

영양염류 제거를 위한 생물막 공정의 적용에 관한 연구

안 승 섭·박 노 삼·이 수 식·이 관 영^{***}·박 상 현^{****}

경일대학교 축지공학과·토목공학과·울산과대학 토목환경과·^{***}대구대학교 토목공학과·^{****}(주)리텍
(2000년 6월 14일 접수)

A study on apply of submerged biofilter for nutrient removal

Seung-Seop Ahn, Rho-Sam Park, Soo-Sik Lee^{***}, Kwan-Young Lee^{***} and Sang-Hyun Park^{****}

Dept. of Geodetic Engi., Kyungil University, Taegu 712-701, Korea

^{*}Dept. of Civil Engi., Kyungil University, Taegu 712-701, Korea

^{**}Dept. of Civil & Environmental, Ulsan College, Ulsan 680-749, Korea

^{***}Dept. of Civil Engi., Taegu University, Taegu 712-714, Korea

^{****}Director, Re Tech Co., Kyungsan, Taegu 712-701, Korea

(Manuscript received 14 June, 2000)

In this study, the removal possibility of nutrients of T-P, NH₃-N, NO₃-N, and T-N is examined through a positive experimental study using submerged biofilter of media packing channel method. From the analysis of nutrients removal efficiency for each run of the collected sample, following results are obtained. Firstly, the result of N/P surveying for inflow shows serious value that excess the limit value of 20 as the values are in the range of 12.0~42.7 and the average is 25.73. Secondly, the highest concentration of the incoming NH₃-N reaches double of the standard since the concentrations of NH₃-N, and NO₃-N for inflow shows 0.06mg/ℓ, and 2.5~3.8mg/ℓ respectively, and the average removal rate which passed the submerged biofilter adopted in this study is a satisfactory level. Next, the average removal rate of T-P of 51.5% shows the possibility of entrophication removal since the removal rate of T-P of 66.8~68.8% in relative low temperature period of RUN 1~2 appeared higher than in RUN 3~6, and T-N shows relatively poor result with the average removal rate of 34.1%. And it is known that the bigger BOD/P and BOD/N are, the more removal rate increases from the examination result of the relation between BOD/P and BOD/N, and the treatment water T-P and T-N to decide the relation with the concentration of organic matters, and thought that the appropriate proportion is necessary for effective removal of nitrogen and phosphorus.

Key Words : Submerged Biofilter, Nutrient, Organic matter Removal

1. 서 론

미국의 5대호나 일본의 비파호와 같은 천혜의 수자원이 없는 우리나라는 모든 수자원을 강수량에 의존할 수밖에 없다. 우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm로서 세계 평균의 1.5배정도에 달하나, 인구밀도를 감안하면 세계 평균강수량의 1/11에 불과하다.¹⁾ 기 확보된 수자원도 여러 요인에 의하여 위협받고 있으며, 이 중 영양염류에 의한 부영양화는 심각한 상태이다.

질소·인을 수계 중에서 제거하여 부하량을 저하시키는 데서 중요한 것은 현재의 처리 Process가 어느 정도 제거능력을 갖고 있는가, 또는 환경에서의 총부하량이 어느 정도인가를 파악하는 것이 중요하다. 산업시설의 경우 일부 업종에서 초산을 1,000mg/ℓ 이상 함유하는 경우

도 있지만, 일부 업종의 경우에는 처리상에서 질소·인 성분이 모자라 첨가시켜 줘야 되는 등 업종에 따라 많은 차이가 있다. 일반 생활배수에 대해서는 대부분 비슷한 경향을 나타내고 있는데, 질소가 50mg/ℓ, 인이 5mg/ℓ 정도 함유하고 있는 것으로 나타나고 있다.²⁾ 그러나 하천에서의 부영양화 요인에 가장 크게 기여하는 것은 분뇨나 축산폐수인데, BOD 300mg/ℓ 정도에서 질소가 무려 200mg/ℓ 정도로 생활배수에 비하여 4배에 달한다.³⁾ 분뇨의 경우 지방자치단체에서 어느 정도 관리가 이루어지고 있으나, 각 농촌에 간헐적으로 산재해 있는 축산폐수의 경우 제대로 관리되지 못해 하천의 부영양화 현상을 가중시키고 있다.

일반적으로 하·폐수중에 함유되어 있는 질소의 주요

형태는 암모니아성 질소(NH₄⁺), 아질산성 질소(NO₂⁻), 질산성 질소(NO₃⁻) 및 유기성 질소로 대별된다. 이들 각 형태의 질소는 일반적으로 생물학적 반응에 의하여 분해되며, 최종적으로 안정한 N₂까지 이른다.⁴⁾ 처리공정은 미생물의 성장 형태에 따라서 부유식 성장(Suspended Growth)과 부착식 성장(Attached Growth)으로 나눌 수 있다. 생물막을 이용한 하·폐수의 처리는 미생물들이 고정상 또는 이동상의 매질에 부착하여 형성된 생물막(Biofilm)을 이용하여 처리하는 방법으로 살수여상법(Trickling Filter), 회전원판법(Rotating Biological Contactor), 활성생물막법(Activated Biofilters) 등 여러 가지 방법이 있는데, 미국의 경우 하·폐수처리장에서 생물막 공정이 차지하는 비율이 30%이상이나 되는 반면 우리나라에서는 거의 90%이상의 하수처리장이 부유식 성장에 근거한 활성슬러지 공정을 사용하고 있는 실정이다.⁵⁾ 그러나 일반적인 활성슬러지 공정에서는 영양염류의 제거가 어려운 것이 사실이다.

