

碩士學位論文

육상양식장 배출수 처리를 위한 호염성  
미생물의 질산화 특성



濟州大學校 大學院

環境工學科

吳京美

2002 年 12 月

육상양식장 배출수 처리를 위한  
호염성 미생물의 질산화 특성

指導教授 許 木

吳 京 美

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함  
2002 年 12 月

吳京美의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 李 起 浩 (인)

委 員 趙 恩 一 (인)

委 員 許 木 (인)

濟州大學校 大學院

2002 年 12 月

# Nitrifying Characteristics of Halophilic Microorganism for Water Treatment on Aquaculture

Gyung-Mi Oh

(Supervised by professor Mock Huh)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement  
for the degree of Master of Engineering



This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Ki Ho. Lee, Prof. of Environmental engineering

Thesis director, Eun Il. Cho, Prof. of Environmental engineering

Thesis director, Mock. Huh, Prof. of Environmental engineering

December, 2002

Department of Environmental Engineering

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

## Summary

The purpose of this study was obtained optimum operating conditions for variation of HRT and packing ratio the water treatment of marinefish aquaculture which was biological nitrification process using halophilic microorganism.

Experimental conditions of this study were that packing ratio was 50, 40, 30, and 20(v/v)% and HRT was 5, 4, 2.5, 1.25hr respectively in the INSUB(Indirectly Aerated Submerged Biofilter), respectively.

The results obtained from this study were summarized as follows.

1. The removal efficiency of ammonia was grew higher positive correlation with increasing HRT, when increasing tendency of removal efficiency was considered, and the optimum HRT was more 4hr.
2. When packing ratio was 40% and over, the removal efficiency of COD was more then 80% regardless of HRT.
3. When correlation equation was calculated for the removal efficiency of ammonia and COD with variation of HRT, difference of removal efficiency decreased with increased packing ratio for HRT.
4. Effluent concentration of ammonia and COD were 0.46mg/L, 4.80mg/L, and removal efficiency were 83.2%, 85.3% in the optimum operating conditions 4hr of HRT and 40% of packing ratio, respectively.

# 목 차

I. 서론	1
II. 이론적 고찰	3
1. 순환여과식 양식	3
2. 생물학적 질산화 이론	7
1) 질산화 영향인자	7
(1) DO	7
(2) 온도	8
(3) pH, Alkalinity	8
3. 질산화미생물	11
1) 질산화에 관한 생화학	11
4. 생물막 공법	14
1) 생물막공법의 적용의 예	14
(1) 침적식 생물막 공법	14
(2) 살수여상법	14
(3) 바이오드럼(Biodrums)	15
(4) 회전원판법(RBC)	15
2) 생물막공법을 이용한 질산화 예	16
5. 해양미생물	17
1) 해양미생물의 특성	17
2) 호염성 미생물	18
III. 재료 및 방법	19
1. 실험장치	19
1) 실험장치	19
2) 발포 스폰지 담체	19
3) 미생물 고정화	20
2. 분석항목 및 방법	21
1) 양식해수	21
2) 분석방법	21

3) 실험조건 .....	22
IV. 결 과 .....	23
1. HRT 변화에 따른 영향 .....	23
1) 질산화 효율 .....	23
2) 유기물(COD)의 제거 .....	30
3) 인 제거 등 .....	33
2. 충전율 변화에 따른 영향 .....	34
1) 질산화 효율 .....	34
2) 유기물(COD)의 제거 .....	40
3) 인 제거 등 .....	40
3. 상관관계 .....	44
1) HRT에 따른 변화 .....	44
2) 충전율에 따른 변화 .....	44
4. 출현미생물 .....	48
V. 결 론 .....	50
VI. 참고문헌 .....	51



## List of Figure

Fig. 1. Nitrogen recycle by Nitrifier .....	13
Fig. 2. Schematic diagram of experiment .....	20
Fig. 3. The variation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ effluent concentration during experimental period .....	23
Fig. 4. Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_x$ Concentration and removal efficiency with HRT (50(v/v)%) .....	26
Fig. 5. Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_x$ Concentration and removal efficiency with HRT (40(v/v)%) .....	27
Fig. 6. Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_x$ Concentration and removal efficiency with HRT (30(v/v)%) .....	28
Fig. 7. Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_x$ Concentration and removal efficiency with HRT (20(v/v)%) .....	29
Fig. 8. Change of COD concentration and removal efficiency with HRT (50, 40(v/v)%) .....	31
Fig. 9. Change of COD concentration and removal efficiency with HRT (30, 20(v/v)%) .....	32
Fig. 10. Change of T-P removal efficiency with HRT .....	33
Fig. 11. The variation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ effluent concentration during experimental period .....	34
Fig. 12. Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_x$ concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 5hr) .....	36
Fig. 13. Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_x$ concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 4hr) .....	37
Fig. 14. Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_x$ concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 2.5hr) .....	38
Fig. 15. Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_x$ concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 1.25hr) .....	39
Fig. 16. Change of COD concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 5, 4hr) .....	41

Fig. 17. Change of COD concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 2.5, 1.25hr) .....	42
Fig. 18. Change of T-P removal efficiency with packing ratio .....	43
Fig. 19. The correlation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and COD removal efficiency with HRT during packing ratio .....	46
Fig. 20. The correlation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and COD removal efficiency with packing ratio during HRT .....	47

## List of Table

Table 1. Factors affecting biofilm reactor performance(John et al., 1989). .....	5
Table 2. Water quality criteria for aquaculture .....	6
Table 3. Percentage of free(as $\text{NH}_3$ ) in freshwater(FW) and seawater (SW) .....	10
Table 4. Synthetic feedstock solition .....	21
Table 5. Analytical method and instrument .....	22

## List of Photo

Photo. 1. Photographs of microbial attached to media during experiment period (Olympus, U-PMTVC) .....	48
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

# I. 서론

미생물은 육상에서와 마찬가지로 해양에도 널리 분포되어 있으며 해양에서 서식하는 동식물에 다양한 영향을 미치고 있다. 해양미생물 중 일부는 병원성 미생물로 존재하며 수산물의 부패와 해저 인공축조물을 부식시키는 원인이 되며 수질오염을 촉진시키기도 하지만 대부분의 미생물은 인간이나 자연에 이로운 면이 더 있다.

즉 대부분의 해양미생물은 해양에 유입되는 여러 종류의 유기물을 분해시키고, 식물에 영양염류를 제공하며, 원생동물이나 여과섭식자(Filter - feeder)등의 먹이 원료로 이용되고, 물질순환에 기여하며 해수의 수소이온농도와 산화·환원 전이 및 표면장력 등 물리화학적인 상태에 영향을 준다.

이러한 해양미생물을 이용한 연구로서 현재 진행되고 있는 분야로는 산업적 응용 사례로서 호염성 해양미생물로부터 항생제, 색소, 바이오 폴리머 생산, 내한성 미생물의 경우 세제용 효소의 개발, 빙핵활성 단백질 생산, 내한성 유전자를 이용한 인터페론의 안정화등 다양한 방면에서 이용되고 있다.

또한 환경 친화적인 생물학적 방법으로 유류오염제거에 해양환경미생물을 이용한 해양환경회복기술(김등, 1996)이 연구되어졌고, 해양살조세균 *Micrococcus* sp. LG-5가 생산하는 살조물질을 이용(이등, 2000)하여 적조를 효과적으로 제거하는 사례와 합성 폐수중 암모늄 제거를 위하여 해양미생물인 *V.alginolyticus* Oiso-1과 *V.alginolyticus* SHS-2를 이용한 연구(김, 2000)가 이루어졌으며, 양식장 배출수중 암모니아를 제거하기 위해 질화세균을 이용하는 연구(김, 1999)등 환경분야에서도 그 이용범위가 넓어지고 있다.

따라서 본 연구는 수질오염제어기능을 가진 호염성 미생물을 이용하여 고정화에 요구되는 시간이 짧고, 담체의 강도가 크며 장기간의 사용에 대한 내구성이 크고, 고정화시 미생물에 독성이 없는 장점을 가진 발포스폰지 담체를 이용, 고정화 시킨 후 폐수속으로 침적시키는 간접포기형 침적생물막 여과장치(Indirectly Aerated Submerged Biofilter ; INSUB)를 이용하여 호염성미생물을 이용한 육상양식장 배출

수 처리를 위한 호염성 미생물의 질산화 특성을 연구하기 위한 기초 실험으로써 담체의 충전율과 수리학적체류시간(HRT)의 변화에 의한 최적운전조건의 도출을 연구의 목적으로 설정하여 실험실적 연구를 수행하였다.



## II. 이론적 고찰

### 1. 순환여과식 양식

양식시스템은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데 가두리 양식과 유수식 양식과 같이 양식장 환경이 그곳의 자연 환경에 의존하는 개방적 시스템(Open systems)과 고밀도로 어류를 방양하여 다량의 먹이와 기계적 에어레이션을 하면서 양식을 하는 소형 사육조 같은 폐쇄적인 환경의 성격을 띠는 폐쇄적 시스템(Closed systems)으로 분류한다.

폐쇄적 시스템은 생물의 생활에 있어 수질 등 환경 요소의 변화를 가져오기 쉬우며, 특히 양식 생물의 밀도가 높아짐에 따른 대사 노폐물의 축적이 심각한 문제가 되고 기르는 생물의 양에 비하여 면적이 좁기 때문에 인위적 환경 관리가 쉽고 목적에 따라 수온 등 일부 환경요인의 조절이 가능하며 그 지역의 자연 환경에서는 불가능한 생물을 양식할 수 있는 잇점이 있는데 순환여과식 양식장은 이 잇점을 살린 고도로 발달한 폐쇄식 양식장이라 할 수 있다.

어류의 대사산물은 대부분 암모니아로 배설되는데 이 암모니아는 어류에서 매우 유독한 물질로서 좁은 면적에서 많은 생물을 키우게 되면 암모니아가 대량으로 축적되어 양식 생물에게 해로운 영향을 끼치게 되므로 어류에게 거의 무해한 질산염으로 바꾸어 주는 생물학적 질산화 공정을 요구한다(Mantle et al., 1984).

한편, 물속에는 이러한 용존된 무기물만이 존재하는 것이 아니고 생물의 대사후 먹고 남은 사료 찌꺼기등 여러 가지 현탁 고형물질이 부유하고 있으며 고형물질은 분해되는 과정에서 산소를 소비하므로 양식 생물이 사용할 산소를 감소시키는 한편, 병원성 세균들이 고형물질에 부착하여 질병 유발을 촉진하므로 물리적 여과 과정을 통해 현탁 유기물을 제거하고 소독한 뒤 사육조로 재순환시켜 수질을 유지하도록 해야 한다(John et al., 1989). 전체 시스템의 운전상태를 알아보기 위한 주요 환경인자를 Table 1.에 나타내었으며 Table 2.는 5개 연구기관에서 제시한 양어장 수질기준을 나

타낸 것으로 미국 EPA에서는 어류에 대한 비이온성 암모니아의 기준농도를 0.02mg/L이하로 제시하고 있지만 이는 어종, pH, 수온 등에 따라 달라질 수 있다. 한편, 일반적으로 pH7 부근에서 수중에서 총 암모니아의 1%정도가 비이온화 형태로 존재하므로 기준치 0.02mg/L를 만족시키기 위한 여과조 유출수의 암모니아성 질소의 농도는 2mg/L정도이다.

용존상 오염물질의 대부분은 질소화합물로서 이는 고농도일 경우 어류에 독성을 미치며 어류의 성장에 영향을 주어 성장률을 저하시킨다. 순환여과시스템은 적절한 처리를 통한 효과적인 수자원의 이용과 함께 폐수 발생량을 감소시킴으로써 잠재적인 환경영향을 극도로 감소시킬 수 있다(Losordo et al., 1992). 순환여과식 사육 시스템의 장점은 물의 재이용과 그에 따른 물 요구량의 감소, 완벽한 환경제어, 그리고 생산력 향상력 등을 들 수 있다. 이러한 것은 적절한 기술을 바탕으로 할 때 달성될 수 있다. 양어장의 적절한 관리를 위해서는 최적의 사육조건과 지속적인 수질의 관리, 그리고 생산력 증대에 대한 복합적인 기술이 요구된다(박선정, 1997). 순환여과식 사육 시스템의 생산력 향상에 기여하는 수질인자는 설계상의 여러 요인과 수중의 암모니아, 아질산성 질소와 같은 용존 질소화합물, 입자상·용존상의 고형성 오염물질, 용존 산소, pH, Alkalinity, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> gas등을 들 수 있다.

Table 1. Factors affecting biofilm reactor performance(John et al., 1989).

Water properties	Water nutrient composition and concentrations
	Recent changes in biomass or feeding practices
	Water Temperature
	Salinity
	pH
	Suspended solids content
Biofilm characteristics	Filter hydraulic loading
	Total surface area of filter media
	Voids ratio in media
	Biofilm reactor depth
	Residence time in filter

Table 2. Water quality criteria for aquaculture

Parameter (mg/L)	US EPA	Roberts (1978)	Klontz et al. (1979)	Nightingale (1976)	Environment Canada(1979)	Suggested level
Aluminum				0.2	0.1	<0.1
Ammonia	0.02	0.02	0.012	0.1	0.02	<0.02
Calcium			52			>5.2
carbon dioxide			2.0			<2.0
Chromium	0.1	0.05		0.5	0.04	<0.1
Coliform (no./100mL)	14					<14
Color units	75					<75
Copper	1.0	0.01	0.006	0.02	0.005	<0.01
Dissolved Oxygen			5.0		4.0	>0.40
Iron	1.0		1.0	0.5	0.3	<0.5
Hardness				300		<300
Lead		0.03		0.1	0.03	<0.03
Magnesium						No data
Mercury		0.05			0.1	<0.1
Manganese	100					<100
Nitrate						No data
Nitrite		0.1	0.55			
pH	6.5 ~ 9	6.5 ~ 8.5	6.7 ~ 9	6.5 ~ 8	6.5 ~ 9	6.5 ~ 9
Sulfate						No data
Sulfide	0.002	0.002	0.002		0.002	<0.002
Temperature				50 ~ 90		Varies
Total alkalinity	20		20 ~ 200		20	20 ~ 200
Total dissolved gas		110%	110%	105%		<105%
Total dissolved solids	250		400			<400
Tatal suspended solids		8	80		25	<25
Turbidity				60		<60

## 2. 생물학적 질산화 이론

일반적으로 총 암모니아(Total ammonia)는 비이온성 암모니아와 이온성 암모니아의 합을 의미하며 수중에서 비이온성 암모니아와 이온성 암모니아의 존재비는 온도와 pH의 함수로써 식(1)과 같은 비율로 존재한다. 중성의 pH에서 암모니아의 99%는 이온성 암모니아로 존재하며, pH9이상에서는 비이온성 암모니아의 농도가 급격히 증가한다. 수온이 25℃일 경우의 pKa는 9.245이다.

$$\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = 10^{(pH - pKa)}$$

양어장 순환수의 온도증가와 pH의 감소는 비이온성 암모니아의 농도를 증가시키는 역할을 하는데 온도가 높을 경우  $NH_4^+$ 의 가수분해를 증가시키고, 염분은 이온강도가 증가된 용액에서  $NH_3$ 의 활동을 감소시키게 된다(Hampson,1976). 온도와 pH 및 총질소의 값이 같은 경우에 해수가 담수보다 약간 적은 비이온성 암모니아를 함유하게 된다. 암모니아의 화학적 상태변화와 pH와의 관계는 Table 2.3과 같다.

순환여과식 양어장에서 암모니아는 어류에 공급되는 사료 중 미섭취된 사료 및 어분 중의 단백질 성분이 수중의 미생물에 의해 분해되면서 발생하는 것과 어류의 대사 질소성분 중 아가미를 통하여 배설하는 것 두 가지 요인에 의해 발생한다. 발생한 암모니아를 신속히 제거하지 않을 경우 암모니아 자체의 독성에 의한 피해 뿐 아니라 수중의 용존산소를 고갈시켜 어류의 성장에 영향을 미치게 된다.

암모니아는 pH가 비교적 낮은 담수에서는 그 독성이 약하지만, pH가 높은 해수에서는 그 독성이 대단히 강하게 나타나서, 해수 사육 장치에서는 암모니아의 양이 조금만 높아져도 치명적인 피해를 주는 일이 많다. 암모니아의 독성에 영향을 끼치는 또 한가지 중요한 요소는 용존산소량이다. 용존산소량이 증가하면 이온화되지 않은 암모니아의 독성이 감소된다.

