

회전원판공정을 이용한 하수의 질산화에 관한 연구

A Study on the Rotating Biological Contactors for the Nitrification of Sewage

정근진 · 이상수 · 김시현 · 박규홍 *

Kun-jin Jung · Sang-Soo Lee · Si-Hyeon Kim · Kyoo-hong Park *

한라산업개발(주) 환경연구소 · * 중앙대학교 토목공학과

Environmental Research Center of Halla Engineering & Industrial Development Co., Ltd
* Department of Civil Engineering, Chung-Ang University

Abstract

Nitrogen, in its various forms, can deplete dissolved oxygen levels in receiving waters, stimulate aquatic growth, exhibit toxicity toward aquatic life and affect the suitability of sewage for reuse. Pilot-scale Rotating Biological Contactor(RBC) experiments were conducted to examine biological nitrification, respectively, of municipal sewage with five different internal recirculation ratios of 0, 1, 2, 3, and 4 using the constant hydraulic loading of 205 L/m² · day. The use of internal recirculation improved nitrification on account of the dilution of biodegradable organic carbon in influent sewage down to 15 mg/L of SBOD₅ or less. Ammonium nitrogen of 14.3±2.4 % was consumed by cellular assimilation without the occurrence of denitrification. The thickness of biofilm didn't seem effect significantly the nitrification and denitrification. Nitrification with internal recirculation was found to occur using hydraulic loading rate of as high as 205 L/m² · day, which was beyond the generally known values of it.

Keywords : rotating biological contactor, RBC, recirculation ratios, nitrification

1. 서 론

활성슬러지법은 생물학적 처리방법 중 호기성 미생물을 이용한 대표적인 공법으로 가장 오래되었고 현재까지 널리 이용되고 있으며, 우리나라 대도시의 거의 모든 하수처리장에 채택되어 하수 처리에 크게 기여하고 있다. 그러나 이 방법은 고도의 처리기능을 발휘하지만 항상 고도의 기술에 의하여 엄격히 관리를 해야 하고, 슬러지 발생량이 많으며, 질소이용에 대한 효율이 적고, 슬러지 팽화(Bulking)가 일어나기 쉬우며, 유지관리비가 많이 소요되는 단점이 있다. 또한 하 · 폐수처리를

위하여 행해지는 폭기로 인한 폐수의 비산, 거품, 냄새, 비위생적인 곤충의 서식 등 2차 공해가 사회문제화되고 있으며, 질산화 및 탈질화 등의 고도처리 시설을 적용하기 어렵다는 문제점이 지적되고 있다¹⁾. 따라서 최근 선진국에서는 도시하수, 생활폐수와 산업폐수 처리에 고정 생물막을 이용한 회전원판법(RBC (Rotating Biological Contactors), RBS(Rotating Biological Surface), Bio-Surf (Biological Surface))의 채택이 날로 증가되어 가고 있는 실정이다^{2,3)}.

국내에는 주로 오수정화시설이나 소규모 공장 폐수처리에 회전원판법이 적용되고 있으나, 하수

처리장에는 회전원판법의 대한 활용이 매우 부진한 형편이다. 또한 설계가 적절하지 못하거나 유지관리 등이 제대로 되고 있지 않으며 기계적인 결함 등으로 회전원판법에 대한 선입견과 편견이 매우 악화되어 있는 형편이다. 도시하수처리에서도 회전원판법이 하수의 2차 처리로 활용되고 있지만, 질산화나 탈질을 목적으로 하는 고도처리기술로 활용하는 면에서는 매우 미미한 상태에 있다. 그러나 최근 이러한 기계적 결함 등에 대한 보완기술의 개발과 발전^{4)~7)}이 이루어져 장래에는 중·소규모의 하수처리시설로 본 회전원판법이 주목을 받을 것으로 예상된다.

본 연구의 목적은 반응이 유입수 유기탄소농도를 감소시키으로써 종속영양미생물의 성장이 억제되고, 질산화를 향상시킨다고 가정하여 파일럿 규모의 실험장치를 제작, 실험을 실시하여 질산화에 대한 반응의 영향을 조사하는 것이다. 또한 반응비(Recirculation Ratio)가 증가하면 수리학적부하(Hydraulic Loading)가 증가한다는 것을 고려하여, 높은 수리학적부하에서 질산화를 관찰하는 것이다. 그 결과 현재 빠른 속도로 진행되고 있는 하천 및 호소의 부영양화를 제어할 수 있는 하나의 유용한 대책을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 실험

2.1 실험장치

RBC 반응조는 Fig. 1과 같이 폭 44 cm, 길이 44 cm, 높이 27 cm의 모듈(Module) 2개로 구성되었으

며 원판을 포함한 반응조의 총 체적은 36.6 L이다.