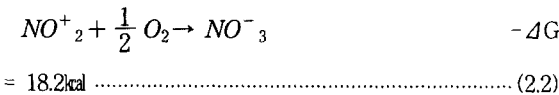
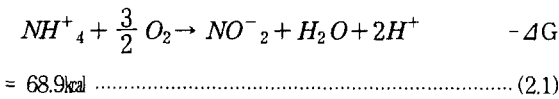
지금까지 연구된 결과에 따르면, 생물막공정은 반응조 내에 미생물이 다양하므로 난분해성 물질도 쉽게 처리할 수 있고, 슬러지 발생량이 적고 유지관리가 용이하며, 암모니아성 질소의 질산화를 이룰 수 있다는 장점을 갖고 있다.⁶⁾

따라서 본 연구에서는 생물막공정 적용하여 U市 상수원으로 이용되고 있는 N강 유입수에 대한 실증적 연구를 수행함으로써 상수원수에 대한 영양염류의 저감정도를 판단하기 위한 것이다.

2. 연구의 이론적 배경

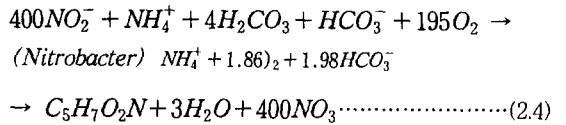
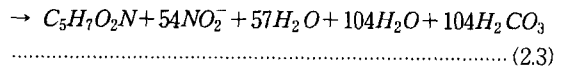
2.1. 질산균과 질산화 반응

수계에서 생물학적 질산화 현상은 일반적으로 미생물에 의한 것으로서 질산화는 호기적 조건하에서 발생하며 그 메카니즘은 식(2.1)~식(2.2)와 같다.

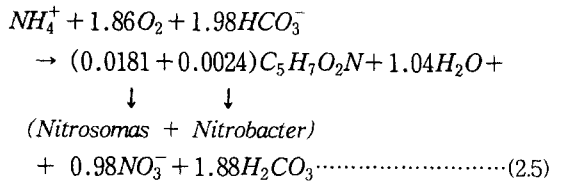


암모니아의 산화는 아질산균, 질산균에 의해서 행해지고, 아질산균으로는 *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira* 등 총 7종이며, 질산균으로는 *Nitrobacter* 이외에 *Nitrococcus* 등이 존재하는 것으로 알려져 있다.⁷⁾

양적으로 아질산화는 *Nitrosomonas*에 의해 또는 질산화는 *Nitrobacter*에 의해서 발생하는 것으로 생각되어진다. 이들 미생물균군은 각각 식(2.1) 및 (2.2)의 반응에 대응해서 에너지를 얻고 있으며, 세포합성을 행하는 自營性細菌으로서 식(2.1) 및 (2.2)에 세포합성을 가미한 식으로 종종 다음과 같은 식이 이용되어지고 있다.



식(2.3)과 식(2.4)를 종합하면 다음과 같다.



식(2.5)에 의하여 NH₄⁺-N 1g을 NO₃⁻-N화 하 기위해서는 4.25g의 산소와 7.07g의 알칼리도가 필요하며, 그 결과로서 *Nitrosomas*, *Nitrobacter*가 각각 0.146g, 0.0019g 증가하고 있는 것으로 계산되어진다. *Nitrosomas*와 *Nitrobacter*와 동일한 질소산화량에서 수율에 차가 나타나는 식(2.1), (2.2)에서 나타내어진 것과 같이 획득 에너지가 다르기 때문이다.

2.2. 질화균의 증식특성

질화균의 증식속도는 Table 1⁸⁾과 같이 활성슬러지의 대부분을 점하는 타가영양성 미생물로서 매우 작은 미생물이다. 이 때문에 질화세균을 부유상태에서 유지하는 처리방식으로는 미생물이 탈리 되지 않도록 할 필요가 있으며, 오히려 길게 할 필요가 있다.⁹⁾

Table 1. The increase velocity of nitric acid bacteria

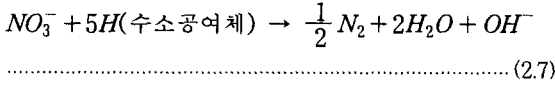
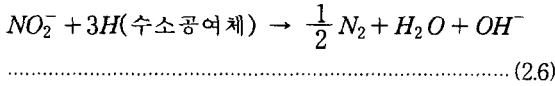
	Generation time(hr)	A fixed number of increase velocity(hr)
Nitrosomonas	31	0.022
Activated sludge	2.31~8.69	0.08~0.3
E. Coli	0.26~0.28	2.42~2.69

또한, 질화속도에 영향을 미치는 요인으로는 필요 미량원소 및 저해물질에 대해서 고려할 필요가 있다. 저해물질로 작용하는 유기물질은 여러가지가 있으며, 무기물질로는 황화물, NO₂⁻, NH₄⁺-N이 저해물질로 작용할 수 있으나, NH₄⁺-N나 NO₂⁻-N의 저해는 각각 200mg/ℓ 이하에서는 발생하지 않기 때문에 최대농도를 그 범위 이내로 유지시키는 것이 시설설계에서 바람직하다. 역시 *Nitrobacter*쪽이 *Nitrosomonas*보다 NH₄⁺, NO₂ 및 H₂S 등에 대한 영향을 받기 쉽다.¹⁰⁾

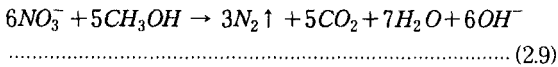
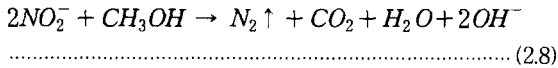
2.3. 탈질균과 탈질반응

탈질균은 NO₂⁻-N나 NO₃⁻-N을 N₂O나 N₂로 환원하는 능력을 갖는 미생물의 총칭이다. 토양미생물의 약 50%가 탈질을 포함한 질산을 환원하는 능력을 갖지만 활발히 탈질을 행하는 균은 *Pseudomonas*, *Achromobacter*,

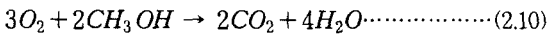
*Bacillus*속 등으로 제한되어 진다.⁹⁾ 탈질균은 일반적으로 타가영양성 통성혐기성균이며, 산소가 존재하는 경우에는 이것을 이용해서 호흡한다. 그러나 혐기적으로 이들 결합산소를 호흡작용에 이용하고 있으며, 이 의미로부터 탈질반응은 질산호흡이라 칭한다. 그 반응을 일반적으로 나타내면 다음과 같다.



