

석사학위논문

생물막 여과법에 의한 육상
수조식양식장 배출수의 처리특성

제주대학교 대학원

해양환경공학과



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

강 봉 래

1994년 12월

생물막 여과법에 의한 육상
수조식양식장 배출수의 처리특성

지도교수 허 목

강 봉 래

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함.

1994년 12월

강봉래의 공학 석사학위 논문을 인준함.



심사위원장 오 윤 근



위 원 이 용 두



위 원 허 목



제주대학교 대학원

1994년 12월

**Treatment Characteristics of Inland
Aquaculture Effluent
by Biofilm Filtration Process**

Bong-Rae Kang

(Supervised by Professor Mock Huh)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF MARINE ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1994. 12.

---- 목 차 ----

Summary	1
I. 서 론	2
II. 이론적 고찰	4
1. 생물막 여과법의 특징	4
2. 생물막 여과법의 정화 메커니즘	6
3. 생물막 여과법에서의 미생물상	10
4. 생물막 여과법에서의 동력학	11
5. 생물막 여과법에서의 여과저항	13
III. 재료 및 방법	16
1. 여재의 물리적특성 분석	16
2. 여과 처리특성 비교실험	23
3. 현장실험	25
IV. 결과 및 고찰	27
1. 여재의 물리적특성 분석	27
2. 여과 처리특성 비교실험	29
3. 현장실험	34
V. 결 론	44
참 고 문 헌	45



Summary

The minimum temperature of the coastal waters surrounding Cheju island, even winter time, is 14°C, the highest in Korea. The average, year-round water temperature is approximately 16-18°C. Taking advantage of such natural conditions, inland aquaculture began in 1986; and, as of 1994, 96 farms were operating.

The coastal environmental contamination caused by the waste water discharged from such fish farms has surfaced as an important issue.

Accordingly, research into the application of biofilm filtration process to the treatment of water discharged from inland aquaculture has been undertaken and, as a result of examination of the effects of varying operational factors, such as processing characteristics and headloss of major pollutants, such SS, COD and nutrient salts, the following conclusions have been reached:

1. The physical characteristics of the porous plastic media used in this research represented specific gravity, 0.59; roundness, 0.73; porosity, 75.0%; permeability coefficient, 588cm/min; and specific surface area, $9.92 \times 10^3 \text{m}^2/\text{m}^3$; and that this media was the most suitable to the biofilm filtration process, as compared to sand or scoria media.
2. It has been verified through filtration characteristic comparison tests that plastic media offer the quickest filtration times, and best SS and COD removal characteristics.

-
3. A pilot biofilm filtration system utilizing porous plastic and scoria media was installed in a inland aquaculture as a field experiment. This experiment demonstrated that at a filtration rate not exceeding 400m/day, major pollutants such as SS, COD and T-N were effectively and steadily removed and, in the case of headloss limit being 1.4m, continuous filtration time was approximately 13 days.
 4. The field experiments showed no significant difference resulting from filtration rate variation with respect to the amounts of total SS and COD removed per unit filtration area during the effective filtration at different filtration rate. The total average amounts of SS and COD removed were calculated at 14.16kgSS/m² and 5.97kgCOD/m², respectively.
 5. Marine diatoms are the dominant species in attached microbial flora, with the exception of bacteria.
 6. The discharge from inland aquaculture is characterized by notable fluctuations in discharge quantity and quality; extremely low average discharge concentrations being associated with excessive discharge. It was demonstrated that the biofilm filtration system utilizing porous plastic filtration materials in clustered layers especially developed to effectively, economically and steadily process such discharge water offered outstanding field potential.

I. 서 론

제주도 주변해역은 동계라 할지라도 연안수의 최저수온이 우리 나라에서 가장 높은 14℃를 유지하고 있으며, 연간 평균수온이 16~18℃ 정도를 유지하고 있어서 이러한 자연조건을 이용한 육상 수조식 넙치 양식장이 1986년부터 건설되기 시작하여 1994년 현재 96개소 정도가 가동중에 있다.

이와 같은 육상 수조식 양식산업이 지역경제의 성장과 수산업의 발전에 기여하는 바가 큰 것이 사실이지만 양식장 배출수에 의한 연안 환경오염문제 또한 중요한 문제거리로 대두되고 있는 실정이다. 육상 수조식 넙치 양식장의 배출수는 그 수량이 막대하고, 오염물질 배출농도의 변화폭이 대단히 크다는 점 등의 제한요인들에 의하여 기존의 통상적인 물리, 화학, 생물학적인 폐수처리공법의 도입이 거의 불가능한 특성을 가지고 있다. 특히 저농도, 대용량의 부유물질을 함유하는 폐수의 고도처리에 주로 이용되는 사여과법은 모래로 여과층을 형성시켜 미세한 부유물질을 공극세공에 의해서 분리를 하는 체작용에 의한 것으로 주로 여재층에서 현탁물 입자의 응집, 흡착 등에 이은 체작용에 의한 제거나 또는 완속여과와 같이 여재에 형성된 미생물막에 의한 흡착작용 등 다양한 기구에 기초를 두고 있다.(조 등, 1992)

그러나 佐野(1979)는 압력식 사여과나 중력식 사여과에 의한 해수여과에 있어서 미소조류나 점액질이 풍부하고 유연한 물질이나 운동성이 있는 것은 여층을 통과하게 되는 것이 많고, 또한 이런 식물플랑크톤이 많은 해수를 여과하게 될 경우 역세정시에 세정이 불충분하게 되면 여층내에 泥球(Mud ball)가 형성되기 쉬워 탁질누출(Break-through) 현상이 자주 발생되고 역세빈도가 많게 되어 여과지속시간이 단축된다고 보고하고 있다.

또한 유기성 오염물질을 다량 함유한 폐수의 처리를 위해서는 생물학적 폐수처리방법이 일반적으로 적용되고 있으나 활성슬러지법으로 통칭되는 현탁중식 처리법(Suspended growth process)이나 회전원판법, 침적여상법 등의 부착 생

물막 처리법(Attached biofilm process)의 경우도 생물학적 반응속도의 한계로 인해서 본 양식장 배출수의 처리에 적용시키기에는 거의 불가능한 것이 사실이다.

그러나村上(1990)와 府中(1991)은 이와 같은 생물막법들 중에서 생물막 여과법(Biofilm filtration process)이 다른 처리법에 비해 부하변동에 강해서 BOD 부하량 1~10kg/m³·d에서 처리가 가능하며 처리수의 수질이 매우 안정하다고 보고하고 있다. 또한 山本와 長屋(1992)는 생물막 여과법이 침전지가 불필요하고 장치를 단순화 할 수 있어서 활성슬러지법등에 비해 동력비가 절약되며 자동화가 가능해 유지관리가 용이하다고 보고하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 특징을 갖는 생물막 여과법을 육상 수조식 넙치양식장 배출수의 처리에 적용시켜 SS, COD, 영양염류등의 주요오염물질의 처리특성과 손실수두등의 운전인자의 변화를 파악하여 보았다.



II. 이론적 고찰

1. 생물막 여과법의 특징

山本와 長屋(1992)등에 의하면 생물막 여과법(Biological filtration process)은 처리의 고도화 및 비용의 절감을 목적으로 개발된 처리방법의 하나로서 입상의 미생물 부착 담체를 충전한 단일 반응조 내에서 담체에 부착된 생물막에 의한 생물학적 산화와 물리적 여과를 동시에 행하는 특징을 가지고 있다고 보고하고 있다.

Characklis(1981)는 생물막은 주로 미생물과 미생물들이 분비한 고분자 섬유질로 구성되어 있는데, 섬유질이 부착성이 있고 서로 얽혀서 Glycocalyx라는 세포간질을 형성하며 세포의 효소를 간직하면서 기질을 분해 및 섭취하는 기능을 수행하기도 하며, 세포막의 표면은 전해질이고 흡착성이 강하며 기질과 환경조건에 따라 변화될 수 있다고 보고하고 있다.

그리고 생물막을 형성하고 있는 미생물 집단은 충전담체의 표면에 부착증식하면서 과도하게 증식된 부분만이 탈리 되므로, 세포 물질이 끊임없이 유출되고 반송되는 현탁증식반응조(Suspended growth reactor)에서와는 달리 고농도의 생물량의 유지가 가능하며 부하변동에의 대처능력이 탁월하고, 체류시간(HRT)과 상관없이 비증식속도(Specific growth rate)가 낮으므로 잉여 슬러지의 발생량이 극히 적은 특징을 갖고 있다. 또한 미생물 중에는 교반강도에 현저히 감수성이 높은 것이 있는데 생물막에는 이러한 영향이 적다.(洞澤, 1982; 關川, 1988)

최근의 생물막법은 Bio-technology의 활용에 의해 많은 기술개발이 이루어져 하천의 슬라임(Slime)과는 다른 부착법이 채용되고 있다. 이와 비슷한 방법으로는 기존의 살수여상법(Trickling filter process), 회전원판법(Rotating biological contactor), 침적여상법(Submerged biofilter process)등이 있으며 최근은 고도처리나 상수처리에 적용하는 쪽으로 생물막 여과법이 개발되고 있다.(김 등, 1992; 竹内와 深川, 1989; Yuhei와 김, 1992)

關川(1988)와 山田(1989)는 반응조내에서의 미생물의 농도는 담체의 비표면적에 비례하기 때문에 다른 처리방법과 비교하여 미생물농도를 높게 유지할 수 있어 BOD 용적부하 1~10kg/m³·d 정도의 고부하에서도 처리를 할 수 있다고 하고 있다. 또한 村上(1990)는 단일 반응조 내에서 생물학적 산화와 물리적 여과를 동시에 행함으로써 부유물질이 적은 청정한 처리수가 얻어질 뿐만 아니라 침전조가 불필요하므로 설치공간을 줄일 수 있다고 보고하고 있다.

2. 생물막 여과법의 정화 메커니즘

호기성 생물막에 의한 물질대사를 모식적으로 나타낸 것이 Fig <2-1>이다.(關川, 1988)

배수중의 유기물 및 질소, 인 등은 생물막에 존재하는 미생물에 의해 산소의 존재하(호기성)에 섭취된다. Fig <2-1>에서 보는 바와 같이 생물막의 반응에 있어서는 주로 영양원과 산소가 제한요인이 된다.

생물막의 성장이 계속되어 그 두께가 증대하게 되면 산소가 생물막의 내부에 침투하지 못하게 되어 혐기성 층이 형성된다. 저농도 배수처리 이외의 생물막에 있어서는 일반적으로 혐기성 층이 존재하게 된다. 이 때문에 생물막의 계속 증식하게 되면 혐기성 층이 증대하고 유기물의 혐기성분해에 의해 유기산이나 황화수소(H_2S)가 생성되어 악취가 발생되기도 한다. 그리고 이러한 분해가 진행된다면 생물막은 접착제로부터 일부 탈리되고 새로운 생물막이 형성되어 가기 시작한다.