반응조는 4개의 Stage로 구성되어 있으며 각각 9.1 L의 동일체적을 갖는다. 회전축은 반응조 길이 방향으로 향하고, 폴리프로필렌(Polypropylene) 원판을 지지한다. 20 cm의 길이를 가진 각 Stage마다 지름 30 cm의 원판이 8개 있다. 회전하는 각각의 원판 사이에 간격재를 설치하여 원판 사이의 간격(18 mm)을 일정하게 유지한다. 또한 간격재는 오수속에서 난류를 만들어 내어 막힘과 침전을 방지하여 가장 효율적인 물 흐름을 만들어 낸다. 원판 회전속도는 20 rpm으로 비교적 빨리 회전하며, 이는 원주속도로 18.85 m/min에 해당한다. 또한 원판의 총 표면적이 4.5 m²이다. 이것은 액량면적비(G 값 = 반응조의 체적/접촉재표면적)가 8.1 L/m³ 인 결과를 나타낸다. 반응조의 수위는 유출구의 위치에 의하여 정해지는데 본 RBC 반응조의 유출구는 축 중심 아래 약 2.4 cm 높이에 위치한다. 이러한 결과로 실제 RBC처럼 원판의 약 40%가 수중에 잠기게 된다. 본 연구의 RBC 반응조에 대한 자세한 설명은 Table 1에 나타내었다.

2.2 유입수질

본 Pilot Plant의 원수탱크로 유입된 중앙대학교 오수처리장 유입수의 평균농도는 SBOD₅ 37.5 mg/L, SS 54.0 mg/L, NH₄-N 22.47 mg/L, NO₃-N 0.52 mg/L로 분석되었다. 실험기간 동안 방화과 개강기간이 포함되었으며 방화중에는 상당히 저농도로 유입됐다. Table 2에 본 오수처리장으로 유입된 하수의 특성을 나타냈다.

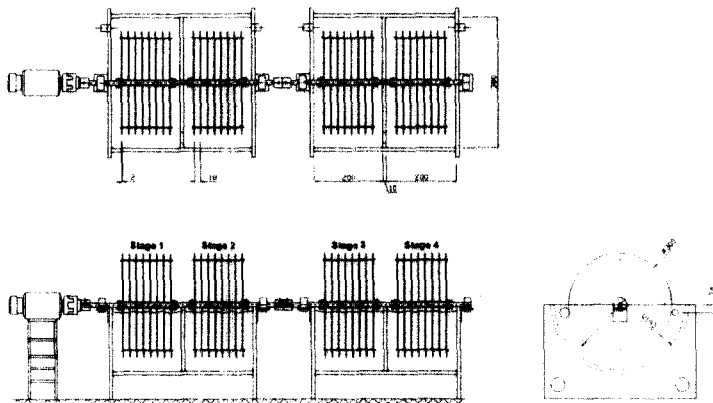


Fig. 1. RBC pilot reactors for nitrification.

Table 1. The specification of RBC pilot equipments for nitrification.

Item	Specification	Item	Specification
Dimension	44 cmW × 44 cmL × 27 cmH(2 EA)	Disc Type	Flat
Disc Material	Polypropylene	Disc Diameter	30 cm
Disc Circumference	94.248 cm	Disc Thickness	2 mm
Disc Number	32 EA (8 EA per Stage)	Disc Distance	18 mm
Disc Area	4.524 m ² (1.131 m ² per Stage)	Number of Stage	4 stage
Submerged Disc	39.858 % (40 %)	Submerged Disc Area	1.803 m ²
Volume	36.6 L(9.1 L per Stage)		

Table 2. The influent characteristics of sewage treatment plant at Chung-Ang Univ.

Item	Temp. (°C)	pH	SS (mg/L)	SBOD ₅ (mg/L)	TOC (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)
Average	15.2	7.1	54.0	37.5	21.5	22.47	0.52
MAX	15.7	7.5	124.2	69.2	28.0	27.85	0.81
MIN	14.6	6.5	22.5	15.0	14.4	18.78	0.32

2.3 실험방법

RBC Pilot Plant와 추가의 조작장치들을 중앙대학교 오수처리장의 여유공간에 설치했다. 본 처리장의 유입하수는 분류식 유입관로를 통하여 유입되어 드럼스크린을 통과한 후 원수저류조로 보내진다. 이곳에서 원수는 수중펌프를 사용하여 본 RBC Pilot 장치의 원수탱크로 계속 전달된다.

반송은 처리공정으로부터 유출수를 처리공정의 유입구로 되돌려보내고 원수와 함께 다시 통과시키는 것이다. 본 연구의 주요 운전변수인 반송의 영향을 모의하기 위해 본 오수처리장의 폭기조 유

출수를 질산화수로 가정하여 원수와 혼합하였다. 본 연구에서 사용하는 혼합(Mixing)이라는 용어는 반송(Recirculation)과 동일한 의미이며, 반송비의 크기는 유입되는 원수에 더해지는 폭기조 유출수의 혼합비율이다.