폐수중의 유기물을 수소공여체로서 이용하지 않는 경우, 첨가되는 유기물의 탈질속도에 영향을 미치는 면에서 메탄올이 채용되는 경우도 많다. 식 (2.6) 및 (2.7)을 메탄올을 이용해서 도식화하면 다음과 같은 식이 된다.



식 (2.8)~(2.9)에 의하면 1g의 질소를 제거하는 데에는 NO₂⁻가 1.14g, NO₃⁻가 1.90g의 메탄올이 필요하고, 어느 것의 경우에도 3.57g의 알칼리도가 생성한다. 이 반응을 진행시키기 위해서는 수중의 DO를 0으로 할 필요가 있지만, 미생물의 호기성반응에 의해서 산소를 소비시킨다.



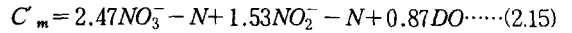
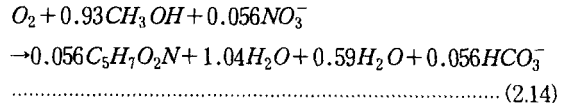
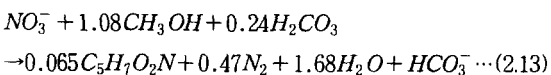
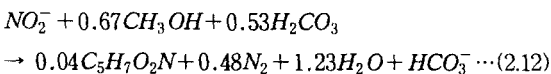
식 (2.8)~(2.9)의 반응을 진행시키는 데에 최소한 필요한 메탄올량은 다음 식과 같다.

$$C_m = 1.90NO_3^- - N + 1.14NO_2^- - N + 0.67DO \quad (2.11)$$

여기서,

NO₃⁻ - N, NO₂⁻ - N, DO는 (mg/ℓ), C_m

은 메탄올 투입량(mg/ℓ)이다. 실제로 메탄올의 일부는 세균의 증식에 이용되어 지기 때문에 식 (2.8)~(2.10)을 완성시키는 데에는 식 (2.8)에서 나타낸 이상의 메탄올이 필요하게 된다. McCarty 등¹¹⁾은 식 (2.8)~(2.10)의 각 호흡에 의해 소비된 메탄올 10g에 대해서 3g의 메탄올이 세균에 의해 자화되어진다고 가정하고(소비 메탄올은 13g), 아래의 반응식을 구하였으며, 식 (2.15)를 필요 메탄올 C_m으로 하였다.



식 (2.13)에 의한 1g의 NO₃⁻의 탈질에는 2.4g의 메탄올이 필요하며, 그 결과 0.52g의 탈질균의 증식과 3.57g의 알칼리도가 생성되는 것으로 알려져 있다.

2.4 탈질반응과 영향인자

탈질반응으로는 NO₃⁻-N농도에 따라서 포화정수가 0.01~0.1mg/ℓ이 기준으로 되어 있다.¹²⁾ 산소원으로서 NO₃⁻나 NO₂⁻에 대해서 통상 0차 반응으로 보여지고 있으며, 그 속도는 유기물의 종류와 농도에 관계하고 있다. 하수의 경우 수소공여체로서 세포내 물질(자가호흡), 폐수중의 BOD, 메탄올 등을 사용한 경우, 평균적 탈질속도로써 각각 0.04, 0.07, 0.20kg NO₃⁻-N/kg MLVSS/day인 것으로 보고되고 있다.¹³⁾ 이 밖에 기타의 보고는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. A chart of denitrogen velocity¹⁴⁾

	denitrogen velocity (mgNO ₃ -N) /gMLSS/day	Electromagnetic contribute material	Temp(°C)
Activated Sludge	72.0	Glucose	-
"	60.0	Domestic waste	-
"	30.2	"	-
<i>Ps.bertrificans</i>	4080	Sodium Citrate	27
Activated Sludge	600	Methanol	-
"	216	Synthetic Waste	25
"	432	Sodium Acetate	25
CH ₄ bacteria	55.2	Methane	25
<i>T.denitrificans</i>	312	Na ₂ S ₂ O ₃	25
"	23.2	CaS	25

3. 실험방법

3.1. 실험장치

본 연구에서 영양염류를 제거하기 위한 생물막 공정은 Fig. 1과 같으며, 접촉여재 충전방식의 생물막공정으로써 유량조절조, 침사지, 접촉산화지, 침전지 등으로 구성되어 있고, 각 공정별 조건은 다음과 같다.