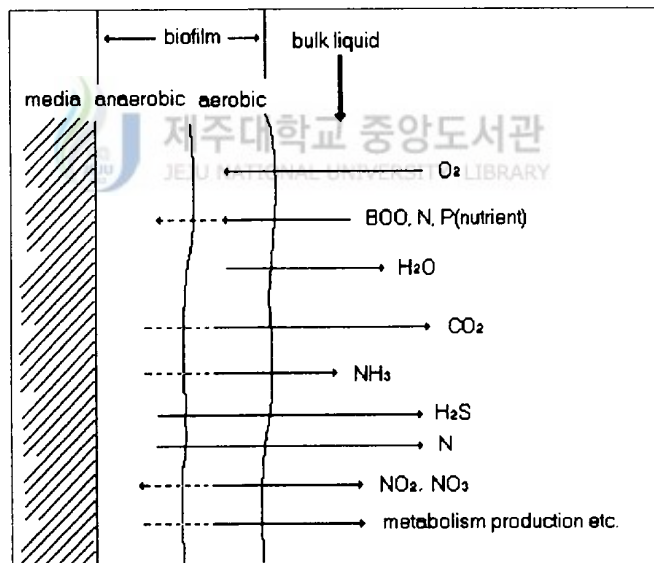
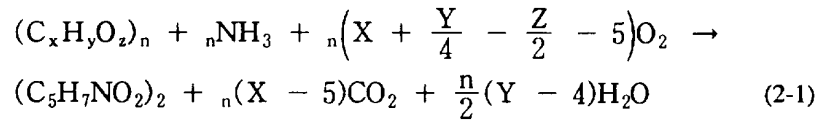
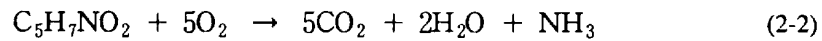


Fig <2-1> Diagram of metabolism with biofilm

호기성 생물막에서 유기물의 호기성 대사를 화학 양론적으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.(이 등, 1991)



즉 유기물과 질소화합물이 산소의 존재 하에서 미생물체와 탄산가스, 물을 생성한다. 그리고 증식된 미생물은 영양원이 부족하게 되면 다음과 같이 미생물 자신을 산화시키는 내생호흡을 하게 된다.

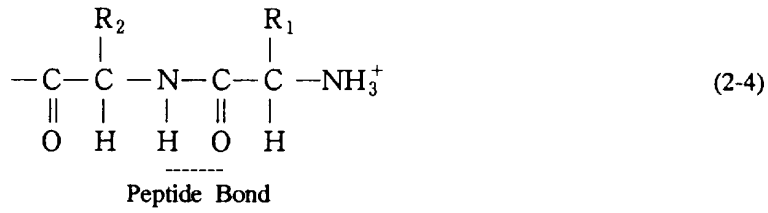


암모니아의 제거는 다음과 같다.(Benefield, 1980)

단백질이 분해된 유기질소는 암모니아성 질소의 잠재적인 근원으로 유기물 질의 대사동안에 일어나는 탈아민(Deamination)반응이 암모늄 이온을 방출하게 된다. 단백질은 펩티드 결합으로 형성된 아미노산으로 구성되는 고분자 유기화합물이다. 아미노산은 1개의 분자 중에 Amino기와 Carboxyl기를 동시에 갖는 화합물로서 다음 식으로 나타낸다.

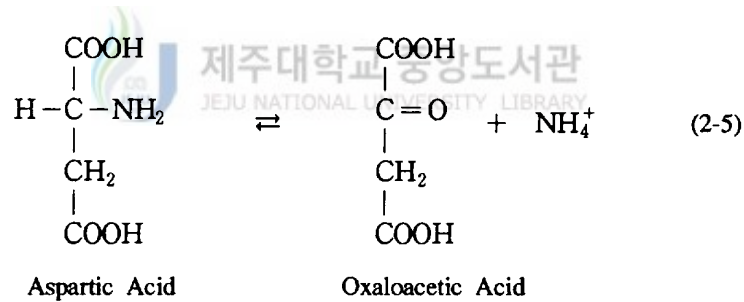


여기서 R은 알킬기로 수소(Amino acid glycine에 의한)나, CH₂SH(Cysteine) 혹은 17탄소로 구성되는 화학기이다. 단백질을 형성하기 위하여 다음과 같이 펩티드 결합을 한다.

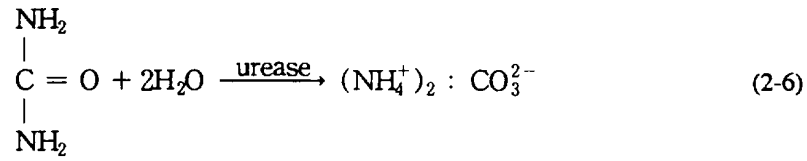


펩티드 결합은 어떤 아미노산의 α-카르복실기와 다른 아미노산의 α-아미노기와 축합반응에 의하여 형성되는데 분해되면서 생물의 에너지원으로 사용된다. 단백질은 프로테올리틱 효소(Protease)의 영향하에서 가수분해되어 아미노산의 성분으로 된다.

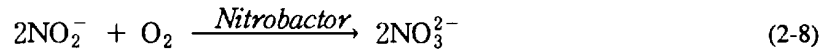
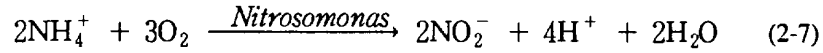
생성된 아미노산은 탈아민화되어 식 (2-5)와 같이 암모늄 이온을 방출하게 된다. 일반적으로 단백질산화에서 부산물의 하나가 암모늄 이온이다. 따라서 단백질을 함유하는 폐수의 생물학적 안정화에는 필연적으로 폐수속의 암모늄 이온이 존재하게 되므로 암모니아성 질소나 산화된 형태의 질소화합물인 아질산성 질소나 질산성 질소로서 측정 될 수 있다.



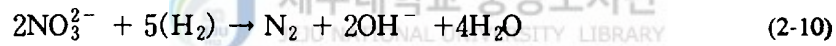
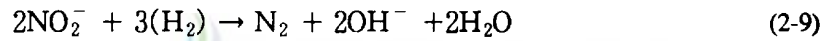
인간과 같은 고등동물은 체내의 암모늄성 폐기물을 요소의 형태로 배출한다. 몸 밖의 요소는 우레아제(Urease)효소가 촉매로 작용하는 반응 속에서 단시간 내에 가수분해되어 탄산 암모늄(Ammonium carbonate)으로 된다.



이러한 반응으로 생성된 암모늄은 식 (2-7), (2-8)과 같이 혐기성 상태에서의 생물학적 산화반응에 의해 질산화(Nitrification) 과정을 거쳐 NO_3^{2-} 로 된다.



이와 같이 생성된 NO_3^{2-} 는 다시 혐기성 상태에서 *Pseudomonas*, *Micrococcus* 등과 같은 탈질균의 작용으로 식 (2-9), (2-10)과 같은 반응에 의해 N_2 로 대기 중으로 방출된다.



3. 생물막 여과법에서의 미생물상

활성슬러지법에 있어서는 비증식속도가 작은 생물(통상 비증식속도가 0.3~0.5/day 이하의 생물)은 씻겨 내려가 슬러지 중에 증식할 수가 없는데 생물막에는 폐수의 체류시간에 관계없이 *Nitrosomonas* 및 *Nitrobacter*와 같은 비증식속도가 상당히 작은 생물들도 생육이 가능하다. 또한 교반강도에 감수성이 있는 생물도 증식이 가능하므로 활성슬러지법보다 다양한 생물종을 형성하고 안정된 생태계가 구성되어 있으므로 부하변동에 강한 특성을 갖는다.

생물막 여과법에서 미생물상은 ①여막면형(Filter film type) 생물 ②중간형(Intermediate type) 생물 ③비여막형(Non film surface type) 생물로 분류할 수 있다.

여막면형 생물로는 *Vorticella*, *Carchesium*, *Epistylis*, *Opercularia* 등의 고착성 생물로서 일반적으로 저부하이며 처리수질이 양호한 경우에 출현한다.

중간형 생물로는 *Aspidisca*, *Litonotus*, *Stylonychia* 등의 유영성 생물로서 여막면형 생물보다 고부하 조건에서 처리수질이 나쁠 때에 나타난다.

비여막면형 생물로는 *Paramecium*, *Colpidium*, *Glaucoma* 등으로 고부하로 인하여 수질이 나쁜 경우 출현한다. 일반적으로 편모충류(*Bodo*, *Oikomonas*, *Manas* 등)는 고부하로서 처리수질이 나쁠 때에 다량으로 출현한다. 또 근족충류(*Amoeba*, *Arcella* 등)는 저부하인 때에 출현하는 경우가 많다.(김 등, 1992)

4. 생물막 여과법에서의 동력학

Eckenfelder(1981)는 가-1차 근사방정식(Pseudo-first order reaction)으로서 비유기물 제거속도에 근거한 방정식을 전개하였다.

$$-\frac{1}{\bar{X}} \cdot \frac{dS}{dt} = KS \quad (2-11)$$

여기서 $(1/\bar{X})(ds/dt)$: 비유기물 제거속도 [g/MLSS·day]

ds/dt : 유기물 제거속도 [g/m³·day]

K : 속도상수 [m³/MLSS·day]

S : 유기물 농도 [g/m³]

이 식을 정리하여 적분을 하면

$$\int_{S_0}^{S_t} \frac{dS}{S} = -K\bar{X} \int_0^t dt \quad (2-12)$$

여기서 K : 속도상수

\bar{X} : 평균 미생물 농도 [g/m³]

S_t : 접촉시간 t 시간 후의 유기물 농도 [g/m³]

S_0 : 여과상에 부하된 유기물 농도 [g/m³]

$$\frac{S_t}{S_0} = e^{-K\bar{X}t} \quad (2-13)$$

또한 평균 미생물 농도 \bar{X} 는 충전물의 비표면적 A_v , 즉 총 부피당 표면적에 비례한다. 따라서

$$\bar{X} \approx A_s \quad (2-14)$$

여기서 A_s 는 비표면적이고, 여과상에 대한 평균접촉시간 t 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$t = CD/Q_L^n \quad (2-15)$$

여기서 t : 평균 체류시간[min]

D : 여과상의 깊이 [m]

Q_L : 단위 표면 부하 [m³/day·m²]

C, N : 실험상수

식 (2-14), (2-15)를 식 (2-13)에 대입하여 상수 K 와 C 를 결합하면 식 (2-16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{S_t}{S_0} = e^{-KA_s D/Q_L^n} \quad (2-16)$$

여기서 S_t : 여과상 유출수의 유기물 농도 [g/m³]

S_0 : 여과상 유입수의 유기물 농도 [g/m³]

K : 속도상수

A_s : 충전재의 비표면적 [m²/m³]

D : 여과상 깊이 [m]

Q_L : 단위 표면적 부하[m³/day·m²]

n : 상수, 충전재를 통한 흐름 특성에 좌우되며 보통 0.59~0.67정도 이다.

5. 생물막 여과법에서의 여과저항

여과저항 h 는 여과지의 여과시간을 결정하는 중요한 인자로서 현탁물 억류량의 증가와 함께 증가하는데 이러한 여과저항을 나타내는 식으로는 Leva와 Kozeny carman의 식을 기초로 하고 있다. 여과저항의 기초이론인 Kozeny carman 식은 다음과 같이 나타낸다.(井出, 1980; 강, 1982; 김, 1993)

$$\frac{h}{h_0} = \frac{k'}{k_0} \left(\frac{\phi_0 D_0}{\phi D} \right)^2 \left(\frac{1 - \varepsilon_0 + \sigma}{1 - \varepsilon_0} \right)^2 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 - \sigma} \right)^3 \quad (2-17)$$

여기서 h_0 : 초기 여과저항(m)

k_0 : 초기 여과저항계수(-)

ϕ_0 : 초기 여재형상계수(-)

D_0 : 청정 여재의 입경(m)

h : 폐색여층의 여과저항(m)

k' : 폐색여층의 여과저항계수(-)

ϕ : 폐색여층의 여재형상계수(-)

D : 폐색여층의 여재입경(m)

σ : 비퇴적량(-)

ε_0 : 청정 여층의 공극율(-)

그러나 실제의 여과저항은 각 여과저항식으로부터 구한 여과저항 값보다 작은 값을 나타낸다. 이것은 여층에서 현탁물이 여과 초기에는 여재표면에 균일하게 부착하지만 시간이 경과될수록 공극율이 감소되기 때문에 실유속이 빨라지

게 되므로 현탁물이 여재 입자에 부착하기가 어렵게 되어 여과저항은 서서히 증가하게 된다.

