

## 해수 순환 여과 사육 시스템에서 넙치 사육 시험

방종득<sup>†</sup> · 최용석\* · 서형철\*

국립수산과학원 동해수산연구소 · \*서해수산연구소

## Culture of the Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* in a Marine Recirculating System

Jong Deuk Bang<sup>†</sup>, Yong Suk Choi\* and Hyung Chul Seo\*

National Fisheries research and Development Institute, East sea Fisheries Research Institute,  
Kangnung Kangwan 210-860, Korea

\*National Fisheries research and Development Institute, West sea Fisheries Research Institute,  
Inchun 400-420, Korea

Bio-secure culture of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in the IBK (Intensive Bioproduction Korean) recirculating system with dry pellet was tested for 6 months. The IBK system consists of 12 rearing tanks, 6 sedimentation tanks, 4-sectioned submerged biofilter chamber and channels. The size of each rearing tank was 3m in diameter and 1m in depth. The size of each biofilter chamber was 3.1 × 3.3 × 2.0 m (D) and was filled with corrugated plastic plates as a biofilter medium. Total surface area of the biofilter was 3,789.7 m<sup>2</sup>. Water was circulated by one of two vertical axial pump and circulating rate was about 34 times per day. A UV light sterilizer was used to treat inlet sea water with the flow rate of 4 ton/hr. All fish were treated with 150 ppm formalin 3 times with 5 day interval before stocking.

It took 60 days for "conditioning" the biofilter with the stocking density of 4.5 kg of fish per m<sup>2</sup>. The concentrations of ammonium-nitrogen, nitrite-nitrogen and nitrate-nitrogen in the system remained at the range of 0.096~0.315 mg/L, 0.015~0.504 mg/L, and 2.530~39.517 mg/L, respectively. Water temperature fluctuated from 17.5 to 25.1 °C and salinity was from 30.1 to 33.5 ppt during rearing period. The fish grew from the average weight of 615.2 g to 1,201.1 g for 180 days. Initial and final fish densities were 8.4 and 15.9 kg/m<sup>2</sup>. Survival rate was 97.1%. Neither parasites nor noticeable diseases was observed during the rearing period even *Vibrio* spp. were detected from some fish in the system.

*Keywords* : Intensive Bioproduction Korean, Olive flounder, Bio-secure culture

### 서 론

넙치는 조피볼락과 더불어 우리 나라 대표적 어류 양식종으로 대부분 육상 수조에서 양식되고 있으나, 최근 들어 질병 문제, 환경 오염 문제 등으로 양식 효율이 현저히 떨어져 있는 실정이다. 우리 나라와 양식 환경이 비슷한 일본에서도 유사한 경향을 보이고 있으며, 이에 대한 대처의

하나로 순환 여과 양식 기술의 도입이 고려되고 있으나 (조, 1996; Saikai, 2002), 아직 실용화에는 미치지 못하고 있는 실정이다. 순환 여과 양식법은 기본적으로 시스템 내 고밀도 생물 수용과 단백질 함량이 높은 사료를 사용하는 관계로 질소 노폐물의 효율적 제거가 주요 연구 항목으로 되어있다 (Lovel, 1989; Gross *et al.*, 2003). 특히 해수에서의 질소노폐물 제거는 담수에 비해 효

<sup>†</sup>Corresponding Author : Jong Deuk Bang, Tel : 033-661-8504,  
Fax : 033-661-8514, E-mail : jdbang@nfrdi.re.kr

울이 떨어지는 문제가 있어 해수 순환 양식에서 질소 노폐물을 효율적으로 제거하는 시스템을 갖추는 것은 특히 중요한 사항이다.

질소 노폐물 제거 기술 외에 순환 여과식 시스템 내의 질병 문제 역시 중요한 관심사항으로 알려져 있다. 질병 문제에 대해서는 시스템이 원천적으로 외부와 격리되어 있다는 점에서 외부 감염으로부터 안전성이 확보되어 있다고 볼 수 있다. 그러나 순환 여과 시스템은 근본적으로 질병 요인에 좋은 발생 환경을 제공할 뿐만 아니라, 사육이 지속됨에 따라 감염 경로로부터 완전 차단이 어렵고, 또한 고밀도 폐쇄 양식으로 인한 생물의 면역 기능 저하 등으로 일단 질병 요인에 의해 노출이 되면 대량 감염의 문제를 야기시킬 수 있는 단점을 안고 있다 (Noble and Summerfelt, 1996). 따라서 해수 순환 여과 시스템을 성공적으로 도입하기 위해서는 시스템 내의 효과적 질소 노폐물 제거와 발병 억제 효과를 확보해야 함은 필수 사항이다.

