

半閉鎖式 循環濾過 飼育시스템에서의 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 養殖

張榮振 · 金承憲* · 梁漢燮**

釜山水產大學校 養殖學科

*海林水產

**釜山水產大學校 海洋學科

Culture of the Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) in a Semi-closed Recirculating Seawater System

Young Jin CHANG, Seung Hyern KIM* and Han Soeb YANG**

Department of Aquaculture, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

*Haerim Hatchery, Paikya-ri, Hwajeong-myon, Yochon 556-830, Korea

**Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

In order to develop a more practical culture system from the present running seawater tank system, two experiments of environmental factors, growth, survival rate and rearing density of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) were carried out for two consecutive years. Two groups of fish in initially averaging 7.5 cm of total length, and 3.4 g of body weight (EXP. I) and 5.0 cm and 1.8 g (EXP. II) were reared in the semi-closed recirculating seawater system equipped with the rotating biological contactors with the commercial culture scale.

The dissolved inorganic nitrogen concentrations in EXP. I ranged 0.247~0.512 ppm of $\text{NH}_4\text{-N}$, 0.010~0.043 ppm of $\text{NO}_2\text{-N}$, and 0.108~0.342 ppm of $\text{NO}_3\text{-N}$, and those in EXP. II were 0.091~0.715 ppm, 0.002~0.045 ppm, and 0.007~0.277 ppm, respectively. Daily feeding rates of the fish were 0.67~2.41% in EXP. I and 0.69~2.22% in EXP. II, and feed efficiency were 34.8~59.8% and 40.5~88.4% in EXP. I and II, respectively.

The average total length and body weight were 40.0~42.8 cm and 695.0~852.6 g after 340 days culture in EXP. I, and 36.7~39.7 cm and 552.4~706.4 g after 365 days culture in EXP. II, respectively. Survival rates of the fish at the end of EXP. I and II were 92.0% and 96.0%, respectively.

The ratio of body surface area of non-ocular side in all fish to bottom area of rearing tank, so-called covering rate, was used as an indicator of rearing density. The highest covering rate and weight density of fish per m^2 of rearing tank at the end of experimental period were 2.2 and 34.1 kg in EXP. I, and 2.6 and 36.3 kg in EXP. II, respectively.

For the commercial culture of olive flounder, the semi-closed recirculating seawater system was found to be more effective than the running seawater tank system in aspect to the fish productivity and protection of marine environment.

Key words : olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, semi-closed recirculating seawater system, tank culture, rearing density, covering rate

緒 論

1980년대 후반부터 養殖生産이 크게 신장되고 있는 底棲性 魚類인 넙치는 海上 가두리 보다는 바닥이 안정되고 사육 및 관리조건이 편리한 陸上水槽에서 널리 사육되고 있다. 그러나, 최근에는 우리나라 각 해안에 인접한 토지의 地價上昇으로 인하여 육상수조 양식을 위한 부지확보가 매우 어려운 여건에 있다. 따라서, 養殖家에게는 좁은 면적에서 보다 많은 양의 넙치생산이 가능한 양식기술의 개발이 절실하게 요구되고 있다. 특히, 陸上水槽 養殖에서 飼育水의 排水問題로 연안 어민과의 마찰이 심해지고, 환경 오염에 대한 제약이 많이 따르는 관계로 현행의 流水式 양식 방법은 문제가 있다는 인식이 팽배한 실정이다.

이러한 문제점 해결을 위하여 淡水魚類 양식에서는 이미 Kim (1980; 1983) 및 Chun (1983)에 의해 循環濾過 飼育시스템이 개발되어 실용성이 인정되고 있다. 海産魚類의 양식에서는 Chang and Yoo (1988)와 張·柳 (1991)가 사육수를 재 이용할 수 있는 閉鎖式 循環濾過 飼育시스템을 이용하여 넙치稚魚의 사육밀도에 관한 실험을 실시한 결과, 高密度飼育이 가능하다는 결론을 얻고, 이를 상품어까지의 양식에서도 적용될 수 있도록 확대 연구할 필요가 있다고 제시한 바 있다. 외국에서도 순환여과식 양식에 관한 연구가 진행되고 있는데, 서독의 Metz Mannheim사는 미생물학적인 水質淨化 장치를 갖춘 閉鎖循環濾過 飼育裝置를 고안한 바 있으며 (Mewis, 1990), 일본의 電力中央研究所에서는 순환여과 방식에 의한 넙치의 고밀도 사육기법이 연구되어 왔다 (溫水養魚開發協會, 1988).

이러한 순환여과 사육시스템에 의한 어류양식 기술의 국내외 연구개발 상황에 비추어 볼 때, 해산어류의 양식에서도 수질의 보전, 환경 오염원의 삭감 및 양식생산의 경비절감을 통하여 생산성을 향상시킬 수 있는 실용적인 순환여과식 양식시스템의 개발이 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 실제 양식장의 半閉鎖式 循環濾過 飼育시스템을 이용하여, 넙치 (*Paralichthys olivaceus*) 종묘로부터 상품어 크기까지 사육하면서, 넙치의 사육 환경, 성장, 생존 및 수용밀도에 관하여 1992년 2월부터 1994년 1월까지 2년간 연구하여 그 실용성을 입증하고자 하였다.

材料 및 方法

본 연구에 사용한 사육시설은 Fig. 1과 같이 네 모서리를 둥글게 처리한 33.6톤 들이 (5.8×5.8×1.0 m, 水容積 16.8톤)의 콘크리트 飼育槽(T)와 이에 부속하는 여과시설인 沈澱槽(S, 5.0×0.9×1.0 m), 濾過槽(F, 0.7×0.7×1.5 m) 및 回轉圓板槽(R, 4.0×1.0×0.4 m)로 구성된 2조의 순환여과 사육시스템이었다. 시스템은 飼育槽와 수질정화 시설로서의 沈澱槽, 濾過槽 및 回轉圓板槽의 순서(화살표)로 飼育水를 계속 순환시킴으로써, 사료 찌꺼기 및 어체의 배설물이 시스템 밖으로 배출되거나 분해되는 과정이 반복되도록 하였다. 回轉圓板槽에는 生物學的 窒酸化工程을 위한 回轉圓板(RBC)이 설치되어 있으며, 순환여과식 넙치양식장에서 가동중에 있던 濾過生物이 충분히 번식한 것을 사용하였다.

실험어류로는 1차년도(실험 I)에 平均全長 7.5 cm, 平均體重 3.4 g, 2차년도(실험 II)에 각각 5.0 cm, 1.8 g의 넙치 種苗를 사용하였다. 사육기간중 5~11월은 自然海水를 1일 10회 교환하여 주었고, 그의 低水溫 期間에는 1일 2.5회 교환하면서 加溫하여 주었다. 한편, 回轉圓板을 거쳐 정화된 사육수를 사육수조에 계속 흘려주어, 1일 평균 15회의 循環率이 유지되도록 하였다.