반송수는 처리공정으로 유입되기 전에 원수와 합쳐져 총 유입 하수량의 형태로 다시 처리공정을 통과한다. 반송수와 원수의 합을 총유량으로 하여 수리학적부하를 계산하였다. 수리학적부하는 단위 시간에 대해 RBC 원판의 표면적 당 공급되는 유량이다. 반송비의 증가에 따라 총유량이 증가하

Table 3. Experimental design for nitrification.

Item	Flow (ml/min)		(Influent : Aeration Tank Effluent)	Mixing Ratio	Hydraulic Loading (L/m ² · day)	HRT (min)
	Influent	Aeration Tank Effluent				
M0	644	-	-	0	205	56
M1	322	322	1 : 1	1	205	56
M2	215	429	1 : 2	2	205	56
M3	161	483	1 : 3	3	205	56
M4	129	515	1 : 4	4	205	56

로 수리학적부하가 증가한다. 그러므로, 수리학적 부하의 영향과 반송의 영향을 구별하기 위해 반송을 수행한 실험과 반송을 수행하지 않고 오직 원수만 사용한 실험은 일정한 수리학적부하에서 실행되어야 한다. 따라서 본 질산화 실험은 Table 3 과 같이 동일 수리학적부하에서 반송비에 따라 5 가지 형태의 실험으로 수행되었다. 본 실험에서 혼합비를 "M"으로 하고 혼합비 0, 1(100%), 2(200%), 3(300%), 4(400%)는 M0, M1, M2, M3, M4 의 운전변수로 나타낸다. 각 실험은 수리학적부하를 205 L/m³·day(5 gpd/ft³)로 일정하게 유지했다. 이 같은 수리학적부하는 다른 분현의 일반적인 수치보다 높은 값이며, 수리학적체류시간으로 56분을 나타낸다.

Fig. 2와 같이 RBC Pilot 장치는 병렬로 5개가 설치되었다. 혼합조는 50 L의 체적을 갖고 바닥에 배수관이 있다.

생물막은 약 5일 후에 보이기 시작했고, 2주일 내에 얇은 막이 모든 원판을 뒤덮었다. 이 막은 수주 동안 양적으로 계속 증가했으며, 암모니아성질소 제거를 위한 정상상태에는 5~6주 후에 도달했다. 유출수의 질산성질소를 측정하여(일주일에

3~4회 반복측정) 일정한 농도를 유지할 때를 정상상태라고 가정했다. 또한 정상상태에서 운전될 때 시간에 따라 생물막 두께가 많이 변하지 않았다.

시료채취에 앞서 약 20시간 전에 반응조의 내벽과 바닥의 생물막을 제거하였다. 이는 내벽성장효과(Wall-Growth Effect)를 방지하기 위한 것으로 내벽에 붙은 생물막에 의해 질산화와 탈질이 발생하는 것을 제거하기 위함이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 질산화는 암모니아성질소 농도(mg/L)의 감소와 암모니아성질소 농도(mg/L)에 수리학적부하를 곱함으로써 하루에 원판의 단위면적(m²)당 암모니아성질소의 제거량(g)으로 표현되는 암모니아성질소 제거량(g/m²·day)으로 서로 병행하여 사용하였다.

미생물 세포들이 원판표면에 부착되어 있고 그 표면적과 연계되지 않은 세포 농도를 결정하는 것이 어렵기 때문에 제거율은 미생물의 단위질량보다 RBC의 단위면적에 대하여 표현했다.

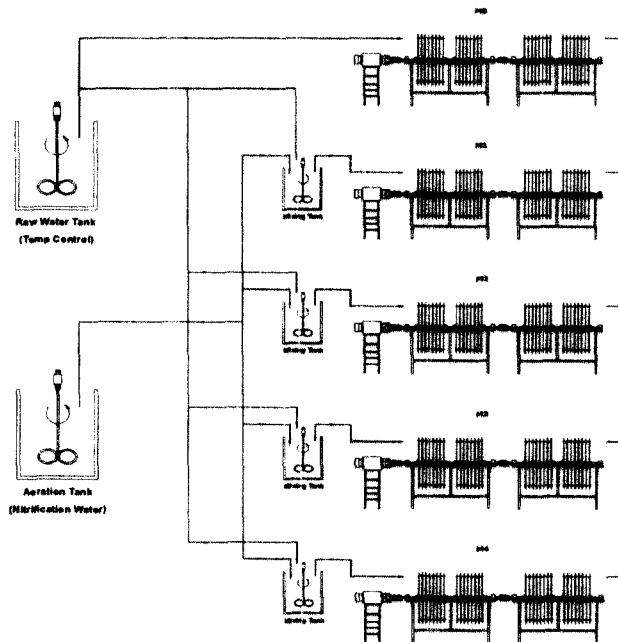


Fig. 2. Flow sheet for the nitrification experiments using RBC.