본 연구에서는 담수 어류 양식에서 과거부터 운영되어 오던 IBK (Intensive Bioproduction Korean) 순환 여과 양식 시스템을 넘치 전용 해수 순환 여과 양식 시스템으로 전환하여 상업적 가능성을 검토하였다. 전환된 시스템 내에서 특히 질소 노폐물 제거를 위한 생물학적 여과상을 안정화시킨 후 넘치의 성장 상태를 질병의 발병에 초점을 두었고, 이를 통해서 현재 넘치 양식이 안고 있는 질병 문제를 해결하는 방안을 찾고자 하고 있다.

## 재료 및 방법

본 연구에 사용한 해수 순환 여과 시스템은 침지식 생물 여과조를 설치한 IBK 시스템 (김, 1996, 1997)을 기본 설계로 하였다. 본 시스템은 사육조, 1차 침전조, 생물 여과조, 펌프장 및 U-tube 시스템으로 구성되어 있으며, 총 수면적은 194.3 m<sup>2</sup> (203.7 톤), 사육 수조는 직경 3 m, 깊이 1.0 m의 원형 콘크리트 수조 12개로, 사육 수조

에서 고형물의 분리가 잘 되도록 하기 위해 주입수의 힘에 의해 수조의 물이 회전 수류를 일으키고 또 바닥의 경사에 의해 오물이 쉽게 중앙 배수구를 빠져 나가게 시설하였다. 1차 침전조는 중앙 배수구를 빠져나온 오물이 침전되고 상층수가 배수로로 통하도록 하였다.

생물 여과조는 3.1×3.3 m, 깊이 2.0 m의 사각형 콘크리트 4개로 구획이 되고 여과재는 선라이트 파판 (63×127 cm)으로써 여과조 전체를 채웠으며 여과재의 표면적은 3,789.7 m<sup>2</sup> 이었다. 펌프조는 배수로 끝에 버티칼 펌프 (7마력) 2대를 설치하여 3 시간 간격으로 교대로 가동하였다. 이때 사육수를 시간당 288 톤 순환시킴으로써 사육수는 일일 34.1회씩 여과조를 통과한 후 다시 사육 수조로 유입되었다. U-tube 시스템은 깊이 2 m로 낙차를 있게 하고 격벽으로 시설하여, 펌프로 물을 퍼 올려서 수류의 낙차가 있는 곳에 물을 분출시켜 기포를 생기게 함으로서 산소를 보충할 수 있다. 기포를 만들어서 산소를 주입하면 이때 어류의 호흡에서 나온 물속의 탄산가스를 제거하는 역할을 동시에 하게 된다.

별도의 시설로서 유입수로부터 병원체 인입을 차단하기 위해 유수량 4 ton/hr의 자외선 살균 장치 (유원전기, 38 W 램프 2개)를 시설하였다. 시설 후 최초의 담수 방법은 각 수조에 지하수를 채워서 10일 이상 명반을 이용하여 콘크리트 수조의 강 알칼리 성분을 저하시키고 세척 후 살균 해수를 채웠다.

생물 여과조의 숙성을 위해 낮은 사육 밀도 (10마리/m<sup>2</sup>)로 넘치 치어 (평균중량 450 g)를 방양하여 암모니아성 질소 (NH<sub>4</sub>-N), 아질산성 질소 (NO<sub>2</sub>-N), 질산성 질소 (NO<sub>3</sub>-N)의 농도 변화를 조사하여 질산화 과정이 안정적으로 이루어지는 시점을 생물여과조의 숙성으로 판단하고 본 사육 실험을 실시하였다. 수질 측정 방법으로는 암모니아성 질소는 phenol에 sodium nitroprusside를 혼합한 시약과 tricitrate desodium에 NaOH, trichlorocyanuric acid를 녹인 시약을 시수에 주입하여 암소에서 6 시간 발색시킨 후 분

광광도계로 630 nm에서 측정하였다. 아질산성 질소는 시수에 sulfanilamide와 N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride를 주입하여 10분 이상 발색시킨 후 분광광도계로 543 nm에서 측정하였다. 또한 질산성 질소는 시수를 Cu-Cd column에 통과시켜 아질산성 질소 측정법과 동일한 방법으로 측정하였다 (APHA, 1989).

