

육상 수조식양식장 배출수 처리특성

강봉래¹⁾ · 허 목²⁾

Treatment Characteristics of Inland Aquaculture Effluent

Bong-Rea Kang¹⁾ · Mock Huh²⁾

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.

• 제주도청

•• 제주대학교 해양과학대학 해양환경공학과

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.

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 디소조류나 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 폐수처리 방법이 일반적으로 적용되고 있으나 활성슬러지법으로 통칭되는 현탁증식 처리법(Suspended growth process)이나 회전원판법, 침적여상법 등의 부착 생물막 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. 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.

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 넙치 양식장용 MP사료를 사용하였으며 실험기간 중의 수온은 상온으로서 15℃~20℃정도가 유지되었다.

실험장치는 Fig <2-1>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.

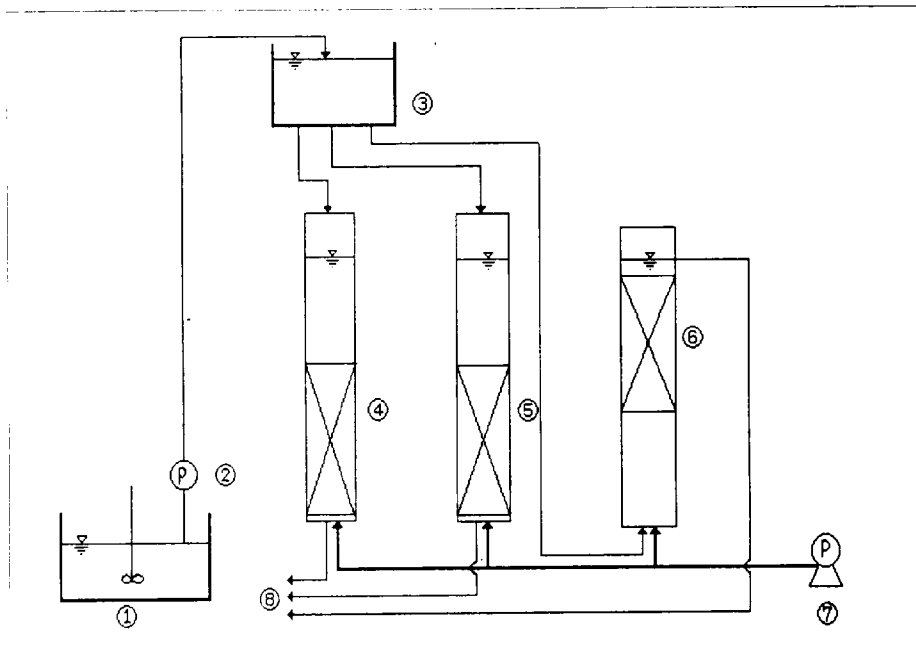


Fig <2-1> Schematic diagram of apparatus to test on the filtration characteristics

- ①Raw water tank ②Feed pump ③Distribution tank ④Downflow, Sand bed
- ⑤Downflow, Scoria bed ⑥Upflow, Plastic bed ⑦Air Pump ⑧Effluent

여과속도는 급속여과와 비슷한 200m/day에서부터 400m/day, 500m/day로 증가 시켰으며, 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 최초로 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.

III. 결과 및 고찰

1. 여재의 물리적특성 분석

각 여재의 물리적 특성의 평가 결과를 Table <3-1>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 여재의 특이한 다공질 형상과 이로 인한 요철에 의한 것으로 사려된다. 또한 플라스틱여재는 비중이 0.59로서 물보다 가

Table <3-1> Physical characteristics of each filter media

Item \ Filter media	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

벼위 상향류 여과를 행함으로써 여과지속시간을 늘릴 수 있고 생물막 여과에 적용시 미생물의 부착표면적이 커서 부착 미생물의 양을 증가시킬 수 있으리라 사려된다.(村上, 1990; 안, 1991; 竹内, 1988)

그리고 송이여재도 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 경제성문제와 여재의 내구성 문제가 고려되어야 할 것이라 사려된다.

2. 여과 처리특성 비교실험

1) 손실수두와 여과지속시간

각 여재의 여과속도별 여과지속시간을 Table <3-2>에 나타냈고, 여과속도 200m/day에서의 각 여재별 손실수두의 변화를 Fig <3-1>에 나타냈으며 여과속도 400m/day와 500m/day에서의 플라스틱여재의 손실수두 변화를 Fig <3-2>에 나타냈다.

Table <3-2>와 Fig <3-1>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 <3-2> 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 여과

속도 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 <3-2>에서 여과속도 500m/day인 경우 역세 전후의 손실수두 변화를 보면 역세 전이나 역세 후의 손실수두 증가경향이 비슷하며 지속시간도 같음을 알 수 있는데, 이것은 플라스틱여재가 비중이 가벼워서 역세정이 용이하므로 단시간 세정으로도 세정 효과가 좋음을 나타내는 것이라 사려된다.