### 1) 질산화 영향인자

#### (1) DO

DO 농도는 생물학적 폐수처리공정에서 질산화미생물 성장률과 질산화에 대하여 중요한 영향을 미친다. growth-limiting substrate concentration 으로 DO를 가지고 Monod 식을 *Nitrosomonas*의 성장에 대하여 모델링한 연구에 의하면 half-saturation coefficient 는 0.15~2.0mg/L · O<sub>2</sub>로 보고 되었다(EPA, 1975).

역사적으로 보면 질산화에 대한 DO의 영향은 많은 논쟁의 대상이 되어왔으며, EPA(1975)의 Design Manual에서는 DO농도가 0.5mg/L 이하인 특정한 조건하에서 완전한 질산화가 관찰되었다고 하였다.

최근에는 질산화에 대한 DO의 확실한 영향과 이러한 관계에 영향을 미치는 요소에 대하여 심층적인 연구가 수행되고 있다(Stenstrom, 1991).

EPA(1993)는 Manual에서 이러한 연구결과 및 Hanaki et al.(1990)의 연구결과와 Loveless(1968)의 연구결과를 종합하면, DO 농도 1.0mg/L 이상에서 *Nitrosomonas*의 성장은 영향을 받지 않으나 실제 질산화 공정에서는 Ammonia의 peak load를 고려하여 최소 2.0mg/L 이상으로 DO를 유지할 수 있으면 될 것으로 나타났다고 하였다.

## (2) 온도

질산화 반응은 온도에 강하게 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 대략 4~45℃의 온도범위에서 일어난다. 최적의 반응온도는 *Nitrosomonas*의 경우 35℃, *Nitrobacter*의 경우 35~42℃ 이다(EPA, 1993).

Maximum growth rate는 10℃ 상승시마다 2배 증가하여 Van't Hoff-Arrhenius 식과 매우 유사하며, 5~30℃ 범위에서 질산화에 대한 온도의 영향이 Arrhenius-type 형태에 잘 맞는다는 사실이 여러 연구자들에 의해서 관찰되어졌다(WPCF, 1983). 질산화율(Nitrification rate)은 30~35℃ 이상에서 감소하는 것으로 관찰되어지는데, 이는 이러한 범위에서 다음과 같은 두 가지의 반응이 일어나기 때문이다(U.S. EPA, 1975). 우선 온도가 상승함에 따라 질산화율이 증가하고 그 다음으로 특정 온도를 넘어서면 미생물 세포내부의 단백질 변성이 일어나게 된다.

## (3) pH, Alkalinity

질산화에 대한 pH의 영향은 연구자들에 따라서 다양한 결과를 나타내며, 또한 이러한 결과들이 순응(Acclimation)단계를 거치지 않은 회분식(Batch)실험이라는 점을 고려하여야 할 것이다(Barnard et al., 1992). Wild et al.,(1975)의 연구결과에 따르면 pH 7.0 에서의 Maximum specific growth rate는 pH 8.0 에서의 값의

50%이며 이들 사이에는 선형관계가 있다고 하였다. 반면 Engle과 Alexander(1958) 그리고 Downing et al.,(1964)은 7.2에서 8.0사이의 pH에서는 질산화에 대한 영향이 거의 없으며, pH 7.2 이하에서는 질산화율이 선형적으로 감소하였다고 보고하였다. 또한 Hall(1974)은 pH 7.0과 9.4 사이에서는 완전한 질산화가 이루어졌으며, pH 6.3 에서는 질산화가 이루어지지 않았음을 보고하였다. pH 4.2에서의 질산화율은 pH 7.2에서의 질산화율의 55%이다.

순응되지 않은 미생물을 이용한 Antoniou et al.,(1990)의 최근 연구는 낮은 온도에서 질산화에 대한 pH의 영향이 더 커짐을 다음과 같이 보고하였다. 20 ℃에서 pH 6.9의 질산화율은 pH 7.9의 84%이며, 15℃에서는 pH 6.8의 질산화율이 pH 7.8의 42% 이었다.

이론적으로 암모니아성 질소 1mg이 산화되는데 7.1mg의 알칼리도가 소비되는데, 실제 반응기에서는 낮은 Alkalinity에서도 높은 pH가 유지된다. 이는 실제 생물학적 반응기에서는 산소공급을 위하여 Open system의 형태로 공기를 공급하므로 CO<sub>2</sub>가 탈기되어 질산화과정에서 요구되는 이론적인 Alkalinity 값 보다 적은 값이 소모되기 때문이다.



Table 3. Percentage of free(as  $\text{NH}_3$ ) in freshwater(FW) and seawater (SW) at varying pH and temperature

pH	10°C		15°C		20°C		25°C	
	FW	SW	FW	SW	FW	SW	FW	SW
7.0	0.19		0.27		0.40		0.55	
7.1	0.23		0.34		0.50		0.70	
7.2	0.29		0.43		0.63		0.88	
7.3	0.37		0.54		0.79		1.10	
7.4	0.47		0.68		0.99		1.38	
7.5	0.59	0.46	0.85	0.67	1.24	0.96	1.73	1.39
7.6	0.74	0.58	1.07	0.84	1.56	1.21	2.17	1.75
7.7	0.92	0.73	1.35	1.05	1.96	1.52	2.72	2.19
7.8	1.16	0.91	1.69	1.32	2.45	1.90	3.39	2.74
7.9	1.46	1.15	1.15	1.66	3.06	2.39	4.24	3.43
8.0	1.83	1.44	1.44	2.07	3.83	2.98	5.28	4.28
8.1	2.29	1.80	1.80	2.60	4.77	3.73	6.55	5.32
8.2	2.86	2.26	2.26	3.25	5.94	4.65	8.11	6.61
8.3	3.58	2.83	2.83	4.06	7.36	5.78	10.00	8.18
8.4	4.46	3.54	3.54	5.05	9.09	7.17	12.27	10.10
8.5	5.55	4.41	4.41	6.28	11.18	8.87	14.97	12.40

※Freshwater data from Trussel(1972), Seawater values from Bower and Bidwell(1978)

### 3. 질산화미생물

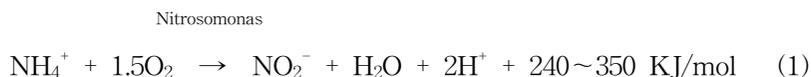
생물학적 처리를 이용한 공정에서의 질소제거에는 질산화미생물이 전형적으로 이용된다.

질산화가 전형적으로 어떤 특정된 화학적 독립영양미생물의 대사와 관련되어 있다는 사실은 Winogradsky(1933)의 연구에 의해 밝혀졌는데 생물학적 수처리 방법에서도 대부분의 유기물질은 세포합성을 위해서 유기물질을 이용하는 종속영양미생물(Heterotrophic Organism)에 의해 제거되나 암모니아는 세포합성보다는 에너지를 얻기 위해서 이용하는 독립영양미생물(Autotrophic Organism)에 의해 주로 제거된다. 암모늄을 아질산염으로 산화시키는 반응에 관여하는 미생물은 Nitrosomonas와 Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus이고, 아질산염을 질산염으로 산화시키는 반응에 관여하는 미생물은 Nitrobacter와 Nitrosocystis라고 Painter(1970)가 발표했다. 언급한 미생물중에서 Nitrosomonas와 Nitrobacter만이 종종 발견되는 것을 보아 이 두 가지가 주요한 질산화 독립영양미생물임을 알 수 있다.

질산화는 호기성 생물학적 공정에서 낮은 유기물 부하 조건과 적당한 환경이 공급되었을 때 일어난다. 질산화 박테리아는 고정상 생물막과 부유성장 시스템에서 높은 비율을 차지하는 종속영양 박테리아에 비해 천천히 성장한다. 따라서 미생물학적 측면에서 최대 질산화를 이루기 위해서는 적당한 환경요인의 공급으로 질산화 미생물의 성장이 유기물질을 산화하는 종속영양 박테리아의 성장률 보다 크게 유지하는 것이 가장 중요하다(Barnes et al., 1983).

#### 1) 질산화에 관한 생화학

Nitrosomonas로 대표되는 미생물에 의해 아질산염의 생성은 식(1)과 같이 설명된다.



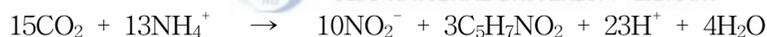
이러한 반응에서 방출되는 에너지는  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ 와 같은 무기탄소원으로부터

필요한 유기물량을 합성하는 질산화 미생물에 의해 이용된다(Prakasam et al., 1972).

$\text{NO}_2^-$ 는 Nitrobacter로 대표되는 미생물에 의해서  $\text{NO}_3^-$ 로 되는데 그 반응식은 식(2)와 같다.



질산화 박테리아는 종속영양 미생물과 비교해서 매우 느린 성장을 하며 산화된 에너지 기질당 세포 생산량도 적다. 이는 에너지 기질과는 별개로 질소와 산소는 독립영양 미생물인 질산화 박테리아가 유기세포물질의 합성에 무기탄소를 요구하기 때문이다. 사실 무기질소의 산화에서 얻은 에너지는  $\text{CO}_2$ 를 유기형태로 환원시키는데 주로 이용된다. Nitrosomonas와 Nitrobacter의 구성이  $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ 로 나타내어질 수 있다는 가정하에 세포성장의 화학양론식은 다음과 같다(Sharma et al., 1977).



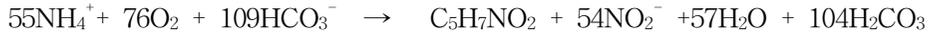
Nitrobacter



암모니아의 질산화에서 주목할 점은 첫째, 암모니아성 질소 산화당 세포생산량이 매우 적고, 둘째로는 질산화 과정에서 상당량의 산소가 필요한데 1g  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 을 제거시키는데 약 4.5g의 산소가 필요하며 셋째로는 질산화 과정에서 발생하는  $\text{H}^+$ 에 의한 pH 저하를 막기위해 1g의  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 을 산화시키는데 약 7g의 알칼리도가 필요하다는 것 등이다.

Nitrosomonas와 Nitrobacter의 세포성분을 이론적으로 추정하면  $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ 으로 나타낼 수 있다. Nitrosomonas 생산량이 0.15g VSS/g  $\text{NH}_4^+$ 로 가정하고 Nitrobacter의 생산량을 0.22g VSS/g  $\text{NO}_3^-$ 이라고 하면 그 때 세포성장의 화학양론식은 다음과 같다.

Nitrosomonas



Nitrobacter



질산화 미생물의 합성식과 암모니아 산화식은 아래와 같다.

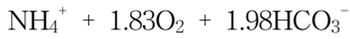
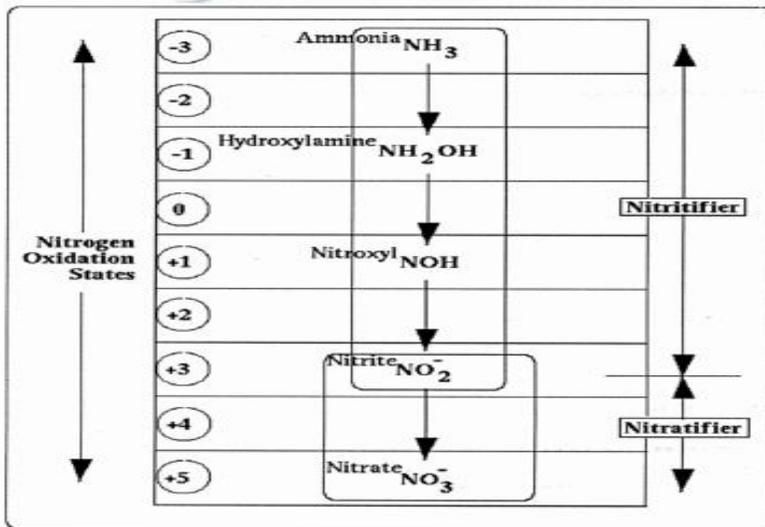


Fig. 1. Nitrogen recycle by Nitrifier.



#### 4. 생물막 공법

##### 1) 생물막공법의 적용의 예

생물막 공법의 주된 이점은 부유성장 활성슬러지 공법에 비해 유량 및 부하변동에 대해 안정된 미생물군을 유지할 수 있다는 것이다(농림부, 1997). 즉 미생물의 체외고분자 물질에 의해 매디아의 표면에 부착하여 생성되는 생물막은 영양소 및 금속성분의 축적, 체외효소 및 가수분해 물질의 확산 방지, 포획 감소 및 시스템으로부터의 미생물의 유실 억제 등의 이점이 있다. 또한 생물막은 저농도 유기물 조건에서도 미생물의 활성이 탁월한 형태이므로 생물막 공법은 고차처리에 있어 특히 유리하다. 또한 생물막 공법은 매디아의 표면에 미생물이 고정되어 긴 SRT를 가지므로 미생물 생산량이 작으며, 부유성장 활성슬러지 공법과 비교했을 때 생물막에는 호기성, 혐기성 그리고 혐기성 미생물이 서식하고 있으므로 다양한 오염물질을 제거할 수 있다. 그리고 처리설비가 단순하여 유지관리가 용이하고 슬러지 반송이 없어도 양호한 유출수질을 얻을 수 있다(윤성순, 1995).

부착성장 미생물은 미생물이 고체의 표면에 부착하여 생물막을 형성하여 물속의 오염물질을 정화한다. 부유성장 미생물은 미생물간에 일정한 군집을 이루어 미생물 덩어리(Floc)를 형성하여 물 속의 오염물질을 정화하는 각각의 성장특성을 가지고 있다(농림부, 1997). 부착성장 미생물의 특성을 이용한 수처리 기법을 생물막 공법이라 하며, 오래전부터 이용한 방식은 RBC법, 살수여상법 등이 있고, 침적식 생물막법, 유동층법도 최근 많은 연구사례가 보고되고 있다. 이러한 생물막 공법의 특성은 다음과 같다.

##### (1) 침적식 생물막 공법

양어장 순환수 내 암모니아 제거를 위한 침적식 생물막 여과조는 자갈, 플라스틱 등의 여과재가 충전되어 있고, 이 고정층 사이로 물이 지나간다. 질산화 박테리아가 수중의 여재에 부착되어 있기 때문에 산소가 물에 의해 여과기로 전달되어야 한다. 이것은 침적식 생물막 여과기가 가장 제한을 받는 요인 중의 하나가 된다. 에너지 소비는 여과기로 양수해야 되는 수두차에 좌우된다.

##### (2) 살수여상법

이 방법은 여과재가 젖어 있지만 침지되어 있지는 않는다. 여과기가 물로 채워져 있지 않아 산소의 공급은 대기 혹은 하수에서 행해지기 때문에 생물막 표면은 호기성 부분 그리고 내부는 혐기성 부분이 된다. 산소의 공급이 불충분하면 생물막의 혐기성 부분이 된다. 산소의 공급이 불충분하면 생물막의 혐기성 부분이 지배적이 되어 이 부분이 탈락한다.

살수여상법의 정화기구는 활성슬러지법과 기본적으로 동일하며, 그 생물상도 유사하며 구조는 장방형과 원형이 있다. 중요한 요소에는 여상 여재, 하부 배수시설, 회전 살수장치 등이 있다. 여상 여재를 표면에서 생물학적 성장이 가능하도록 하며 액체와 공기가 통할 수 있도록 공극이 형성되어 있다. 여재의 바람직한 크기는 지름이 7.6~12.7cm 정도 되는 것이 좋다(상하수도 공학, 1999).

회전 살수장치는 여상 표면에 균일한 수리학적 부하를 제공한다. 폐수가 분산 노즐 밖으로 흘러나가는 작용에 의해 작동되는 살수장치가 가장 보편화된 형태이다.

살수 여상에서 반응조의 깊이는 0.15~5m로 다양하다. 필요한 양수높이는 직접적으로 여과기 자체의 깊이에 비례한다. 역세에 약간의 에너지가 소비된다.

### (3) 바이오드럼(Biodrums)

바이오드럼은 표면적이 넓은 여재로 충전되어 있는 원주상의 컨테이너로 이루어져 있다. 바이오드럼의 수평축을 갖는 탱크는 수위를 일정하게 유지하고 원주상의 컨테이너는 수조의 1/2이 물속에 잠겨 있다. 드럼의 회전에 의해 매디아에 부착한 박테리아가 수중에 일시 잠기고 공기중에 노출되는 과정을 통해 수중의 오염물을 제거하면서 여과재에서 박테리아가 성장한다. 드럼의 회전속도는 박테리아가 산소를 고갈시키기 전에 공기중에 노출되며, 건조되기 전에 들어감으로써 조절이 된다. 바이오드럼의 회전 동작에 의해 수조내가 혼합된다. 내부 외부로의 유체의 흐름 때문에 회전중의 바이오드럼은 막히는 것이 드물다. 바이오드럼에서 사용되는 에너지는 일차적으로 통을 회전하는 것이다. 에너지 소요량은 회전원판법보다 바이오드럼이 더 크다.(농림부, 1997).