사육 실험에 사용된 넙치는 충남 태안관내 양식장에서 구입한 넙치 치어 (평균체중 615.2 g) 1,157마리를 사육수조에 수용하기 전에 별도의 수조에서 15일간 안정시키면서 포르말린 150 ppm 농도로 5일 간격으로 3회 약욕을 실시하였으며 기생충 미 감염을 확인한 후 사육 수조에 수용하였다.

사육 기간 중 환수는 1일 2회로서 1차 침전조를 완전 비우고 사육수조 배수관의 침전물을 제거해 주는 정도로 배출하고 보충수를 주입하였으며 1일 환수량은 전 수량의 5% 정도였다. 보충수는 자외선 살균기를 통과한 살균수를 사용하였다. 사육용 사료는 시판 넙치용 배합 사료를 성장에 따라 크기별로 조절하여 1일 3회 투여하였다. 사육 중에는 어류가 충분히 먹는 상태에서 사료 공급을 중단하고 공급전의 사료 양으로부터 뺀 무게를 사료 공급량으로 하였다.

실험 개시 후 어류의 성장 상황은 1개월 간격으로 수조당 10마리씩 무작위 추출하여 성장도를 조사하였다. 사료 효율은 Morizane (1984)의 방법에 의해 습중량을 기준으로 하였다. 사육 기간은 6개월 (4~10월)로 사육 중 환경 조건으로서 수온, 용존산소, pH 및 염분도 조사는 매일 사료 투여전 아침 9시에 실시하고 질소 화합물은 1주일 간격으로 같은 시간대에 채수하여 측정하였다.

질병 감염 여부 조사는 매일 5마리씩 채집하여 표피, 아가미를 대상으로 넙치의 주요 기생충성 질병인 스퀴티카증, 트리코디나증, 백점병 등의 감염을 검사하고, 세균학적 조사를 위해 복부 절개에 의해 신장 및 간장을 무균적으로 절취하여 준비된 BHIA 배지에 도말 접종한 후 26 °C

배양기에서 48시간 배양하여 형성된 집락을 대상으로 넙치의 주요 병원성세균인 *Edwardsiella tarda*, *Streptococcus* sp. 및 *Vibrio* spp.를 검색하고 의심되는 균종은 항혈청으로 확인하였다.

실험 결과의 자료는 Sigma Plot Software의 student *t*-test를 통하여 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 생물 여과조 숙성

시설후 여과조 숙성을 위해 시험어를 수용한 후 여과조 활성 기간 중 수온은 12.1~18.2 °C로 유지하였으며, 시험어 방양 초기에는 먹이를 잘 먹었으나 방양 8일 경과 시부터 먹는 양이 감소하면서 15일 후부터는 사료 섭취량이 격감하였으며 이때 암모니아 농도는 0.52 mg/L로 높게 나타났다. 이후 사료 투여량과 환수량을 적절히 조절하면서 암모니아 농도를 0.40 mg/L 이하 유지되도록 관리한 결과 시험어 방양 60일 경과 후부터 암모니아성 질소 농도 0.12~0.31 mg/L, 아질산성 질소 0.11~0.26 mg/L, 질산성 질소는 5.21 mg/L 이상 증가하여 질산화 과정이 안정적으로 이루어지는 것으로 판단되어 이후 본 사육 시험을 실시하였다.

순환 여과 사육 시스템에서 여과조의 숙성은 수온에 많은 영향을 받는데 수온 26~34 °C의 해수에서 질산화 작용을 위한 여과 생물의 안정은 29~41일 후에 이루어졌다고 보고하였다 (Forster, 1974; Hirayama, 1974; Carmignami and Benett, 1977). 또한 전·손 (1999)은 침지식 순환 여과 사육 시스템에서 조피볼락을 사육 시험한 결과 시스템 설치후 사육 수온을 15.5~19.1 °C로 유지시키고 여과조가 완전한 질산화 작용을 나타내는 기간 즉 안정되는데 50일이 소요된 것과 비교해 볼 때 본 실험에서 여과조의 활성이 안정되기까지의 소요 기간이 긴 것은 수온이 낮았기 때문인 것으로 사료된다.