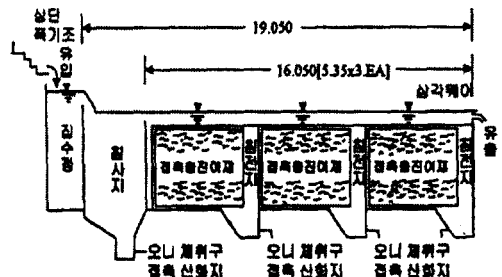


Fig. 1. PILOT PLANT

(1) 유량조절조

유량조절조는 본 연구의 대상시료인 N강 원수가 유입되고 있는 H-댐저수지 유입구의 삼단폭기조 하단에 설치하였으며, 재원은 0.7m(W) × 1.5m(L) × 0.8m(H)으로서 재질은 철판으로 제작하였다. 삼단폭기조 하부에 유량조절용 Valve를 장치한 철제 원형Pipe를 설치하여 유량조절조로 항상 일정량의 원수가 자연유하식으로 유입될 수 있도록 하였고, 유량조절조 측면에 Drain Valve를 설치하여 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 정확한 유입수량 계측 및 정류를 얻기 위하여 집수정의 유출부에는 삼각 weir를 설치하였다.

(2) 침사지

침사지는 유량조절조에서 계량된 원수중의 모래와 기타 비중이 큰 부유성 무기물을 사전에 제거할 목적으로 설치하였으며, 재원은 2.0m(W) × 1.1m(L) × 1.6m(H)으로서 철판으로 제작하였다. 또한, 침사지의 무기물 침전을 원활하게 하기 위하여 수면교란 방지용 정류판을 설치하였으며, 소요표면적 및 수리학적 체류시간을 고려하여 설계하였다. 한편, 침사지 하부에 침전된 Sludge의 효율적인 제거를 위하여 Sludge Drain Valve와 청소용 맨홀을 설치하였다.

(3) 접촉반응조 및 침전지

유입 원수의 유기물을 제거하기 위한 접촉반응조는 1.1m(W) × 16.05m(L) × 1.4m(H)로서 철판으로 제작하였으며, 0.02m(W) × 1.0m(L) × 1.0m(H)의 접촉여재 210매를 고정상으로 충전하였다. 접촉반응조의 유효수심은 항상 1.2m를 유지하도록 하였고, 간 단계별 반응조의 성상을 파악하기 위하여 길이방향 1m 간격으로 시료채취구 13개와 침전물 조사를 위한 침전구를 3개소에 설치하였다. 또한, 유입구와 유출구에는 단류를 방지하기 위한 정류판을 설치하였으며, 접촉재 충전수로의 조류성장을 방지하기 위하여 충전수로 전체를 차광막으로 광선을 차단하였다. 또한, 유출구에는 삼각웨어를 설치하여 유량을 측정하고, 유출수의 낙차에 의한 DO농도를 회복시킬 수 있도록 하였다.

(4) 접촉충진여재

본 실험에서 사용한 접촉여재는 일본에서 널리 사용되어 성능이 인정된 Media의 일종인 Sun Lock이란 제품으로서 폴리염화비닐리텐(CH₂-C×Cl₂) 재질의 합성수지이며, 국내에서도 생산중인 제품이다. 본 제품의 특성은 공극율이 0.97로서 비교적 통수저항이 적고 일반 플라스틱 Media에 비해 비표면적이 400~500m²/m³ 정도로 상당히 크기 때문에 단위면적 당 부착미생물을 많이 확보할 수 있는 강한 장점을 갖고 있다. 접촉여재의 규격은 0.02m(W) × 1.0m(L) × 1.0m(H)로서 210매를 충전수로 고정상으로 충전하였다.

3.2 유입수의 성상 및 운영조건

실험에 이용된 대상시료는 U市の H-Dam으로 유입되

어 상수원으로 이용되고 있는 N강 원수를 이용하였으며, 유입수의 성상은 Table 3과 같다. 또한, 본 실험의 운영조건은 H-Dam저수지내 N강 원수의 유입구의 삼단폭기조에 양수용 수중펌프를 설치하고, 양수된 원수를 원형관수로 통해 일정한 양의 원수가 유량조절조에 유입되도록 하였다. 또한, 유량조절조로 유입된 원수는 유량조절 Valve에 의해 일정량의 유량이 항상 침사지를 통해 접촉여재 충전수로에 자연유하식으로 유입되어 유출되도록 운영하였다. 접촉조의 계획처리용량은 100m³/d로 하고, 유하거리 19m에 대한 수리학적 체류시간은 동일하게 5.1hr를 유지토록 하였으며, 실험기간 동안 각 RUN별 운전조건은 Table 4와 같다. 한편, 접촉수로내의 조류성장 억제와 악취, 파리 등의 발생을 방지하기 위하여 반응조 상단에 차광막을 설치하였으며, 일주일마다 반응수로 측면에 설치된 시료 유출구를 통해 시료를 채취하여 각 측정항목별 수질을 분석하였다.

Table 3. The characteristic of inlet-water for each RUN (Unit : mg / l)

RUN	BOD	COD _{Mn}	SS	T-N	T-P	TOC	NH ₃ -N	NO ₃ -N
1	7.1	9.0	19.0	4.70	0.16	9.45	0.62	3.85
2	7.8	9.3	16.5	4.83	0.21	15.80	1.10	3.71
3	2.4	6.0	16.0	2.65	0.22	11.10	0.44	4.90
4	2.5	6.1	6.4	2.60	0.09	6.30	0.35	2.50
5	2.7	6.4	9.8	3.13	0.17	5.80	0.07	2.50
6	2.7	6.0	5.2	3.84	0.09	3.67	0.06	2.60
Minimum	2.4	6.0	5.2	2.65	0.09	3.67	0.06	2.50
Maximum	7.8	9.0	19.0	4.70	0.22	15.80	1.10	3.85
Average	4.2	7.1	12.2	3.63	0.16	8.69	0.44	3.30

유입수의 용적부하량은 BOD나 T-N이 각각 유사한 경향을 나타내고 있는데, RUN 1과 RUN 2에서의 BOD 용적부하량은 각각 0.03kg/m³/d, 0.037kg/m³/d이며, T-N은 각각 0.022kg/m³/d, 0.023kg/m³/d로 유지되어 다소 높은 반면, RUN 3 ~ 6 까지의 BOD용적부하량은 0.011~0.013kg/m³/d이며, T-N은 0.012~0.018kg/m³/d로서 다소 낮은 경향을 나타내었으나, 전체적으로 유입수 자체의 부하량은 상수원수용이므로 다소 낮은 경향을 나타내고 있다. 또한, 유입수의 BOD/N비와 BOD/P비는 각각 1.60~0.70, 10.90~44.37로 분석되었다.