3.1 유입 유기성 탄소

Table 4는 원수의 SBOD₅ 농도가 37.5 mg/L에서 반송비가 1일 때 21.4 mg/L로 감소하며 반송비 2, 3, 4의 SBOD₅ 농도는 각각 14.5 mg/L, 11.5 mg/L, 9.3 mg/L으로 감소하는 것을 보여준다. 즉, Table 4는 유입 유기탄소 농도를 희석시키는 반송의 영향을 보여준다. 따라서 SBOD₅로 측정되는 유입 유기탄소 농도가 혼합비(반송비)가 증가할수록 감소하는 결과를 나타낸다.

유기탄소는 처리공정을 통과하면서 하수로부터 제거된다. 반송수는 처리공정으로부터 정화된 유출수이므로 처리되지 않은 유입원수보다 유기탄소 함량이 적다. 따라서 유입원수와 반송수의 혼합은 유입원수만 사용한 것보다 유입 유기탄소 농도가 낮아지게 된다. 다시 말해, 반송의 사용으로 유입 SBOD₅ 농도가 감소한다. 결국, 질산화에 대한 반송의 영향 중 긍정적인 측면은 SBOD₅를 감소시

켜 유입수를 다른 여러 문헌⁸⁾⁻¹⁴⁾에 보고된 질산화를 억제하는 조건(SBOD₅ > 15 mg/L)에서 완전한 질산화를 위해 추천되는 조건(SBOD₅ < 15 mg/L)으로 바꿔 주어 독립영양미생물이 종속영양미생물과 산소와 공간에 대해 경쟁할 수 있는 환경을 마련해 준다.

본 RBC 질산화연구에서 반송비가 2, 3, 4가 될 때 비로서 유입 SBOD₅의 양은 15 mg/L 이하로 떨어진다. 이것은 반송비가 1일 때보다 2, 3, 4의 혼합비일 때 질산화가 더 잘 일어난다는 것을 말해주는 것이다. 즉, Fig. 3과 같이 반송이 생물학적분해 가능한 유기탄소를 희석시키기 때문에 혼합비의 증가는 질산화를 증가시킨다는 것이다. 따라서 내부반송에 의해 조절할 수 있는 유입 SBOD₅ 농도가 질산화의 중요한 조절요인(Controlling Factor)이다.

Fig. 4는 암모니아성질소 제거율을 나타내며 혼

Table 4. Organic carbon characteristics of influent and effluent by nitrification experiments.

Experiments	Influent			Effluent			Removal Rate	
	SBOD ₅ (mg/L)	TOC (mg/L)	SBOD ₅ /TOC	SBOD ₅ (mg/L)	TOC (mg/L)	SBOD ₅ /TOC	SBOD ₅ (%)	TOC (%)
M0	37.5	28.05	1.284	21.4	18.64	1.148	42.9	33.7
M1	21.4	17.56	1.223	13.2	11.89	1.111	38.3	32.3
M2	14.5	12.87	1.125	11.2	10.42	1.082	22.8	19.0
M3	11.5	10.97	1.050	9.4	8.68	1.076	18.3	20.9
M4	9.3	9.58	0.976	7.2	8.73	0.825	22.6	8.9

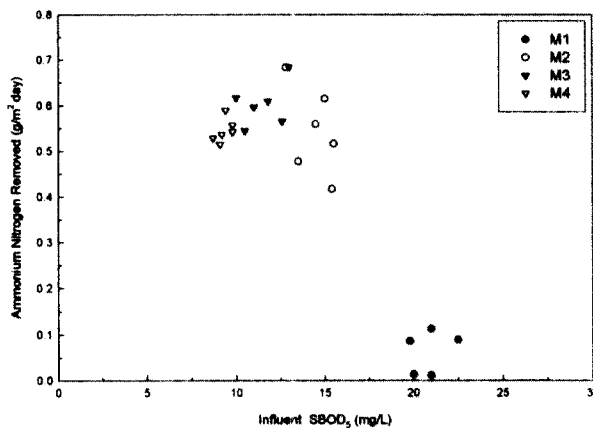


Fig. 3. Effect of organic loading on nitrification.

합이 질산화를 증진시킨다는 것을 보여준다. 또한 혼합 없이 질산화가 거의 이루어지지 않는다는 사실을 말해주고 있다. 혼합비가 1에서 2, 3, 4로 증가시켰을 때 더 높은 질산화율을 보였다. M0 실험보다 M1, M2, M3, M4의 실험에서 질산화가 잘 될 것이라는 것을 예측할 수 있는 결과였다. 그러나 흥미롭게도 M4에서는 M2와 M3에 비하여 질산화율이 감소하였다. 각 혼합비 별 암모니아성 질소 제거량을 보면 0, 1, 2, 3, 4 일 때 0.210, 1.114, 1.510, 1.521, 1.258 g/m²·day이다.

Fig. 5는 M0, M1, M2, M3, M4 실험에서 1단 질산화율의 증가차이를 보여주고 있다. M0과 M1 실험과 비교하여 M2, M3, M4 실험에서 확연하게 1단 제거율이 증가한다. 따라서 반응은 질산화 반

응조의 1단 제거율을 증가시킨다.