사료는 넙치용 配合飼料(45%)와 冷凍 전갱이(55%)를 혼합하여 만든 moist pellet으로 하였다. 1일중 사료공급 횟수는 低水溫 期間(07:00, 18:00)을 제외하고 매일 3회(07:00, 12:00, 18:00)로 하였으며, 사육중의 어류가 충분히 먹이를 먹은 상태에서 사료공급을 중지하고 공급전의 사료량으로 부터 남은 사료량을 뺀 무게를 사료 공급량으로 하였다. 사료효율은 Morizane(1984)의 방법에 의해 濕重量 기준으로 구하였다.

1년간의 사육중에는 개체별로 성장차이가 나타나므로, 평균 46일 간격으로 選別을 실시함과 동시에 성장도를 측정하고, 大그룹(실험 I L, 실험 I I L)과 中 그룹(실험 I M, 실험 I I M)으로 구별한 다음 수용개체수를 조절하여 사육하였다.

사육중 환경조건으로서의 기온, 수온 및 비중은 매일 12:00에, 溶存無機態窒素 및 磷의 양은 17~63일 (평균 34일) 간격으로 사료공급전(12:00)에 채수하여 측정하였는데, 수온은 棒狀溫度計로 측정하였으며

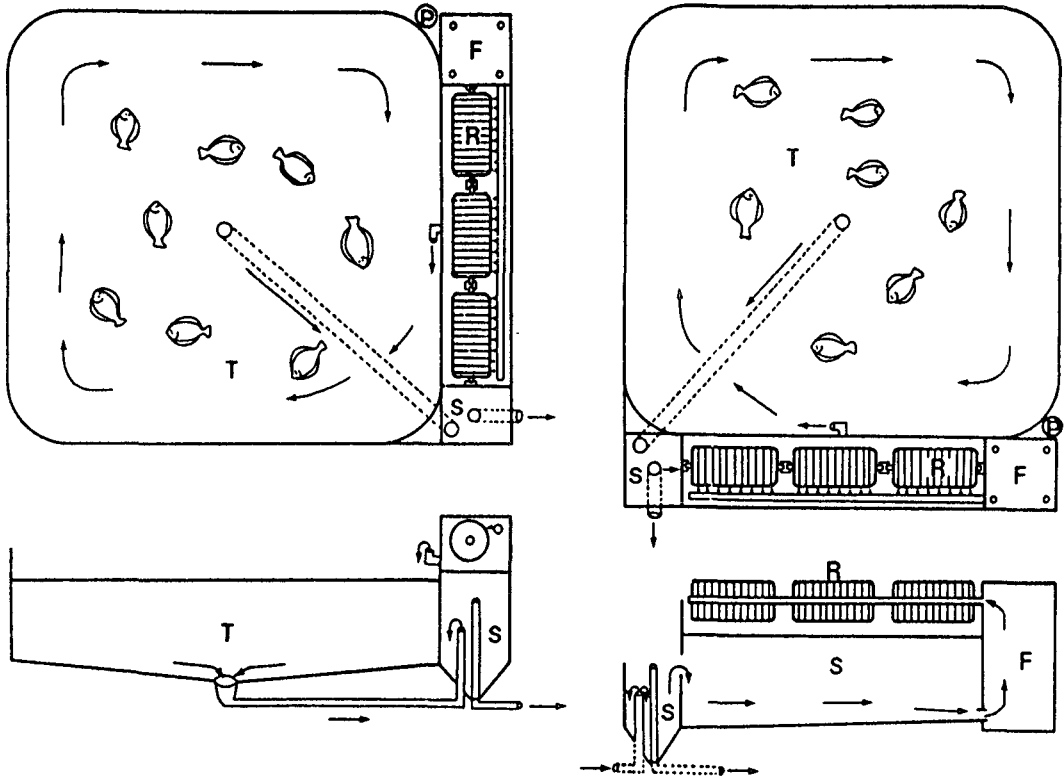


Fig. 1. Schematic diagram of a semi-closed recirculating seawater system used for the culture experiment of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). F: filtering unit, P: pump, R: rotating biological contactors, S: sedimentation unit, T: rearing tank. Arrows indicate the direction of water flow.

비중은 B형 비중계에 의해 實測한 후 標準比重으로 환산하였다. 사육수의 溶存無機態窒素中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 indophenol blue method, $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 naphthyl-ethylendiamine method, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 Cd-Cu column reduction method, 溶存無機態磷인 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 molybden blue method에 의해 측정하였다(Strickland and Parsons, 1968).

실험개시 이후 어체의 성장상황은 매 선별시 각 사육조별로 60개체씩 無作為 抽出하여 개체별 측정에 의해 조사하였는데, 어체의 全長 및 體高는 모눈종이를 이용하여 1mm 단위까지 계측하고, 體重은 1g까지 잴 수 있는 저울을 이용하여 計量하였다. 사육기간중의 생존율은 각 실험수조내 斃死魚를 매일 발견 즉시 들어내어 計數·測定한 다음, 매 선별시의 폐사어 누적치에 의해 구하였다.

사육시 어체 수용량을 파악하기 위한 덮는率(covering rate) (Chang and Yoo, 1988)을 계산하기 위하여,

성장도 측정시 마다 어체의 大中小 크기별로 10개체씩 추출하여 모눈종이 위에서 어체의 외형을 그린 다음, 전장×체고의 면적(cm^2)과 모눈計測法에 의한 無眼側 體表面積(cm^2)과의 상관관계를 분석하였다.

2년 동안 2회의 사육실험 결과중 사육일수에 따른 실험 I L, I M 및 실험 II L, II M의 어체 성장에 대한 기술키간의 有意差 有無의 평가는 ANOVA와 Scheffe's multiple comparison (Zar, 1988)에 의하였다.

結 果

飼育環境

전 사육기간중 사육수의 수온은 실험 I 에서 13.4~27.1°C, 실험 II 에서 12.6~24.6°C 범위로 유지되었으며 (Fig. 2), 加溫하여 주었던 低水溫期間을 제외한 5~11 월에는 자연수온과 거의 같은 변화경향을 나타냈다.

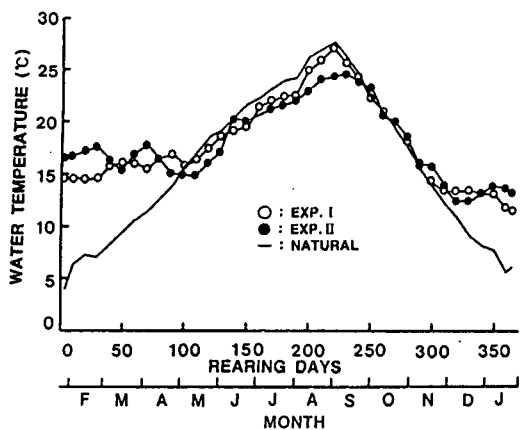


Fig. 2. Fluctuations of natural and rearing water temperature in each experimental period.