### (4) 회전원판법(RBC)

회전원판법은 생물막 공법 중의 하나로 회전하는 원판의 표면에 부착하여 성장하는 미생물을 이용하여 폐수중의 오염물질을 제거하는 방법으로 유럽의 중소도시 하수처리장에 사용되어 왔으며 운전의 간편함과 유지관리비가 저렴한 이점 때문에 사용이

확대되었다(윤성순,1995).

회전원판법은 2차 처리의 한 방법으로 유기물제거 목적으로 널리 쓰이고 있으나 낮은 유기물 부하시 암모니아가 쉽게 산화되므로 질산화 목적으로 널리 쓰이고 있기도 한다. 회전원판법의 부착미생물은 자연적으로 높은 슬러지 일령을 갖게 되어 슬러지의 재순환 없이 높은 처리효율을 얻을 수 있다. 원판은 표면적의 40%가량이 폐수에 잠기고 회전운동에 따라 원판은 폐수 및 공기와 교대로 접촉함으로써 원판상에는 1.5~3.0mm의 미생물이 성장하게 되며 그 미생물의 MLSS농도는 50,000mg/L에 달하게 되어 넓은 처리효율을 얻을 수 있다. 원판의 회전에 따라 폐수의 혼합이 이루어지고 생물막이 건조되는 것을 막아준다. 판의 공간은 표면적을 최대화하기 위하여 인접하게 놓여 있으며 바이오 드럼과 같이 회전속도는 제한되어 있다. 바이오드럼에 비해 에너지는 훨씬 적게 소요된다(농림부, 1997).

## 2) 생물막공법을 이용한 질산화 예

암모니아 제거를 위해 가장 경제적이고 광범위하게 이용되고 있는 방법은 생물학적 처리이며 그 중에서도 짧은 수리학적 체류시간에도 높은 미생물 체류시간을 유지하여 기질의 부하변동에 강하고 슬러지의 부가적인 반응이 불필요한 잇점을 가지고 있는 고정 생물막 공법이 널리 사용되고 있다. 한편, 여러 가지 문제점을 내포하고 있는 상·하수 처리공법에 대한 처리기능의 보완을 위하여 하수처리의 경우 2차처리 시설로서 활성슬러지의 각종 변법과 상수처리의 경우 전처리 공정으로서 생물막공법의 적용여부에 관한 연구개발(박,1991)도 최근에 들어 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 특히 생물막공법은 주로 영양소등을 제거하기 위한 고도처리로서 많이 이용되고 있다. 임(1993)은 회전원판법을 이용하여 암모니아의 질산화에 관한 연구 결과를 보고한 바 있으며 안(1993)과 홍(1987)은 생물막 유동층 반응조를 이용한 폐수처리에 관하여 이(1992)와 김(1995)은 생물막 유동층 공법을 이용하여 양식장 순환수처리에 적용한 예도 있다. 府中(1990)은 안스라사이트를 여재로 상용한 생물막 여과법의 하수 고도처리 실험에서 BOD가 1차식으로 먼저 제거되고 그 다음  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 이 0차식으로 질산화된다고 보고한 바 있으며 槽中等(1987)은 포기여과지를 이용하여 수중의 암모니아성 질소를 대상으로 생물학적 처리를 통하여 조내에서의 질산화과정을 해석하였다. Iida와 Terandish(1984)는 침적생물막 반응조의 단일공정으로 도시하수의 유기탄소와 질

소제거실험 결과 7시간의 체류시간 및 간헐적인 폭기와 2.0의 재순환 비율로 보조 탄소성분을 첨가하지 않고 질소의 80%를 제거하였다.

## 5. 해양미생물

### 1) 해양미생물의 특성

해양미생물은 주로 해양세균, 해양 방선균, 원시세균(아키박테리아)등으로 일부를 제외하고는 눈에 보이지 않으므로 인류 역사 대부분의 기간동안 거의 존재 자체가 무시되어 왔으나, 개체수나 그 기능의 다양성을 따지자면 여타 동·식물에 비해 그 중요성이 결코 뒤떨어지지 않는다. 이들은 해양환경에서 분해자로서의 역할을 수행하고 있으며 해양 동·식물에 의하여 이용되기 어려운 낮은 농도의 유기 또는 일부 유기물을 섭취하고, 먹이망의 상위 생물에게 먹힌다. 해양미생물은 해수, 해양동식물, 퇴적층에 서식하는 세균, 진균류, 단세포 조류, 원생동물, 바이러스 등 작은 생명체를 총칭하나 연구대상으로는 일반적으로 세균, 진균류 및 바이러스로 그 범위를 한정하고 있다.

해양에서는 육상과는 다른 저온성, 빈영양성, 진압성, 호염성 등의 특성을 지닌 해양미생물이 서식한다.

해양미생물은 세포의 크기가 매우 작지만 분열속도가 대단히 빠른 특징을 갖는다. 그들은 해양에서 해수 중의 용존 또는 입자성 유기물질을 분해하여 CO<sub>2</sub>와 질산염 같은 무기물로 만들며 유기물이 분해되는 도중에 생성되는 암모니아를 질산염으로 변환시키는 것처럼, 인, 질소, 황화합물의 산화·환원반응을 관장한다. 또한 해수 중의 유기물과 무기물을 이용하여 번식한 미생물은 동물에게 먹이로 이용되므로, 생태계 내에서 생산자 역할을 담당한다.

해수중의 CO<sub>2</sub>는 해양식물의 광합성작용에 의해 유기물로 바뀌고, 그 유기물은 해양동물에 이용된다. 이 과정은 모두 먹이망 안에서 이루어진다. 에너지의 이동과정 중, 생물의 호흡에 의해 유기물 중 탄소의 일부가 CO<sub>2</sub>형태로 돌아간다. 질소와 인 화합물도 비슷하게 분해되어 무기물로 되며, 또 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 질산화 세균에 의해 질산염으로 바뀐다. 분해되지 않는 동·식물의 사체 등 유기물은 가라앉아 해저의 퇴적물 속에 있는 세균에 의해 분해된다.

해양고유세균은 호염성으로 최적의 성장을 위하여 염분이 필요하며, 보통 25%~4

0%의 염분농도에서 최적의 성장을 보인다. 호염성 외에 내염성 세균이 있는데 이들은 주로 연안, 특히 갯벌에 서식하고 있으며 주로 육상에서 유입된 세균들이다.

해양세균은 대부분 호기성이거나 통성 혐기성균이지만 산소가 있는 상태에서 더 잘 자라며 절대적 혐기성세균의 분포비율은 낮은 편이다. 해수에 존재하는 대표적 세균으로는 *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Flavobacterium*, *Spirillum*, *Alcaligenes*, *Hyphomicrobium*, *Cytophaga*, 방선균 등이 있다. 대부분 발견되는 해양세균은 운동성이 있으며, 75~85%가 편모를 이용하여 운동한다.

## 2) 호염성 미생물

호염성 미생물은 크게 고도호염균, 중도호염균, 미호염균으로 나눌 수 있다. 고도호염균은  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 를 필수적으로 요구하는 미생물로서 최적 염농도는 20~30%이며 붉은색의 *Halobacterium*속과 *Halococcus*속이 있고 증식속도가 대단히 적은 특징을 가지고 있다. 중도호염균의 최적 염농도는 5~27%로서 *Vibrio costicolus*과 *Pediococcus halophilus*가 있으며 증식이 비교적 빠르며  $\text{Na}^+$ 가 필수적으로 필요하기는 하지만 음이온에 대한 요구성이 다소 비특이적이다. 미호염균은 대부분 해양세균으로서 *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium* 등이 있다. 최적염농도는 2~10%로서 증식속도가 빠르고 저온에서 증식하는 특징도 가지고 있다.

### III. 재료 및 방법

#### 1. 실험장치

##### 1) 실험장치

본 연구에서는 유기물과 영양염류의 동시제거와 더불어 고기능형, 고효율형, 저동력형이며 안정적 유지관리가 가능한 간접포기형 침적생물막 여과장치(Indirectly Aerated Submerged Biofilter ; INSUB)를 이용하여 양식해수 처리에 이용하였다. 실험에 사용한 실험장치는 fig. 2와 같이 가능한 양식장에 적용이 용이하게끔 간결한 반응기 장치로 구성하였다. 반응기는 외경 100mm, 높이 800mm, 실용적 5L인 원통형 아크릴 관을 이용하였다. 내부관의 하부에는 송기공기와 반응조에 물의 흐름을 용이하게 하는 깔때기 구조로 제작하였다.

충전되어 있는 반응기 상·하부에는 분산관을 설치하여 담체가 반응기 밖으로 유실되지 않고, 주입되는 기질이 반응지역내로 원활히 유입될 수 있도록 설치하였다.

산기관 상부는 분사관보다 3~4cm 높게 제작하였으며, 유입수와 기포의 전단응력에 의한 담체의 파괴를 최소화하여 담체의 수명을 보다 길게 연장한다.

##### 2) 발포스폰지 담체

본 연구에서 사용된 발포스폰지 여재는 한번의 길이가 10mm인 정육면체인 다공질의 폴리우레탄 스폰지 담체로서 고농도의 MLSS를 고정할 수 있다. 또한 95%이상의 기공과 0.035±5의 비중을 가지고 있어 미생물이 쉽게 담체안쪽으로 침투할 수 있고 담체내부에 고정된 미생물로 유기물과 용존산소가 효과적으로 전달될 수 있으리라 사료된다. 강(1995)등에 의하면 처리수량이 10,000m<sup>3</sup>/day~ 300,000m<sup>3</sup>/day의 규모로 대용량에서, SS를 효율적으로 처리하기 위한 최적 생물막 여재로서 모래와 송이는 부적합하다고 하였으며, 자체실험에 의해 플라스틱 여재보다는 발포스폰지 여재가 효율성, 경제성, 안정성등이 뛰어나다는 연구결과를 고려해 볼때 적정의 생물막 여재가 될 수 있을 것으로 사료된다.

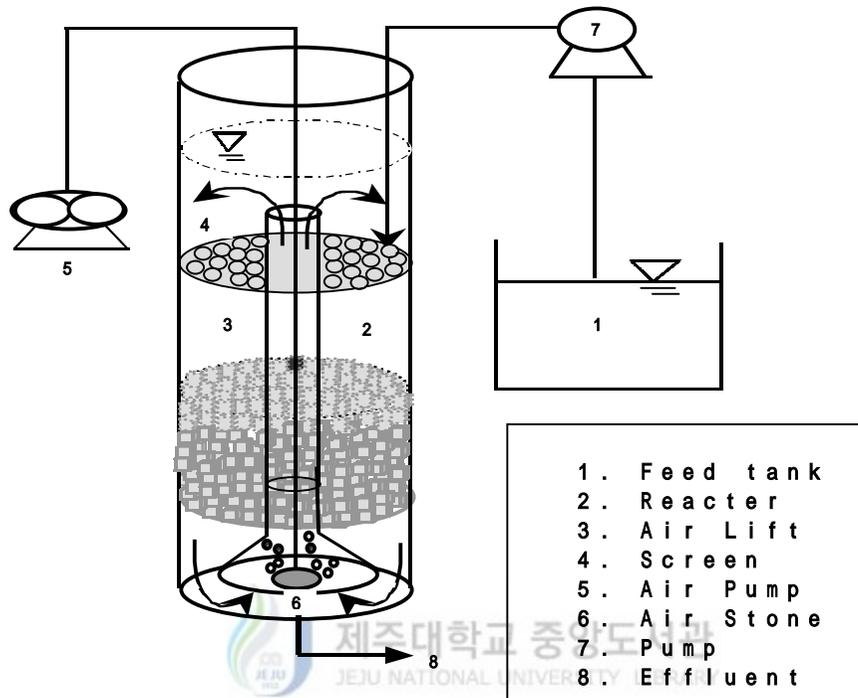


Fig. 2. Schematic diagram of experiment.

### 3) 미생물 고정화

질화 미생물의 Seeding은 미국 Energy Savers Unlimited사의 Saltwater Coralife bac-300M 일정량을 주입 시킨 후 일정기간동안 연속적으로 시료를 주입하면서 자연적으로 미생물이 발포스폰지에 부착되도록 하였다.

Seeding후의 발포스폰지의 미생물은 주기적으로 현미경을 통해 관찰하였다.

## 2. 분석항목 및 방법

### 1) 양식해수

본 실험에 이용된 해수는 제주지역의 투수성 지층에서 생산되는 수질적으로 안정되고, 양질의 특성을 갖는 지하해수를 사용하였다. 반응기 내에 유입되는 암모니아성 질소는 염화암모늄( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )을 이용하였으며, 질화에 소모되는 알칼리도의 보충을 위해  $\text{NaHCO}_3$ 를 이용하였다. 유기탄소원으로  $\text{CH}_3\text{OH}$ 를, 인성분으로  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 를 사용하였다.

Table 4. Synthetic feedstock solution

Composition	g/m <sup>3</sup>
$\text{CH}_3\text{OH}$	99
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	4
$\text{MnSO}_4$	2
$\text{NH}_4^+ - \text{N}(\text{NH}_4\text{Cl})$	13
$\text{NaHCO}_3$	as need
Salinity	32‰

## 2) 분석방법

시료는 유입·유출 지점에서 동시에 채취하였으며 pH,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ , COD, T-N, T-P, Microbes에 대하여 분석·관찰하였으며 모든 시료는 Standard method(APHA, 2000)에 따라서 분석하였다.

DO는 용존산소측정기를 이용하였고, pH는 pH meter를 사용하여 시료채취와 동시에 측정하였다.

Table 5. Analytical method and instrument.

Parameter	unit	Experimental method
pH	-	pH meter (Electrode Method, Orion )
Alkalinity	mg/ℓ	Potentiometric Titration Method(mg as CaCO <sub>3</sub> /L)
DO	mg/ℓ	DO Meter(Electrode Method, Orion )
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	mg/ℓ	spectrophotometric Method
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	mg/ℓ	spectrophotometric Method
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	mg/ℓ	spectrophotometric Method
COD	mg/ℓ	Potassium permanganate method
T-N	mg/ℓ	spectrophotometric Method
T-P	mg/ℓ	spectrophotometric Method
Salinity	‰	Salinity meter
Microbe		Olympus U-PMTVC

### 3) 실험조건



INSUB 반응기는 온도조절이 가능한 항온실에 설치하여 20±2℃에서 운전하였으며, 식중은 30일간 적용시킨후 사용하였다. 그리고 유입 tube와 유출 tube내의 scale생성에 의한 유량변동을 방지하기 위해서 주기적으로 제거하였다.

수리학적 체류시간이 암모니아 제거에 미치는 영향을 알아보기 위하여 SV(Superficial Velocity)는 15.18cm/min로 고정시킨 상태에서 수리학적 체류시간을 5, 4, 2.5, 1.25hr로 단계적으로 변화시키면서 적정의 수리학적 체류시간을 산출하였고, 반응조내의 충전율에 따른 영향을 알아보기 위해 충전율을 50, 40, 30, 20(v/v)%로 단계적으로 변화시키면서 실험을 하였다.

## IV. 결 과

### 1. HRT 변화에 따른 영향

#### 1) 질산화 효율

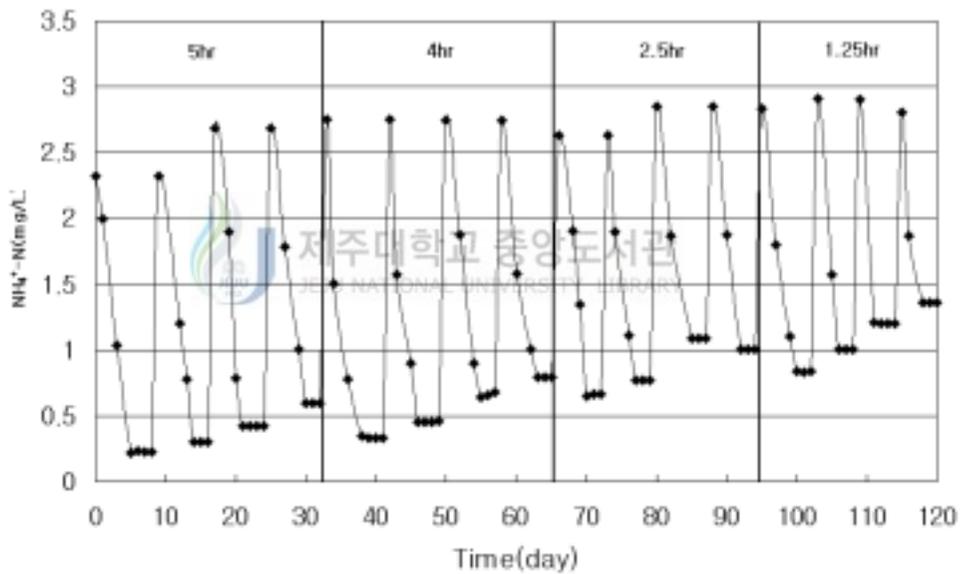


Fig. 3 The variation of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N effluent concentration during experimental period.

