

# 순환여과 시스템을 이용한 어류 시험양식 연구

강형철 · 오성립 · 김경욱

## I. 서 론

국내 해산어류 양식 생산량은 넙치를 대상으로 하는 육상양식이 약 60%를 차지하고 있다. 육상양식의 경우 해상 가두리에 비해 태풍 등의 해황변동에 영향이 적고 사육생물 관리가 용이하다는 장점이 있으나, 펌프를 이용하여 해수를 퍼 올려 사용한 후 배수하는 방식으로 동력비 등에서 에너지 효율이 좋지 않아 양식원가 상승의 원인이 되기도 한다. 최근 제주의 경우 양식어가의 증가로 양식장 시설이 가능한 해안가에 양식장이 밀집해있어 양식어가의 배출수가 인근 양식어가로 다시 유입되는 문제가 발생되고 있다. 따라서 이에 대한 대처 방안으로 친환경적인 양식법인 순환여과식 양식방법 도입이 대두되고 있다.

순환여과시스템은 환경으로부터 독립된 상태로 운전이 가능하여 외부로부터의 질병 감염원 차단이 가능하며, 생물여과와 물리여과를 통해 물을 지속적으로 재처리 할 수 있어 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다. 사육수를 다시 여과하여 사용하므로 환수량이 적어 가온비용 측면에서 효율성이 높으나, 동력비와 시설비 등이 추가로 필요하여 경제적 측면을 고려하였을시 높은 사육밀도의 유지가 필요하다. 현재 전 세계 여러 나라에서 순환여과시스템을 이용한 해산어류 양식이 시도되고 있다. 중국의 경우 정부 주도로 순환여과시스템 양식이 시설되고, 덴마크의 경우 기존 유수식 양식시설을 순환여과로 개조하는 프로젝트가 진행되고 있다. 향후 국내에서도 환경규제의 강화, 친환경 고급수산물에 대한 수요 등이 증가될 것이 예상됨에 따라 고효율, 친환경 양식법인 순환여과시스템을 이용한 양식이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 고부가가치 양식 어류인 자바리, 능성어 및 돌돔을 대상으로 순환여과시스템을 이용한 시험양식을 실시하여 성장률과 생존율을 조사하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사육시스템

순환여과사육시스템은 직경 4.5m, 높이 1.0m 크기의 PP 사육수조 6개, 직경 1.7m, 높이 2.0m 크기의 살수식 생물학적 여과조 2개, 직경 1.0m, 높이 2.5m 크기의 포말분리기 2개, 직경 0.9 m, 높이 1.5 m 크기의 침전조 4개로 구성되었으며, 순환펌프(1,700W) 2대, 벤츨리펌프(1,700W) 2개를 이용하여 전체 사육수를 순환하였다. 생물학적 여과조의 여과 매질로는 직경 1.5mm의 저밀도 플라스틱 매질을 이용하였다. 사육 수면적은 약 95m<sup>2</sup>이었고 실제 유효수량은 약 76m<sup>3</sup>이었다. 보충수는 일간 전체 수량의 약 30%로 하였고, 사육수조의 중앙 배수구를 통해 모인 침전조의 고형물은 1일 1회 외부로 배출하였다. 사육 수온 유지는 히트펌프를 이용하여 24.5℃ 내외를 유지하였다.

### 2. 1차 사육실험

1차 사육 실험어는 2014년에 해양수산연구원에서 자체 종자생산하여 2015년 5월 순환여과시스템에 입식 후 사육중이던 개체를 대상으로 2015년에 이어 실험을 진행하였다.

2016년 1월 실험시작 당시 사육양은 능성어, 자바리 각각 410마리와 496마리였다. 먹이는 매일 배합사료를 만복 공급하였다.

### 3. 2차 사육실험

2차 사육 실험어는 2015년 해양수산연구원에서 자체 종자생산하여 2015년 10월 순환여과시스템에 입식 후 사육중이던 개체를 대상으로 2015년에 이어 실험을 진행하였다.

2016년 1월 실험시작 당시 사육양은 능성어 치어 499마리, 자바리 치어 519마리, 돌돔 치어 999마리였다. 먹이는 매일 배합사료를 만복 공급하였다.