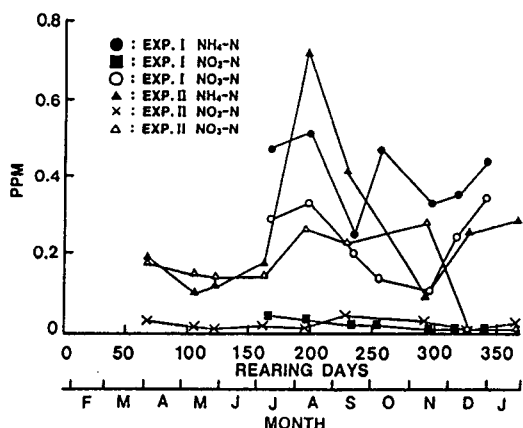


Fig. 3. Fluctuations of dissolved $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in each experimental period.

그러나 실험II의 수온은 異常低溫 現象에 의해 실험 I 보다 $0.8\sim 2.5^\circ\text{C}$ 낮았다. 한편, 사육수의 비중은 $1.0229\sim 1.0266$ 의 범위로 변화하였으며, 실험 I, II에서 모두 사육 230일경인 9월에 가장 낮은 분포를 보였다.

飼育水の 溶存 無機態窒素量의 변화는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 실험 I의 경우, $\text{NH}_4\text{-N}$ $0.247\sim 0.512$ ppm, $\text{NO}_2\text{-N}$ $0.010\sim 0.043$ ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ $0.108\sim 0.342$ ppm의 범위로 변화하였으며, $\text{NO}_2\text{-N}$ 에 비해 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도가 비교적 높은 편이었다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 사육 198일째인 8월 16일에 0.512 ppm으로 최고치를 나타냈고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 사육 340일째인 1월 5일에 0.342 ppm으로 가장 높았으나, 그 변화경향은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 에서와 비슷하였다. 실험II에서는 $\text{NH}_4\text{-N}$

$0.091\sim 0.715$ ppm, $\text{NO}_2\text{-N}$ $0.002\sim 0.045$ ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ $0.007\sim 0.277$ ppm 범위에서 변화하였다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 경우는 실험 I에서와 같이 사육 196일째인 8월 3일에 0.715 ppm으로 최고치를 나타내 실험 I 보다 높은 암모니아량을 기록하였으나, 그 외의 기간은 비교적 낮은 농도를 유지하였다. $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 농도는 실험 I에서와 비슷한 분포로 다른 溶存無機態窒素 보다 훨씬 낮았다.

한편, 사육기간중 월별로 조사한 각 측정일의 하루중 溶存無機態窒素 및 磷의 변화와 사육조건은 Table 1에서 보는 바와 같다. 실험 I에서 高水溫期인 9월 하순(사육 239일째)의 하루중 溶存無機態窒素의 최고치는 수온 24.3°C , m^2 당 魚體密度 29.6 kg의 조건에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.624 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.395 ppm이었으나, 저수온기인 1월 초순(사육 340일째)에는 수온 12.8°C , m^2 당 어체밀도 32.9 kg의 조건에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.442 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.233 ppm으로 다소 낮았다. 실험II에서는 사육개시후 68일째인 5월 하순에 수온 18.0°C , m^2 당 어체밀도 9.6 kg의 조건에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.231 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.230 ppm으로 하루중 최고치를 보였으나, 사육 196일째인 8월 초순에 수온 23.2°C , m^2 당 어체밀도 20.3 kg의 조건에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.838 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.316 ppm으로, 역시 여름에 높은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도를 나타냈다.

日間攝食率 · 飼料效率

전 실험기간 동안에 있어서 사육어류의 체중에 따른 일간섭식률 및 수온에 따른 사료효율은 Fig. 4에 나타낸 바와 같다. 체중 $100\sim 800$ g 범위에 있어서의 일간섭식률(%체중)은 실험 I에서 $0.67\sim 2.41\%$, 실험 II에서 $0.69\sim 2.22\%$ 로 서로 비슷하였으며, 체중이 증가함에 따라 섭식률이 감소하는 경향을 나타냈다. 이 결과를 이용하여 구한 체중(X)에 따른 일간섭식률(Y)의 관계는 $Y=37.6452X^{-0.5874}$ ($r^2=0.6707$)의 지수함수식으로 표시되었다.

한편, 전 실험기간 동안의 飼料效率는 체중 $100\sim 800$ g 범위에서 실험 I에서 $34.8\sim 59.8\%$, 실험II에서 $40.5\sim 88.4\%$ 로서 실험II에서 높은 사료효율을 나타냈다. 실험II의 결과로 부터 수온은 $13\sim 23^\circ\text{C}$ 범위에서의 사료효율은 수온이 상승함에 따라 점차 높아지는 경향을 보여, 사료효율의 변화는 수온과 比例關係가 있는 것으로 나타났다.

Table 1. Daily changes of dissolved inorganic nitrogen, phosphate(ppm) and rearing conditions in experiment I and II

Experiment	I		II			
	239	340	68	106	124	196
Rearing days						
Date	Sep. 26	Jan. 5	Mar. 28	May 5	May 23	Aug. 3
NH ₄ -N Mean	0.441	0.353	0.187	0.104	0.120	0.715
max.	0.624	0.442	0.231	0.113	0.144	0.838
min.	0.227	0.277	0.137	0.098	0.103	0.537
NO ₂ -N Mean	0.010	0.021	0.032	0.017	0.011	0.014
max.	0.015	0.025	0.039	0.021	0.012	0.028
min.	0.007	0.017	0.023	0.014	0.010	0.009
NO ₃ -N Mean	0.342	0.194	0.166	0.150	0.137	0.260
max.	0.395	0.233	0.230	0.219	0.171	0.316
min.	0.296	0.154	0.098	0.062	0.112	0.230
PO ₄ -P Mean	0.163	0.101	0.007	0.032	0.021	0.090
max.	0.210	0.128	0.010	0.048	0.055	0.122
min.	0.109	0.088	0.005	0.022	0.013	0.071
WT(°C)	24.3	12.8	18.0	15.0	17.1	23.2
Body weight(g)	487.4	773.8	40.3	87.3	113.3	249.6
Density(kg/m ²)	29.6	32.9	9.6	8.4	11.0	20.3
(ind./m ²)	61.0	42.3	235.0	101.5	101.4	85.5
(CR/m ²)	2.2	2.1	1.6	1.1	1.4	1.9

CR: covering rate, ratio of body surface area of non-ocular side in all fish to the bottom area of rearing tank, ind.: individual, WT: water temperature.