### 2. 수질 환경

사육 수온은 4월부터 17.5 °C 이상으로 유지하였으며 6월부터는 20 °C를 넘어 8월 초순경에 최고 25.1 °C로 상승하여 여름철에는 외부의 자연 수온과 유사하였다. 염분도는 30.1~33.5 ppt로 변화하였으며 여름철에는 저염분 현상이 나타났으나 외부의 자연 해수보다는 변화가 적었다 (Fig. 1).

용존산소는 수온과 밀접한 관계를 보이며 8월 초부터 9월 중순의 고수온기에 7.4 ppm 정도로 낮아지기도 하였다. pH는 자연 해수와 유사한 8 내외에서 점차 낮아져 시험 종료 시기에는 7.7까지 하강하였으며 사육 종료 후 다시 7.9까지 회복되었다 (Fig. 2).

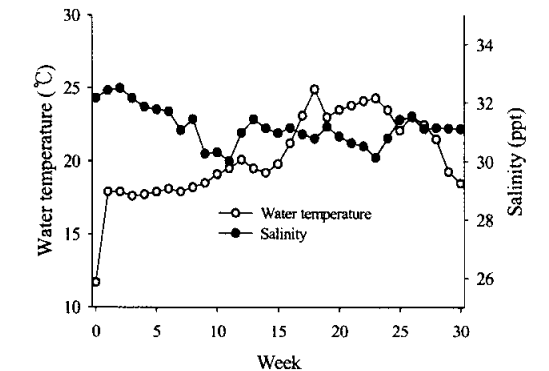


Fig. 1. Weekly changes of water temperature and salinity in the IBK recirculating system after stocking olive flounder, *Paralichthys olivaceus*.

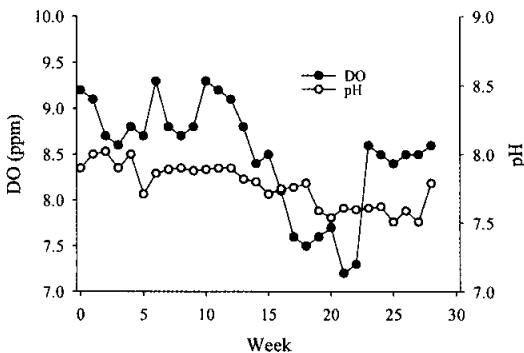


Fig. 2. Weekly changes in DO and pH in the IBK recirculating system after stocking olive flounder, *Paralichthys olivaceus*.

사육수의 암모니아성 질소와 아질산성 질소의 농도는 시험어 방양 초기에 각각 0.191 mg/L와 0.513 mg/L 이하로 잠시 유지되다가 방양 7일후 암모니아성 질소 및 아질산성 질소 농도가 각각 0.452 mg/L와 2.151 mg/L로 갑자기 증가하였으므로 즉시 환수 조치하여 수질을 안정시켰다. 이후 암모니아 농도는 0.096~0.351 mg/L, 아질산성 질소는 0.015~0.504 mg/L로 사육이 종료될 때까지 일정하게 유지되는 경향을 보여 정상적인 생물학적 분해가 이루어짐을 알 수 있었다.

질산성 질소는 2.301 mg/L에서 사육 기간 중 증감을 계속하였으며 2개월 간격으로 사육수를 환수시키는 방법으로 지속적인 증가를 억제하였다. 사육 후반기에는 최고 39.517 mg/L까지 상승하였으나 사육어의 먹이 섭취 및 성장에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다 (Fig. 3). 질산성 질소는 어류를 장기간 사육함으로써 질산화 과정의 산물로 사육수 중에 축적되며 유수 조건하에서 질산염을 단독 노출시켰을 경우 체중 6~12g의 치어에서 먹이 섭취 및 성장에 영향을 미치는 농도는 800~1000 ppm이라고 추정하며, 넙치 미성어 사육의 경우 700 ppm 전후에서 먹이 섭취량의 저하가 일어나 해수에서 넙치 양식의 경우 질산성 질소가 700 ppm 이상 검출

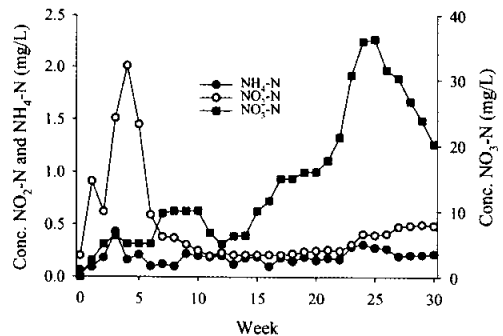


Fig. 3. Weekly changes in nitrogen compounds in the IBK recirculating system after stocking olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Total water volume of the system was about 200 m<sup>3</sup>; 70 m<sup>3</sup> for the fish culture, 5 m<sup>3</sup> for primary settlement, and 100 m<sup>3</sup> for biofilter with 3,789.7 m<sup>2</sup> of media surface.