Table 4. A Condition of Operation

RUN	1	2	3	4	5	6
Period	1.3 ~1.15	1.16 ~1.30	10.1 ~10.15	10.16 ~10.30	11.1 ~11.15	11.16 ~11.30
Retention Time (hr)	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
Treatment Capacity(m ³ /d)	100	100	100	100	100	100
Capacity loading(BOD-kg/m ³ /d)	0.033	0.037	0.011	0.012	0.013	0.013
Capacity loading(T-N-kg/m ³ /d)	0.022	0.023	0.013	0.012	0.015	0.018

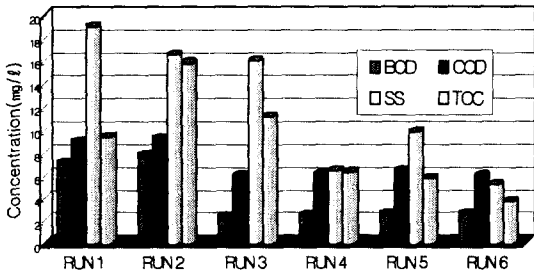


Fig. 2. The characteristic of inlet-water

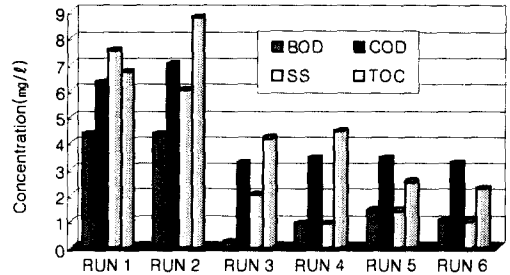


Fig. 3. The characteristic of outlet-water

Table 5. The characteristic of organic matter removal for each RUN

		RUN						Max.	Min.	Average
Period		1	2	3	4	5	6			
Inlet (mg/l)	SS	1.3~15	1.16~30	10.1~15	10.16~30	11.1~15	11.16~30	-	-	-
	BOD	19.00	16.50	16.00	6.40	9.80	5.20	19.00	5.20	12.20
	COD	7.10	7.80	2.40	2.50	2.70	2.70	7.80	2.40	4.20
	TOC	9.45	15.80	11.10	6.30	5.80	3.67	15.80	3.67	8.69
Outlet (mg/l)	SS	7.50	6.00	2.00	0.90	1.40	1.00	7.50	0.90	3.10
	BOD	4.30	4.30	0.20	0.90	1.40	1.00	4.30	0.20	2.00
	COD	6.30	7.00	3.20	3.40	3.40	3.20	7.00	3.20	4.40
	TOC	6.68	8.78	4.18	4.42	2.50	2.22	8.78	2.50	4.06
Removal (%)	SS	60.50	63.60	87.50	85.90	85.70	80.80	87.50	60.50	77.30
	BOD	39.40	44.90	91.70	64.00	48.10	63.00	91.70	39.40	58.50
	COD	30.00	24.70	46.70	44.30	46.80	46.70	46.80	24.70	39.80
	TOC	29.30	44.30	62.50	29.80	56.90	39.50	62.50	29.30	43.72

3.3. 분석방법

각 성장별 분석시료는 유입수 수로상의 1m, 3m, 6m, 9m, 12m, 15m지점 및 유출지점(19m)에서 각각 채수하여 SS, BOD, COD, NH₃-N, TOC 등을 분석하였고, 수온, pH, 탁도, T-N, T-P, NO₃-N 등은 유입수와 유출수에서 각각 채수하여 분석하였다. 또한 실험기간중 각 항목에 대한 측정방법은 공정시험법(환경부)¹⁵⁾에 준하고, 경우에 따라서는 하수시험방법,¹⁶⁾ Standard Method (APHA, AWWA, WPCF)¹⁷⁾ 등을 참고로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 일반유기물 제거특성

실험결과를 평가하는 데 있어서 정확능력이 안정적인 때의 분석치를 이용하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 실험개시후 3개월('96. 10~12)까지를 안정기간으로 정하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 유입 및 유출수에 대한 수질을 나타내고 있으며, 각 항목별 실증실험에 의한 유기물 제거특성은 Table 5와 같다.

(1) SS

접촉여재 충전수로 방식을 이용하여 생물막공정을 사용한 실험결과 유입수의 SS농도는 5.2~19.9mg/l로서 평균 12.2mg/l를 나타내고 있으나, 유출수의 농도는 0.9~7.5mg/l를 나타내어 평균 77.3%의 높은 제거율을 나

타내었으며, RUN 3 ~ 5의 효율이 가장 우수한 것으로 나타났다.

(2) BOD

각 RUN별 유입 BOD농도는 2.4~7.8mg/l의 범위로 평균 4.2mg/l를 나타내었다. 또한, 유출수의 BOD농도 범위는 0.2~4.3mg/l로서 평균 2.0mg/l를 나타내어 평균 58.5%의 제거율을 나타내었으나, RUN 3의 경우 90%이상의 제거효율을 나타내었다.