전 실험기간동안 암모니아성 질소의 변화를 fig. 3에 나타내었다. 실험은 먼저 HRT 5hr, 충전을 50, 40, 30, 20(v/v)%로 변화시키면서 실험하였으며, 다음에는 HRT 4, 2.5, 1.25hr로 단계적으로 변화시키면서 각 충전을 50, 40, 30, 20(v/v)%에 대해 실험을 행하였다.

대부분의 경우 정상상태에 도달하는 시간은 약 6일 이내로 나타났으며 정상상태 도달한 이후의 효율을 평가의 대상으로 하였다.

Fig. 4 ~ 7은 질산화 미생물이 고정화된 매디아를 50, 40, 30, 20(v/v)%로 충전시키고, SV(Superficial Velocity)를 15.18cm/min 으로 일정하게 유지한 조건에서 HRT를 5, 4, 2.5, 1.25hr로 변화시켰을 때 유출수의 암모니아와  $\text{NO}_x(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)$ 의 유입·유출농도 및 제거효율의 변화를 나타낸 것이다.

충전율 50(v/v)%에서 HRT에 따른 제거효율을 보면 5hr일때 90.4%로, 4hr일때 87.4% 2.5hr일때 75.2%, 1.25hr일때 71.2%, 충전율 40(v/v)%에서는 5hr일때 87.0, 4hr일때 83.2%, 2.5hr일때 70.5%, 1.25hr일때 65.5%의 제거효율로 감소하고 있다. 충전율 30(v/v)%에서는 5hr일때 84.2%, 4hr일때 73.8%, 2.5hr에서 63.2%, 1.25hr에서 57.2%로, 충전율 20(v/v)%에서는 5hr일때 77.7%, 4hr일때 71.0%, 2.5hr일때 60.6%, 1.25hr일때 51.2%의 제거율을 나타내고 있다.

그리고 각 충전율에서, HRT의 증가에 따라 생물학적 질산화의 최종생성물인  $\text{NO}_x(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)$ 의 증가경향이 모두 나타나 효율적 질산화가 일어났음을 알 수 있었다.

실험 결과로부터 HRT의 증가에 따라 암모니아의 질산화 효율이 증대되는 (+)의 상관관계를 확인할 수 있었으며 그 제거효율의 증가경향을 고려할 때 최적 HRT는 4hr 이상이 요구되는 것으로 판단된다.

Suh(1998)등이 Ca-alginate에 고정화한 질화세균을 충전한 간접폭기식 반응기를 이용하여 합성 양어장수 속의 암모니아성 질소제거 실험을 행한 Suh(1998)등의 결과에 따르면 충전율 50(v/v)%, HRT 16.0hr에서 90%의 암모니아 제거율을 나타냈으며 0.6hr일때 59%의 제거효율을 나타냈으나 본 연구에서는 그보다 짧은 5hr의 HRT에서 90%의 제거효율을 얻었다.

이러한 차이의 요인으로는 pH, DO, 알칼리도, 질소원의 성분 및 농도, 유입유기물의 성분 및 농도 등이 있는데, pH, DO, 알칼리도, 온도, 질소원의 성분 및 농도 그리고 유입 유기물의 농도는 비슷하였다. Suh(1998)등의 실험에서의 차이점은 유기물 성분이 다르다는 것이나 제거효율에서의 큰 차이점을 나타내는 요인으로는 실험기간 동안에서의 미생물 활성화 차이로 사료된다. 즉, Suh(1998)등의 실험에서는 질산화균을 하수처리장 미생물을 가지고 실험하였으며 그 미생물군에는 종속영양성미생물이

공존하면서 질산화균과의 경쟁이 발생했을 거라 사료되며, 본 실험에서는 호염성 질산화균을 별도로 식종하여 실험을 하였기 때문에 종속영양성균과의 경쟁이 상대적으로 적게 발생함으로써 질산화균의 활성도가 더 높았다고 사료된다.

따라서 육상양식장 배출수 처리에 있어 암모니아성 질소의 질산화를 위해서는 독립영양성균인 질산화균이 우점종으로 점할 수 있게 하여야 한다는 것을 알 수 있었다.



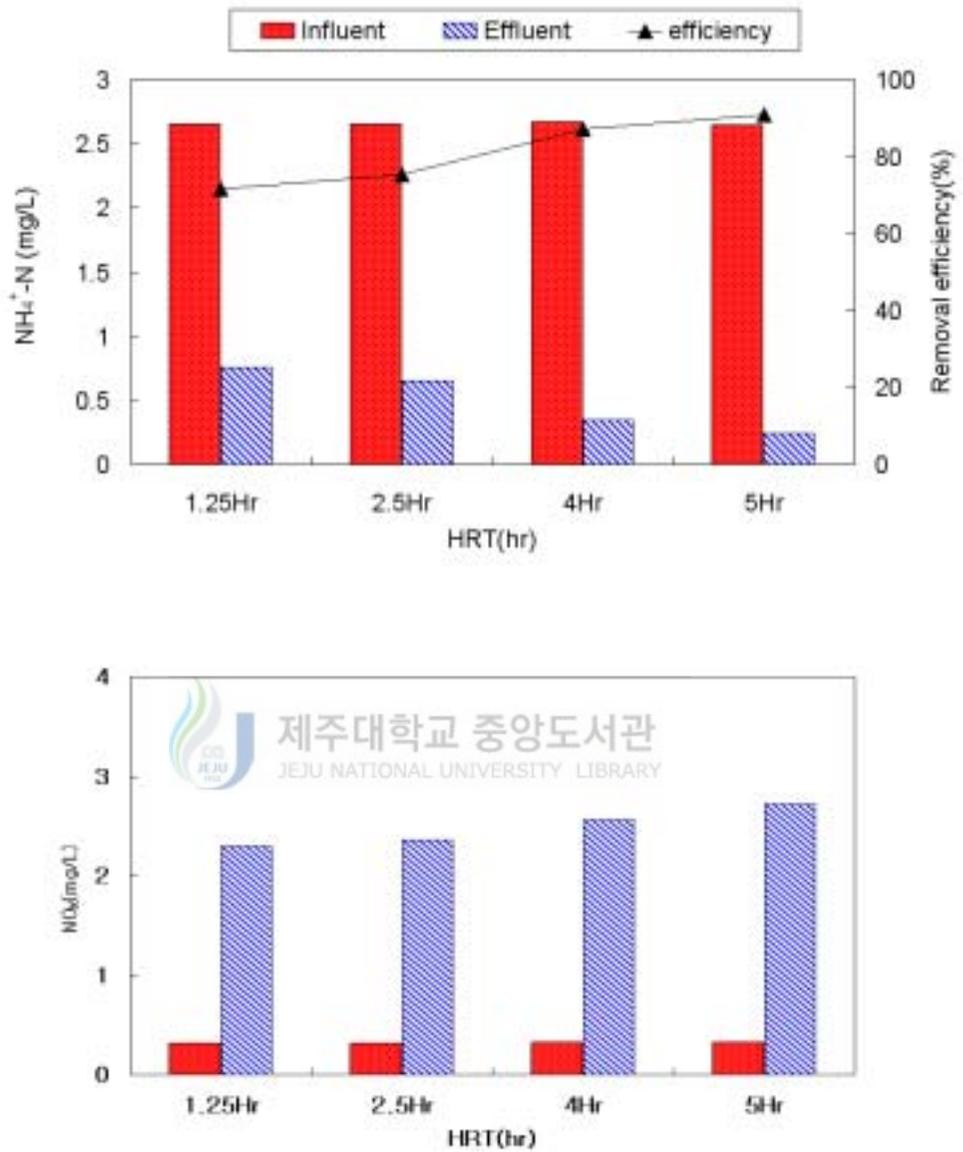
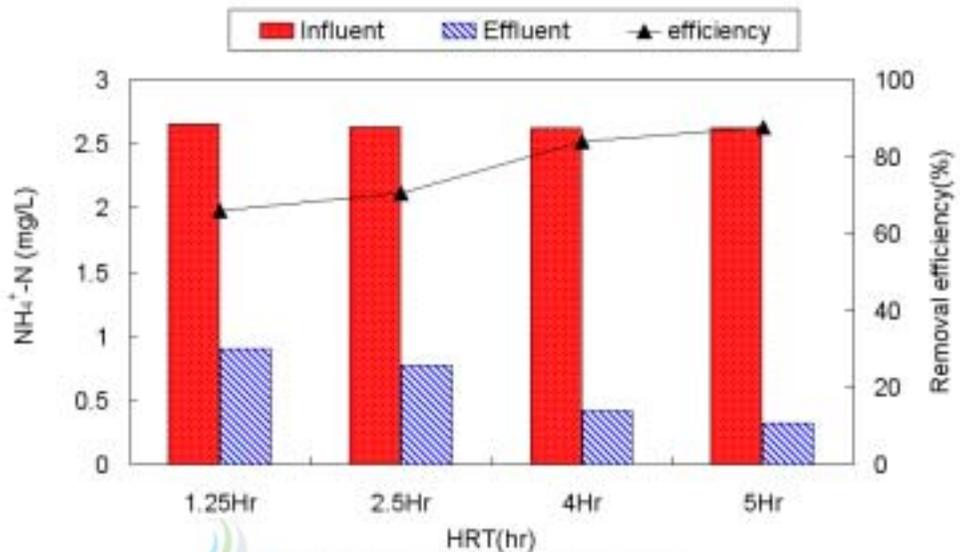


Fig. 4 Change of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and  $\text{NO}_x$  Concentration and removal efficiency with HRT(packing ratio 50(v/v)%).




 제주대학교 중앙도서관  
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

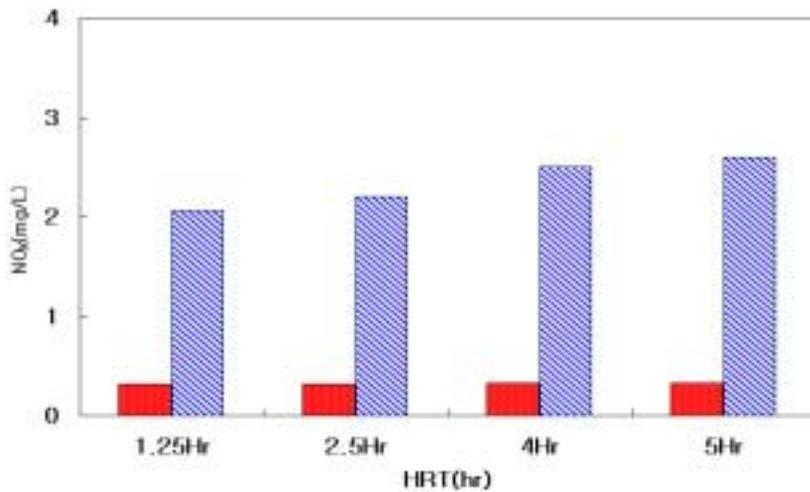


Fig. 5 Change of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_x$  Concentration and removal efficiency with HRT(packing ratio 40(v/v)%).

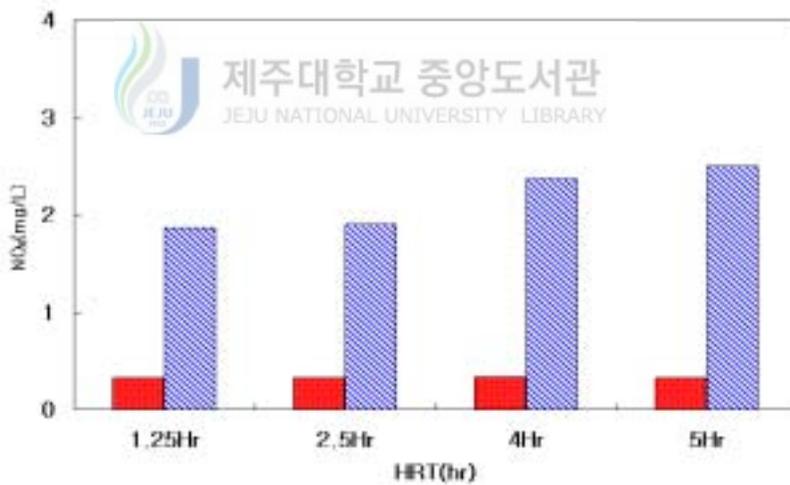
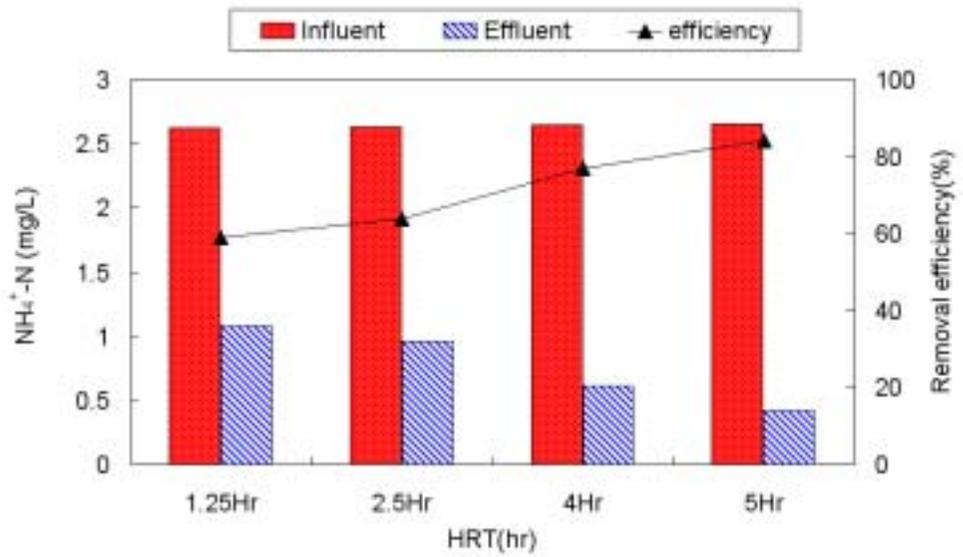


Fig. Change of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_x$  Concentration and removal efficiency with HRT(packing ratio 30(v/v)%).

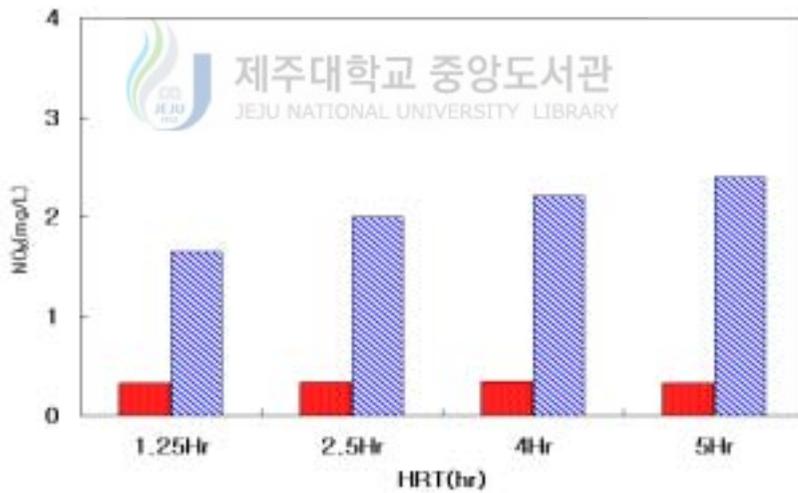
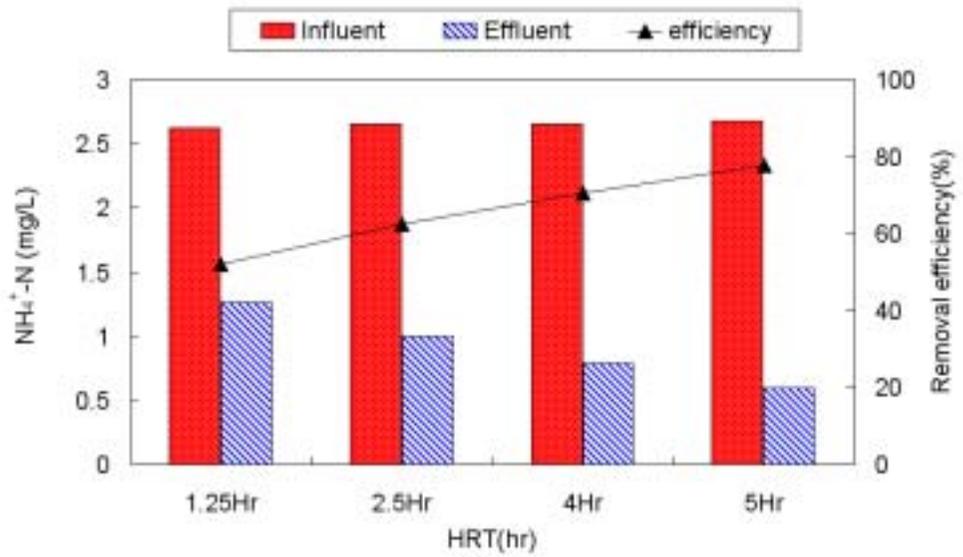


Fig. 7 Change of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and NO<sub>x</sub> Concentration and removal efficiency with HRT(packing ratio 20(v/v)%).

