 인을 제거하는데 매우 중요한 역할을 한다. 반면 장마철 우수의 유입으로 인하여 유기물의 농도가 낮은 하수가 유입될 경우 혐기성 접촉조에서의 인의 방출에 저하요인으로 작용하여 인의 제거효율이 감소된다.¹³⁾ 또한 유입하수

의 낮은 유기물 농도는 탈질반응을 원활하게 유도하지 못해 2차침전지의 잔류하는 질산염은 앞단의 혐기성 접촉조로 반송되어 인의 방출을 저하 시키는 인자로서 작용하게 된다.¹⁴⁾ Fig. 16은 유입된 인의 제거효율을 나타낸 것으로 우수로 인하여 유입되는 유기물의 비율이 적어지기 때문에 혐기성 접촉조에서 인의 방출이 적게 일어나 효율이 일정하게 유지되지 않고 다소 감소되는 경향을 보였다. Fig. 17는 각 반응조별 인의 거동을 나타낸 것이다. 혐기성 접촉조에서 Poly-P 박테리아의 세포로부터 인의 방출(release) 많이 일어날수록 방류수의 대한 PO₄³⁻-P의 제거가 완벽하게 일어나는 결과가 관찰되었다. Modified Dephanox 공정

에서 인을 제거하는데 있어 혐기성 접촉조로 유입되는 하수의 유기물의 양은 매우 중요한 인자¹⁵⁾인 것으로 사료된다.

4. 결론

RBC 형태의 Modified Dephanox 공정을 이용하여 도시 하수의 질소제거효율을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유기물 유입부하에 따른 TCOD 제거 효율은 유입 TCOD 부하율이 약 0.02~0.10 kg/day · m³ 범위에서 약 80% 이상의 TCOD 제거효율이 관찰되고 있으며 또한 유입부하율이 0.04~0.1 kg/day · m³ 일 때는 약 90% 이상의 TCOD 제거효율이 나타났다.
- 2) NH₄⁺-N 유입 부하의 범위가 0.0003~0.0016 kg/day · m³ 사이에서는 거의 95% 이상 암모니아성 질소를 제거하는 것으로 나타났으며 0.0016 kg/day · m³ 이상에서 부터는 제거효율이 급속히 감소하는 것을 알 수 있으며 또한 TKN의 경우 유입 부하가 약 0.004~0.006 kg/day · m³ 일 때는 90% 이상의 제거효율이 나타났으나 0.008~ 0.011 kg/day · m³ 에서는 TKN 제거효율이 80% 이하로 감소함을 알 수 있었다.
- 3) Modified Dephanox 공정에서 혐기성 접촉에서의 유기물의 흡착정도가 증가할수록 질소제거효율이 높아진다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한 질소제거효율이 75% 이상의 결과를 얻기 위해서는 적어도 미생물의 농도가 3500 mg/L 이상을 유지해야 한다.
- 4) Modified Dephanox 공정의 PO₄³⁻-P 및 T-P 제거효율은 유입 PO₄³⁻-P 및 T-P 부하율이 증가할수록 제거효율은 증가하는 경향을 보이고 있으며 인을 제거하는데 있어 혐기성 접촉조로 유입되는 하수의 유기물의 양은 매우 중요한 인자인 것으로 사료된다.

KSEE

참고문헌

1. 민경국, "생물흡착을 이용한 하이브리드형 영양염류제거 공정 (eBNR)", 박사학위 논문, 충북대학교(2007).
2. 류홍덕, "접촉안정형 영양염류 처리 하이브리드 공정 개발", 박사학위논문, 충북대학교(2005).
3. 류홍덕, 민경국, 이상일, "유입부하가 DEPHANOX 및 Modified-DEPHANOX 공정에 미치는 영향", 한국물환경학회지, **20**(1), 24~31(2004).
4. Hu, Z. R., Wentzel M. C., Ekama, G. A., "External nitrification in biological nutrient removal activated sludge systems", *Water Sci. Technol.*, **43**(1), 251~260(2001).
5. Zhi-rong Hu, Sötemann, S. Moodley, R. Wentzel M. C. and Ekama, G. A. "Experimentatl Investigation of the External Nitrification Biological Nutrient Removal Activated Sludge(ENBNRAS) System", *Biotech. Bioeng.*, **83**(3), 260~273(2003).
6. 김만수, 박종운, 이상일, 박철휘, "부유 및 부착성장 미생물을 이용한 접촉안정형 영양염류처리 하이브리드 공정", 대한환경공학회지, **29**(4), 452~459(2007).
7. 강주형, 김진형, 김금용, 김태수, 이상일, "폐철코일의 철성분을 이용한 유로변경식 생물여과공정의 인 처리 개선", 한국물환경학회 추계학술발표회 논문집, pp. 1162~1170(2007).
8. Andrew, D. E., Lenore, S. C., Eugene, W. R. and Arnold, E. G., *Standard methods for the examination of water & wastewater*, 21st Edition., APHA, AWWA, WEF(2005).
9. 강민구, 김금용, 김승하, 류홍덕, 이상일, "질산화 반응조에서 유기물 부하에 따른 암모니아 제거 특성", 한국수처리학회지, **17**(3), 85~93(2009).
10. 민경국 류홍덕 원종욱 임현은 이상일, "Modified DEPHANOX와 MLE 공정에 대한 비교 및 평가", 대한환경공학회 춘계학술연구 발표회 논문집, pp I-C-4(2003).
11. 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," *Proc. Biochem.*, **39**, 211~219(2003).
12. Rakkoed, A., Danteravanich, S., and Puetpaiboon, U., "Nitrogen Removal in Attached Growth Waste Stabilization Ponds of

-
- Wastewater from a Rubber Factory", *Water Sci. Technol.*, **40**(1), 45~52(1999).
13. 류홍덕, 이상일, "부유 및 부착성장 미생물을 이용하는 공정의 유기물, 질소 및 인 제거 특성 비교", *대한환경공학회지*, **27**(2), 206~214(2005).
14. 류홍덕, 이상일, "온도가 MLE 및 M-Dephanox 공정의 유기물, 질소 및 인 제거 효율에 미치는 영향", *한국물환경학회지*, **20**(1), 7~16(2006).
15. 민경국, "생물학적 인 방출시 유기물 및 온도가 미치는 영향", 석사학위논문, 충북대학교(1999).