3.2 질소 수치

각 실험조건에 경우에 질소수지(Nitrogen Balance)에 대해 계산하였다. 질소수지는 Fig. 6과 Table 5에서 보여지듯이 아질산성질소와 질산성질소의 생성에 대응하는 암모니아성질소의 제거로 계산되어진다.

질산화 반응조에서 제거되어지는 암모니아성질소의 일부는 세포 합성을 위해 사용되기 때문에 암모니아성질소의 제거에 비해 아질산성질소와 질산성질소의 생성이 더 적을 것으로 예상할 수 있다. 암모니아성질소 제거의 12~15%의 범위¹⁵⁾가 세포에서 암모니아성질소의 동화작용으로 소

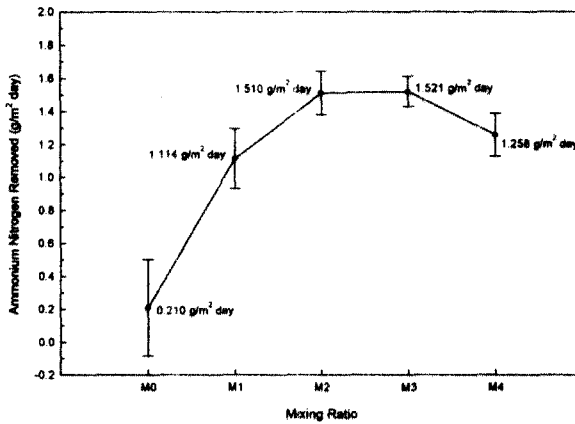


Fig. 4. Effect of recirculation ratio on nitrification.

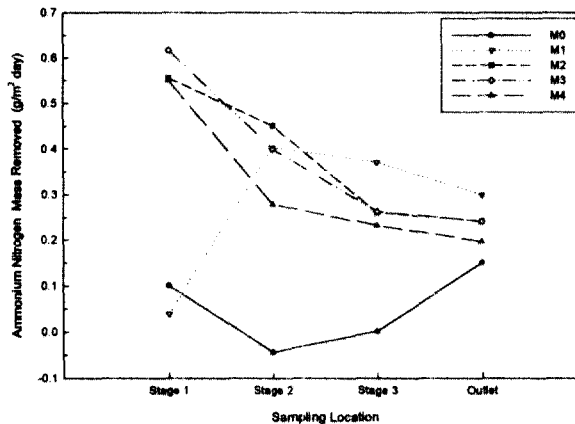


Fig. 5. Ammonia nitrogen removal rate of sampling location.

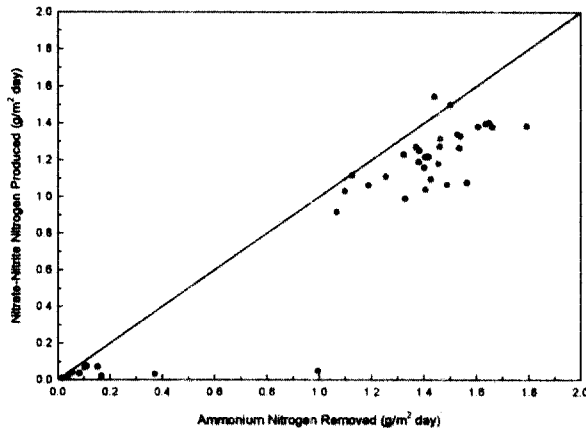


Fig. 6. Nitrogen balance of nitrification using RBC.

Table 5. Nitrogen balance for the nitrification experiments.

Experiment	NH ₃ -N Removed (g/m ² ·day)	NO _x -N Produced (g/m ² ·day)	Nitrogen Balance (%)
M0	0.210	0.043	79.7
M1	1.114	0.469	57.9
M2	1.510	1.253	17.1
M3	1.521	1.330	12.6
M4	1.258	1.092	13.2

모되고 질소 Balance는 암모니아성질소 제거의 양과 같은 편차를 보인다.

Table 5는 암모니아성질소의 제거량은 아질산성질소와 질산성질소의 생성량에 의해 계산되지 않는다는 것을 보여준다. M0는 질산화가 이루어지지 않으므로, 결과분석에 포함시키지 않았다.

질산화를 수행하기 위한 M1, M2, M3, M4 등 4가지의 실험 중에서, M2, M3, M4 조건에서 수행한 3가지 실험은 기대되는 범위(12~15%) 안에 들어왔고 질소수지의 평균은 세포안에 암모니아성질소의 14.3±2.4%의 동화작용을 보여준다. 이 값은 Barns와 Bliss¹⁵⁾가 제시한 값과 유사하다.