## 2) 유기물(COD)의 제거

HRT의 변화에 따른 유기물의 제거특성을 알아보기 위해 INSUB 반응기의 COD 유입농도를 28~33mg/L로 하고 HRT를 4단계로 변화시키면서 충전율 50, 40, 30, 20(v/v)%에 대해 각각 수행하였다.

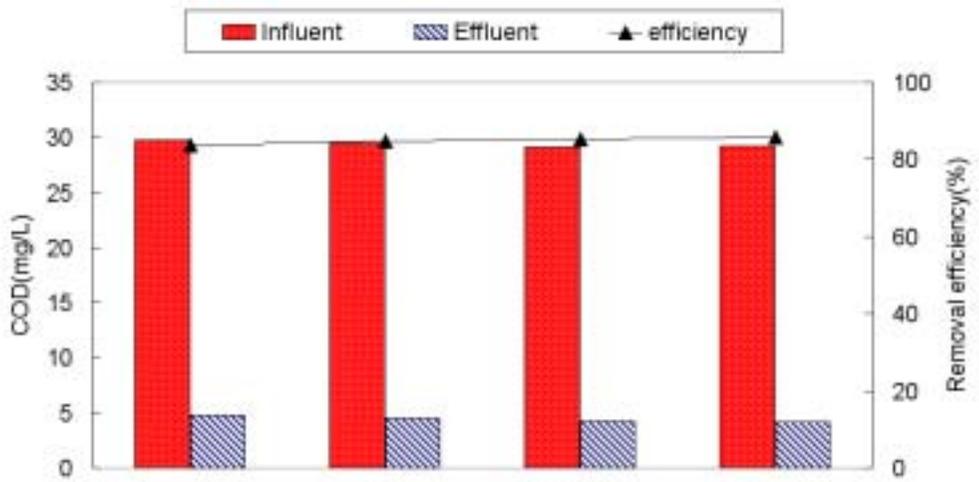
Fig. 8과 9를 살펴보면 충전율 50(v/v)%에서 HRT의 단계적 변화에 대하여 COD 제거율은 5hr일때 85.8%, 4hr일때 85.3%, 2.5hr일때 84.8%, 1.25hr일때 83.8%로 나타났다. 충전율 40(v/v)%에서는 HRT가 감소함에 따라 5hr일때 84.8%, 4hr일때 83.5%, 2.5hr일때 82.2%, 1.25hr일때 79.9%의 제거효율을 얻었다.

충전율 30과 20(v/v)%에서는 HRT 5hr일때 82.0, 77.9%를, HRT 4hr일때 78.5, 74.7%, 2.5hr일때 75.3, 72%, 1.25hr일때 71.0, 61.6%의 제거효율을 나타냈다.

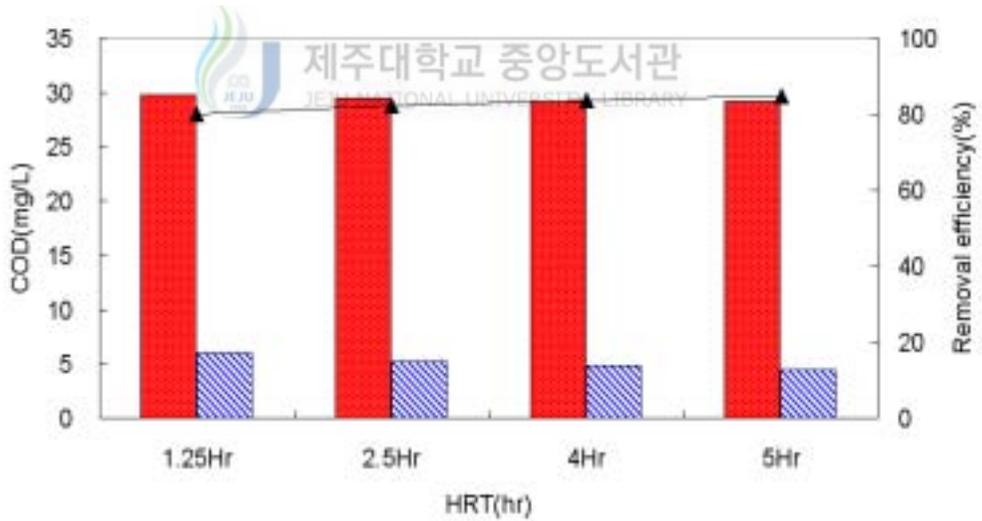
유기물(COD)제거는 각 충전율에 있어 HRT의 변화에도 크게 변하지 않고 대체적으로 높은 제거효율을 보였다.

유기물(COD)의 제거효율은 40(v/v)%이상의 충전율에 있어서는 HRT의 변화에 거의 관계없이 80%이상의 효율을 나타내었으나, 보다 낮은 충전율에서는 HRT의 증가에 따라 다소의 효율증가 경향을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로 본 INSUB에서는 암모니아의 질산화와 유기물의 고효율적 동시제거가 가능할 것으로 판단되었다.

Ariga, O.(1987)은 암모니아성 질소의 질산화에 관여하는 미생물은 Nitrosomonas속과 Nitrobacter속의 독립영양미생물로서 탄소원으로 무기탄소인 이산화탄소를 사용하므로 양어장수 속의 유기탄소를 분해할 수 없어 화학적 산소 요구량을 감소시킬 수 없다고 하였다. 본 연구에서는 암모니아성 질소의 질산화 뿐만 아니라 유기물이 동시에 제거되었는데 이러한 것은 암모니아성 질소의 질산화를 위해 식중한 미생물 뿐만 아니라 유기물을 제거하는 종속영양성 미생물이 증식하였음을 알 수 있었다. 여기서 종속영양성 미생물이 만일 질산화 미생물과의 경쟁에서 우점종으로 증식하였을 경우 질산화율이 상당히 떨어질 것이나 본 연구에서는 질산화율이 떨어지지 않는 것으로 나타나 질산화균이 우점종으로 점하였을 것으로 사료된다.

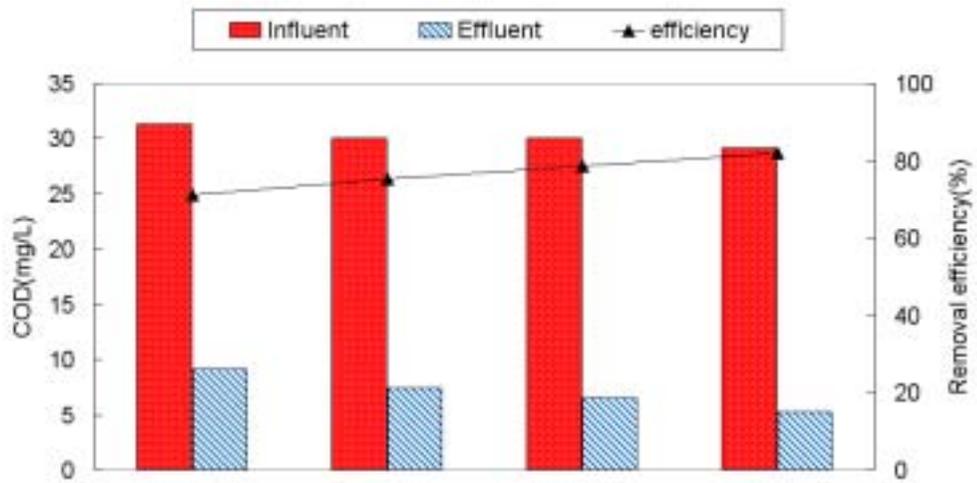


(50(v/v)%)

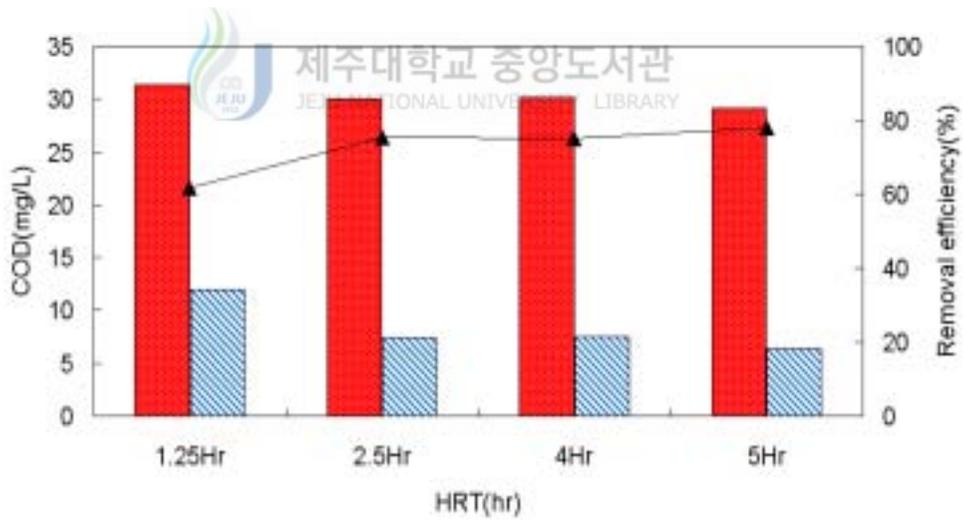


(40(v/v)%)

Fig. 8 Change of COD concentration and removal efficiency with HRT.



(30(v/v)%)



(20(v/v)%)

Fig. 9 Change of COD concentration and removal efficiency with HRT.

### 3) 인 제거 등

Fig. 10에서 각 충전율에서 HRT의 증가에 따라 T-P제거율의 약간의 증가경향을 확인할 수 있었으며, 이는 INSUB반응조의 특성상 HRT의 증가함에도 불구하고 일정한 생물량이 유지되었던 것은 생물학적 자산화(Autooxidation)에 기인된 것으로 사료되고 이에 따른 유출수 중의 T-P농도는 0.15~0.45mg/L정도로 낮게 유지될 수 있었다

질산화 과정에서 질산화 미생물의 최적 성장 pH범위는 7.5~8.5이며 암모니아성 질소의 질산화가 진행될 경우에 알칼리도의 감소가 나타나 pH가 저하되어 질산화 반응을 저해하게 된다. 그러나 본 연구에서 유입수의 pH가 7.8이며 알칼리도 80mg/L에서 실험기간중 pH의 변화나 알칼리도의 감소의 폭이 크지 않아, 추가의 알칼리도 성분의 첨가는 없었다. 여기서 1mol의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 로 질산화 되면서 1.98mol의  $\text{HCO}_3^-$ 를 소비하고  $\text{CO}_2$ (액체상태의  $\text{H}_2\text{CO}_3$ )의 Alkalinity가 소모되어진다(Bishop, 1976; EPA, 1975).

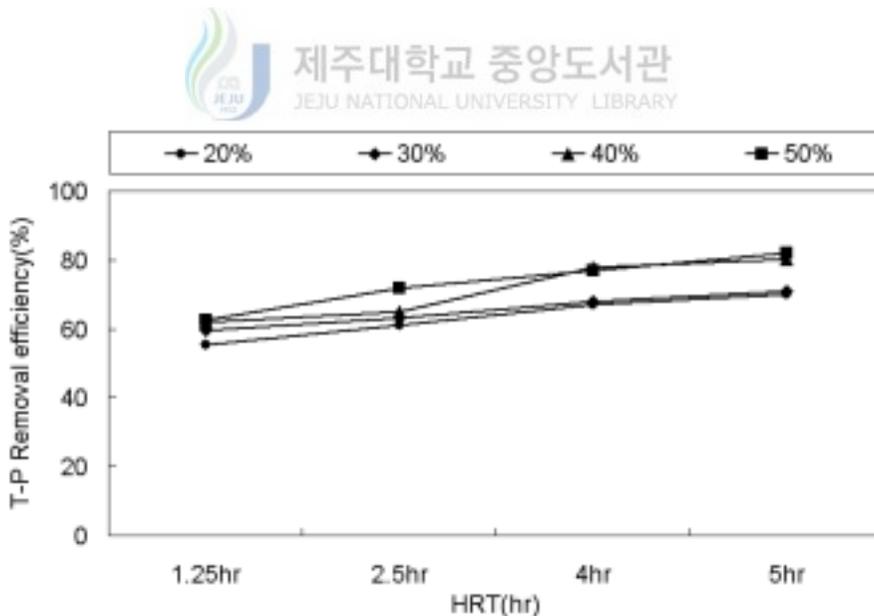


Fig. 10 Change of T-P removal efficiency with HRT.

## 2. 충전을 변화에 따른 영향

### 1) 질산화 효율

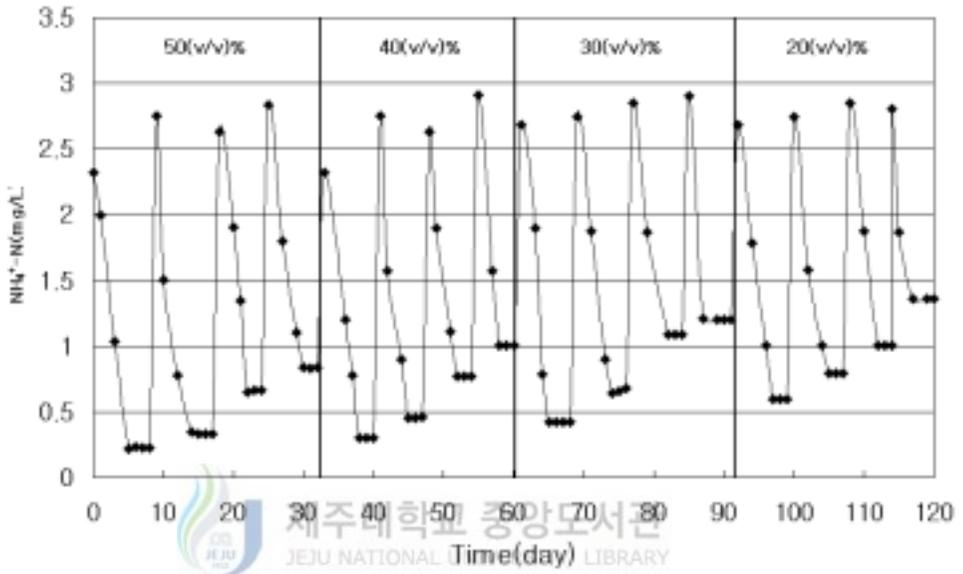


Fig. 11 The variation of  $\text{NH}_4^+$ -N effluent concentration during experimental period.

Fig. 11은 충전율에 따른 질산화 효율을 알아보기 위한 전 실험기간동안의 암모니아성 질소의 변화를 나타내었다. 실험은 충전율 50(v/v)%에 대해 HRT 5, 4, 2.5, 1.25hr로 변화시키면서 실시하였고, 다음은 각 충전율에 대해 HRT를 4단계로 변화시키면서 각각 실험을 행하였다.

정상상태에 도달하는데 걸린 시간은 약 6일정도이며, 정상상태를 확인한 후 실험을 행하였다.

충전율의 변화에 따른 암모니아의 제거특성을 알아보기 위해 충전율을 50, 40, 30, 20(v/v)%에 있어 HRT를 5, 4, 2.5, 1.25hr로 변화시키면서 나타난 암모니아 제거효율을 fig. 12 ~ 15 에 나타내었다.

충전율에 따른 제거효율을 보면 HRT 5hr에서 충전율 50(v/v)%에서는 90.38%,

40(v/v)%에서는 87.05%, 30(v/v)%에서 84.2%, 20(v/v)%에서 77.7%의 제거효율을 나타냈다.