되는 것이 사육에 적합하지 않다고 하였다 (일본 전력중앙연구소, 1991). 본 실험에서 질산성 질소의 경우 농도가 높을 때에는 환수량을 늘림으로서 농도를 조절할 수 있었다.

### 3. 넙치 사육

전 사육 기간 동안 넙치의 성장은 사육 개시 시에 평균 체중 615.2g이었던 것이 사육 180일 만에 1,201.1g로 성장하였으며, 사료 효율은 64.1~69.8%로 고수온기에 다소 떨어지는 경향을 보였다 (Fig. 4). 이는 장 등 (1995)이 보고한 반폐쇄식 순환 여과 사육 시스템의 넙치 양식 시험에서 배합 사료 (45%)와 냉동 전갱이

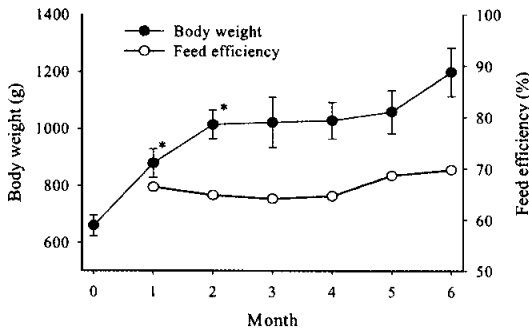


Fig. 4. Monthly changes in growth and feed efficiency of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* reared in the IBK recirculating system. Asterisk stands for significant differences from previous value ( $p < 0.05$ ).

(55%)를 혼합하여 만든 moist pellet으로 넙치 체중 100~800g 범위에서 1, 2차 시험결과 사료 효율이 각 34.8~59.8% 및 40.5~88.4%로 다소 높거나 유사한 값을 나타내었는데 완전 배합사료를 사용하지 않았다는 점에서 직접 비교는 무리가 있는 것으로 사료된다. 사육 밀도는 방양 초기 8.4 kg/m<sup>2</sup>에서 사육 일수가 경과함에 따라 증가하여 시험 종료 시에는 15.9 kg/m<sup>2</sup>이었다 (Table 1). 이렇게 시험 시작부터 수용 밀도가 낮은 것은 당초 시험 목적이 단위 면적당 적정 수용 밀도를 구명하는 시험이라기보다는 새로운 해수 순환 여과 시스템 시설에 따른 시설 운영 기술 개발과 질병 감염 차단에 의한 무병 양식 시험이었기 때문에 처음부터 수용 밀도를 크게 고려하지 않아 충분한 수용 밀도 시험을 실시하지 못하였다. 하지만 생물 여과조의 여과 능력으로 보아 시스템을 효과적으로 운영하면 20 kg/m<sup>2</sup> 이상 수용은 가능할 것으로 판단된다.

사육기간 중 폐사어는 사육조의 수위차가 낮아서 시험어가 수조 바깥으로 종종 튀어나와 죽는 개체 외에는 거의 발생하지 않았으며 생존율은 97.1%이었다.

### 4. 질병 발생

시험어를 사육 수조에 방양한 후 매월 세균성 질병 및 기생충성 질병을 조사한 결과 병원성

Table 1. Growth summary of olive flounder *Paralichthys olivaceus* reared in the IBK recirculating system for 6 months.

	Month						
	0	1	2	3	4	5	6
Mean body weight (g)	615.2	702.1	802.3	888.4	906.2	1,029.4	1,201.1
Total body weight (Kg)	711.8	807.4	918.6	1,011.9	1,028.5	1,163.2	1,350.0
Stocking density (Kg/m <sup>2</sup> )	8.4	9.5	10.8	11.9	12.1	13.7	15.9