(3) CODcr

각 RUN별 유입수와 유출수의 COD농도변화는 유입수에 있어서 6.0~9.0mg/l로서 평균 7.1mg/l를 나타내고 있으며, 유출수의 농도는 3.2~7.0mg/l로서 평균 4.4mg/l이다. 또한, 평균 제거율은 39.8%로서 비교적 저조한 결과를 나타내고 있으며, RUN 2의 경우 24.7%의 제거효율을 나타내어 가장 저조한 결과를 나타내고 있다.

(4) TOC

TOC의 농도변화는 <Table 5>에서 나타낸 바와 같이 유입수의 경우 3.67~15.8mg/l로서 평균 8.69mg/l이며, 유출수의 경우 2.5~8.78mg/l로서 평균 4.06mg/l로 검토되어, 제거율을 분석한 결과 29.30~62.50%로 평균 43.72%의 제거율을 나타내는 것으로 검토되었다. 따라서 이상의 결과에서 나타난 바와 같이 TOC의 제거율이 평

Table 6. The characteristic of nutrient for each RUN

		RUN						Max.	Min.	Average
Period		1	2	3	4	5	6			
Inlet (mg/l)	T-P	0.16	0.21	0.22	0.19	0.17	0.14	0.22	0.14	0.18
	T-N	4.70	4.83	2.65	2.60	3.13	3.84	4.70	2.60	3.63
T-P	BOD/P	44.4	37.1	35.5	26.7	14.7	30.0	44.4	14.7	31.4
	T-N	BOD/N	1.5	1.6	0.9	0.9	0.8	0.7	1.6	0.7
Outlet (mg/l)	T-P	0.05	0.07	0.08	0.11	0.14	0.07	0.14	0.05	0.08
	T-N	2.23	2.30	1.90	1.93	2.49	2.95	2.49	1.90	2.28
Removal (%)	T-P	68.8	66.7	63.6	42.1	17.6	50.0	68.8	17.6	51.5
	T-N	52.6	54.5	28.3	25.8	20.4	23.2	54.5	20.4	34.1

균 40%이상을 상회한다는 것은 본 생물막 처리효율이 상당히 높다는 것을 나타내는 것으로서 유기물의 제거가능성을 나타내는 것이며, RUN 3의 경우 62.5%의 가장 높은 효율을 나타내었다.

4.2. 영양염류 제거특성

현행 수처리기술은 단순 유기물처리단계를 넘어 각종 영양성분들의 처리를 위하여 다양한 처리기술이 개발·평가되어 시험 운용되고 있는 실정이다. 그러나 이들 대부분이 추가적인 시설을 요구하고 있어 기존 처리장의 경우 관련된 부지, 인력 및 기술적 문제로 현장 적용에 있어 많은 문제요소를 내포하고 있으며, 특히 인의 경우 생물학적 처리를 통해 잔류농도 1mg/l 이하를 유지하기는 상당히 어려운 것으로 알려져 있다.¹⁸⁾ 또한, 조류 1mg은 COD_{Mn}으로 약 0.5mg에 해당하므로 조류의 성장을 억제할 필요가 있으며, 이의 상승 요인은 영양염류농도와 N/P비이다. 일반적으로 N/P비가 낮으면 질소고정능력을 가진 남조류가 증가하며, N/P비가 높으면 가장 악영향을 미치는 남조류, 피코플랑크톤(Picoplankton)이 증가하게 되는 데, N/P비가 20 또는 21을 초과하여 상승하는 경우이다.¹⁹⁾ 이러한 이론을 감안하여, 본 연구 대상지역의 유입수에 대한 N/P비를 조사한 결과 12.0~42.7로서 평균 25.73을 나타내 상당히 우려할 만한 수치를 나타내었다.

따라서 본 연구에서는 생물막 공정을 통하여 영양염류의 제거가능성을 실증실험을 통하여 수행한 결과 Table 6과 같이 분석되었다.

(1) 인(P) 제거특성

총인의 유입수 및 처리수의 농도변화는 Table 6과 Fig. 4~Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 유입수의 농도변화는 평균 0.18mg/l로서 수질기준을 크게 초과하는 것으로 나타나고 있으며, 유출수의 농도변화는 평균 0.08mg/l로서 평균 51.5%의 제거율을 나타내 만족할 만한 결과를 보여주고 있다. 생물학적 인제거효율에는 많은 인자들이 영향을 미치는데 이들은 DO, 온도나 pH, SRT, HRT 등이 있으며, 온도의 영향은 주로 낮은 온도가 인의 제거효율에 바람직하다는 결과가 보고되고 있다. 즉 5℃에서는 15℃에 비해 약 40%가 높은 인 제거효율을

나타냈으나, 실제 처리상에서는 온도변화에 의해 제거효율이 크게 변하지 않았다는 보고도 있다²⁰⁾. 그러나 실증 실험을 통한 본 연구에서는 비교적 저온기인 RUN1~RUN2에서의 제거율이 68.8~66.8%로 분석되어서, 비교적 고온기인 RUN3~RUN6에서보다 다소 높은 제거율을 나타내었다.

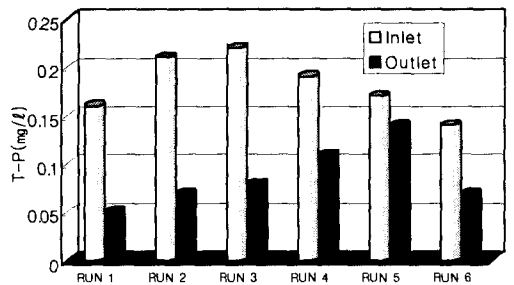


Fig. 4. The variation of T-P concentration for inlet and outlet water.