질소 Balance가 이루어지지 않은 M1의 실험에서 질소 Balance의 불균형은 동화작용과 아질산성질소와 질산성질소의 생성을 제외한 다른 몇 가지의 암모니아성질소의 제거 기작, 또는 처리공정으로부터의 아질산성질소와 질산성질소의 제거로 설

명되어진다.

본 연구에서 다른 암모니아성질소 제거 기작(예, 휘발)은 없는 것으로 보여지기 때문에, 결국 아질산성질소와 질산성질소의 제거가 있는 것으로 판단했다.

용존산소의 공급이 충분하지 않을 때 다수의 종속영양미생물은 전자수용체로서 질산성질소를 사용할 수 있다. 탈질화라고 불리는 이 과정은 아질산성질소와 질산성질소를 거쳐서 질소가스로 변환되어지는 것이다. 탈질화 과정에서는 유기성 탄소원이 에너지원으로 사용된다. 탈질화는 처리공정내에서 아질산성질소와 질산성질소를 제거하기 때문에 부정확한 질소균형을 설명할 수 있다.

Table 6은 각 Stage에서 아질산성질소와 질산성질소 농도를 나타내며, 질산화율의 증가에 따라 생성되는 아질산성질소와 질산성질소 농도의 증가를 보여준다.

Table 6. Nitrate-nitrite nitrogen concentration in each stage.(mg/L)

Experiment	Inlet	S1	S2	S3	Outlet	Total N Produced
M0	0.54	0.34	0.41	0.50	0.75	0.21
M1	5.05	3.08	4.49	6.06	7.33	2.29
M2	6.81	9.01	10.82	11.94	12.92	6.11
M3	7.77	10.30	11.90	13.11	14.26	6.49
M4	8.33	10.53	11.69	12.71	13.66	5.33

Table 7은 각 Stage에서 아질산성질소와 질산성 질소의 생성과 제거된 값을 나타내며, M0, M1 실험조건의 첫 단계에서 아질산성질소와 질산성질소 제거가 이루어져 질소가 균형을 이루지 못하는 것을 보여준다. 또한 M0, M1 실험중 탈질이 가장 많이 발생한 M1-S1 실험은 1.98 mg/L의 아질산성 질소와 질산성질소가 제거되었다. 따라서 M1 실험의 오로지 1단계에서만 탈질화 반응이 일어난다는 것을 확실히 보여준다. 또한 탈질화 반응은 유기

성 탄소원을 필요로 하는데 Table 4에 나타난 바와 같이 M1-S1에서 탈질화가 발생하기 위한 충분한 탄소원이 존재함을 알 수 있다.

질산화공정에서 반응은 질산화조로 유입되는 아질산성질소와 질산성질소의 농도를 높여준다. Fig. 7은 유입 아질산성질소와 질산성질소의 농도와 탈질화에 쓰이는 아질산성질소와 질산성질소의 관계가 상관도가 0.9408인 직선적인 관계를 보여주고 있다. 이것은 탈질화율이 하수 중의 아질

Table 7. Nitrate-nitrite nitrogen produced and removed in each stage

(mg/L : Production + ; Removal -).

Experiment	Inlet	S1	S2	S3	S4	Outlet
M0	0.54	-0.20	0.06	0.10	0.25	0.81
M1	5.05	-1.98	1.42	1.57	1.28	7.33
M2	6.81	2.20	1.81	1.12	0.98	12.92
M3	7.77	2.53	1.60	1.21	1.15	14.26
M4	8.33	2.20	1.16	1.02	0.95	13.66

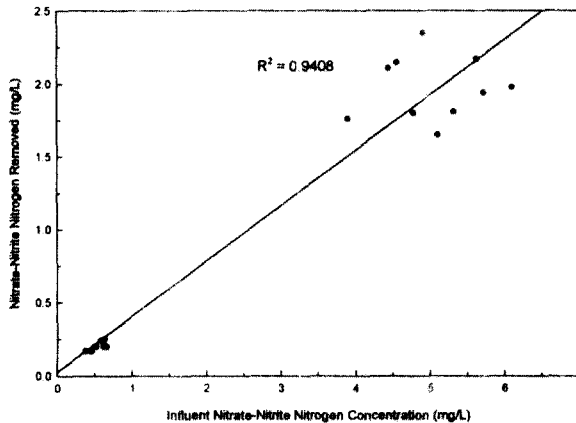


Fig. 7. Denitrification rate versus nitrite-nitrate nitrogen concentration.

산성질소와 질산성질소의 농도에 비례한다는 것을 알려주는 중요한 사실이다.