HRT 4hr, 충전율 50(v/v)%에서는 87.5%, 40(v/v)%에서 83.2%, 30(v/v)%에서 73.8%, 20(v/v)%에서 71.0%의 제거효율을 얻었다.

HRT 2.5hr, 충전율 50(v/v)%에서는 75.2%, 40(v/v)%에서 70.5%, 30(v/v)%에서 63.19%, 20(v/v)%에서 60.6%의 제거율을 보였고, HRT 1.25hr에서는 충전율 50, 40, 30, 20(v/v)%에 대해 71.2, 65.5, 57.2, 51.2%의 제거율을 나타냈다.

충전율에 따른 암모니아 제거효율과 HRT의 변화에 따른 제거효율을 비교해 보면 충전율 변화에 따른 제거효율이 HRT변화에 따른 제거효율보다 제거율의 크게 나타났다. 또 각 HRT에 있어 충전율이 높을수록 각 충전율간의 제거효율 차이가 적었다. 이것은 충전율이 높아짐에 따라 반응기 내부의 암모니아 농도의 구배가 커져서 유출수의 암모니아 농도는 낮아지며 액의 흐름 또한 보다 이상적인 플러그 흐름으로 접근하게 되었기 때문이라 사료된다.



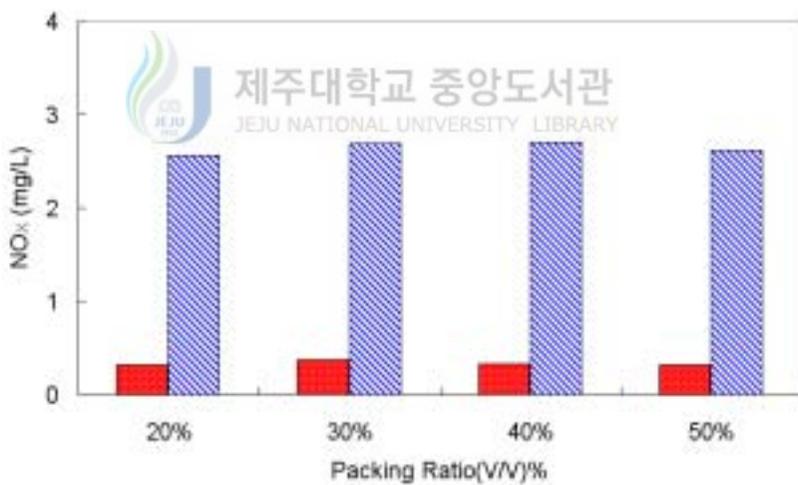
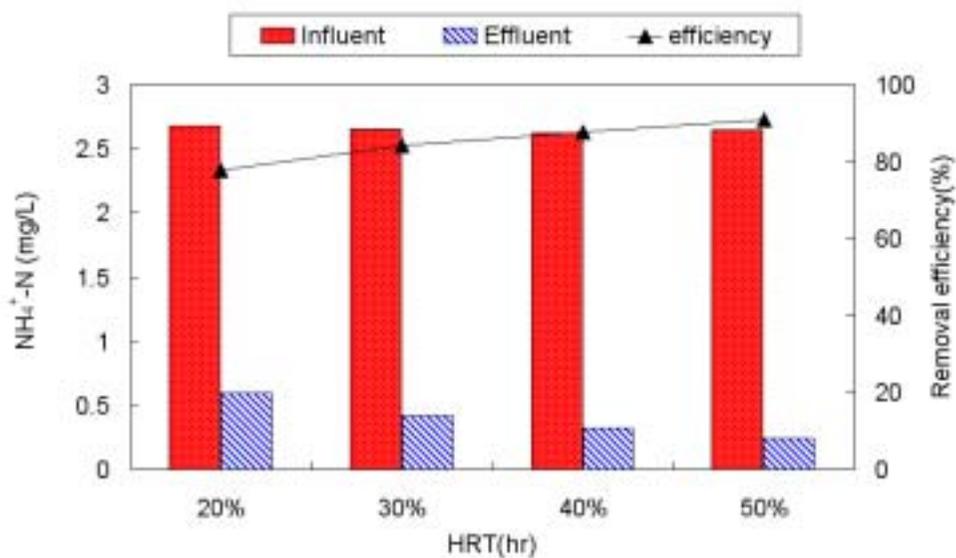


Fig. 12 Change of  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  and  $\text{NO}_x$  concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 5hr).

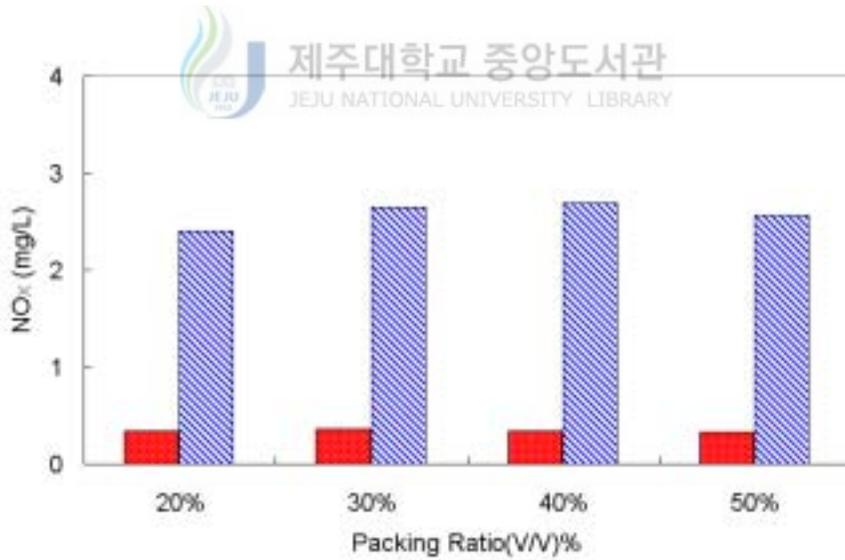
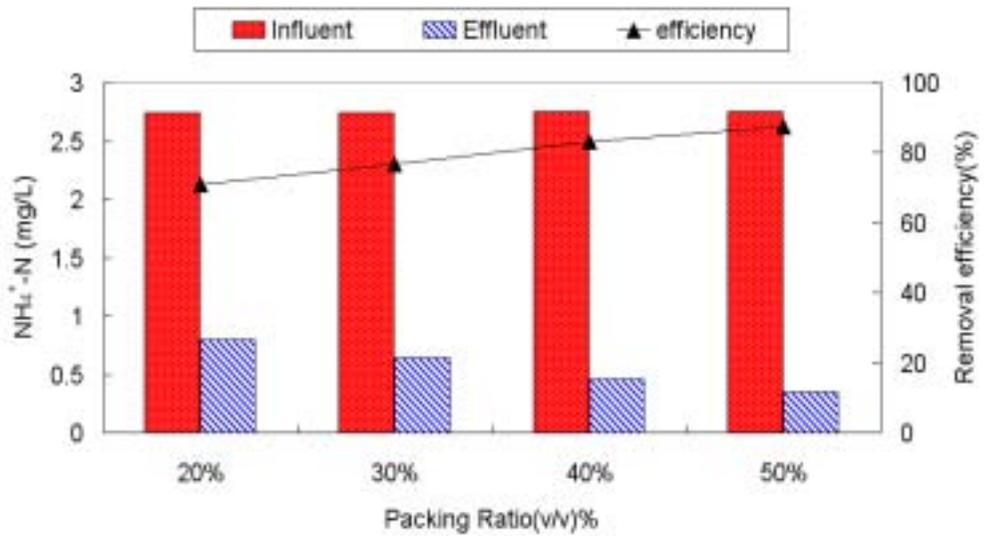


Fig. 13 Change of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and  $\text{NO}_x$  concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 4hr).

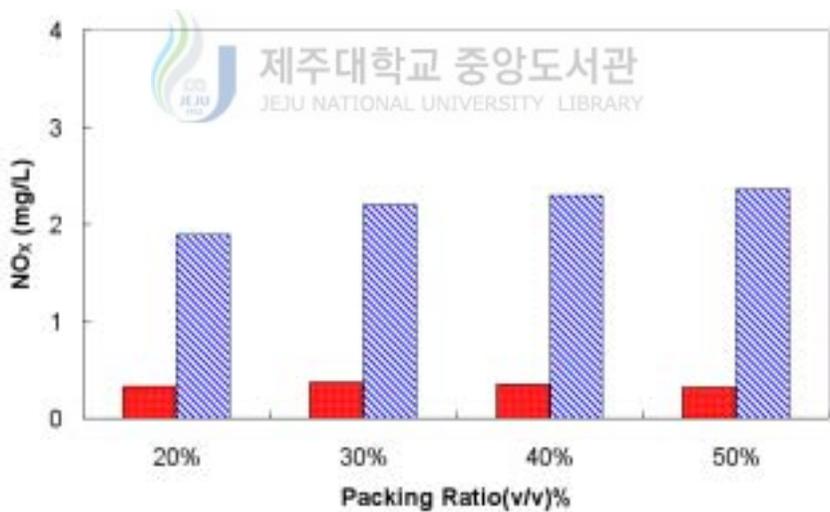
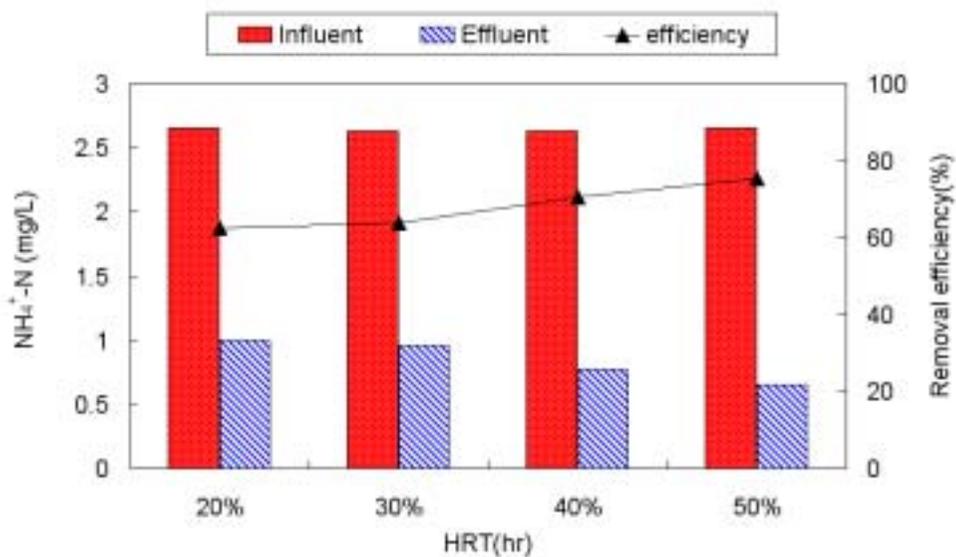


Fig. 14 Change of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_x$  concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 2.5hr).

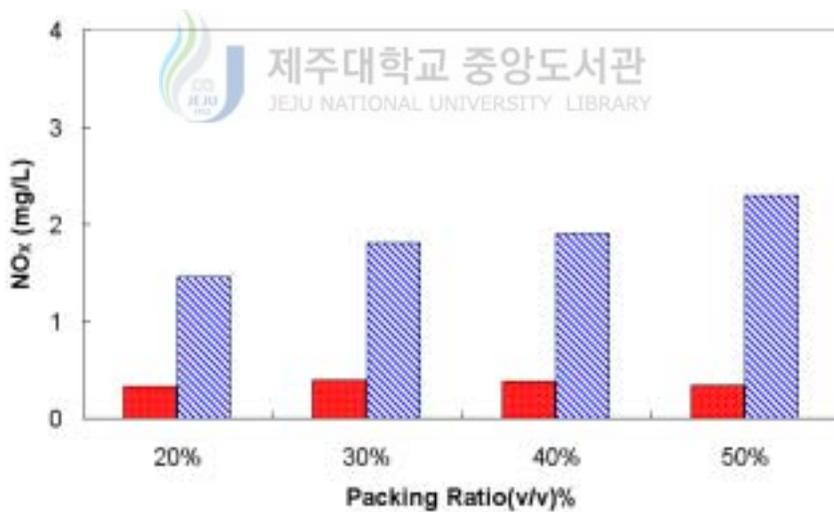
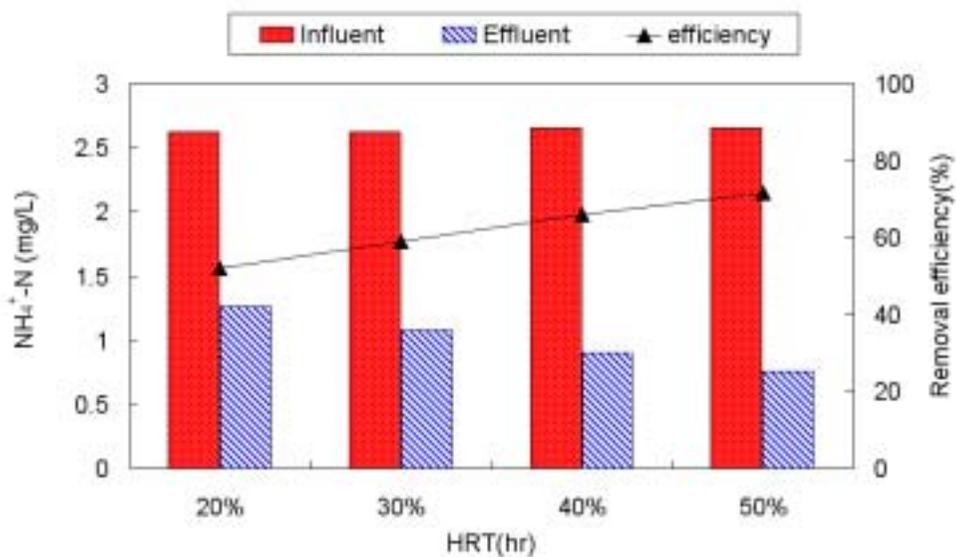


Fig. 15 Change of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_x$  concentration and removal efficiency with packing ratio (HRT 1.25hr).

## 2) 유기물(COD)의 제거

Fig. 16과 17에 충전율에 따른 COD의 제거효율을 나타냈다.

충전율에 따른 제거효율을 비교해보면 HRT 5hr에서 충전율이 50(v/v)%에서 20(v/v)%로 변함에 따라 제거효율은 85.7, 84.8, 81.9, 77.9%로 감소하였고, HRT 4hr에서는 85.3, 83.6, 78.5, 74.7%의 제거율을, HRT 2.5hr에서는 84.7, 82.0, 75.3, 72%를, 가장 짧은 HRT 1.25hr에서는 83.8, 79.9, 71.0, 61.6%의 제거효율을 얻었다.

충전율에 따른 COD의 제거특성을 보면 HRT 5, 4, 2.5, 1.25hr에서 충전율이 높을수록 각 충전율간의 제거효율 차이가 적었다. 즉 5hr의 HRT에서 각 충전율간의 제거효율차이는 0.8~4.1%인 반면, 1.25hr의 HRT에서는 3.8~9.4의 제거효율 차이가 나타났다. 이것은 암모니아 제거특성에서처럼 같은 양상으로 나타났다.

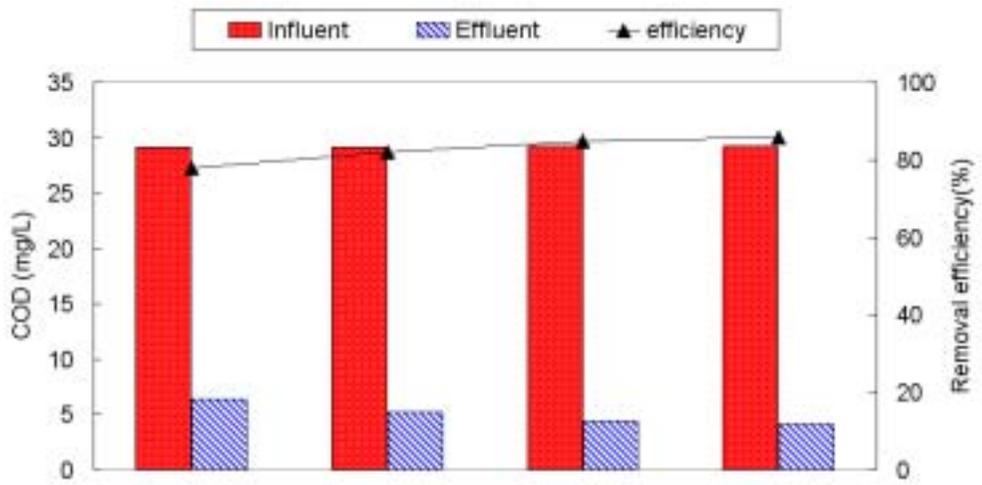
유기물(COD)의 동시제거효율은 각 충전율에 대해 HRT 5~2hr에서는 10%정도의 차이가 났으나, 1.25hr이하에서는 약 20%정도 제거효율이 감소하였는데, 이는 HRT가 감소함에 따라 유입폐수량이 증가함으로써 균체의 처리부하가 늘어난 것으로 사료된다.