그리고 이 식에서 k, D, ϕ 를 실제 구하는 것이 불가능 하므로 청정 여층의 여재입경과 폐색여층의 여재입경과의 비 $f = k/k_0(\phi_0 D_0/\phi D)^2$ 를 수식화하기 위한 f 와 σ 의 관계를 나타내기 위해 여과속도, 응집제 주입량, 유입수 탁도 등을 변화시켜 조사한 결과가 Fig <2-2>이다.(강, 1982; 김, 1993)

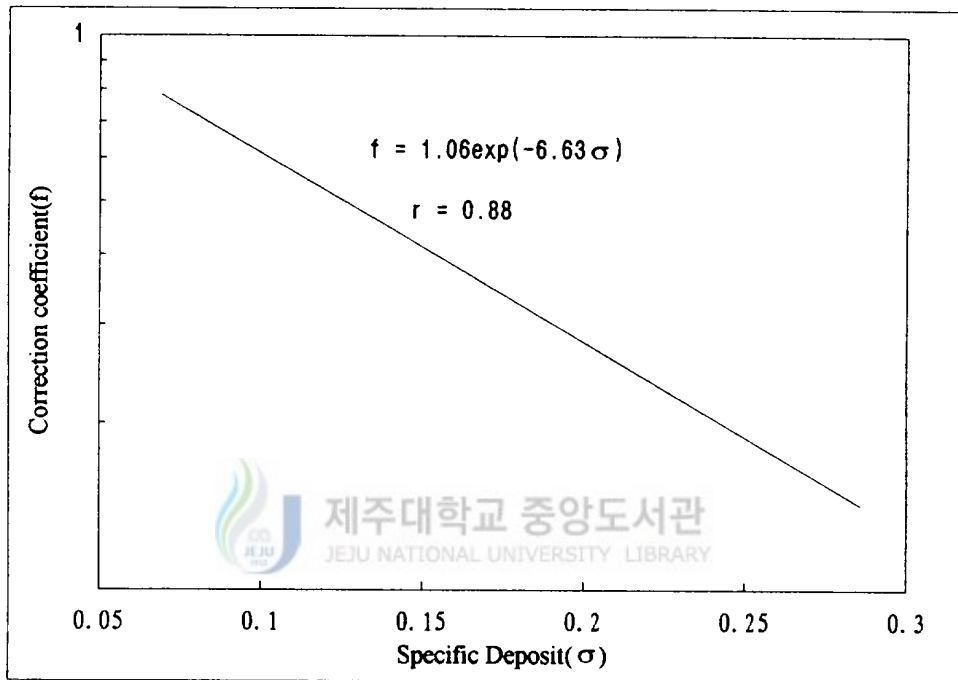


Fig <2-2> Correlation of correction coefficient(f) and specific deposit(σ)

이 그림에서 보면 f 값은 여과속도, 유입탁도, 여재입경, 여층두께 등에 관계 없이 식 (2-18)과 같이 나타낼 수 있어 강(1982)과 김(1993)은 이 식을 여과저항 보정계수라 하고 있다.

$$f = a \cdot e^{-b\sigma}, a = 1.06, b = 6.63 \quad (2-18)$$

여기서 비퇴적량 σ 는 다음식에 의해서 구할 수 있다.

$$\sigma = \varepsilon_0 - \varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{v}{v_0} \quad (2-19)$$

여기서 ε_0 : 초기 공극율(-)

ε : 공극율(-)

v_0 : 여과속도(m/day)

v : 실여과속도(m/day)

그러므로 폐색여층의 여과저항 식은 여과저항 보정계수를 대입하여 다음 식 (2-20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{h}{h_0} = 1.06 e^{-6.63\sigma} \left(\frac{1 - \varepsilon_0 + \sigma}{1 - \varepsilon_0} \right)^2 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 - \sigma} \right)^3 \quad (2-20)$$



III. 재료 및 방법

1. 여재의 물리적특성 분석

생물막 여과법에 의해 양식장 배출수를 정화하는데 있어서 주의할 점으로서 해수에서는 미생물의 활성도가 담수에 비해서 떨어지며, 미생물막의 부착강도가 담수에 비해 약해서 미생물 담체로부터 탈리하여 유출되기가 쉽다는 점이 있다. 따라서 육상 수조식 넙치양식장 배출수 중의 저농도의 부유 입자상 물질 및 용해성 유기·무기오염물질을 생물막 여과법에 의해 효율적으로 처리하기 위해서는 이와 같은 문제점들에 충분히 대응할 수 있는 적절한 여재를 선정하는 것이 필요하며 그 선정 조건은 다음과 같이 정리될 수 있다.(竹内, 1989; 佐野, 1979)

- ① 여과속도가 빨라야 한다.
- ② 내부여과에 의해 여상의 면적이 작아야 한다.
- ③ 여상의 역세척에 의한 여상세정이 용이해야 한다.
- ④ 수리학적 압력손실이 적어야 한다.
- ⑤ 생물막 부착표면이 가능한 한 커야 한다.
- ⑥ 용해성 오염물질(영양염류 등)의 효율적 처리가 가능하여야 한다.

따라서 이러한 조건을 가지는 최적 여재를 선정하기 위해 기존의 사여재(Sand)와 제주도산 송이(Scoria)여재와 플라스틱여재(日本 ダイワ工業(株)製)를 대상으로 각 여재의 공극율, 투수계수, 밀도 등의 각종 물리적 특성을 분석하여 보았다.

1) 사여재, 송이여재의 공극율 측정

사여재와 송이여재의 공극율의 측정은 Fig <3-1>과 같은 방법으로 하였다.(日本土木學會, 1964) 우선 메스실린더에 물을 일정량 채운 다음(h_1) 그곳에 기포가 생기지 않도록 주의하면서 일정량의 모래를 투입한 후 수위를 기록하여(h_2 , h_3) 식 (3-1)로 공극율을 계산하였다.

$$\varepsilon = \frac{\text{액체체적}}{\text{담체체적} + \text{액체체적}} = \frac{h_2 - (h_3 - h_1)}{h_2} \quad (3-1)$$

여기서 ε = 공극율

2) 플라스틱여재의 공극율 측정

플라스틱여재의 공극율은 Fig <3-2>와 같은 방법으로 측정했다. 우선 Fig <3-2>에 나타낸 것과 같이 실린더에 물을 충전한다(h_1). 그리고 플라스틱여재도 실린더에 충전 한 후(h_2) 조금 윗부분에 부피를 알고 있는 체(Sieve)를 설치한다 (h_3). 이 체는 실린더에 물을 채울 때 여재가 수면 아래에 있도록 고정시키는 역할을 한다. 그 후 실린더의 물을 여재가 들어있는 실린더에 채운다(h_4)

$$\varepsilon = \frac{(h_1 + h_2) - (h_4 - h_3)}{h_2} \quad (3-2)$$

여기서 ε = 공극율

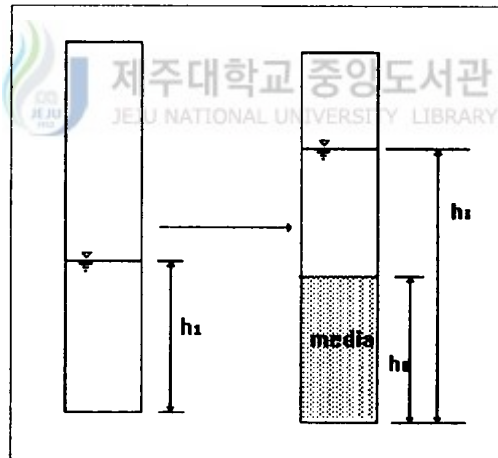


Fig <3-1> Determination of porosity with sand and scoria media

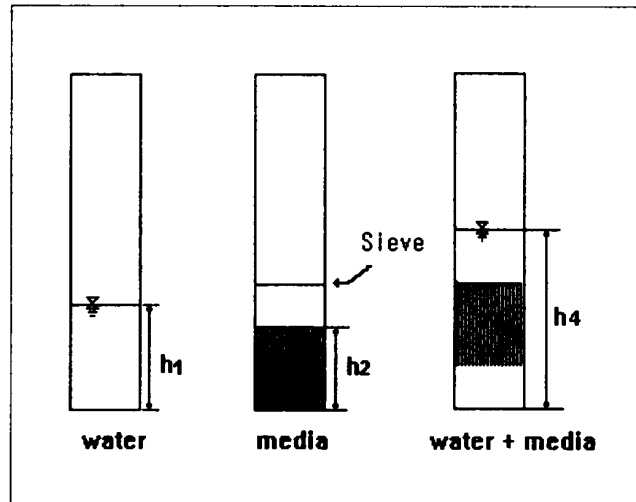


Fig <3-2> Determination of porosity with plastic media

3) 여재의 원형도

본 연구에서 사용한 각 여재는 부정형이라고 말할 수 있다. 그러므로 여기에서는 형상을 나타내는 지표로서 원형도를 구하기 위해 현미경으로 여재 입자의 사진을 촬영했다. 이 사진으로부터 여재 입자의 주변길이(L) 및 면적(S)을 측정하였다. 여재 입자의 원 상당직경(D_e)은 입자의 투영면적과 같은 면적을 갖는 원의 직경이다

$$S = \pi \times \frac{D_e^2}{4} \quad (3-3)$$

S = 사진에서 측정한 면적(mm²)

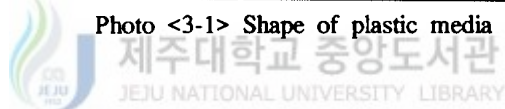
따라서 식 (3-3)에서 D_e 를 구하는 것이 가능하다. 여재 입자의 원형도는 다음 식에서 정의하고 있다(沈, 1987)

$$\text{원형도}(\phi) = \frac{\text{입자와 같은 투영면적을 가지는 원의 장직경}(\pi \times D_e)}{\text{실 입자의 투영윤곽길이}(\ell)} \quad (3-4)$$

원형도는 완전한 원의 경우에는 1이 되고, 정방형의 경우에는 0.886이 된다. 결국 형태가 원형에서 벗어날수록 작은 값이 된다. 여재의 형상을 사진 <3-1>에 나타냈다.



Photo <3-1> Shape of plastic media



4) 여재의 투수계수 측정

플라스틱여재는 그 형태가 부정형이라 단순하게 비표면적을 측정할 수 없다. 그래서 투수계수를 구해 이 결과를 가지고 산출한다. 비교적 큰 입자의 투수성의 높은 재료의 투수계수는 정수위 실험에 의해서 구한다. 정수위 투수실험은 일정한 직경과 높이를 가진 여재층 중에 일정의 수위차에 의해서 일정 시간 내에 침투하는 수량을 측정하는 실험이다. 이 결과로부터 식 (3-5)에 의해서 투수계수를 산정 한다.(沈, 1987)

$$k_1 = \frac{Q}{A \times T} \times \frac{Z}{h} \quad (3-5)$$

- 여기서 k_1 = 수온 T°C일 때의 투수계수(cm/min)
 A = 여과관의 단면적(cm²)
 Z = 여층깊이(cm)
 h = 유입, 유출단면의 수위차(cm)
 T = 투수량을 측정한 시간(min)
 Q = 시간 t(min)내에 있어서 투수량(cm³)

입자의 비표면적 측정 방법으로는 투과법에 의한 Kozeny carman식을 사용하여 비표면적을 구했다.

$$V = \frac{\epsilon^3}{K_c S_0^2 (1 - \epsilon)^2} \times \frac{\rho g h}{\mu Z} \quad (3-6)$$

투수계수와 관계는 식 (3-7)과 같게 된다.

$$k_t = \frac{\epsilon^3}{K_c S_0^2 (1 - \epsilon)^2} \times \frac{\rho g}{\mu} \quad (3-7)$$

- 여기서 K_c : Kozeny 정수(-)
 S_0 : 여재의 단위체적 당 비표면적(m²/m³)
 μ : 물의 점성계수(g/cm/sec)
 ρ : 물의 밀도(g/cm³)
 V : 공탑유속(m/day)
 h : 손실수두(cm)
 Z : 여층깊이(cm)
 ϵ : 공극율(-)

Carman은 $K_c = 5.0$ 로 가정하여 이 식을 사용하고 있다. 그리고 Kozeny carman 식에 공극율을 대입해서 비표면적 S_0 을 구하는 것이 가능하다.