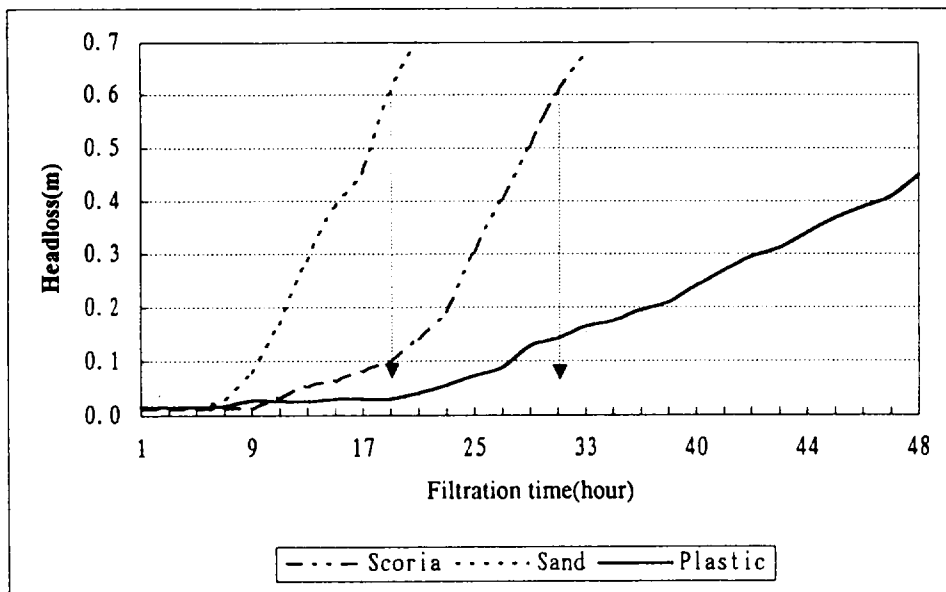


Fig <3-1> Water headloss variation of each filter media at 200m/day

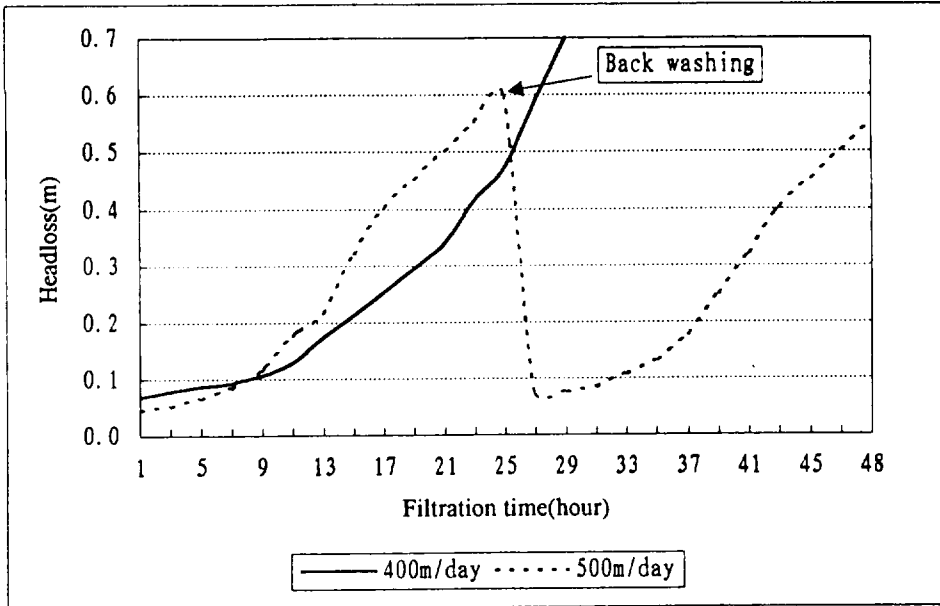


Fig <3-2> Water headloss variation of plastic filter at 400, 500m/day

2) SS, COD 제거특성

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

Table <3-3>에서 각 여재별, 각 여과속도별 SS와 COD의 제거효율을 살펴보면 200m/day의 여과속도에서 플라스틱여재는 다른 여재와 거의 비슷한 약 83%의 SS제거 효율과 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 때

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

(Unit : %)

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

- : not examination

문이라 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.

아울러 SS와 COD의 시간당 제거량과 여과지속시간에 따른 총 제거량을 각 여재별로 계산하여 Table <3-4>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 <3-4> 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

IV. 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 송이여

- 재에 비해서 생물막 여과법에 가장 적합한 여재특성을 갖고 있다.
2. 다공성 플라스틱여재와 모래 및 송이여재를 이용한 실험실적 여과특성 비교실험에서 플라스틱여재가 여과지속시간, SS 및 COD 제거특성이 가장 뛰어남을 확인하였다.
 3. 400m/day 이하의 여과속도에서 SS, COD, T-N 등의 주 오염물질의 제거가 효율적이며, 안정적으로 이루어짐을 알 수 있었으며, 한계손실수두 0.6인 경우 여과지속시간이 13일 정도인 것으로 파악되었다.
 4. 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 14.16kgSS/m², 5.97kgCOD/m²인 것으로 산출되었다.

참 고 문 헌

- 강용태. 1994. 상수도공학. 형설출판사. 189~190.
- 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).
- 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).
- 수질오염·폐기물 공정시험법. 1992. 동화기술.
- 안용희. 1991. 상향류식 송이식 생물막에 의한 노약하유계수의 처리에 관한 연구. 동아대학교 대학원
- 양상현. 1990. 상·하수도 공학. 농화기술. 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).

- 이민규, 강정환, 강영주. 1992. 감태폐수의 송이 여과층 높이에 따른 여과속도와 용량 인자에 관한 연구. HWAHAK KONGHAK. 30(6).
- 이준백, 좌종현, 김일수. 1991. 제주도 해안선 주변 부착구조류의 종조성 및 분포. 제주대 해양연보. 15.
- 조영일, 정연구, 정팔진, 양병수, 오영민, 이수구, 이철희, 신성의. 1992. 폐수처리공학. 동화기술. 240-250.
- 佐野和生. 1987. 水産養殖と水(II). サイエティスト社. 40-47.
- 佐野和生. 1979. 水産養殖と水. サイエティスト社. 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[☒], 岡本靜雄. 1988. 養殖·蓄養水槽の浄化装置用微生物擔[☒]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.