全長・體重 成長

전 사육기간 동안의 어체의 전장 및 체중 성장은 Fig. 5에서 보는 바와 같다.

전장의 성장에 있어서 실험 I의 어체는 사육개시시에 평균전장 7.5 cm였던 것이 사육 340일만에 실험 I L에서 42.8 ± 1.4 cm, 실험 I M에서 40.0 ± 1.7 cm로 성장하였다. 실험 II에서는 실험개시시 평균전장 5.0 cm였던 것이 사육 365일째에는 실험 II L에서 39.7 ± 1.7 cm, 실험 II M에서 36.7 ± 1.6 cm로 성장하였다. 이 결과를 이용하여 사육일수(D)에 따른 전장(TL)의 성장에 대한 회귀식을 구하여 보면,

실험 I L : $TL = -0.00017D^2 + 0.1631D + 6.9138$
 실험 I M : $TL = -0.00014D^2 + 0.1438D + 7.3306$
 실험 II L : $TL = -0.00016D^2 + 0.1563D + 5.3636$
 실험 II M : $TL = -0.00012D^2 + 0.1280D + 5.5452$

었다. 이들 4그룹의 사육일수에 따른 전장성장 경향에 대한 기울기의 차이유무를 검정한 결과, 실험 I L의 전장은 실험 I M, 실험 II L 및 실험 II M에 비하여 99.9%의 有意水準에서 빠른 성장을 나타냈으며, 실험 I M과 실험 II L은 서로간에 유의한 성장차이를 보이지 않는 반면, 실험 II M보다는 유의하게 성장이 빨랐음이 인정되었다(P<0.001).

체중의 성장에 있어서 실험 I의 어체는 사육개시시에 평균체중 3.4 g이었던 것이 사육 340일만에 실험 I L에서 852.6 ± 88.0 g, 실험 I M에서 695.0 ± 101.0 g으로 성장하였다. 실험 II에서는 실험개시시 평균체중 1.8 g이었던 것이 사육 365일째에는 실험 II L에서 706.4 ± 71.4 g, 실험 II M에서 552.4 ± 76.1 g으로 성장하였다. 이 결과를 이용하여 사육일수(D)에 따른 체중(BW)의 성장에 대한 회귀식을 구하여 보면,

실험 I L : $BW = -0.0035D^2 + 1.4939D - 31.0788$

실험 I M : $BW = -0.0032D^2 + 1.0961D - 18.9164$

실험 II L : $BW = -0.0052D^2 + 0.3923D + 1.9693$

실험 II M : $BW = -0.0034D^2 + 0.3098D + 0.2946$

이었다. 이들 4그룹의 사육일수에 따른 체중성장 경향에 대한 기울기의 차이유무를 검정한 결과, 실험 I L의 체중성장은 실험 I M, 실험 II L 및 실험 II M에 비하여 99.9%의 有意水準에서 빠른 성장을 나타냈으며, 실험 I M, 실험 II L 및 실험 II M 역시 서로간에 有意한 성장차이를 보여, 실험 I M, 실험 II L, 실험 II M의 순으로 성장이 빨랐다($P < 0.001$).

한편, 실험종료시의 실험 I 및 II의 사육어류에 대한 전장과 체중 성장의 빈도분포를 보면, Fig. 6과 같다. 실험 I L에서는 사육 340일만에 전장 $42.8 \pm$

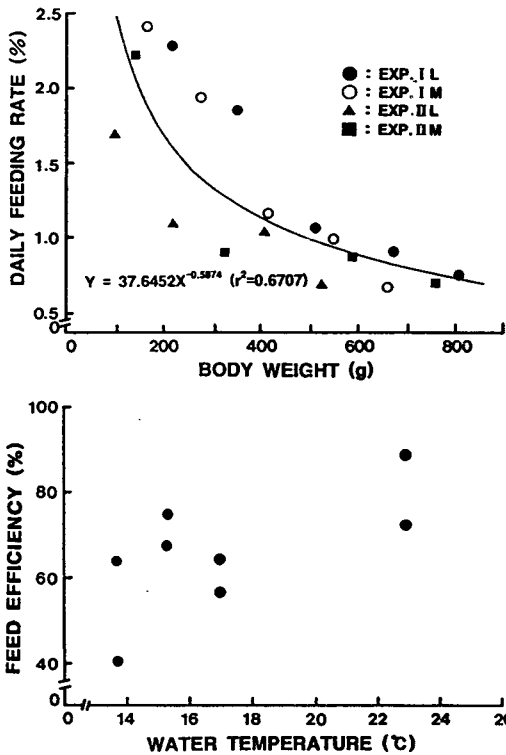


Fig. 4. Relationships between body weight and daily feeding rate of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in each experiment, and between water temperature and feed efficiency.

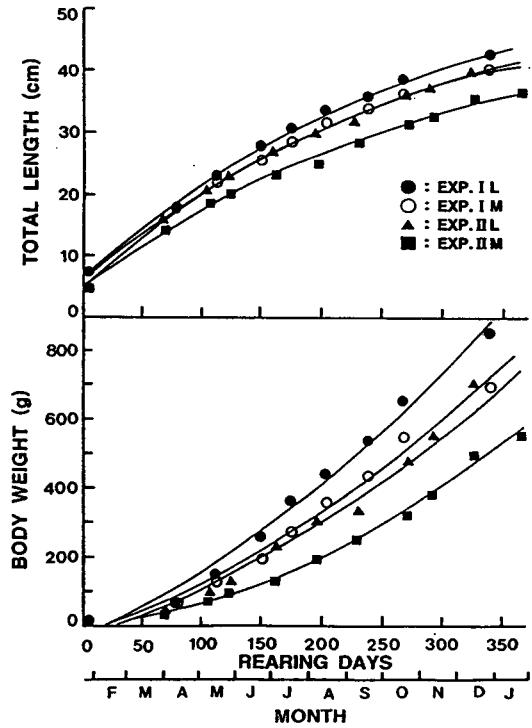


Fig. 5. Growth in total length and body weight of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) versus rearing days in each experimental period.

1.4 cm, 체중 852.6 ± 88.0 g으로 성장하였는데, 전장 42~44 cm, 체중 800~900 g 범위의 개체가 각각 58%, 38%로 가장 많았으며, 실험 I M에서 전장 38~42 cm 범위는 78%, 체중 600~800 g 범위는 72%인 것으로 나타났다. 실험 II L에서는 사육 326일만에 전장 39.7 ± 1.4 cm, 체중 706.4 ± 71.4 g으로 성장하였는데, 전장 38~42 cm 범위는 88%, 체중 600~800 g 범위는 85%로 나타나 실험 I M 보다 다소 높은 빈도분포를 보였으며, 실험 II M에서는 전장 34~38 cm, 체중 500~600 g 범위의 개체가 각각 73%, 48%로 나타났다.