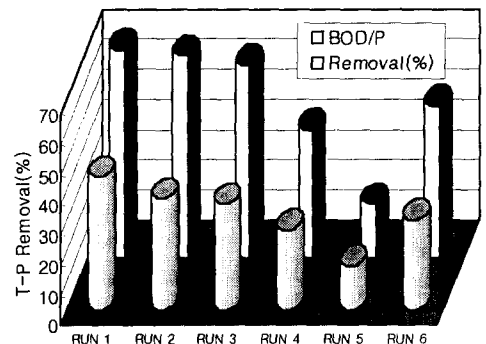


Fig. 5. The removal efficiency of T-P for BOD/P.

한편, 유기물농도와의 관계를 판단하기 위하여 BOD/P 비와 처리수 T-P와의 관계를 검토한 결과 BOD/P가 클수록 처리수의 인농도는 낮게 나타났는데, BOD/P비가 44.4인 RUN1에서의 인 제거효율이 68.8%를 나타내며

반하여 BOD/P비가 14.7인 RUN5에서의 인 제거율은 17.6%를 나타내고 있다. 따라서 유입수의 유기물농도 변화가 유출수의 인농도에도 지대한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

(2) 질소(N) 제거특성

유입수에서의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 주로 동절기에 많이 검출되는 것으로 조사되었으며, 유입수에 대한 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도범위는 0.06~1.1mg/ℓ로서 평균 0.44mg/ℓ를 나타내었다. 유입된 $\text{NH}_3\text{-N}$ 에 대한 최고농도는 기준치 0.5mg/ℓ를 약 2배정도 상회하는 것으로서 비교적 높게 나타났다. 그러나 본 연구에서 채택한 생물막공정을 거치면서 유출수의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 가 평균 0.24mg/ℓ로서 제거효율이 평균 60.8%에 이르는 것으로 나타났다. 또한, 유입수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 2.5~3.8mg/ℓ로서 평균 3.3mg/ℓ를 나타내 수질기준에 미치지 못한 수준이었으며, 평균 제거율은 7.3%를 나타내었다. 이상의 결과에서 나타난 바와 같이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 제거효율이 $\text{NH}_3\text{-N}$ 보다 평균 50%이상 낮게 나타나고 있다. 이러한 현상은 질산화 과정에서 $\text{NH}_3\text{-N}$ 가 먼저 NO_2 로 산화되고 이는 다시 NO_3 로 변하게 되는데, 이러한 산화반응은 대부분 독립영양성 세균인 *Nitrosomonas* 및 *Nitrobacter*에 의해서 이루어지는 것으로 알려져 있다. 이러한 질산화과정에서 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도는 감소하고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 증가되기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 질산화 세균은 증식계수(Y)가 작고 최대성장속도가 느

리므로 체류시간이 길어야 하는 데, 생물막 산화는 미생물을 이용하므로 이에 적합한 시스템이라 할 수 있다. 한편, Table 6과 Fig. 6~Fig. 7에서 나타난 바와 같이 T-N에 대한 유입수의 농도범위는 2.65~4.70mg/ℓ로서 평균 3.63mg/ℓ를 나타내 수질기준 II등급을 약 9.0배 정도 상회하는 것으로 심각한 수준을 보이고 있다. 유출수의 T-N농도는 평균 2.28mg/ℓ로서 34.1%의 비교적 저조한 제거효율을 나타내었다.

한편, 유기물농도와 처리수의 T-N농도와와의 관계를 판단하기 위하여 BOD/N비를 검토한 결과 유입유기물의 농도가 높을수록 처리효율이 증가하고 있음을 알 수 있는데, RUN2의 경우 BOD/N비가 1.6일 때, 처리효율이 54.4%로 가장 높았으며, RUN1에서도 BOD/N비가 1.5일 때, 52.6%의 처리효율을 나타내었으나, BOD/N비가 비교적 적은 RUN3~6에서는 20.4~28.3%의 제거효율을 나타내 인과 마찬가지로 질소에 있어서도 유입 유기물의 부하량이 질소제거율에도 기여하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때, 질소나 인의 효율적인 제거를 위해서는 적절한 BOD/N비가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 U시의 상수원으로 이용되고 있는 N강의 원수를 대상으로 생물막공정을 적용한 영양염류제거 가능성을 판단하기 위한 실증적 실험으로서 각 RUN별 SS, BOD, COD, TOC 등의 일반 유기물과 T-P,

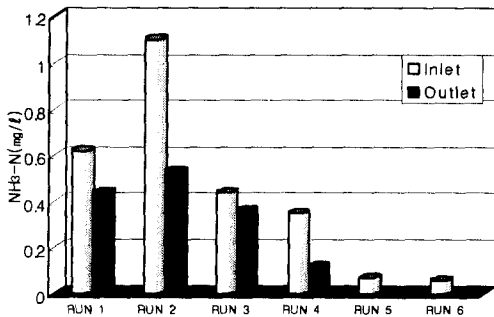


Fig. 6. The variation of $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration for inlet and outlet water.

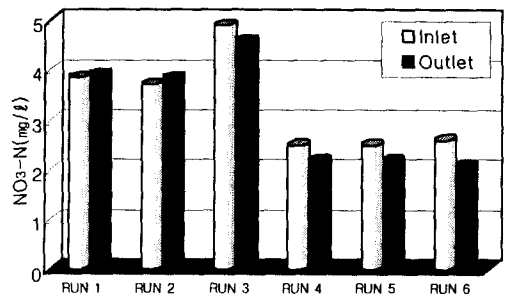


Fig. 7. The variation of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration for inlet and outlet water.

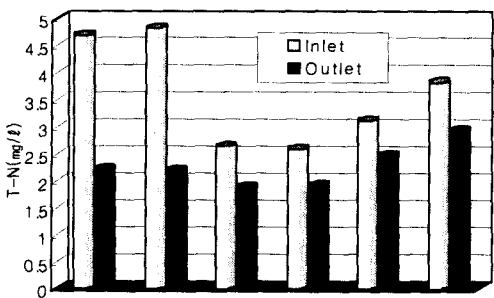


Fig. 8. The variation of T-N concentration for inlet and outlet water.