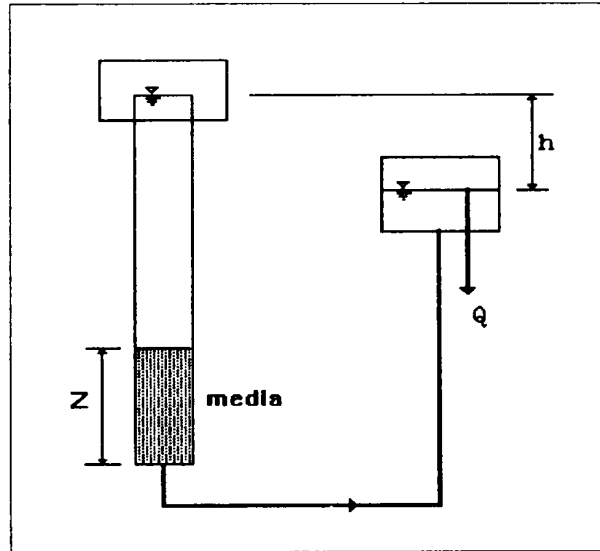


Fig <3-3> Determination of water permeation

5) 여재의 밀도 분석

우선 여재를 1kg정도를 건조기에서 105~110℃로 약 3시간정도 건조시킨 후 테시케타에서 방냉한 것을 사용하여 다음 순서로 측정했다.(日本土木學會, 1964)

- ① 잘 건조한 피크노메타에 증류수를 가득 채워 마개를 한 후 넘친 물은 깨끗한 가제나 티슈페이퍼로 잘 닦고, 이 물을 가득 채운 피크노메타의 질량을 천평으로 정확히 측정한다.
- ② 잘 건조된 여재를 15g정도 칭량한 후 피크노메타에 투입하고 가볍게 흔들어 기포를 제거한다.

- ③ 피크노메타를 진공장치의 감압실에 넣어 여재간극 사이의 기포가 더 이상 나오지 않을 때까지 탈기한다.
- ④ 기포가 나오지 않게 되면 피크노메타에 증류수를 가득 채워 마개를 하고, 넘친물을 잘 닦은 후 이 시료와 물이 가득찬 피크노메타의 질량을 천평으로 측정한다.

여기서 여재밀도는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\rho_s = \frac{M_s \cdot \rho}{M_s + M_a + M_b} \quad (3-8)$$

- 여기서 M_s : 피크노메타에 투입한 여재의 질량(g)
 M_a : 물을 가득 채운 피크노메타의 질량(g)
 M_b : 물과 여재를 채운 피크노메타의 질량(g)
 ρ : 물의 밀도(g/cm³)



2. 여과 처리특성 비교실험

기존의 사여재와 제주산 송이를 이용한 하향류 방식과 다공질 플라스틱여재를 이용한 상향류 방식에 의한 각 여재별 여과 처리효율을 비교분석하기 위한 기초실험으로서 양식장 배출수를 분석하여 이와 비슷한 SS농도를 가지는 인공원수(평균 SS농도 20ppm)를 제조하여 사용하였다.(佐野, 1987) 인공원수의 제조는 넓치 양식장용 MP사료를 사용하였으며 실험기간 중의 수온은 상온으로서 15℃~20℃정도가 유지되었다.

실험장치는 Fig <3-4>와 같으며 여과조는 내경 5cm의 투명 아크릴관을 사용했고 각 여층의 깊이는 80cm이다. 여과방식은 자연유하식으로 분배조를 사용하여 일정하게 수두를 유지시켰으며 유출 밸브로 여과속도를 조정한 후 고정하는 감쇄여과방식으로 실험하였다. 여재로는 입경이 2.38~4.57mm인 플라스틱여재와 사여재 그리고 송이여재를 사용하였고, 사여재와 송이여재는 하향류방식, 그리고 플라스틱여재는 비중이 물보다 가볍기 때문에 상향류 방식으로 여과를 하였다.

여과속도는 급속여과와 비슷한 200m/day에서부터 400m/day, 500m/day로 증가시켰으며, 200m/day의 여과속도에서는 압력 손실수두가 0.6m에 이르는 시점에서 실험을 종료 하였고, 400, 500m/day에서는 압력손실수두가 0.6m에 이르면 역세를 한 후 연속적으로 여과를 지속하였다. 역세방법은 공기압축기를 사용하여 최초에 공기 세정만을 행하고 완전히 배수시킨 다음 다시 공기와 물을 같이 이용하여 여층의 완전세정을 도모하였다.

그리고 각 여재별 여과 처리효율을 비교분석하기 위한 분석항목은 SS, COD로 하고 분석방법은 수질오염공정시험법(1992)에 따랐으며 유입수와 유출수를 비교 분석하였다.

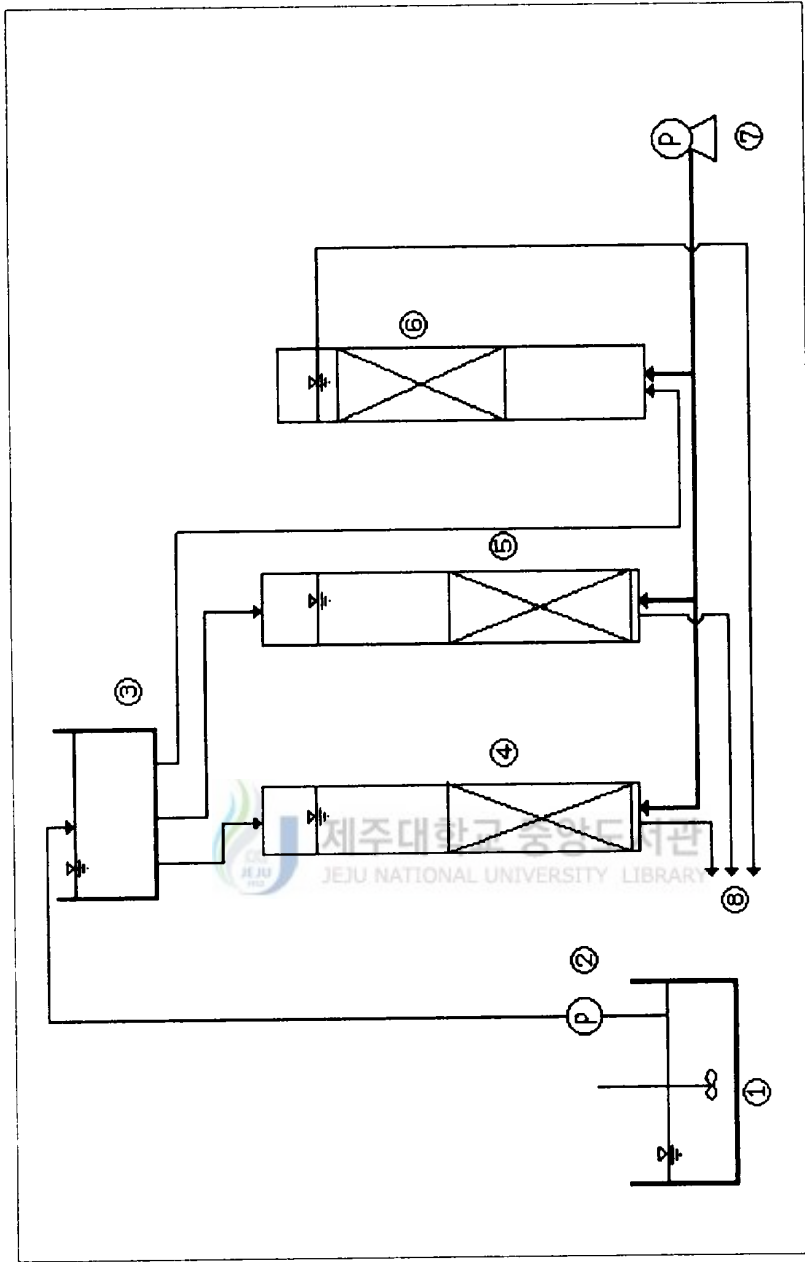


Fig <3-4> Schematic diagram of apparatus to test on the filtration characteristics
 ①Raw water tank ②Feed pump ③Distribution tank ④Downflow, Sand bed
 ⑤Downflow, Scoria bed ⑥Upflow, Plastic bed ⑦Air Pump ⑧Effluent

3. 현장실험

다공질 플라스틱여재의 현장 적응도를 파악하기 위하여 Pilot scale의 실험장치를 제작하였다. 실험장치는 Fig <3-5>와 같으며 내경 10cm의 투명 아크릴관으로 여과조를 제작하여 현재 넙치양식장으로 가동중인 대정읍 소재 양식장에 설치하였다.

배출수 중의 유기성 오염물질의 제거와 질소산화물의 질화·탈질을 효과적으로 행하기 위해 3단계 여층으로 구성하였는데 각 여층의 깊이는 80cm로 1단계 여층은 플라스틱여재를 이용한 상향류 방식으로 부유 입자상 오염물질의 제거를 주 목적으로 하였으며 2, 3단계 여층은 송이를 사용하여 질소산화물의 부분적인 질화·탈질을 목적으로 하였다.(Jaap, 1990)

처음 수주간은 생물막(Biofilm)의 형성을 빠르게 하기 위하여 100m/day 이하의 저속으로 여과를 행하였다. 원수의 DO농도는 7mg/l 이상으로 유지되므로 충분하다고 사려되어(조, 1985) 폭기는 하지 않았고 수온은 18℃~25℃정도가 유지되었다.

역세는 압력손실 수두가 1.4m정도에 이르렀을 경우에 공기 압축기를 사용하여 실시하였는데, 여과조 안의 물을 1/5정도만 배수시킨 상태에서 공기세정을 약 1분간 행한 다음, 배수하고 다시 공기와 물을 이용해서 약 2분간 세정하고 배수 하였으며 1회에 총 10분정도가 소요되었다. 다만 본 실험기간 중에는 1단계 여층인 플라스틱 여재를 사용한 상향류 여과조만 상기방식에 의한 역세를 실시하였고 2, 3단계의 송이 여층은 본 실험기간 중 여층폐색이 일어나지 않았으므로 역세를 실시하지 않았다.

실험결과와 도출을 위한 수질분석은 실험개시 후 일간 배출수의 처리효율의 변화가 안정되어 정상상태에 이르렀다고 판단되었을 때부터 실시 하였으며, 그 분석항목은 SS, COD, 영양염류(T-N, T-P)등으로서 수질오염공정시험법에 의해 분석하였고, 시료수의 채취전 매일 여층의 손실수두를 측정하였으며, 여재에 부착된 미생물상은 현미경(OLYMPUS BH2)으로 검경을 하였다.