이상의 성장경향을 토대로 100~800 g 범위에 있는 넙치의 체중별 일간성장률(%체중)을 나타내면, Fig. 7과 같이 140 g에서 1.26%로 최대의 일간성장률을 나타냈고, 524 g에서 최저치인 0.28%를 보이고 있다. 체중(X)에 따른 일간성장률(Y)은 어체의 중량이 증가할수록 비례적으로 낮아지는 경향을 보여 $Y = 20.2304 X^{-0.5817}$ ($r^2 = 0.6545$)의 역지수함수식으로 나타낼 수 있었다.

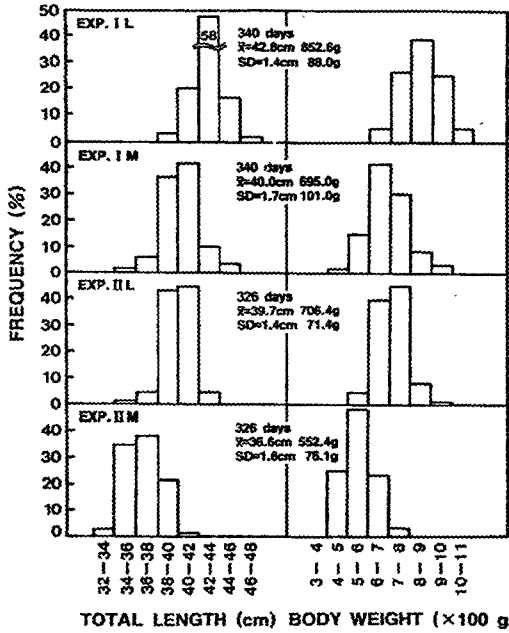


Fig. 6. Size distribution of total length and body weight of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) at the end of experimental periods.

生存率

실험종료시 飼育魚의 평균 생존율은 Fig. 8과 같이, 실험 I L에서는 사육일수 200일까지 97%의 비교적 완만한 생존율 감소를 보여, 실험 I M 및 실험 II의 결과와 비슷하였으나, 이후 고수온기인 8월말과 9월에 폐사개체가 증가하여 사육 340일째에는 90.3%로 가장 낮은 생존율을 나타냈다. 실험 I M 및 실험 II에서는 93.6~96.7%의 비교적 높은 생존율을 보였으며, 실험별 평균으로는 실험 I 92.0%, 실험 II 96.0%로 실험 II에서 생존율이 높았다.

덮는率 · 收容密度

全 實驗期間中 어체의 表面積이 水槽바닥을 덮는율의 산정을 위해, 전장 13.5~43.1 cm, 체고 6.5~21.7 cm 및 모눈계측법에 의한 無眼側 體表面積 55~575 cm² 범위에 속하는 넙치 380개체에 대하여 구한 전장 X 체고(X)와 無眼側 體表面積(Y)의 상관관계는 $Y = 0.6241X - 2.2721$ ($r^2 = 0.9917$)의 직선회귀식으로 표시되었다(Fig. 9). 이 관계식을 이용하여 사육초기부터 경과일수(X)에 따른 어체의 無眼側 體表面積이 底面

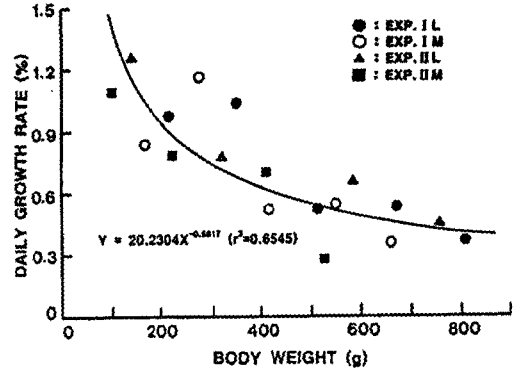


Fig. 7. Relationship between body weight and daily growth rate of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in each experiment.

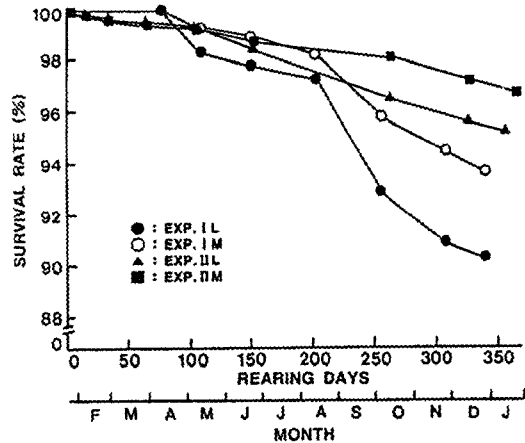


Fig. 8. Survival rate of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) versus rearing days in each experimental period.

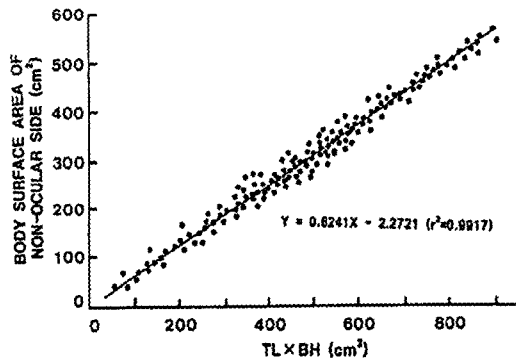


Fig. 9. Relationship between $TL \times BH$ and body surface area of non-ocular side of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) (TL: total length, BH: body height).

積을 덮는율(Y)을 나타내 보면, Fig. 10과 같이 $Y = 0.0047X + 0.7928 (r^2 = 0.7646)$ 의 직선회귀의 경향을 보이며, 사육개시시에 0.6이었던 덮는율이 사육종료시인 365일후에는 2.6까지 증가함으로써, 全 飼育面積에 넘치의 成魚가 고르게 분포할 경우, 최고 2.6층까지 겹쳐 성장시킬 수 있음을 알 수 있었다. 한편, 전 사육기간 동안 사육일수에 대한 단위면적당 어체의 밀도를 m^2 당 kg 으로 하였을 때, 사육일수(X)의 경과에 따라 체중(Y)은 비례적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, $Y = 0.0934X + 1.6813 (r^2 = 0.8691)$ 의 직선회귀식으로 표시되었다(Fig. 10). 이 결과들로부터 얻어진 最大 魚體收容量은 실험 I에서 덮는율 2.2, 중량 $34.1 kg/m^2$ 였고, 실험 II에서는 각각 2.6, $36.3 kg/m^2$ 였다.