결과적으로 반송의 영향 중 하나는 다른 조건들이 만족될 경우 1단에서 탈질화를 증가시켜주는 역할을 한다. 탈질화에 적합한 환경 즉, 무산소 상태(두꺼운 생물막)와 충분한 유기성 탄소, 아질산성질소와 질산성질소의 존재는 질산화를 방해함으로써 질산화에 부정적 영향을 미친다. 사실상 M1 실험의 1단에서는 질산화가 이루어지지 않는다. 많은 연구결과^{9),16)}에 따르면 RBC 공정에서 질산화와 탈질화는 동시에 일어난다고 한다. 그러나 탈질화와 질산화가 같은 단에서 동시에 일어나는 것은 아니다. 본 실험은 탈질화와 질산화가 RBC 공정에서 동시에 일어나지만 같은 단(Stage)에서 일어나지는 않는다는 것을 증명해 주고 있다. 탈질화에 적합한 환경은 충분한 유기성 탄소원의 존재, 무산소 조건, 아질산성질소와 질산성질소의 존재 등이다.

M1-S1에서 용존산소 농도(2.8 mg/L)는 다른 어떤 단에서보다 큰 소모율을 보인다. 이러한 빠른 용존산소의 소모는 심각한 용존산소 감소를 가져오고 이것은 무산소 상태를 유도한다. 여기서 빠른 용존산소의 소모는 높은 유입 SBOD₅ (21.4 mg/L)의 결과이다. 또한 용존산소의 빠른 저감은 두꺼운 생물막을 형성해 생물막 내에 무산소 환경을 발전시킨다.

3.3 수리학적부하

본 연구는 수리학적부하를 205 L/m³·day(5 gpd/ft³)의 높은 수리학적부하로 실험을 실시하였다. 질산화를 위한 이 수리학적부하는 설계도서에서 제시되는 범위(0~5 gpd/ft³)의 상위한계이다. 대부분의 질산화에 대한 연구들이 완전한 질산화를 목표로 한 처리였고, 매우 낮은 유출수 암모니아성질소 농도(2~3 mg/L 이하)를 유지하는 수리학적부하에 대한 연구로 범위가 제한되었기 때문에 높은 수리학적부하 164 L/m³·day 이상에서 RBC의 질산화를 다룬 논문은 극소수이다¹⁷⁾. 결국, 본 연구의 수리학적부하는 문헌에서 보고된 RBC 질산화를 위한 일반적인 범위를 벗어난 것이다. 그러나 하수처리장에서 처리목적은 완전한 질산화가 아니며, 하수처리시설의 처리공정을 최적화시키고 비용을 줄이는 것은 중요하다. 유출수 암모니아성질소 농도한계와 경제적인 운전방법을

모색해야 한다. 따라서 가능한 한 가장 높은 수리학적부하를 유지해야 한다. RBC 실제 Plant에서는 유출수 제한에 부합하면서 충분한 암모니아성질소가 제거될 수 있도록 해야 한다. 따라서 본 연구는 높은 수리학적부하(205 L/m³·day, 5 gpd/ft³)를 기준으로 했으며 이런 부하에서 질산화를 관찰하였다.

Fig. 4와 같이 본 연구의 M0(혼합비 0) 실험에서는 실제로 질산화가 일어나지 않았다. 이는 일반적으로 알려진 수리학적부하의 범위를 초과하는 본 연구의 높은 수리학적부하에서는 질산화가 불가능하다는 것을 보여준다. 또한 높은 SBOD₅ 농도(33.5~42 mg/L)로 인한 질산화반응의 억제 때문이다. 그러나 Huang(1982)¹⁸⁾은 반송연구의 결과에서 높은 수리학적부하에서도 흐름의 일부가 반송흐름이라면 질산화를 수행하기 적당하다고 보고했다. 본 연구결과에서도 반송이 사용됨으로써 대체적으로 성공적인 질산화를 이루었다.

4. 결 론

도시하수처리를 목적으로 내부순환탈질법을 이용한 회전원판공정에서 질산화에 대한 기초적인 설계범위를 확립하기 위하여 동일 수리학적부하에서 반송비에 따라 5가지 형태의 실험으로 수행한 본 RBC 질산화 연구의 결과는 다음과 같다.

반송은 SBOD₅와 TOC로 측정된 유입 유기성탄소 농도와 생분해성 BOD 농도를 감소시켰다. 따라서 높은 수리학적부하 조건에서의 반송은 유입 SBOD₅ 농도를 감소시켜 질산화를 증진시킨다고 할 수 있다. 혼합비가 2, 3, 4가 될 때 비로서 유입 SBOD₅의 양은 15 mg/L 이하로 떨어졌다. 이것은 혼합비가 1일 때보다 2, 3, 4의 혼합비 일 때 질산화가 더 잘 일어난다는 것을 말해주는 것이다. 따라서 내부반송에 의해 조절할 수 있는 유입 SBOD₅ 농도가 질산화의 중요한 조절요인(Controlling Factor)이다.

질소의 균형(물질 수지식)으로부터 알 수 있는 중요한 결과는 탈질화가 진행되지 않는 상황에서 세포의 동화작용에 쓰이는 암모니아성질소의 소모율은 14.3±2.4 %이었다. 높은 유입 SBOD₅ 농도는 두꺼운 생물막과 심각한 용존산소 감소를 초래하여 무산소 상태를 유도한다. 따라서 탈질화에 적합한 환경을 만들고 질산화를 억제한다. 반송으

로 인해 높은 농도의 아질산성질소와 질산성질소가 유입되고 높은 유입 SBOD₅(21.4 mg/L)와 결합하여 탈질화를 일으킨다.