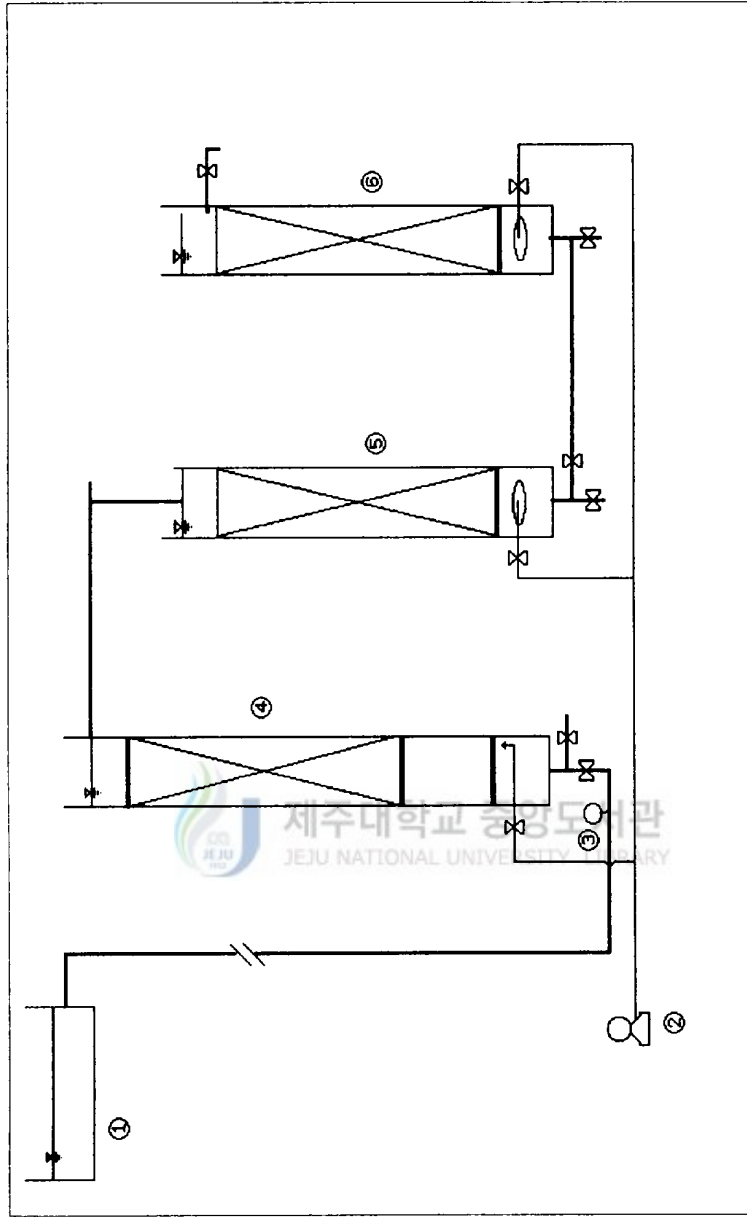


Fig <3-5> Schematic diagram of apparatus to test on field scale filtration
 ①Raw water tank ②Air compressor ③Pressure gauge
 ④Upflow, Plastic bed ⑤Downflow, Scoria bed ⑥Upflow, Scoria bed

IV. 결과 및 고찰

1. 여재의 물리적특성 분석

각 여재의 물리적 특성의 평가 결과를 Table <4-1>에 나타냈다. 표에서 보면 알 수 있듯이 플라스틱여재의 공극율은 75.0%로 사여재의 46.2%와 송이여재의 55.9%보다 크고 비표면적도 사여재와 송이여재보다 플라스틱여재가 큼을 알 수 있다.

플라스틱여재의 공극율과 비표면적이 큰 것은 Photo <3-1>에서 보는 바와 같이 여재의 특이한 다공질 형상과 이로 인한 요철에 의한 것으로 사려된다. 또한 플라스틱여재는 비중이 0.59로서 물보다 가벼워 상향류 여과를 행함으로써 여과 지속시간을 늘릴 수 있고 생물막 여과에 적용시 미생물의 부착표면적이 커서 부착 미생물의 양을 증가시킬 수 있으리라 사려된다.(村上, 1990; 안, 1991; 竹内, 1988)

Table <4-1> Physical characteristics of each filter media

Item	Sand	Scoria	Plastic
Diameter(mm)	2.38 ~ 4.57	2.38 ~ 4.57	2.38 ~ 4.57
Specific gravity	2.37	1.57	0.59
Degree of circular	0.91	0.81	0.73
Porosity(%)	46.2	55.9	75.0
Coefficient of Permeation (cm/min)	199	277	588
Specific surface area(m ² /m ³)	4.48 × 10 ³	6.18 × 10 ³	9.92 × 10 ³

그리고 송이여제도 공극율과 비표면적이 사여재보다는 크므로 제주산 송이를 여과 시스템에서 여과매질로 사용하는 연구도 일부 행하여 졌지만(이 등, 1992) 송이는 비중이 무겁고 강도가 약한 편이라서 송이를 생물막 여과법의 부착 매질로 사용하는 경우에는 역세정을 하는데 있어서 동력소요에 따른 경제성 문제와 여재의 내구성 문제가 고려되어야 할 것이라 사려된다.



2. 여과 처리특성 비교실험

1) 손실수두와 여과지속시간

각 여재의 여과속도별 여과지속시간을 Table <4-2>에 나타냈고, 여과속도 200m/day에서의 각 여재별 손실수두의 변화를 Fig <4-1>에 나타냈으며 여과속도 400m/day와 500m/day에서의 플라스틱여재의 손실수두 변화를 Fig <4-2>에 나타냈다.

Table <4-2>와 Fig <4-1>에서 보면 여과속도 200m/day인 경우에 손실수두가 한계 손실수두인 0.6m에 이르는 시간이 사여재인 경우 19시간 정도이고, 송이여재가 31시간이며 플라스틱여재는 실험기간(48시간)중에 폐색이 일어나지 않았다.

Table <4-2> Limiting filtration time with each flow rate (Unit : hour)

Filter media Flow rate	Sand	Scoria	Plastic
200m/day	19	31	48 <
400m/day	-	20	28
500m/day	-	-	25

- : not examination

따라서 사여재는 여과지속시간이 대단히 짧으므로 다음 단계의 실험에서는 사여재를 제외한 송이여재와 플라스틱여재의 여과지속시간을 측정하였으며 최종적으로 여과속도 500m/day에서는 플라스틱여재에 대해서만 평가하였다. 그 결과에 의하면 플라스틱여재가 다른 두 종류의 여재에 비해서 여과지속시간이 보다 길게 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

이것은 플라스틱여재의 물리적인 특징 중 여재의 불규칙한 형상과 여기서 기인되는 공극율이 같은 입경을 가지는 다른 여재들보다 크고, 또한 상향류로 여과를 하였기 때문에 부유물질 제거가 여층 심부에서의 내부여과형태로 여과가 이루어지고 있기 때문이라 사려된다.(강, 1994; 양, 1990)

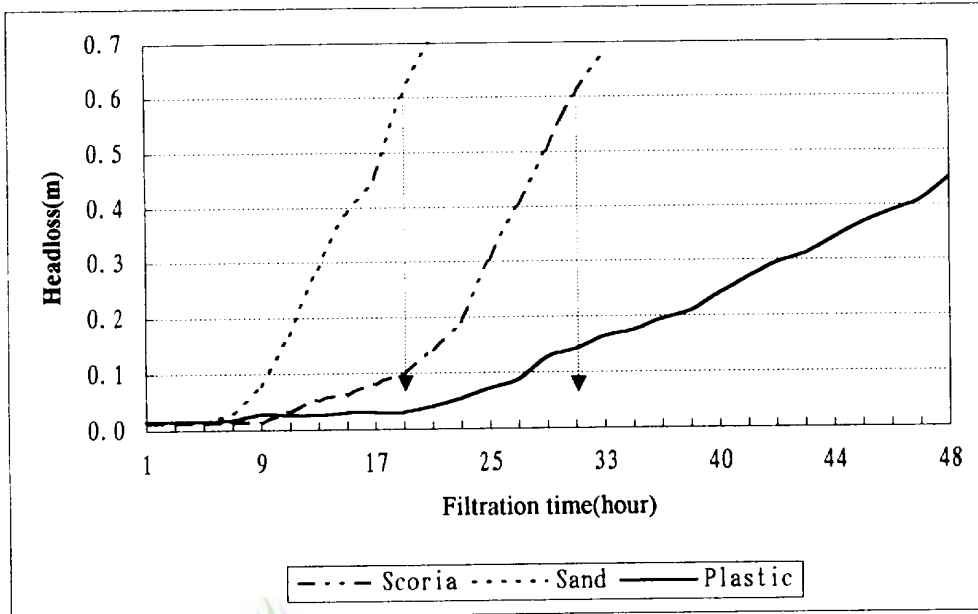


Fig <4-1> Water headloss variation of each filter media at 200m/day

Fig <4-2>에서 여과속도 500m/day인 경우 역세 전후의 손실수두 변화를 보면 역세 전이나 역세 후의 손실수두 증가경향이 비슷하며 지속시간도 같음을 알 수 있는데, 이것은 플라스틱여제가 비중이 가벼워서 역세정이 용이하므로 단시간 세정으로도 세정효과가 좋음을 나타내는 것이라 사려된다.

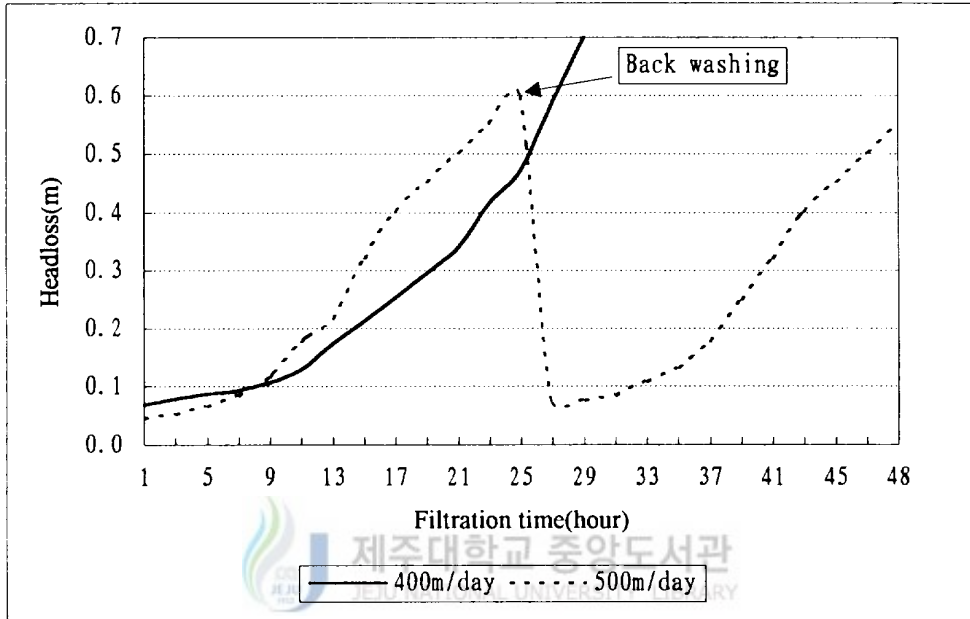


Fig <4-2> Water headloss variation of plastic filter at 400, 500m/day

2) SS, COD 제거특성

실험에서 분석된 SS, COD 제거특성을 Table <4-3>에 나타냈다. 그리고 각 여재별 여과지속시간에 따른 총 제거량을 Table <4-4>에 나타냈다.

Table <4-3>에서 각 여재별, 각 여과속도별 SS와 COD의 제거효율을 살펴보면 200m/day의 여과속도에서 플라스틱여재는 다른 여재와 거의 비슷한 약 83%의 SS제거효율과 약 65%의 COD제거효율을 나타내며 여과속도의 증가에 따라 그 효율이 다소 감소되는 특징을 나타내고 있다.