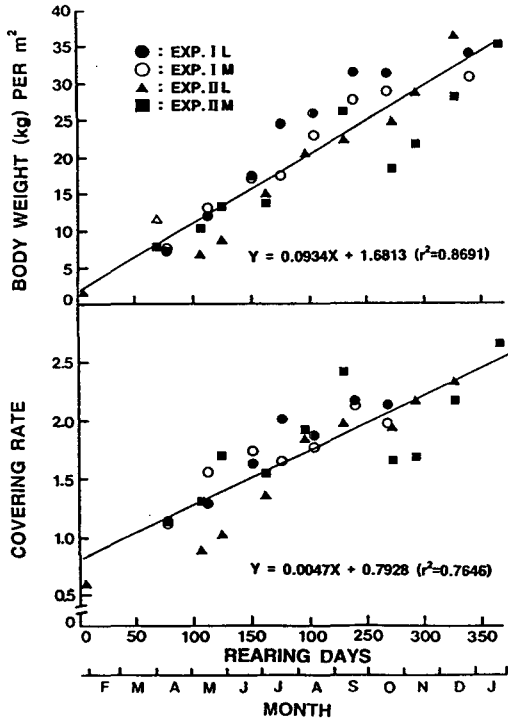


Fig. 10. Changes of body weight per m^2 and covering rate of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to the rearing days in each experimental period.

이상의 자료를 토대로 넙치의 체중범위 66~853 g에서 체중의 성장단계에 따라, 단위면적당 어체중량, 개체수 및 덮는율의 상관관계를 나타내면 Fig. 11과 같다. 사육일수의 경과에 따라 넙치의 체중(BW)이

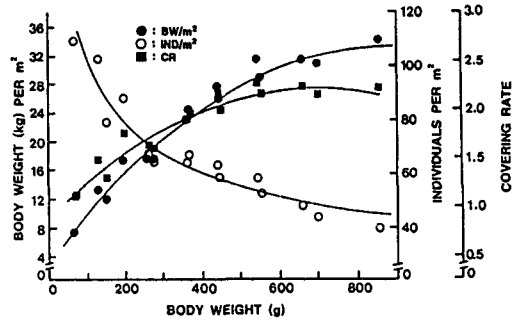


Fig. 11. Changes of body weight per m^2 , individuals per m^2 and covering rate to the body weight of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the rearing experiments.

증가할수록 단위면적당 어체중량(WD)과 덮는율(CR)은 증가하나, 수용개체수(ID)는 이와 반비례하여 점차 감소하는 경향을 나타냈으며, 이들의 관계식은 다음과 같은 지수함수식으로 표시되었다.

$$\text{체중}/m^2 : WD = 0.5660BW^{0.6244} (r^2 = 0.9742)$$

$$\text{개체}/m^2 : ID = 566.0255BW^{-0.3756} (r^2 = 0.9317)$$

$$\text{덮는율} : CR = 0.3227BW^{0.2996} (r^2 = 0.9265)$$

考 察

현재 전국적으로 실시되고 있는 넙치의 육상수조식 양식장에서는 사육수질의 안정을 유지하기 위하여, 하루 20회(飼育水 總容積의 20倍) 이상의 自然海水를 流水하고 있다. 더욱이 여름에는 高水溫이 지속되므로 하루 24회 이상의 換水率을 유지하는 양식장도 많은 실정이다. 그러나 이들 양식장에서 어느 정도의 환수율을 유지해야만 수질이 사육어류에게 영향을 미치지 않는지에 관한 기준은 전혀 설정되어 있지 않다. 본 연구기간중 반폐쇄식 순환여과 사육시스템을 사용하여 저수온기간에는 2.5회, 그외의 기간에는 10회로 자연해수를 교환해 주었던 사육수의 溶存無機態窒素量은 실험 I에서 NH_4-N 0.247~0.512 ppm, NO_2-N 0.010~0.043 ppm, NO_3-N 0.108~0.342 ppm이었으며, 실험 II에서는 각각 0.091~0.715 ppm, 0.002~0.045 ppm, 0.007~0.277 ppm 범위였다. 어류의 사육에

있어 성장에 지장을 초래하지 않는 무기태질소의 농도는 틸라피아에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 10 ppm (Kim, 1983)이었고, 뱀장어에서 성장과 攝食에 영향을 미치지 않는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 농도는 각각 10 ppm, 10 ppm (Yamagata and Niwa, 1979, 1982)과 30 ppm, 20 ppm (Chiba, 1980)의 수준을 보이고 있다. 더욱이, 본 연구의 재료와 같은 海産魚類인 감성돔 사육에서 최초의 폐사개체가 출현하는 총암모니아(TAN) 농도는 10.4 ppm(Kwon and Chang, 1995)이라고 한다. 따라서, 본 연구의 넙치사육시 용존 무기태질소량은 이러한 수준에 크게 미치지 않는 것으로 보아, 어체의 정상 성장과 생존에 거의 영향을 주지 않는 것으로 추측된다. 특히, Daniels et al.(1987)은 해산어류인 spotted seatrout 仔魚에 미치는 亞窒酸의 독성에 대한 연구에서 24-h LC_{50} 은 980 ppm이라 하였으며, 亞窒酸의 독성이 약화되는 것은 해수중에 Ca^{2+} , Cl^- 이온의 농도가 높은 데에 기인한다고 하였다(Crawford and Allen, 1977). 이러한 관점에서 볼때, 본 연구에서 海産魚類인 넙치사육시 나타났던 $\text{NO}_2\text{-N}$ 농도 0.002~0.045 ppm은 전혀 문제가 되지 않는 것으로 보인다. 또, 본 연구의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도 역시 넙치 사육에는 거의 지장이 없을 것으로 판단되며, $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도 300 ppm은 문어에게 유해하나 어류에게는 영향을 없다는 川本(1977)의 언급이 이를 뒷받침해 준다.

한편, 순환여과식 시스템을 이용한 연구에서는 $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.05~0.80 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 10~40 ppm 수준으로도 8회의 틸라피아 산란이 유도되었으며(Koiller and Avtalion, 1985), $\text{NO}_2\text{-N}$ 4 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 7 ppm 전후의 사육수에서도 총무게 177 g의 틸라피아 치어들이 146일만에 총 48.6 kg까지 성장함으로써(Provenzano and Winfield, 1987), 담수어류의 産卵 및 稚魚飼育에 순환여과 사육시스템의 유용성이 제시되었다. 특히, 순환여과 사육시스템에서 본 연구의 재료와 동일한 해산어류인 넙치 稚魚를 밀도별로 사육한 결과, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.006~0.33 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 3.89~34.06 ppm 범위의 농도에서 90%의 높은 생존율과 유수식에서의 차이없는 성장률을 나타낸 Chang and Yoo (1988)의 보고는 용존 무기태질소량이 자연해수 보다 높더라도 해산어류의 사육시 순환여과 사육시스템의 사용이 충분히 가능함을 엿볼 수 있게 한다. 그러나 본 연구의 용존 무기태질소는 실험과정중 동시에 측정했던 자연해수

에서의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.009 ppm, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.002 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.082 ppm과 自然水域의 과거 조사치(Anonymous 1976) 보다는 높은 수준을 나타냄으로써, 앞으로도 순환여과 사육시스템에서의 용존 무기태질소량을 경감시키기 위한 施設工學的인 연구가 심도있게 진행되어야 할 것으로 보인다.