반송을 사용함으로써 205 L/m³·day의 높은 수리학적부하에서도 질산화가 이루어졌다. 따라서 일반적으로 알려진 수리학적부하의 범위를 초과하는 본 연구의 높은 수리학적부하에서도 반송을 사용함으로써 질산화가 가능하다는 것을 보여주었다.

사 사

본 연구는 중앙대학교 연구기자재 구입 지원프로그램의 도움을 받아 수행한 결과임.

참고문헌

1. 石黒政儀, 回轉圓板法による下水, 産業廢水の二次處理および三次處理, 環境技術, Vol. 4, No. 7, 469-489 (1975).
2. Gupta, A. B. and Gupta, S. K., Simultaneous carbon and nitrogen removal from high strength domestic wastewater in an aerobic RBC biofilm, *Water research*, Vol. 35, No. 7, 1714-1722 (2001).
3. Ouyang, C. F., Chuang, S. H., Su, J. L., Nitrogen and Phosphorus in a combined activated sludge - RBC process, *Proceeding of the national science council, republic of china, part A, physical science and engineering*, Vol. 23, No. 2, 181-204 (1999).
4. United States Environmental Protection Agency., *Engineering Bulletin ; Rotating Biological Contactors*, EPA/540/S-92/007 (1992).
5. Neu, K. E., Upgrading of rotating biological contactor(RBC) systems to achieve higher effluent quality, including biological nutrient enrichment and reduction techniques, *Water science and technology*, Vol. 29, No. 12, 197 (1994).
6. Radwan, K. H. and Ramanujam, T. K., Influence of COD/NH₃-N ratio on organic removal and nitrification using a modified RBC, *Bioprocess engineering*, Vol. 16, No. 2, 77-82 (1997).
7. Ross, D., Briggs, T., Barrow, D., Nazareth, V., RBC Upgrade : Overcoming filamentous growth in a rotating biological contactor activated sludge process expansion, *The water environment federation*, Vol. 14, No. 2, 24-26 (1997).
8. O'shaughnessy, J., Blance, F., Silbovitz, p., and Stanton, R., Nitrification of Municipal Wastewater Using RBCs, *Proceeding of First National Symposium/Workshop of Rotating Biological Contactor Technology*. Champion, Pennsylvania, 1193-1291 (1980).
9. Kincannon, D. F. and Groves, S., Role of Suspended Solids in the Kinetics of RBC Systems, *Proceedings of the First National Symposium on Rotating Biological Contactor Technology*, Champion, Pennsylvania, Feb., 433-448 (1980).
10. Weng, C. and Moloff, A. H., Effect of Organic Loading on RBC Process Efficiency and Fixed Film Thickness, *Proceedings of First National Symposium/Workshop*, 137-145 (1980).
11. Zenz, D., Bogusch, E., Krup, M., Prakasam, T., and Lue-Hing, C., Pilot Scale Studies on the Nitrification of Primary and Secondary Effluents Using Rotating Biological Discs at the Metropolitan Sanitary District of Greater Chicago, *Proceedings of the First National Symposium/Workshop of Rotating Biological Contactor Technology*, Champion, Pennsylvania, 1221-1247 (1980).
12. Pano, A. and Middlebrooks, E., The Kinetics of Rotating Biological Contactors at Temperatures 5°C, 15°C, and 20°C, *Proceedings of the First International Conference on Fixed Film Biological Processes*. Kings Island, Ohio, 261-308 (1982).
13. Kincannon, D., Stover, E., Emrie, D., and Jankovsky, M., Comparison of Pilot Plant Scale and Full Scale RBC Design and Operation, *Proceeding of the Second International Conference on Fixed Film Biological*

- Processes*, Arlington, Virginia, 1840-1870 (1984).
14. Chung, T. and Borchardt, J., Biological Nitrification of a Secondary Waste Effluent using RBC's, *Proceeding of the Second International Conference on Fixed Film Biological Processes*. Arlington, Virginia, 1427-1450 (1984).
 15. Barnes, D. and Bliss, P., *Biological Control of Nitrogen in Wastewater Treatment*. E. and F. Spoon Ltd., New York., (1983).
 16. Rusten, B. and Odegaard, H., Denitrification in a Submerged Bio-Disc System with Raw Sewage as a Carbon Source, *Proceedings of the First International Conference on Fixed Film Biological Processes*, Kings Island, Ohio, 823-844 (1982).
 17. Grady, Jr., C. and Lim, H., *Biological Wastewater Treatment Theory and Application*, Marcell-Dekker, Inc., New York., (1980).
 18. Huang, J., Nitrification Kinetics and its RBC Application, *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 108, No. (EE3), 473-487 (1982).