기생충은 검출되지 않았으며, 세균성 질병의 경우 *Vibrio* spp.는 검출되었으나 질병으로 발현은 되지 않았다. 그 외 에드워드병과 연쇄구균병의 경우 원인균이 검출되지 않았으며 질병도 발생하지 않았다. 본 시험 결과와 같이 순환 여과식 양식장에서는 기생충성 질병이 한번 발생하면 치료가 어렵기 때문에 사육 수조에 수용되는 양식 어류는 기생충에 감염되지 않아야 하며, 감염되었을 경우 기생충을 완전 구제하여 미감염을 확인한 후 입식하는 것이 질병 예방 차원에서 바람직한 것으로 사료된다. 이와 같이 양식 어류의 안정적 생산, 식품으로서 안전성과 질적 향상 차원에서 순환 여과식 사육 시스템 개발 및 운영 기술에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## 요 약

침지식 해수 순환 여과 사육 시스템에서 여과조 숙성과 넙치의 성장을 조사하였다. 생물 여과조가 숙성되는데 60일이 소요되었다. 사육 기간 중 수온은 17.5~25.1 °C, 염분은 30.1~33.5 ppt, 용존산소는 7.25~10.49 ppm, pH는 8.1~7.5를 유지하였다. 사육수는 매일 5% 범위에서 환수하였으며 사육수의 암모니아성 질소 및 아질산성 질소 농도는 각각 0.096~0.315 mg/L 및 0.015~0.504 mg/L이었으나, 질산성 질소는 질산화 과정이 지속되어 그 농도가 2.530 mg/L에서 39.517 mg/L까지 증가하였다. 사료 효율은 64.1~69.8% 이었고, 사육 밀도는 시험 종료 시 15.9 kg/m<sup>2</sup> 이었다. 사육기간 중 *Vibrio* spp.는 검출되었으나 질병 발생에 의한 폐사는 없었으며 생존율은 97.1%를 나타내었다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산물학원(수산 양식 대상종 연구 및 종 보존, RP-05-AQ-4)의 지원에 의해 운영되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 김인배: 순환 여과식 양식 산업의 개발. 수산양식, 81: 181-186, 1996.
- 김인배: 순환 여과식 양어 시설의 발전 방향, 순환 여과식 육상 양어장의 설계 및 관리에 관한 세미나. 부경대학교 해양산업개발연구소 · 농림수산기술 관리센터, pp. 1-27, 1997.
- 장영진, 김승현, 양한섭: 반폐쇄식 순환 여과 사육 시스템에서의 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 양식. 한국수산학회지, 28(4): 457-468, 1995.
- 전임기, 손맹현: 침지식 순환여과 사육시스템에서 조피볼락의 양식을 위한 적정 해수 교환량. 수진연구보고, 55: pp. 51-60, 1999.
- 조재윤: 양식공학. 부경대학교 출판부, pp. 25-35, 1996.
- APHA: Standard Methods. For the Examination of Water and Wastewater, 17th Edition, Washington. D.C., 1268, 1989.
- Carmignani, G. M. and J. P. Bennett: Rapid start-up of a biological filter in a closed aquaculture systems. Aquaculture, 11: 85-88.1977.
- Forster, R. M.: Nutrient removal using Lemna minor. Journal of the Water Pollution Control Federation, 45(9): 1928-1938, 1974.
- Gross, A., A. Nemirovsky, D. Zilberg, A. Khaimov, A. Brenner, E. Snir, Z. Ronen and A. Nejjat: Soil nitrifying enrichments as biofilter starters in intensive recirculating saline water aquaculture. Aquaculture, 223: 51-62, 2003.
- Hirayama, K.: Water control by filtration in closed culture systems. Aquaculture, 4: 369-385, 1974.
- Lovel, R. T.: Nutrition and Feeding Fish. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA, 200, 1989.

Morizane, T.: Fundamental study on the culture of plaice *Paralichthys olivaceus*. Effect of water temperature condition on the growth of young fish. *Suisanzoshoku*, 32: 127-131, 1984.

Noble, A. C. and Summerfelt, S. T.: Diseases encountered in rainbow trout cultured in recirculating system. *Annual Review of Fish Diseases*, 6: 65-92, 1996.

Seikai, T.: Flounder culture and its challengers in

Asia. *Reviews in Fisheries Science*, 10: 421-432, 2002.

電力中央研究所.: ヒラメの高密度飼育技術開発, 財團法人, 日本電力中央研究所 報告, pp. 21-25, 1991.

---

Manuscript Received : March 10, 2005

Revision Accepted : April 01, 2005

Responsible Editorial Member : Ju-Chan Kang  
(Pukyong Univ.)