본 연구에서 2개년간 사육실험을 하였던 결과, 넙치의 평균체중 100.1~807.5 g 범위에서 濕重量 기준으로 구한 사료효율은 실험 I에서 34.8~59.8%, 실험 II에서 40.5~88.4%로서, 평균체중 213.1~412.3 g 범위에서 29.3~37.0%였던 Morizane (1984)의 연구결과에 비해 매우 높았다. 이러한 차이는 Morizane (1984)의 연구에서 냉동 까나리 만을 공급하였고, 본 연구에서는 넙치용 배합사료와 냉동 전갱이를 혼합한 moist pellet를 주었기 때문에 飼料의 質이 서로 다른 점에 기인하는 것으로 추측된다. 본 연구기간중 성장이 극히 뒤떨어진 약 20%의 그룹을 제외한 어체는 실험 I에서 사육 340일만에 체중 $695.0 \pm 101.0 \sim 852.6 \pm 88.0$ g으로 성장하였고, 실험 II에서는 사육 365일째에 $552.4 \pm 76.1 \sim 706.4 \pm 71.4$ g으로 자랐다. 이러한 결과는 순환여과식 시스템은 물론, 유수식 방법에 의한 다른 연구결과를 아직까지 찾아볼 수 없으므로 비교하기 어려우나, 실험 I과 II처럼 사육 1년만에 평균 706~853 g으로 자라난 것은 좋은 성적인 것으로 판정된다. 더욱이, 이 결과는 m^2 당 최대 수용량 34.1~36.3 kg이었을 경우의 사육성적으로서, 일반 유수식 양식에서의 m^2 당 최대 수용량인 20 kg과 비교할 때, 약 1.5배의 생산성을 유지한 조건에서의 성장결과이므로 매우 효과적인 사육결과였다고 생각된다.

우리나라에서 넙치의 육상수조식 양식이 이루어진 것은 1980년대초이지만, 넙치의 성장에 관한 자료는 거의 없는 실정이다. 지금까지의 보고로는 평균체중 213.1~412.3 g 범위의 넙치를 60일간 사육한 Morizane (1984)와 평균체중 39.9~113.1 g 범위에서 37일간에 걸쳐 적정 사육밀도를 조사한 Jeon et al. (1993)의 결과 등, 短期間의 사육에 관하여 연구된 바 있으나, 全養殖期間을 통하여 商品魚까지의 성장과정을 연구한 결과는 循環濾過式은 물론, 流水式 養殖에서도 찾아볼 수 없다. 그러므로 넙치에 대하여 종묘로부터 상품어 크기까지 단계별 성장상황을 밝힌 본 연구결과와 流水式 養殖에서도 성장과정을 예측하는 자료로서

충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 사육어의 실험종료시 생존율은 90.3~96.7%였으며, 실험 I에서 90.3%로 가장 낮았는데, 갑자기 생존율이 낮아졌던 시기는 수온이 26~27°C로 전 실험기간중 가장 높은 수온을 보였던 기간으로서 수온충격에 의한 폐사가 있었던 것으로 추측된다. 특히 실험 I은 다른 실험구에 비해 가장 성장이 빨랐던 그룹이므로, 체중이 무겁고 어체가 큰 개체들이 고수온에 약해짐으로써 우선적 폐사가 진행되었던 것으로 추정된다.

어류양식시 放養密度에 대하여 일반적으로 單位 水容積當 및 單位 底面積當의 중량 또는 개체수로 표현해 왔으나, 넓치는 水面을 입체적으로 이용하는 游泳性 魚種과 다른 底棲性 魚種이기 때문에, 養殖時 底面積을 덮는울의 계산이 필요하다. Chang and Yoo (1988)는 넓치의 無眼側 體表面積(眼側 體表面積으로 誤記한 것을 바로 잡음)이 底面積을 덮는울을 산정하기 위한 전장×체고와 무안측 체표면적과의 관계에 대해서 전장 2.53~8.17 cm 범위에서 $Y=0.5994X+0.1840$ 의 직선회귀식을 도출한 바 있다. 상품어 사육단계의 크기인 전장 10~43 cm의 넓치로 실험한 본 연구에서도 전장×체고와 무안측 체표면적의 관계는 직선회귀식으로 나타났고 기울기는 0.6241로 약간 높았다. 이러한 기울기의 차이는 종묘크기인 전장 9 cm 이하와 양성단계의 크기인 전장 10~43 cm 범위에서의 魚體體型이 다소 달라짐을 의미한다. 본 연구에서 넓치의 無眼側 體表面積이 底面積을 덮는울을 계산한 결과, 저면적의 2.6배까지 수용된다는 것은 넓치양식에 있어 고밀도 사육의 가능성을 제시해주고 있다. 이를 뒷받침하여 주는 것으로는 넓치의 산소소비 경향을 들 수 있다. Honda (1988)는 넓치가 모래속에 잠입하여 서식하는 生態의 特性때문에, 수조내에 한 개체씩 격리 수용한 것보다 모래를 깔아 주거나 여러 개체가 겹쳐있도록 할 때, 더욱 안정된 酸素消費量을 나타낸다고 하여 넓치를 重層으로 포개어 사육할 수 있음을 입증해 주고 있다.

본 연구에서 사용된 循環濾過式과 현재 대부분의 陸上水槽式 養殖에서 볼 수 있는 流水式 飼育시스템과의 효과를 비교하면, 순환여과식은 시설의 설치 비용 및 시설운영에 있어 流水式에 비하여 다소 어려운 점이 따르기는 하나, 이 외에는 많은 장점을 가지고

있다. 즉, 전력비 및 에너지의 절약이 기대될 뿐 아니라, 태풍이나 赤潮發生 등의 자연재해에 대한 대비책 차원에서 그 효과가 예상되는 등 流水式에 비하여 유리한 면이 많다고 할 수 있다. 특히, 최근에는 淡水域이나 海水域을 막론하고 거국적으로 문제시되고 있는 수질환경 오염에 대비할 수 있는 오염물질의 自體淨化 시스템으로서 유수식에 비해 환경오염 방지에 대한 기여도가 매우 크므로, 앞으로 汚染防止型 養殖 시스템으로 발전할 가능성이 매우 높다고 판단된다.