이와 같은 현상은 여과속도가 상승함에 따라 여재의 부유물 포착력이 떨어지기 때문이라 사려된다.(金成, 1988) 아울러 400m/day 이상의 여과속도에서 COD의 제거율이 50% 이하로 떨어지기 때문에 플라스틱여재에 의한 입자상 오염물질의 제거와 더불어 용존성 COD 물질의 제거를 위한 공정의 추가가 요구됨을 알 수 있었다.

Table <4-3> Removal efficiencies of SS, COD with each flow rate and filter media

(Unit : %)

Item Flow rate	SS removal efficiency			COD removal efficiency		
	Sand	Scoria	Plastic	Sand	Scoria	Plastic
200m/day	85	83	83	68	65	65
400m/day	-	70	75	-	-	45
500m/day	-	-	69	-	-	-

- : not examination

아울러 SS와 COD의 시간당 제거량과 여과지속시간에 따른 총 제거량을 각 여재별로 계산하여 Table <4-4>에 나타냈는데 플라스틱여재의 총 제거량이 다른 여재에 비해 가장 큰 것을 확인할 수 있었다.

따라서 동일한 단위용적 및 단위면적당의 오염물질(특히 SS) 제거효율을 다른 두 종류의 여재에 보다 플라스틱여재를 사용함으로써 월등히 높일 수 있다고 사려된다.

Table <4-4> Total removed amounts of SS, COD with each flow rate and filter media

(Unit : kg/m³)

Flow rate		200m/day	400m/day	500m/day
Item				
SS	Sand	2.692(0.142)	-	-
	Scoria	4.288(0.142)	5.333(0.267)	
	Plastic	6.640(0.138)	7.467(0.267)	7.188(0.288)
COD	Sand	0.817(0.040)	-	-
	Scoria	1.178(0.038)	1.060(0.053)	
	Plastic	1.824(0.038)	1.484(0.053)	-

() : removed amounts per hour(kg/m³·hr)

- : not examination

3. 현장실험

1) SS, COD, 영양염류의 제거특성

Fig <4-3>과 Fig <4-4>는 육상 수조식 넙치 양식장 배출수를 여과속도 200m/day에서 여과시켰을 경우에 원수와 여과수의 SS, COD의 경일 변화를 나타낸 것이며, Fig <4-5>와 Fig <4-6>은 영양염류(T-N, T-P)의 경일 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 양식장에 사료를 투여하였던 시간대인 오전 7시와 오후 6시경에만 SS, COD, 영양염류의 농도가 높게 나타남을 알 수 있으며 그 시간대 외에는 거의 일정한 수질을 보이고 있다.

Fig <4-3>에 의하면 여과속도 200m/day에서 사료 투여시의 원수 중의 SS농도가 약 20mg/l 정도로 피크농도를 나타내며 여과 처리 후의 농도가 3mg/l 이하의 값을 보이고 있다. 그리고 그 외의 시간대는 원수 중의 SS농도가 5mg/l 이하로 거의 일정한 값을 나타내며 처리후의 SS농도는 1mg/l 이하로 생물막 여과법의 특징인 심한 부하변동에도 불구하고 안정된 처리효율을 나타내고 있다. 또한 대부분의 제거된 SS가 1단계 플라스틱 여층에 의해서 제거되고 있음을 알 수 있다.

Fig <4-4>에서 보면 COD는 피크시에 원수 농도가 8mg/l 정도이고 여과속도 200m/day인 경우 처리수가 2mg/l 정도로 약 75%정도의 제거효율을 보이고 있으며 사료 투여 시간대 외는 2~3mg/l로 거의 비슷한 농도를 나타내고 있다. 그리고 처리 후의 COD농도는 1mg/l 전후로 처리수의 수질이 SS에 비해 약간 불안한 경향을 보이고 있지만 부하변동에 비해서는 안정된 값을 나타내고 있다.

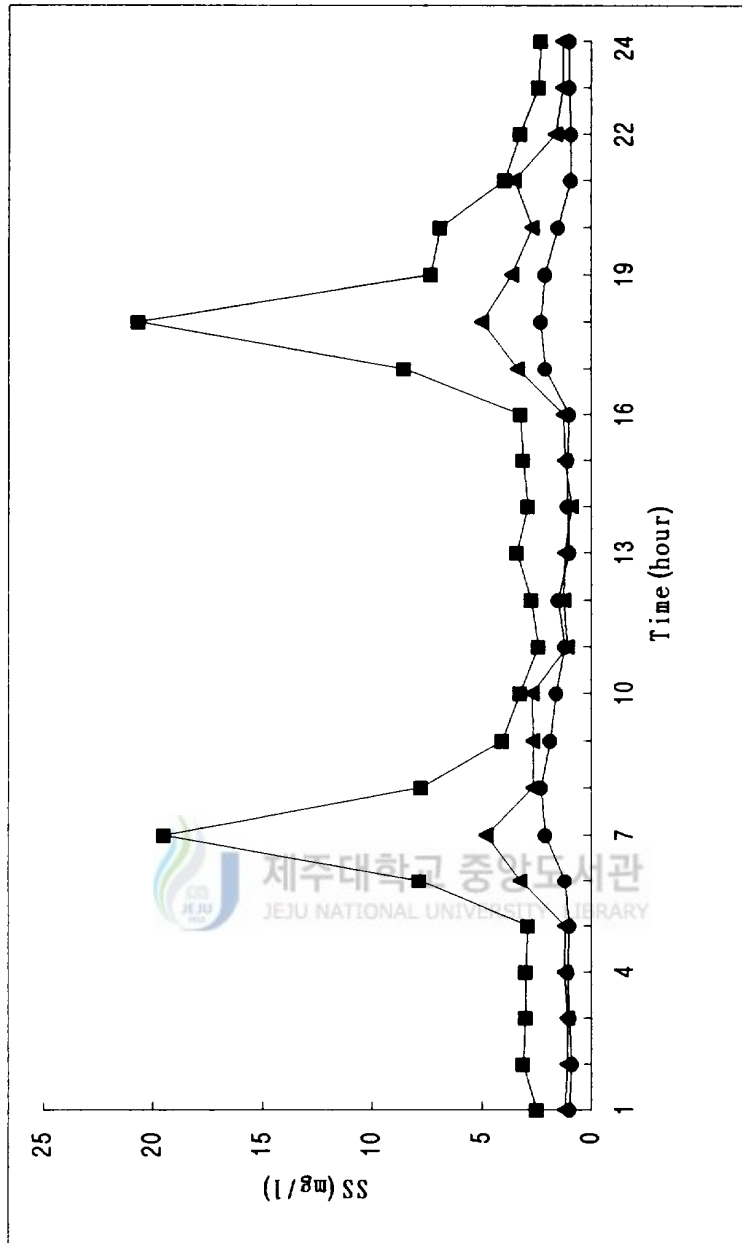


Fig <4-3> Daily variation of SS on flow rate of 200m³/day
 ■:raw waste water, ▲:first stage effluent, ●:final stage effluent

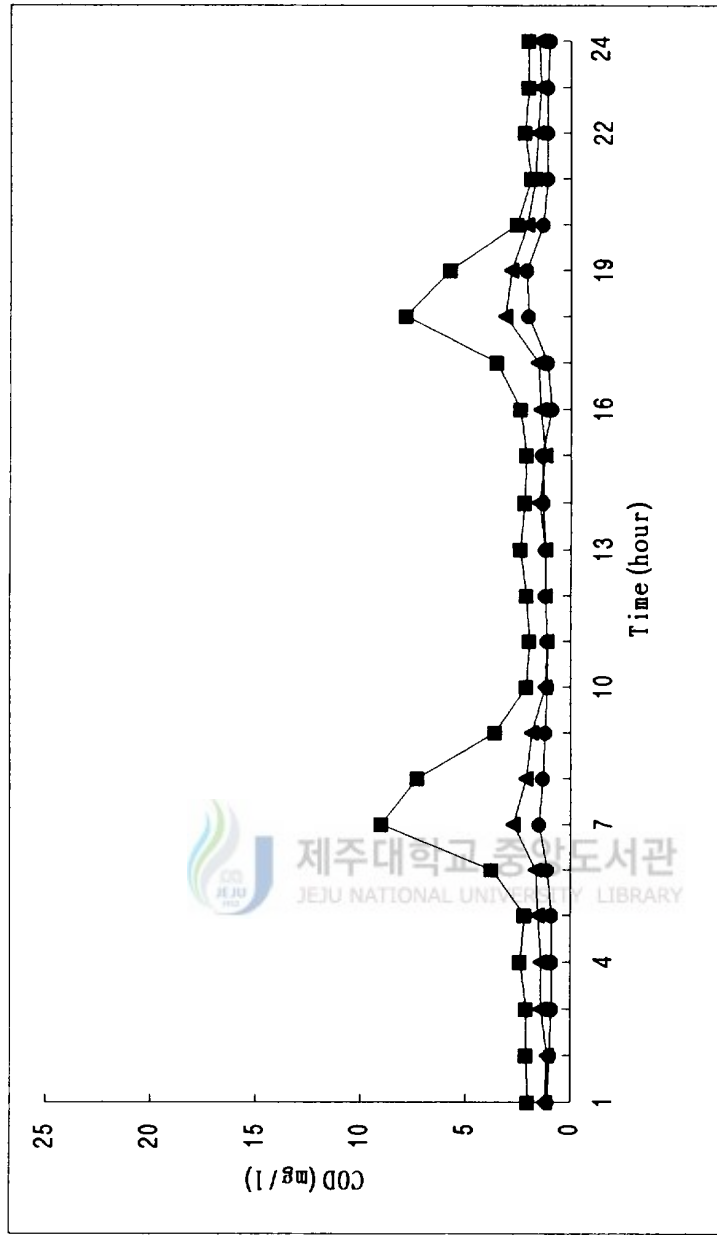


Fig <4-4> Daily variation of COD on flow rate of 200m/day
 ■:raw waste water, ▲:first stage effluent, ●:second stage effluent, ◆:final stage effluent

Fig <4-5>에서 T-N의 분포를 보면 COD나 SS와 같은 급격한 부하변동은 보이지 않지만 사료 투여시에 그 배출농도가 급속히 증가한 다음 서서히 감소하는 경향을 보이며 야간에는 1mg/l 이하의 값을 나타내고 있어서 COD와 SS의 분포와는 다소 다른 농도변화 경향을 나타내고 있으며, 피크시 농도가 1.65mg/l 정도에서 서서히 감소하여 0.8mg/l 까지 낮아지고 있고, 제거율은 여과속도 200m/day에서 약 56% 정도를 보이고 있다.

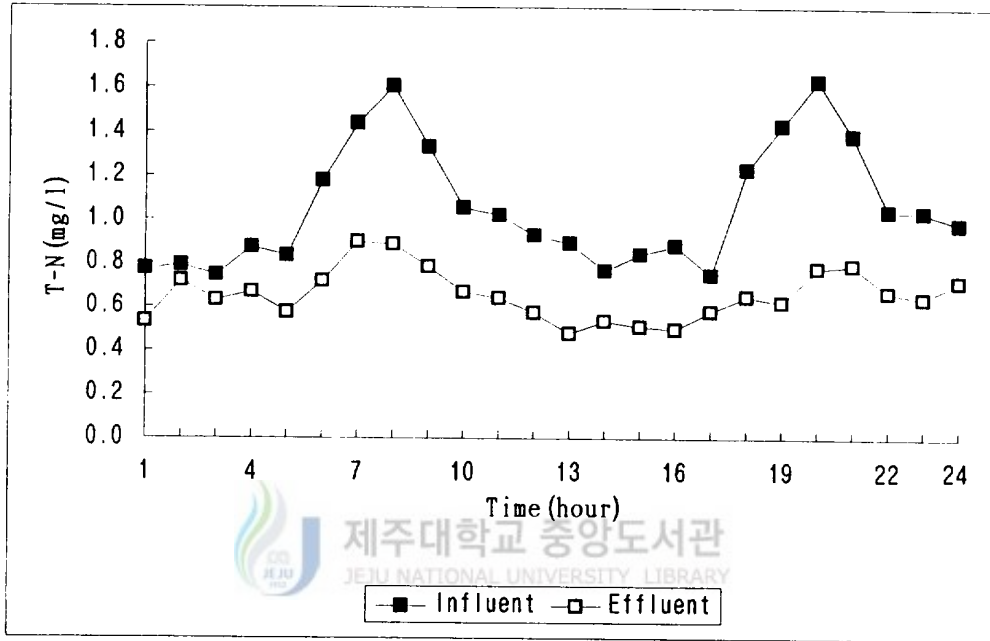


Fig <4-5> Daily variation of T-N on flow rate of 200m/day

Fig <4-6>의 T-P는 피크농도에 약 35%정도의 제거율을 보이지만 그 외의 시간대에서는 제거효과가 미소한 정도에 불과하였다. 이것은 유출사료의 잔재물 속에 포함된 T-P의 일부는 제거되나 수중에 용존되어 있는 용존성 T-P의 제거에는 생물막여과법의 한계가 있음을 알 수 있다.