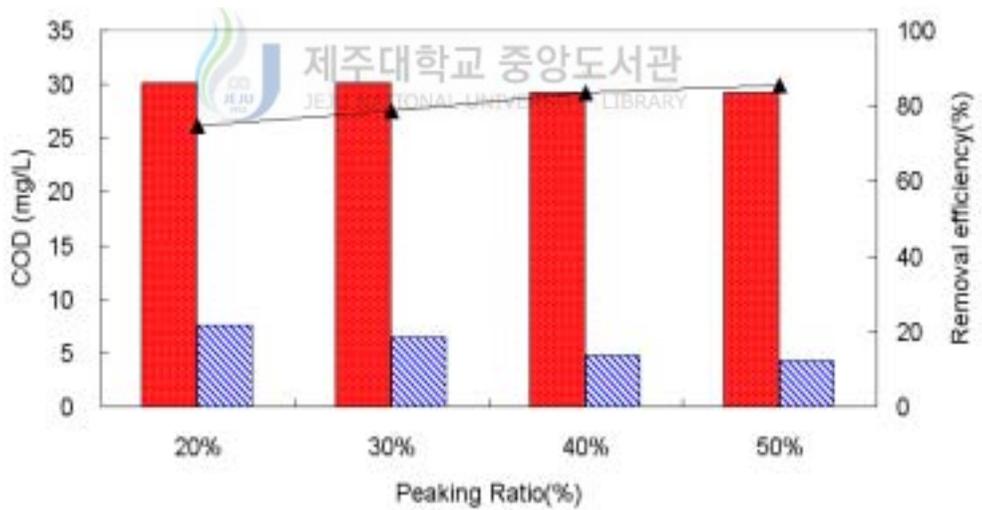
## 3) 인 제거 등

Fig. 18에서 각 충전율에서 HRT의 변화에서와 마찬가지로 각 HRT에서 충전율의 증가에 따라 T-P의 제거효율이 약간의 증가경향을 확인할 수 있었다.

그리고 INSUB의 반응기내로 유입되는 유입수의 pH와 알칼리도의 변화를 보면, 충전율의 변화에 따라 pH의 변화는 거의 없었지만, 알칼리도는 각 HRT에 대해 충전율이 높아질수록 상대적으로 높아졌다. 즉, 충전율이 높아질수록 미디어내에서의 질산화와 동시에 탈질산화가 일어남으로써 알칼리도가 상승하였을 것으로 사료된다.

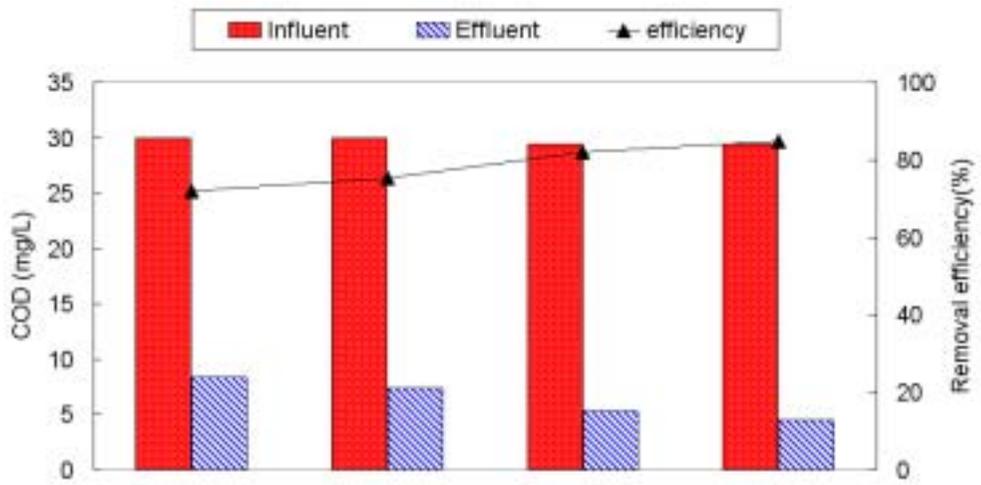


(HRT 5hr)

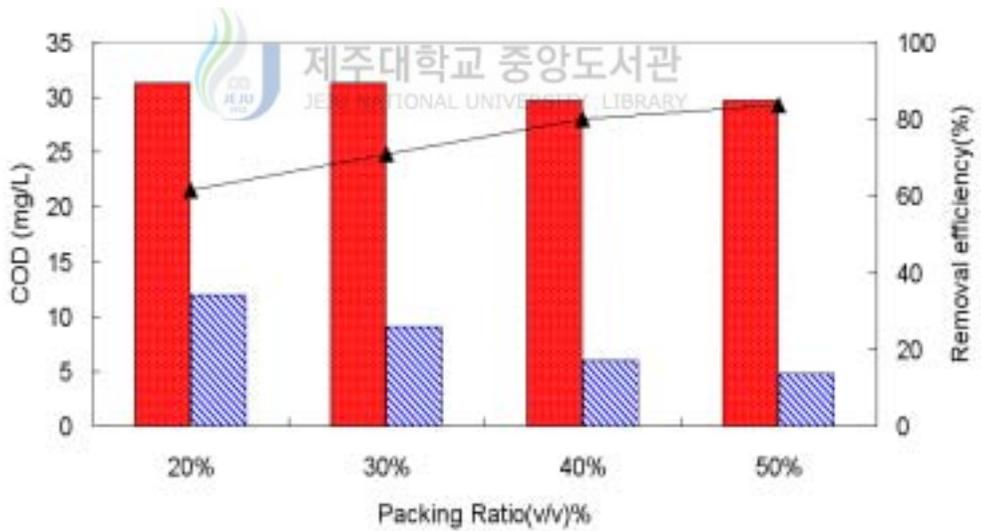


(HRT 4hr)

Fig. 16 Change of COD concentration and removal efficiency with packing ratio.



(HRT 2.5hr)



(HRT 1.25hr)

Fig. 17 Change of COD concentration and removal efficiency with packing ratio.

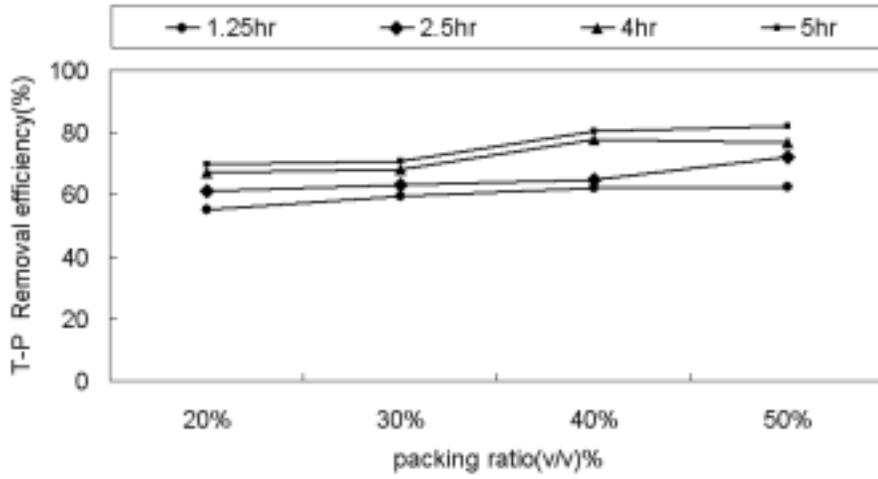


Fig. 18 Change of T-P removal efficiency with packing ratio.



### 3. 상관관계

#### 1) HRT에 따른 변화

Fig. 19는 각 충전율에서의 HRT에 따른  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 제거효율과 COD제거효율에 대한 상관관계를 나타냈다. Fig 4.17에서 보면 HRT를 5, 4, 2.5, 1.25 hr로 점차 감소시킴에 따라 미디어에 부착성장하는 질산화균과의 접촉시간이 감소하게 되어  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 COD의 제거효율도 점차 감소됨을 알 수 있었다. 그리고 최대 담체의 충전율 50%에서 HRT 5hr의 조건에서  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 COD의 최대 제거효율은 90%와 85%이었다.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 제거효율에 따른 충전율에서 HRT와의 상관관계식을 산출해 보면 50~20(v/v)%의 충전율에서  $y = 14.638\text{Ln}(x) + 69.434$ ,  $y = 17.173\text{Ln}(x) + 57.978$   
 $y = 17.173\text{Ln}(x) + 57.978$ ,  $y = 19.131\text{Ln}(x) + 50.032$ 로 나타났다.

결국, 충전율에 대하여 수리학적 체류시간에 따른  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 COD제거효율에서 산출된 상관관계식을 살펴보면, 충전율에 있어서 HRT에 따른 제거효율차는 충전율의 증가함에 따라 작아지는 경향을 나타내고 있다. 즉 충전율이 커지면 그만큼 수리학적 체류시간에 대한 영향이 적어지는 반면 충전율이 작아지면 HRT에 대한 영향이 커진다는 것을 알 수 있다.

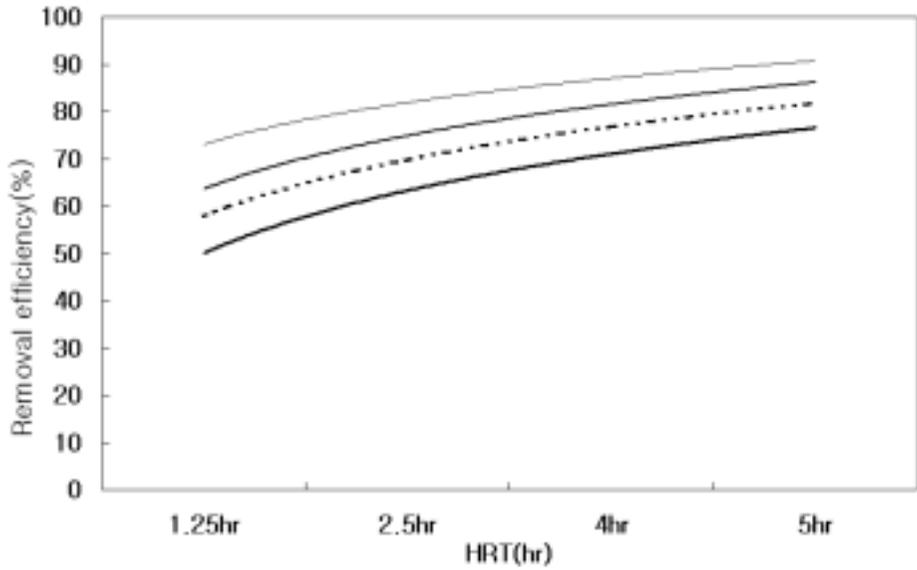
#### 2) 충전율에 따른 변화

Fig. 20은 HRT 5, 4, 2.5, 1.25hr에서의 충전율에 따른  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 제거효율과 COD 제거효율에 대한 상관관계를 나타내었다. 충전율을 50, 40, 30, 20%로 점차 감소시킴에 따라  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 COD의 제거효율도 점차 감소됨을 알 수 있었다. 그리고 최대 HRT 5hr, 충전율 50%의 조건에서  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 90%, COD는 85%의 최대 제거효율을 나타내었다.

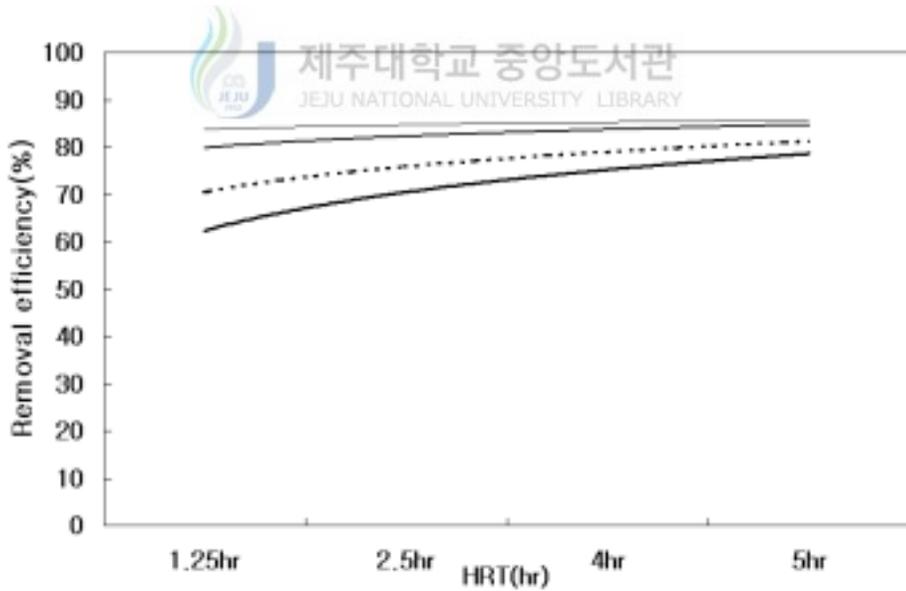
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 COD의 제거효율에 대한 충전율과의 상관관계식을 각각 산출해 보면, HRT 5hr일때  $y = 9.0315\text{Ln}(x) + 77.362$ 이며 4hr일때  $y = 11.926\text{Ln}(x) + 59.926$ , 2.5hr일때  $y = 13.384\text{Ln}(x) + 59.926$ , 1.25hr일때  $y = 15.228\text{Ln}(x) + 50.004$ 였고, COD와의 상관관계를 보면  $y = 5.8405\text{Ln}(x) + 78.011$ ,  $y = 7.548\text{Ln}(x) + 74.648$ ,  $y = 4.5287\text{Ln}(x) + 67.273$ ,  $y = 7.5247\text{Ln}(x) + 55.29$ 로 나타났다.

따라서 HRT에 대하여 충진율에 따른  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 COD의 제거효율에서 산출된 상관관계식을 살펴보면, HRT에 있어서 충진율에 따른 제거효율차는 HRT가 증가함에 따라 작아진다. 즉, HRT가 커지면 충진율에 대한 영향이 적어지는 반면 HRT가 작아지면 충진율에 대한 영향이 커진다는 것을 알 수 있었다.





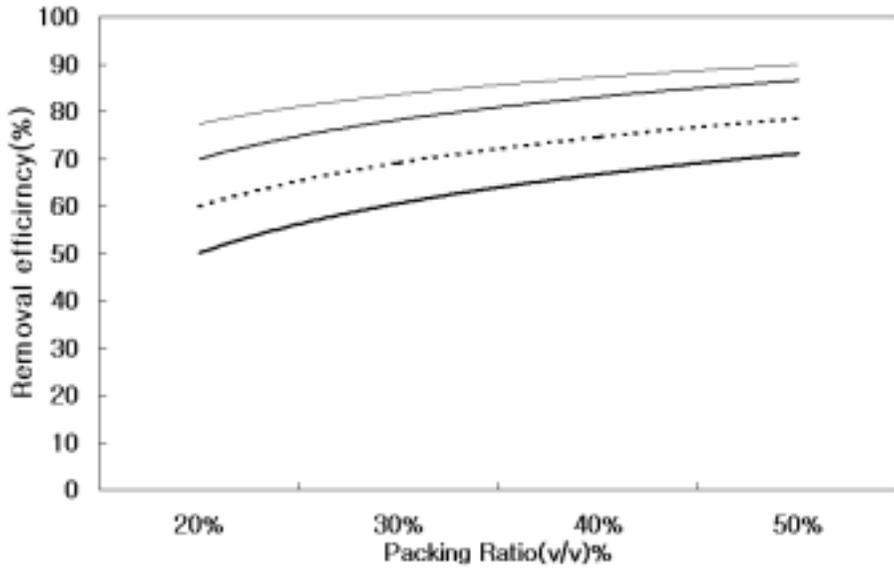
( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )



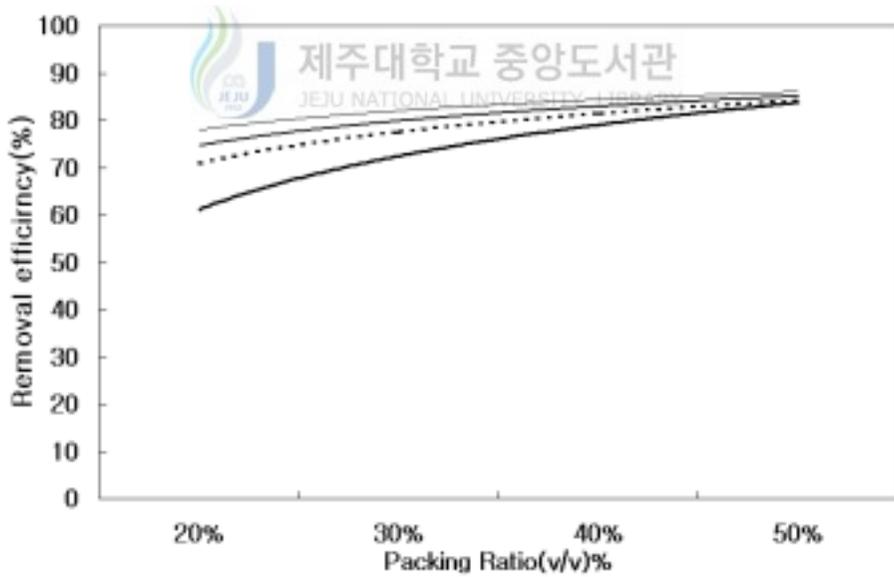
(COD)

Fig. 19 The correlation of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and COD removal efficiency with HRT during packing ratio.