모든 사육실험에 따른 실험어의 일간섭식률(daily feeding rate), 사료계수(feed coefficient)는 다음과 같은 공식으로 계산하였다.

$$\text{daily feeding rate (\%)} = (\text{TF} \times 100) / \{ (\text{IW} + \text{FW}) \times \text{day fed} / 2 \}$$

$$\text{feed coefficient} = \text{TF} / \text{TWG}$$

IW : initial weight, FW : final weight, TF : total feed

TWG : total weight gain, t : rearing time(day)

### Ⅲ. 결과

#### 1. 1차 사육실험어의 성장 및 생존율

##### 1.1. 능성어

순환여과사육시스템에서 능성어 사육실험 결과 시작시 평균전장  $34.5 \pm 3.1\text{cm}$ , 평균체중  $651.7 \pm 200.4\text{g}$  이었으나, 326일 경과 후 평균전장  $42.2 \pm 2.7\text{cm}$ , 평균체중  $1,147 \pm 281.0\text{g}$  으로 성장하였다. 실험기간동안 사료계수는 3.33, 일간섭식률은 1.07%, 생존율은 82.1%를 나타냈다(표 1).

표 1. 순환여과사육시스템에서 능성어 사육 실험결과

시작( '16. 1월)		최종( '16. 11월)		생존율 (%)	사료계수	일간섭식률 (%)
수량(마리)	체 중(g)	수량(마리)	체 중(g)			
410	651.7	337	1,147	82.1	3.33	1.07

##### 1.2. 자바리

순환여과사육시스템에서 자바리 사육실험 결과 시작시 평균전장  $29.0 \pm 3.0\text{cm}$ , 평균체중  $387.9 \pm 131.9\text{g}$  이었으나, 326일 경과 후 평균전장  $38.6 \pm 4.3\text{cm}$ , 평균체중  $894.0 \pm 318.7\text{g}$  으로 성장하였다. 실험기간동안 사료계수는 2.70, 일간섭식률은 0.56%, 생존율은 78.4%를 나타냈다(표 2).

표 2. 순환여과사육시스템에서 자바리 사육 실험결과

시작( '16. 1월)		최종( '16. 11월)		생존율 (%)	사료계수	일간섭식률 (%)
수량(마리)	체 중(g)	수량(마리)	체 중(g)			
496	387.9	389	894.0	78.4	2.70	0.56

#### 2. 2차 사육실험어의 성장 및 생존율

##### 2.1. 능성어

순환여과사육시스템에서 능성어 치어 사육실험 결과 시작시 평균 전장과 체중이 각각  $14.3 \pm 1.3\text{cm}$ ,  $58.4 \pm 15.6\text{g}$ 이었으나, 326일 경과 후 평균전장  $34.8 \pm 2.0\text{cm}$ , 평균체중  $649.2 \pm 118.3\text{g}$ 으로 성장하였다. 실험기간동안 사료계수는 1.6, 일간섭식률은 0.78%, 생존

율은 95%를 나타냈다(표 3).

표 14. 순환여과사육시스템에서 능성어 치어 사육 결과

시작( '16. 1월)		최종( '16. 11월)		생존율 (%)	사료계수	일간섭식률 (%)
수량(마리)	체 중(g)	수량(마리)	체 중(g)			
499	58.4	472	649.2	95	1.6	0.78

## 2.2. 자바리

순환여과사육시스템에서 자바리 치어 사육실험 결과 시작시 평균전장  $14.9 \pm 1.5\text{cm}$ , 평균체중  $54.1 \pm 13.1\text{g}$  이었으나, 326일 경과 후 평균전장  $33.4 \pm 2.5\text{cm}$ , 평균체중  $512.3 \pm 128.3\text{g}$ 으로 성장하였다. 실험기간동안 사료계수는 1.2, 일간섭식률은 0.8%, 생존율은 91.1%로 나타냈다(표 4).

표 15. 순환여과사육시스템에서 자바리 치어 사육 결과

시작( '16. 1월)		최종( '16. 11월)		생존율 (%)	사료계수	일간섭식률 (%)
수량(마리)	체 중(g)	수량(마리)	체 중(g)			
519	54.1	472	512.3	91.1	1.2	0.8

## 2.3. 돌돔

순환여과사육시스템에서 돌돔 치어 사육실험 결과 시작시 평균전장  $12.7 \pm 1.0\text{cm}$ , 평균체중  $40.4 \pm 10.2\text{g}$  이었으나, 326일 경과 후 평균전장  $22.3 \pm 1.5\text{cm}$ , 평균체중  $191.6 \pm 44.3\text{g}$ 으로 성장하였다. 실험기간동안 사료계수는 2.1, 일간섭식률은 1.0%, 생존율은 95.9%로 나타냈다(표 5).