따라서 수중 용존성 T-P의 제거를 위해서는 화학적 또는 생물학적 고차처리가 필요함을 알 수 있으나 본 수조식 육상 넙치양식장 배출수의 경우 그 배출수량이 과다하고, 그 농도변화가 크므로 이의 적용은 효율성, 경제성 및 안정성의 측면에서 현실적으로 불가능할 것으로 판단되며, 이의 효율적 처리에 관한 연구가 앞으로의 연구과제가 될 것으로 사려된다.

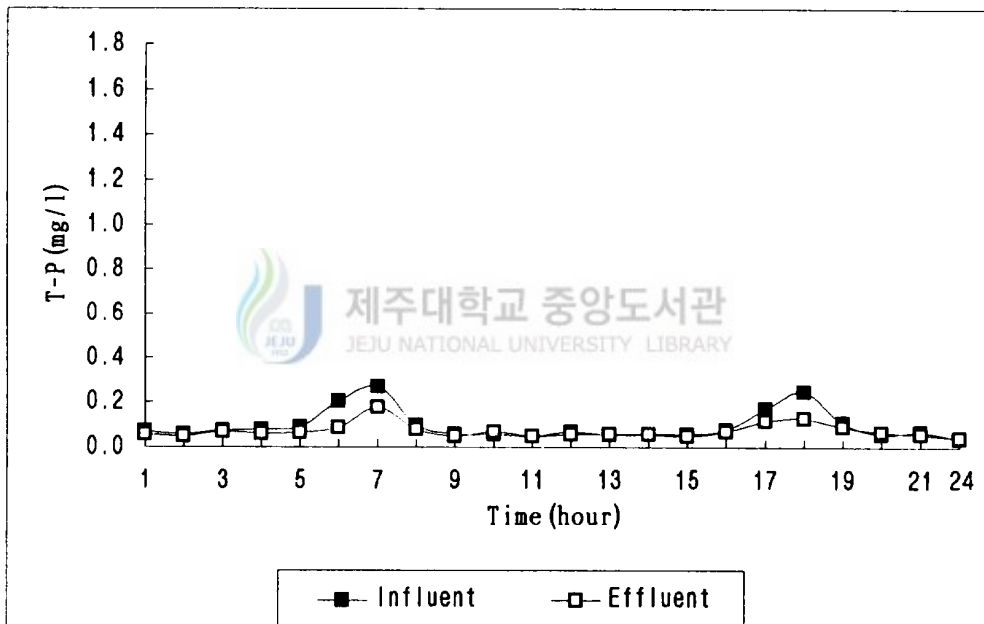


Fig <4-6> Daily variation of T-P on flow rate of 200m/day

Fig <4-7>은 각 여과속도에 따른 SS, COD의 Peak농도시의 각 여층별 여과수의 수질변화를 나타낸 것으로 SS와 COD는 400m/day 이하의 여과속도에서는 여과속도의 증가에 따른 큰 변화가 나타나지 않으나 500m/day의 여과속도에서 그 처리효율이 다소 감소됨을 확인할 수 있었다.

따라서 양식수조에서 투여사료의 잔류 유출물질(SS, COD)이 주 처리대상 물질인 본 육상 수조식 넙치양식장의 배출수 처리공정에 있어서 400m/day의 여과속도가 최대 한계여과속도가 됨을 추정할 수 있었다.

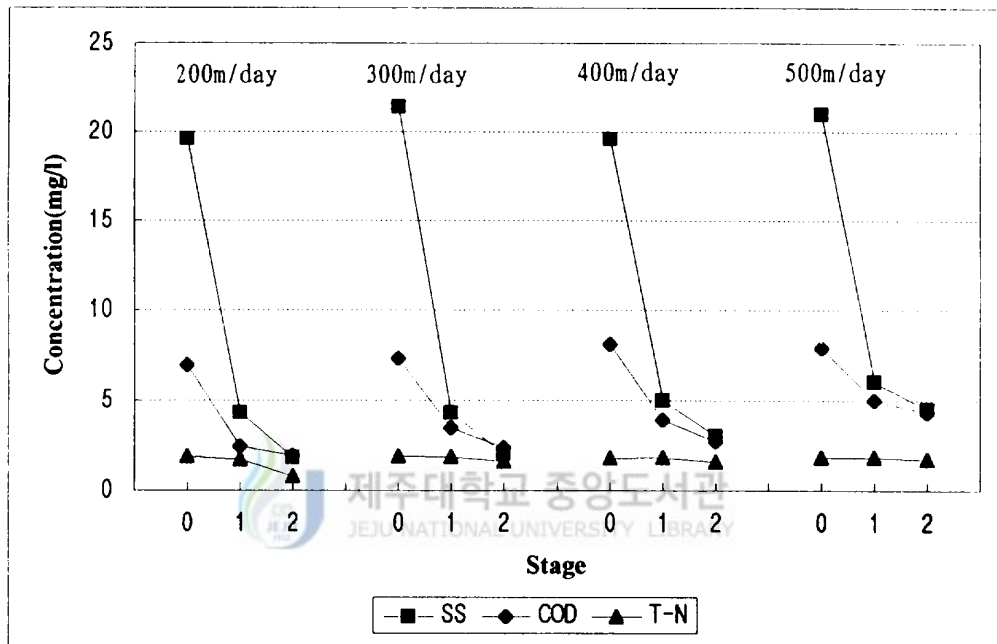


Fig <4-7> Removal characteristics of SS, COD on flow rates at maximum influent concentration
0:raw waste water, 1:first stage effluent, 2:final stage effluent

Fig <4-8>은 각 여과속도에 따른 SS, COD의 제거율 변화를 나타낸 것으로 SS는 여과속도 400m/day이상에서 그 제거율이 급격히 감소됨을 알 수 있으며 COD은 여과속도 300m/day이상에서 급격히 그 제거율이 감소되는 경향을 나타내고 있다. 총 제거율 계산은 원수의 농도가 가변적이므로 1일 총 유입량과 1일 총 제거량에 대해서 식 (4-1)로 계산하였다.

$$\text{총 제거율(\%)} = \frac{\text{1일 총 제거량(kg/day)}}{\text{1일 총 유입량(kg/day)}} \times 100 \quad (4-1)$$

식 (4-1)에 의한 각 여과속도별 총 오염물질 제거율의 산출결과 SS는 75 ~ 53%, COD는 60 ~ 32%정도로서 비교적 그 총 제거율은 낮게 나타났으나 이는 육상 수조식 넙치 양식장 배출수의 수질특성상 배출수의 농도분포가 1일 중 저농도 범위의 분포가 평균 20시간 이상을 유지하고 있기 때문이라 사려된다.

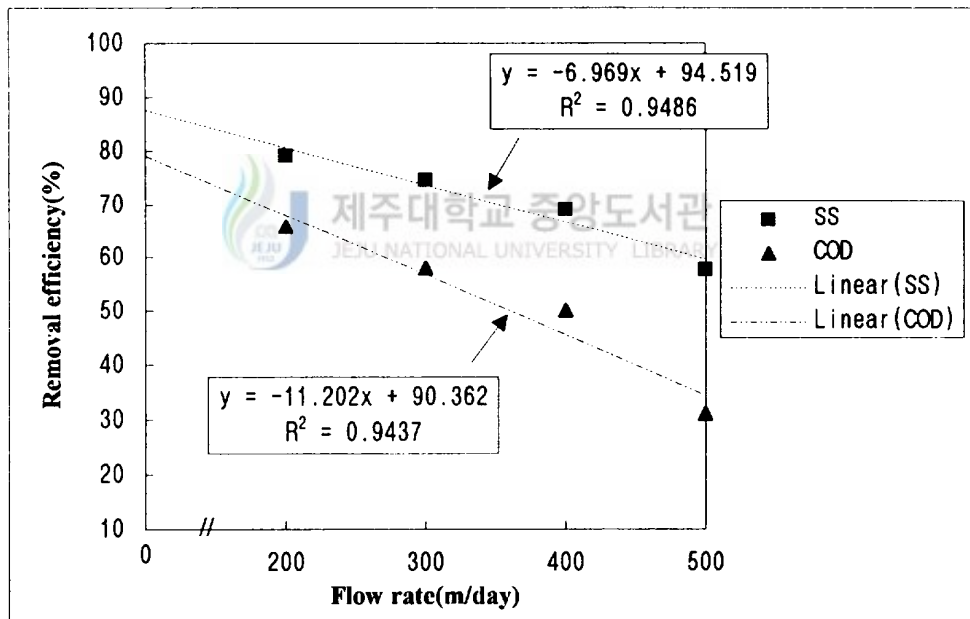


Fig <4-8> Removal efficiencies of SS, COD on the variation of flow rates

2) 손실수두와 여과지속시간

Fig <4-9>에 여과속도에 따른 손실수두의 변화상태를 나타냈으며 Table <4-5>에 여과지속시간 동안의 각 여과속도별 총 SS, COD제거량을 나타냈다. Fig <4-9>에서 여과속도 200m/day에서는 손실수두의 변화가 21일 정도에서 한계 손실수두인 1.4m에 이르고 있다. 또한 이 기간 동안에 탁질 누출 현상도 일어나지 않았으며 안정된 처리가 이루어졌다. 이것은 양식장 배출수의 수질 특성상 20mg/ℓ 이상의 SS농도를 보이는 때가 1일에 2~4시간 정도밖에 되지 않으며, 그 시간대 외에는 SS 5mg/ℓ 이하의 저농도가 1일 중 평균 20시간 이상을 유지하기 때문이라 사려된다.

아울러 300m/day와 400m/day의 여과속도에서는 일중 처리수량의 증가에 따라서 1.4m의 한계 손실수두에 도달되는 여과지속시간이 각각 15일과 13일이 되는 것을 알 수 있었다.