결론적으로, 海産魚類의 양식생산에 있어 순환여과 사육시스템은 금후 그 효용성이 부각될 것이므로, 체계적인 연구개발을 통하여 보다 생산성이 높은 양식 방법으로 발전시켜야 할 것이다.

要 約

현재 流水式 방법으로 양식되고 있는 넓치(*Paralichthys olivaceus*)의 陸上水槽 養殖에서 換水率, 越冬時 加溫 및 養殖排水 등의 문제를 해결하기 위하여, 실제 양식장에 설치한 半閉鎖式 循環濾過 飼育시스템을 이용하여 1992년 2월부터 1994년 1월까지 2년 동안(실험 I, 실험 II) 넓치를 사육하면서 그 실용성을 연구하였다. 실험 I에서는 平均全長 7.5 cm, 平均體重 3.4 g, 실험 II에서는 각각 5.0 cm, 1.8 g의 種苗를 사용하였다.

실험 I의 사육수 용존 무기태질소량은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.247~0.512 ppm, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.010~0.043 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.108~0.342 ppm, 실험 II에서는 각각 0.091~0.715 ppm, 0.002~0.045 ppm, 0.007~0.277 ppm 범위에서 변화하였다.

日間攝食率は 실험 I 0.67~2.41%, 실험 II 0.69~2.22%, 飼料效率는 각각 34.8~59.8%, 40.5~88.4%였다. 실험 I에서의 어체는 사육 340일만에 전장 40.0~42.8 cm, 체중 695.0~852.6 g으로 성장하였고, 실험 II에서는 사육 365일후에 전장 36.7~39.7 cm, 체중 552.4~706.4 g으로 자라났다. 사육종료시 魚體의 평균 생존율은 실험 I 92.0%, 실험 II 96.0%였다.

魚體의 體表面積이 수조바닥을 덮는울(covering rate)은 넓치의 수용밀도의 指標로 활용 가능하였다. 사육시 어체의 최대 수용량은 실험 I에서 덮는울

2.2, 중량 34.1 kg/m²였고, 실험II에서는 각각 2.6, 36.3 kg/m²였다.

循環濾過式 養殖시스템은 현행의 流水式 養殖시스템에 비해 養殖 生産性 및 연안 環境汚染 방지에 기여도가 높은 양식방법으로 평가되었다.

謝 辭

本 研究를 수행함에 있어 循環濾過 飼育시스템 및 實驗魚를 提供하여 주신 大洋養魚의 禹永浩 社長님께 感謝드리며, 실험어의 계측정리 및 수질분석을 도와준 釜山水產大學校 養殖生理學研究室의 權準永, 金德奐 君을 비롯한 대학원생과 化學海洋學研究室의 대학원생 여러분께 辭意를 表한다.

參 考 文 獻

- Anonymous; 1976. Some oceanographical data in Pusan area from March, 1974 to May, 1976. Publ. Inst. Mar. Sci., Nat. Fish. Univ. Pusan, 9, 71~81 (in Korean).
- Chang, Y. J. and S. K. Yoo. 1988. Rearing density of a flounder, *Paralichthys olivaceus* juveniles in a closed recirculating seawater system—Possibility of high-density rearing. J. Aquaculture, 1, 13~24 (in Korean).
- Chiba, K. 1980. Water quality as an environmental factor and growth of fish-VII. Relationship between the feeding and the water quality in stagnant eel pond. Suisanzoshoku, 28, 66~77 (in Japanese).
- Chun, S. K. 1983. Fish diseases and their control in high density culture of eel. Bull. Korean Fish. Soc., 16, 103~110 (in Korean).
- Crawford, R. E. and G. H. Allen. 1977. Seawater inhibition of nitrite toxicity to chinook salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 106, 105~109.
- Daniels, H. V., C. E. Boyd and R. V. Minton. 1987. Acute toxicity of ammonia and nitrite to spotted seatrout. Prog. Fish. Cult., 49, 260~263.
- Honda, H. 1988. Displacement behavior of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* estimated by the difference of oxygen consumption rate. Nippon Suisan Gakkaishi 54, 1259 p.
- Jeon, I. G., K. S. Min, J. M. Lee, K. S. Kim and M. H. Son. 1993. Optimal stocking density for olive flounder *Paralichthys olivaceus* rearing in tanks. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 48, 57~70 (in Korean).
- Kim, I. B. 1980. Pilot scale fish production in water recycling system. Bull. Korean Fish. Soc., 13, 195~206 (in Korean).
- Kim, I. B. 1983. High density tilapia culture in a recirculating water system without filter bed. Bull. Korean Fish. Soc., 16, 59~67 (in Korean).
- Koiller, M. and R. R. Avtalion. 1985. A laboratory scale recycling water unit for tilapia breeding. Aquacult. Engin., 4, 235~246.
- Kwon, J. Y. and Y. J. Chang. 1995. Influence of ammonia on physiological conditions of black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*). Aquaculture (in submitted).
- Mewis, N. C. A. 1990. Metz Mannheim의 물고기 養殖의 尖端新技術. 韓國송어養殖25周年記念集, 197~207.
- Morizane, T. 1984. Fundamental study on the culture of plaice *Paralichthys olivaceus*-II. Effect of water temperature condition on the growth of young fish. Suisanzoshoku, 32, 127~131 (in Japanese).
- Provenzano, A. J. and J. G. Winfield. 1987. Performance of a recirculating fish production system stocked with tilapia hybrids. Aquacult. Engin., 6, 15~26.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1968. A Practical Handbook of Sea Water Analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 167, pp. 1~310.
- Yamagata, Y. and M. Niwa. 1979. The toxicity of nitrite to eel. Suisanzoshoku, 27, 5~11 (in Japanese).

- Yamagata, Y. and M. Niwa. 1982. Acute and chronic toxicity of ammonia to eel *Anguilla japonica*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 171~176 (in Japanese).
- Zar, J. H. 1988. Biostatistical analysis. 2nd edition, Prentice-Hall, Inc., N. J., 718 pp.
- 溫水養魚開發協會. 1988. ヒラメを對象にした高密度養殖について. 漁村, 54(2), 79~80.
- 張榮振 · 柳晟奎. 1991. 循環濾過 飼育시스템에 의한 海産魚類의 高密度養殖 可態性. '91 國內의과학기 술자학술회의 하계 symposium 논문집, 258~265.
- 川本信之. 1977. 魚類生理. 恒星社厚生閣. 東京. 605 pp.
-
- 1995년 4월 18일 접수
1995년 8월 8일 수리