표 16. 순환여과사육시스템에서 돌돔 치어 사육 결과

시작( '16. 1월)		최종( '16. 11월)		생존율 (%)	사료계수	일간섭식률 (%)
수량(마리)	체 중(g)	수량(마리)	체 중(g)			
999	40.4	958	191.6	95.9	2.1	1.0

## IV. 고찰

본 연구에서는 순환여과시스템을 이용하여 아열대성 어종인 능성어, 자바리, 돌돔의 성장과 생존율을 2015년에 이어 연속 조사하였다.

‘14년생 능성어와 자바리의 성장율을 조사한 결과, 능성어의 경우 전장은 약 34cm에서 42cm로 증체 되었으며, 체중은 약 651g에서 1,147g으로 증량 되었다. 자바리의 경우 전장은 약 29cm에서 38cm로 증체 되었으며, 체중은 약 387g에서 894g으로 증량 되었다. ‘15년도 조사당시 능성어와 자바리의 사료계수와 일간섭식율은 각각 2.3과 0.57%, 3.26과 0.7% 이었으나, 금년도 결과는 3.3과 1.07%, 2.7과 0.56%로 나타났다. 이 결과로 보아 순환여과시스템 사육에서 능성어의 경우 성장할수록 사료계수가 높아져 성장에 있어 더 많은 사료량을 요구하나, 자바리의 경우 사료를 적게 먹고 성장효율은 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한 실험기간 중 생존율은 능성어가 82.1%, 자바리가 78.4%를 나타냈는데, 대부분이 수조상부에 탈출방지를 위해 설치된 탈출방지망의 이상에 의한 사고폐사로 질병에 의한 폐사는 거의 나타나지 않았다.

바리와 어류의 치어를 대상으로 성장도를 조사한 경우, *Epinephelus coioides* 를 일반 유수식(수온 23~28℃)에서 8주간 사육하였을 시 사료계수와 생존율이 각각 1.7~2.2, 64.1~81.9%로 보고되었다(Luo et al., 2005). 본 실험에서 ‘15년생 능성어, 자바리 치어를 순환여과시스템 사육으로 조사한 결과, 실험기간동안 사료계수 1.6, 1.2, 생존율 95%, 91.1%를 나타내 다른 바리와 어종의 유수식 사육에 비해 좀 더 효율적이었으며, 향후 지속적 사육기술 개발이 필요로 할 것으로 판단되었다.

돌돔은 국내에서 고가에 거래되는 어종으로 산업적 가치가 있지만 동절기동안 폐사율이 높아 순환여과시스템을 이용하여 일정한 수온을 유지하였을 때 높은 생존율과 양호한 성장률로 효과적인 사육이 이루어질 것으로 기대된다. 하지만 본 실험에서는 사육기간 동안 약 40g의 종묘가 약 190g으로 성장하였고 일간섭식율이 1.0%, 사료계수 2.1로 나타나 일간 섭식율 3~8%를 나타낸 가두리사육(kim, 2007)과 사료계수 1.7~1.9로 나타난 다른 순환여과시스템 사육실험(kim, 2011)에 비해서도 낮은 결과를 나타냈다. 이러한 결과에 대해서는 밀도, 사료공급법, 수질 등의 여러 문제가 고려되며 향후 안정적인 사육과 성장률 향상 위해 시스템 및 사육방법 개선이 필요로 할 것으로 판단되었다.

## V. 참고문헌

- Kim KM. 2007. Offshore aquaculture trial and optimum feeding schedule of parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. Ph. D. thesis, Pukyong National Univ., Pusan. Korea, 40pp.
- Kim BG. 2011. Effects of Stocking Density and Dissolved Oxygen Concentration on the Growth and Hematology of the Parrotfish *Oplegnathus fasciatus* in a Recirculating Aquaculture System (RAS). Kor J Fish Aquat Sci 44(6), 747-752.
- Luo Z, Liu YJ, Mai KS, Tian LX, Liu DH, Tan XY, Lin HZ. 2005. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating netcages. Aquaculture international 13, 257-269.