( — : 50%, — : 40%, ..... : 30%, — : 20% )



( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )



(COD)

Fig. 20 The correlation of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and COD removal efficiency with packing ratio during HRT.

( — : 50%, — — : 40%, ..... : 30%, — : 20% )

#### 4. 출현미생물



Photo. 4.1. Photographs of microbial attached to media during experiment period. (Olympus, U-PMTVC)

생물막은 입자 표면에 젤라틴 형태로 부착되며, 가지형이나 선형 형태의 다당류가 중심물질인 탄수화물로 구성되고, 다양한 종들의 미생물들이 균집화된 결합체처럼 활동한다. 미생물이 흡착표면과 직접적으로 접촉되지 않고, 약간의 공극( $\sim 10\text{mm}$ )이 있지만, 이것은 사이에 높은 에너지 장벽이 있으며 세포의 폴리머가 이 장벽을 넘어서 다리 역할을 하고 있는 것으로 생각할 수 있다.

흡착표면( $0.2\sim 0.3\text{nm}$ )까지 도달한 폴리머는 매우 근거리에서 활동하는 수소결합과 이온결합 등에 의해 표면과 연결된다고 생각할 수 있다. 폴리머의 경우는 이와 같은 결합이 가능한 장소가 많이 있고 개개의 결합이 약하더라도 이러한 결합이 많이 모이면 전체적으로는 미생물의 비가역적 흡착에 충분할 정도의 강한 결합이 생긴다.

이러한 생물막을 이용하는 폐수처리 공정에서는 증식속도가 느린 미생물도 외부로 유출되지 않고 다종다양한 미생물이 증식할 수 있으므로 슬러지 연령이 길고, 슬러지의 자기산화가 촉진되기 때문에 폐슬러지의 발생량이 적으며, 다양한 미생물종이 균집을 형성함으로써 온도나 pH변동, 충격부하 및 난분해성 물질유입에 따른 대체능력이 뛰어나고, 매질에 미생물이 부착되어 있으므로 슬러지 팽화현상으로 인한 슬러지 부상 등과 같은 문제점을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있는데, Photo. 4.1은 본 실험 기간동안 Media에 부착된 미생물을 찍은 사진이다.

위의 사진들에서 알 수 있는 바와 같이 본 System에서는 다양한 부착활성미생물들이 존재하였으며, 아울러 미소후생동물(Metazoa)에 속하는 갑각강(Crustacea), 빈모강(Oligochaeta)등이 다수 존재하나 질산화미생물에 비해 상당히 적은 양이 존재하여 암모니아성 질소를 질산화시킴에 있어서 질산화 미생물이 우점종을 차지하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 본 System에서는 세균(Bacteria)류에서 미소후생동물류까지 생물균집이 다양하게 형성되어 최종 폐슬러지의 발생을 극히 저감시킬 수 있는 것으로 평가되었다.

## V. 결 론

본 연구에서 고정화에 요구되는 시간이 짧고, 담체의 강도가 크며 장기간의 사용에 대한 내구성이 크고, 고정화시 미생물에 독성이 없는 장점을 가진 발포스폰지 담체를 이용, 미생물을 고정화 시킨 후 폐수속으로 침적시키는 단일 충전층 반응기를 사용하여 호염성 미생물을 이용한 해산어 양어용수의 질산화 특성을 연구하기 위한 기초실험 연구로써 담체의 충전율과 수리학적 체류시간(HRT)의 변화에 의한 최적운전조건의 도출을 목적으로 설정한 실험실적 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. HRT의 증가에 따라 암모니아의 질산화 효율이 증대되는 (+)의 상관관계를 확인할 수 있었으며, 그 제거효율의 증가경향을 고려할 때, 최적 HRT는 4hr 이상이 요구되는 것으로 판단된다.
2. 유기물(COD)의 제거효율은 40(v/v)%이상의 충전율에 있어서는 HRT변화에 거의 관계없이 80%이상의 효율을 나타내었으나, 보다 낮은 충전율에서는 HRT의 증가에 따라 다소의 효율증가 경향을 확인할 수 있었다.
3. HRT의 변화에 따른  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 COD제거 효율에서 산출된 상관관계식을 살펴보면 HRT에 따른 제거효율차는 충전율이 증가함에 따라 작아지는 경향을 나타내고 있으며, 충전율의 변화에 따른  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 COD의 상관관계에서 제거효율차도 HRT가 증가함에 따라 작아지는 경향을 보였다.
4. 최적의 운전조건인 HRT 4hr, 충전율 40(v/v)%에서의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 COD의 유출농도 및 제거효율은 0.46mg/L, 4.80mg/L와 83.2%, 85.3%으로 각각 나타났다.

## VI. 참고문헌

- Nakasaki, K., T. Murai, and T. Aliyama (1989), Dynamic Modeling of Immobilized Cell Reactor : Application to Ethanol Fermentation, *Biotech Bioeng.*, 33, 1317 - 1323.
- Kim, J. H., D. K. Oh, Y. H. Park and D. A. Wallis (1985), Production of Penicillin in a Fluidized-Bed Bioreactor Using a Carrier-Supported Mycelial Growth, *Biotech. Bioeng.*, 28, 1838-1844.
- Matsumura, M., T. Yamamoto, P. Wang, K. Shinabe, and K. Yasuda (1997), Rapid Nitrification with Immobilized Cell using Macro-Porous Cellulose Carrier, *Wat. Res.*, 31, 1027-1034
- Zhu, S. and Chen, S (1999), An Experimental study on Nitrification Biofilm Performances using a series Reactor System, *Aqua. Eng.*, 20, 245-259.
- Kim, I. B., (1980), Pilot Scale Fish Production in Water Recycling System, *Bull, Korean Fish. Soc.*, Vol. 13, No. 4, 195-206.
- Kim, S. K., J. K. S, Lee, I. S, Kong, and K. H. Suh, (1997), Immobilization of Nitrifier Consortium for the Removal Ammonium Ion the Recirculating Aquaculture System, *J. Korean Fih. Soc.*, Vol. 30, No. 5, 816-822.
- Tanaka, H., H. Kurosawa, and H. Murakami (1986), Ethanol Production from Starch by a Coimmobilized Mixed Culture System of *Aspergillus awamori* and *Zymomonas mibilis* *Biotech Bioeng.*, 28, 1761-1768.
- Emily, J. T. M., Vitor, A. P., Kataja, C, F., Johannes, Criteria for Support Material for Cell Immobilization in Wastewater Treatment, *Water Res.*, 31, 2985-2996,
- Hashimoto, S. and K. Furukawa (1987), Immobilization of Activated Sludge by PVA-Boric Method, *Biotech. and Bioeng.*, 30, 52-59,
- EPA (Environmental Protection Agency). (1976), Quality criteria for water.

- Washington D.C.
- Losordo, T.M., R.F. Malone and S. Chen.(1992), Water quality requirements and environmental impacts of recirculating aquaculture System. Pages 1-19, In;Kisil,
- Metcalf and Eddy. (1979), Wastewater engineering treatment, Disposal, Reuse, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York.
- Nijhof, M. and J. Bonverdeur. (1990), Fixed Film Nitrification characteristics in sea-water recirculating fish culture system J. Aquaculture 87,
- Painter, H.A. (1970), A Review of literature on inorganic nitrogen metabolism in microorganism in microorganisms. Water Res. Vol. 4, 393-450,
- Phillips, M. J., M. C. M. Beveridge, and R. M. Clarke. (1991), Impact and aquaculture on water resources. pages 568-591,
- Sharma, B, and R. C. Ahlert. (1977), Nitrification and nitrogen removal. Water Research 11 : 897-925,
- Stensel, H.D., Brenner R. C., Lee K. M., Melcer H. and Rakness K. (1988), Biological aerated filter evaluation. J. envir. Engng., Vol. 114, pp. 655-671.
- Barnes, D. and Bliss, P. J. (1983). Biological Control of Nitrogen in Wastewater Treatment. pp.4-12.
- Iida, Y. and Terandish, A. (1984), Nitrogen removal from Municipal Wastewter by a Single Submerged Filter. J. Water Poll. Contrl Fed., Vol. 56, pp.251.
- Manthe , D. P.,Malone, R. F. and Kumar, S.(1984), Limiting factors associated with nitrification in closed blue crab shedding systems. Aquacultural Engineering Vol. 3, pp.119-140.
- Stensel, H. D., Brenner R. C., Lee K. M., Melcer H. and Rakness K. (1988), Biological aerated filter evaluation. J. envir. Engng. Vol. 114, pp.655-671.
- APHA, AWWA and WPCF. 1989. Standard method for the examination of water and wastewater. 17th Ed.
- Heukelekian, H. and E.S. Crosby, 1956. Sewage Ind. Wastes, Vol. 28. Grady, C.P.L and H.C.Lim. 1980. Biological waswewater treatment. New York.

- Jewell, W.J. and Cummings, R.J. (1990). Expanded bed treatment of complete recycle aquaculture system. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 22. No. 1/2. 443-450
- Nijhof, M. and J. Bonverdeur. (1990). Fixed Film Nitrification characteristics in sea-water recirculating fish culture system *J. Aquaculture* 87.
- Standard method for the examination of water and wastewater, 20th edition, American Public Health Association, APHA-AWWA-WPCF(2000)
- 서근학, 김용하, 김병진,(1999), 합성 양어장수 속의  $\text{NH}_3\text{-N}$  제거 위한 질화세균 고정화된 생물반응기 *한국화학공학회지*, 37(3), pp. 487-493.
- 김의용, (1993), 고정화 미생물을 이용한 유동층 반응기에서의 폐수처리, *생물화공*, 7(1), 85-91.
- 서근학, 김용하외 5인, 1999, PVA에 고정화된 질화세균에 의한 암모니아성 질소 제거, *한국환경과학회지*, 8(4), 479-483.
- 서근학, 김병진외 4인, 1998, 고정화된 질화 세균군에 의한 암모니아성 질소 제거, *한국생물공학회지*, 13(3), pp.238-243.
- 김성구, 서재관외 3인, 1997, 양어장수내의 암모니아성 질소제거를 위한 질화세균군의 고정화, *한수지*, 30(5), pp.816-822.
- 박선정, (1996), 생물막 공법을 이용한 양어장 순화수 처리에 관한 연구, *부경대학교 환경공학과 석사논문*.
- 김세광, 김남진외 2인, 2001, 해양성미생물을 이용한 양식장 해수중의 암모니아 제거, *대한환경공학회 2001 춘계학술연구발표회 논문집(I)*, 141- 142.
- 이민규, 서근학, 오영희, (1997), 생물막 여과반응기를 이용한 양어장 순환수의 동시 질산화 및 탈질산화 반응, *한국환경과학회지*, 6(4), 409-415.
- 박영식, 구기우, 나영수, 송승구, (1998), 미생물 고정화 담체의 물리적 특성, *한국환경과학회지*, 7(3), 269-274.
- 김인배, (1993), 순환여과식 사육수 재사용 방법에 의한 pilot 규모의 어류 양식 시험. *한국수산학회지*. Vol. 13, No. 4, pp. 195- 206.
- 김정숙. (1995), 생물막공법을 이용한 양어장 수처리에 관한 연구, *부산수산대학교 대학원 환경공학과, 박사학위논문*,
- 지영옥. (1987), 여과재에 따른 암모니아 제거효율, *부산수산대학교 대학원 수산생물*

- 학과, 석사학위논문,
- 임용승. (1993). 회전원판법을 이용한 저농도 암모니아 폐수의 질산화에 관한 연구. 부산수산대학교 대학원 환경공학과, 석사학위논문.
- 안갑환. (1993). 생물막 유동층 반응조를 이용한 호기성 폐수처리에 관한 연구. 부산대학교 대학원 화학공학과. 박사학위논문.
- 홍기택.(1987), 호기성 생물학적 유동층을 이용한 폐수처리에 관한 연구. 부산수산대학교 대학원 환경공학과, 석사학위논문.
- 이기완(1992), 생물학적 유동층을 이용한 어류양식 순환수의 처리시스템 개발, 동신대학교 공과대, 한국학술진흥재단 보고서.
- 수질오염공정시험방법, 환경부(2000).
- 허목, 강봉래, 생물막 여과법에 의한 육상수조식 양식장 배출수 처리(1), 수처리기술, 3권,2호 pp.95-105(1995)
- 강봉래. (1995), 생물막 여과법에 의한 육상수조양식장 배출수의 처리특성, 제주대학교 대학원, 환경공학과, 석사학위논문.
- 김세광. (2000), 해양미생물에 의한 합성하수중의 암모늄의 제거, 동경공업대학 종합이공학연구과 화학환경학전공, 석사학위논문.
- 이원재외 7인(2000), 해양살조세균 *Micrococcus* sp. LG-5가 생산하는 살조물질특성과 해양생물에 미치는 영향, 한국수산학회지, vol. 33, No. 4, pp. 339-347
- 김상진외 4인(1996), 해양환경미생물을 이용한 해양환경회복기술, 한국화학공학회, vol. 14, No. 5, pp. 449-456
- 해양생물의 세계 -과학총서 제4권, 한국해양연구원 (2001)

## 감사의 글

본 논문이 완성되는 동안 부족한 저에게 항상 따뜻한 조언과 격려를 항상 아낌없이 해주신 허목 교수님께 깊은 감사드립니다. 논문심사에 있어 면밀한 검토와 충고를 아끼지 않으셨던 이기호 교수님, 조은일 교수님과 학위과정동안 많은 가르침을 주신 오윤근 교수님, 허철구 교수님, 감상규 교수님, 이용두 교수님께 감사드립니다.

석사 과정동안 바쁘시지만 항상 도움을 주신 강봉래 선배님, 한지용 선배님과 항상 이론적 근거를 바탕으로 많은 가르침(?)을 주신 우리의 정신적 지주 김병현 선배님, 논문 완성동안 많은 조언을 해주신 강진영 선배님, 또한 긴 실험기간동안 짜증한번 내지않고 묵묵히 열심히 실험을 도와준 기석오빠, 성철, 창수, 동재, 상일, 현주, 경림, 수윤, 동호에게도 이 글을 빌어 고마움을 전합니다.

2년이란 짧은 시간은 석사과정동안 항상 조언을 아끼지 않으셨던 김창영 선생님, 류성필 선생님, 현성수 선생님, 문상희 선생님, 김현희 선생님 고맙습니다.

석사과정 초기부터 항상 동고동락했던 김광진, 김대경, 강기봉, 양희준, 김지용, 김현정, 양수미, 양용식 학형들과 무늬만 도움이 되는 반쪽 선배 창산이 오빠, 그리고 우리의 희경언니 감사합니다. 지금쯤 나의 감사의 글을 용의주도하게 주시하고 있는 나의 절친한 친구 효정이에게도 감사의 말을 전합니다.

그리고 마지막으로 나의 가족들!

항상 지켜봐 주신 할머니, 언니와 형부, 동생 성현이에게 고마움 마음 전하며, 지금까지 부족한 저를 끝까지 격려해 주시고 물심양면으로 도와주신 엄마, 아빠에게 이 글을 빌어 대신 감사의 마음을 전합니다.