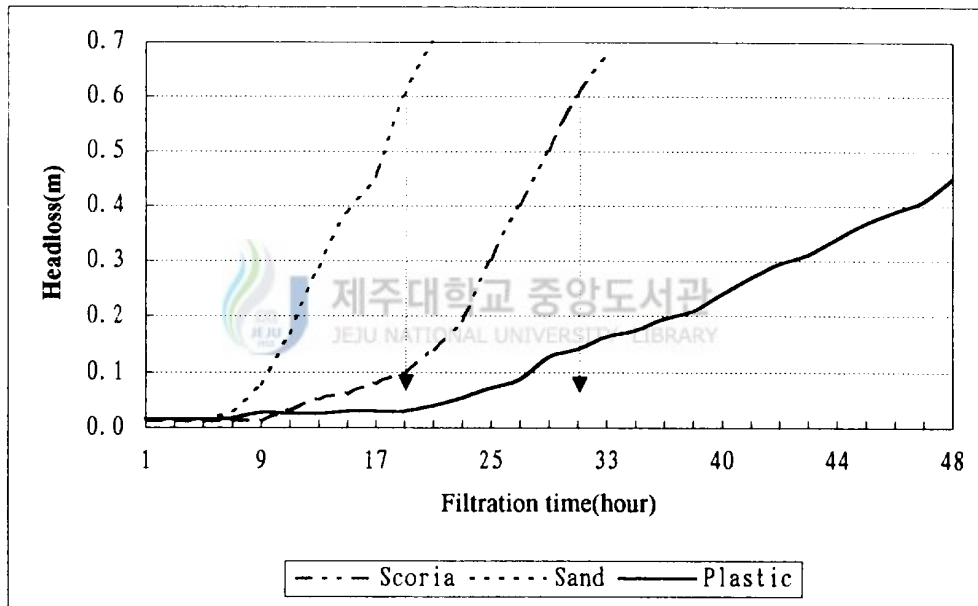


Fig <4-9> Daily variation of water headloss on flow rates

Table <4-5>에서 각 여과속도별 여과지속시간 동안의 단위면적당 총 SS, COD 제거량을 살펴보면 400m/day이하의 여과속도 범위에서는 여과속도의 변화에 따른 큰 차이를 나타내지 않고 있으며, SS와 COD의 평균 총 제거량은 각각 14.16kg/m³, 5.97kg/m³인 것으로 산출되었다.

Table <4-5> Total removed amounts of SS, COD on flow rates within filtration times

(Unit : kg/m³)

Flow rate	Filtration time(day)	Total removed SS	Total removed COD
200m/day	21	13.776(0.656)	5.754(0.274)
300m/day	15	14.655(0.977)	5.985(0.399)
400m/day	13	14.053(1.081)	6.175(0.475)

() : removed amounts per day(kg/m³·day)



3) 여재에 부착된 미생물 상

여재에 부착된 미생물을 여재로부터 탈리시켜 현미경으로 관찰해 보면 하수처리인 경우에 생물막법에서 출현하는 여막면형 생물인 *Vorticella*, *Carchesium*, *Epistylis*, *Opercularia* 등의 미생물보다 조류와 세균류 중에서 규조류 종류인 *Nitzschia spathulata*, *Nitzschia Pungens*, *Navicula sp.*, *Cylindrotheca Closterium*, *Grammatophora Serpentina* 등의 규조류가 많이 출현하며, 세균종류로 *Zoogloea ramigera* 등이 다수 관찰되어 하수처리시의 생물상과는 다른 종의 조성을 보이고 있음을 알 수 있다. 주로 이러한 미생물들은 해안가에서 바위 등에 부착해 있는 부착형 규조류와 같은 종류(이 등, 1991; 정, 1980)로서 여재에 부착된 미생물을 사진 <4-1>에 나타냈다. 그리고 여층이 폐색되어 역세를 하는 경우에도 플라스틱여재의 세공에 미생물막이 형성되어 있기 때문에 미세공극 중에 형성된 생물막은 완전히 탈리되지 않는 것을 현미경 관찰로서 확인할 수 있었으며, 이에 따라 역세 후의 처리성능의 급격한 저하가 생기지 않는다고 사려된다.



Photo <4-1> Attached microorganisms(×400)

V. 결 론

다공성 플라스틱여재를 이용한 생물막 여과법에 의한 육상 수조식 양식장의 배출수 처리특성에 관한 실험 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 실험에 이용된 다공성 플라스틱여재의 물리적 특성은 비중 0.59, 원형도 0.73, 공극율 75.0%, 투수계수 588cm/min, 비표면적 $9.92 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 으로서 모래나 송이여재에 비해서 생물막 여과법에 가장 적합한 여재특성을 갖고 있다.
2. 다공성 플라스틱여재와 모래 및 송이여재를 이용한 실험실적 여과특성 비교 실험에서 플라스틱여재가 여과지속시간, SS 및 COD 제거특성이 가장 뛰어난 것을 확인하였다.
3. 다공성 플라스틱여재와 송이층을 이용한 Pilot scale의 생물막 여과장치를 육상 수조식 양식현장에 설치하여 현장적용 실험한 결과 400m/day 이하의 여과속도에서 SS, COD, T-N 등의 주 오염물질의 제거가 효율적이며, 안정적으로 이루어짐을 알 수 있었으며, 한계손실수두 1.4m인 경우 여과지속시간이 약 13일 정도인 것으로 파악되었다.
4. 현장적용 실험에서 각 여과속도별 여과지속시간 동안의 단위 여과면적당 총 SS, COD 제거량은 400m/day이하의 여과속도 범위에서는 여과속도의 변화에 따른 큰 차를 나타내지 않고 있으며, 그 SS 및 COD의 평균 총 제거량은 각각 $14.16 \text{ kgSS}/\text{m}^2$, $5.97 \text{ kgCOD}/\text{m}^2$ 인 것으로 산출되었다.
5. 세균류를 제외한 여상 부착 미생물상은 해양성 규조류가 우점종을 이루고 있었다.
6. 배출 수량과 농도의 변화 폭이 크고, 평균 배출농도가 극히 낮으며, 배출수량 또한 과대한 특징을 갖고 있는 육상 수조식 양식장 배출수의 효율적, 경제적 및 안정적 처리를 위해서 개발된 다공성 플라스틱여재와 송이층을 이용한 생물막 여과장치가 현장 적용성이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 角田省吾. 直接凝集濾過法に関する實驗的研究. 水道協會雜誌. 第486號. 昭50.3
- 강용태. 1982. 急速濾過紙의濾過速度と濾材構成の研究. 東京大學校.
- 강용태. 1994. 상수도공학. 형설출판사. 189~190.
- 關川泰弘. 1988. 微生物固定化法による排水處理. 産業用水調査會. 15-17, 35-37, 49-65.
- 국립수산진흥원 제주수산연구소. 1991. 넙치양식장 주변해역 환경 조사결과.
- 김남천, 방종인. 1992. 생물학적 폐수처리 기술. 동화기술. 33-74.
- 金成英夫. 1988. 2次處理水の急速濾過の濾過速度に関する研究. 水處理技術. 29(9).
- 洞澤勇. 1982. 生物膜法 思考社.
- 府中裕一, 武内清, 大西之. 1991. 移床式生物膜ろ過法による低濃度排水の處理. 用水と廢水. 33(5).
- 山本泰弘, 北浜弘幸, 長屋利郎. 1992. 生物濾過プロセスによる高度處理. 用水と廢水. 34(11).
- 山田新, 加太孝幸. 1989. 生物膜濾過裝置. PPM. (9).
- 수질오염·폐기물 공정시험법. 1992. 동화기술.
- 안용희. 1991. 상향류식 호기성 생물막에 의한 농약함유폐수의 처리에 관한 연구. 동아대학교 대학원.
- Eckenfelder, W.W.. 1981. Development of Design and Operational Criteria for Wastewater Treatment. *Enviro Press. Inc.*. 223-240.

- Larry D, Benefield. 1980. Biological process design for wastewater treatment. *Prentice-Hall Inc.*. 37, 89-90, 410-413.
- 양병수, 이현모, 이재관. 1994. 회전원판법에 의한 담수와 해수중의 지농도 암모니아 질산화 특성 비교. *대한환경공학회지*. 16(1).
- 양상현. 1990. 상·하수도 공학. *동화기술*. 332.
- 衛生工學實驗指導書(プロセス篇). 1964. 日本土木學會. 21-22.
- Yuhei Inamori, 金周永. 1992. 生物活性炭流動床法における淨化能と生物相. *用水と廢水*. 34(11).
- 이규성, 홍종형, 조용현, 김성수. 1991. 수질오염방지기술. *동화기술*. 1991. 228-229, 313-319.
- 이민규, 강정환, 강영주. 1992. 감태폐수의 송이 여과층 높이에 따른 여과속도와 용량인자에 관한 연구. *HWAHAK KONGHAK*. 30(6).
- 이준백, 좌종현, 김일수. 1991. 제주도 해안선 주변 부착구조류의 종조성 및 분포. *제주대 해양연보*. 15.
- 이태관. 1994. 직접여과법(Direct Filtration). *환경기술*. 5(2).
- Jaap van Rijn, Guillermo Rivera. 1990. Aerobic and Anaerobic Biofiltration in an Aquaculture Unit-Nitrite Accumulation as a Result of Nitrification and Denitrification. *Aquacultural Engineering*. 9. 217-234.
- 정 준. 1987. 부착구조류에 의한 영산강 수계의 수질평가. *한국조류학회지*. 2(1).
- 井出哲夫. 1980. *水處理工學*. 95-110.
- 조봉연. 1985. 생물막여과장치에 의한 하수처리에 관한 연구. *동아대학교 대학원*.

- 조영일, 정연구, 정팔진, 양병수, 오영민, 이수구, 이철희, 신성의. 1992. 폐수처리 공학. 동화기술. 240-250.
- 佐野和生. 1987. 水産養殖と水(Ⅱ). 세이엔ティスト社. 40-47.
- 佐野和生. 1979. 水産養殖と水. 세이엔ティスト社. 1979. 65, 84-97, 197-199.
- 竹内正美, 深川勝之. 1989. 海産魚介類の備蓄水槽と浄化装置の設計と維持管理. 水處理技術. 30(4).
- 竹内正美, 深川勝之, 中西弘, 村上定暉, 岡本靜雄. 1988. 養殖·蓄養水槽の浄化装置用微生物擔体に関する研究. 水處理技術. 29(9).
- 中野重貨, 高野晴男, 吉國一久. 1992. 生物膜附着粒子を用いる展開層リアクターによる有機性排水處理. 水處理技術. 33(11).
- G. Degani, D. Leavanon. 1988. The Relationship Between Ammonia Production and Oxygen Concentration in Water and Biomass of Eels and Level of Protein in the Diet of *Anguilla anguilla* L. *Aquacultural Engineering*. 7. 235-244.
- 村上孝文, 下山昭, 宮原紀子. 1990. 生物膜濾過装置による排水處理. PPM. (1).
- 村田恒雄. 1992. 下水の高度處理技術. 理工圖書. 94-105.
- 沈建權. 1993. 플라스틱濾材を用いた水道原水の濾過に関する研究. 東北大學大學院.
- Characklis, W. G.. 1981. Fouling biofilm development : A process analysis. *Biotechnology and bioengineering*. 23. 1923.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 끝없는 사랑으로 지도와 조언을 해 주신 허목 교수님께 감사드립니다. 또한 평소에 많은 가르침과 더불어 양질의 논문을 완성하기 위해 논문 심사 중에 여러가지 조언을 하여 주신 오윤근 교수님, 이용두 교수님 그리고 여러가지 조언과 격려를 해주신 허철구 교수님, 감상규 교수님, 이기호 교수님께 감사드립니다.

그리고 지난 2년동안 여러가지 어려움 속에서도 서로간에 위로와 격려를 나누었던 윤남호 회장님, 박관석, 박용이, 김형철 학형과, 실험을 위해서 밤샘도 마다하지 않았던 수질공학 연구실 김성자, 고인범, 송춘하를 비롯한 후배들에게도 감사한 마음을 전하며, 아울러 현장실험에 적극적인 도움을 주신 서림수산(주) 고문수 사장님을 비롯한 직원 여러분에게도 감사드립니다.

또한 여러가지 면에서 같이 생각해 주시고 기도해 주신 원문순 집사님과 사랑하는 애육에게 고마움을 전하며, 지금까지 아무말 없이 지켜보아 주시느라 마음 고생하신 어머님과 동생들에게 이 논문을 드립니다.