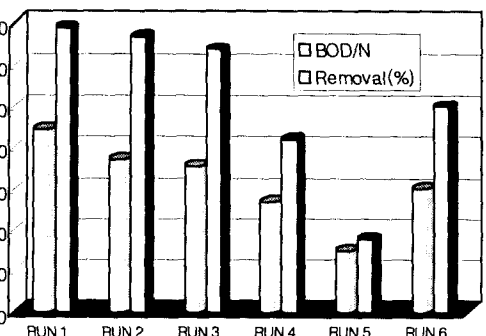


Fig. 9. The removal efficiency of T-P.

NH₃-N, NO₃-N, T-N 등의 영양염류에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유입수의 용적부하량은 BOD나 T-N이 각각 유사한 경향을 나타내고 있으며, RUN 1과 RUN 2에서 BOD의 경우 각각 0.03kg/m³/d, 0.037kg/m³/d로 나타났고, T-N의 경우 각각 0.022kg/m³/d, 0.023kg/m³/d로 유지되어 다소 높은 반면, RUN 3~6에서는 BOD의 경우 0.011~0.013kg/m³/d이며, T-N은 0.012~0.018kg/m³/d로서 다소 낮은 경향을 나타내었다.

2. 유입수의 SS, BOD, COD, TOC의 평균 농도는 각각 12.2mg/l, 4.2mg/l, 7.1mg/l, 8.69mg/l로서 제거율은 평균 77.3%, 58.5%, 39.8%, 43.72%를 나타내 COD 및 TOC의 제거율이 비교적 저조하였으나, SS 및 BOD 등의 제거효율이 우수한 것으로 나타났다.

3. 유입수에 대한 N/P비를 조사한 결과 12.0~42.7로서 평균 25.73을 나타내 한계치인 20을 초과하여 우려할 만한 수치를 보이고 있는 것으로 나타났다.

4. 유입수에 대한 NH₃-N 및 NO₃-N농도는 각각 0.6~1.1mg/l, 2.5~3.8mg/l를 나타내 유입NH₃-N의 경우 최고농도가 기준치의 2배에 달하였으며, 본 연구에서 적용한 생물막공정을 거치면서 평균 제거효율은 60.8%의 만족할 만한 수준이었다.

5. T-P제거율은 비교적 저온기인 RUN1~2에서 66.8~68.8%를 나타내 고온기인 RUN3~6에서 보다 제거효율이 높았으나 평균 51.5%의 제거율을 나타내 영양염류의 제거가능성을 나타내었으며, T-N의 경우 평균 34.1%의 제거율로서 비교적 저조한 결과를 나타내었다. 또한, 유기물농도와와의 관계를 판단하기 위하여 BOD/P비 및 BOD/N비와 처리수 T-P 및 T-N과의 관계를 검토한 결과 BOD/P비 및 BOD/N비가 클수록 처리효율이 증가하였으며, 질소나 인의 효율적인 제거를 위해서는 적절한 비율이 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 이상은, 오·폐수 질소·인 고도처리기술, 첨단환경기술, 환경관리연구소, 1995. 1.
- 2) 東京都, 東京都環境管理計劃 - 新たな展開に向けて-, 162, 1992.

- 3) 須藤 陸一 外 2人, 窒素・りん対策の最新動向と除去技術, 資源環境對策, Vol. 29, No. 8, 1993.
- 4) 環境制御・管理奇術マニュアル, 榮養鹽の除去處理, 環境技術研究會, 1983. 11.
- 5) 안승구, 김상중, 김상진, 안태석, 이건형, 안태영, 송홍구, 조기성, 권오섭, 환경미생물학, 신광문화사, 1993.
- 6) 이수식, 안승섭, 생물막공정에 의한 상수원수의 수질 개선에 관한 연구, 대한상하수도학회지, 제13권 제1호, 1991. 1
- 7) 岩波生物學辭典 第2版, 岩波書店, 1977.
- 8) 藤田利彦, 關口義彰, 加藤三千夫, 活性汚泥の生物學(2), 水處理技術, Vol 10 No 2. p1~13, 1969.
- 9) 須藤陸一, 廢水處理の生物學, 産業用水調査會, 1977.
- 10) 遠矢泰典, 生物學的脫窒素法に關する研究(I)-硝化作用の支配因子に關する檢討, 下水道協會誌, Vol. 7, No 74, pp 21~42, 1970.
- 11) McCarty, P. L., et al, Biological Denitrification of Wastewaters by Addition of Organic Materials, Proc. of the Industrial Waste Conference, Purdue University, 1969.
- 12) EPA, Process Design Manual for Nitrogen Control, 1975.
- 13) 可藤三千夫 等, 生物學的脫窒素法, 新しい生物學的處理技術總覽, pp248 - 264, 科學技術開發センタ 1978.
- 14) 橋本獎, 古川憲治, 種々の脫窒細菌について, 第14回下水道研究發表會, 1971.
- 15) 환경부, 환경오염 공정시험법 (수질분야), 1986.
- 16) 日本 下水道協會, 下水試驗方法, 1984.
- 17) APHA, AWWA, WPCF, "Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF, 16th, 1985.
- 18) 하준수, 화학적 방법에 의한 도시하수의 고도처리, 고려대학교 석사학위 논문, 1994.
- 19) 須藤 陸一 外 2人, 水界生態系保全の窒素・りん同時除去必要性, 用水と廢水, 尖端環境技術, 1995. 1.
- 20) 이상은, 오·폐수의 질소·인 고도처리 기술, 첨단환경기술, 환경관리 연구소, 1995. 1.