

# 미생물총(Biofloc) 시스템에서의 큰징거미새우(*Macrobrachium rosenbergii*)의 성장과 수질변화에 관한 연구

박준성 · 이정호\* · 황주애†

국립수산과학원(연구원) · \*국립수산과학원(연구관) · †국립수산과학원(연구사)

## A Study on the Growth Performance and Water Quality Variance of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium Rosenbergi*) in the Biofloc System

Jun Seong PARK · Jung-Ho LEE\* · Ju-Ae HWANG†

National Institute of Fisheries(researcher) · \*National Institute of Fisheries(director) ·

†National Institute of Fisheries(senior researcher)

### Abstract

The present study aimed to compare the effect of biofloc technology (BFT) and outdoor open-field farming on water quality and the growth performance of the giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) during summer (June to September, total 119 days) in South Korea. At the end of the experiment, ammonia and nitrite levels were found to be more stable in the BFT treatment than in the outdoor open-field; however, total suspended solids and nitrite tended to gradually increase. In addition, in the case of outdoor open-field farming, fluctuations in water quality were observed owing to inflow of water during the rainy season in the summer. The growth and survival rate with BFT were similar to those with outdoor open-field farming: total weight, BFT  $36.7 \pm 0.92$  vs. outdoor  $36.0 \pm 1.42$  kg; survival rate, BFT  $75.1 \pm 1.88\%$  vs. outdoor  $82.9 \pm 3.23\%$ ; and feed coefficient ratio, BFT  $2.7 \pm 0.07$  vs. outdoor  $2.3 \pm 0.09$ . In addition, BFT showed a good effect on individual growth: specific growth rate, BFT  $3.9 \pm 0.08$  %/day vs. outdoor  $3.8 \pm 0.04$  %/day.

**Key words :** Biofloc technology, Giant freshwater prawn, C/N ratio, IMTA

### I. 서론

큰징거미새우(*Macrobrachium rosenbergii*)는 동남아시아를 중심으로 분포하며, 고급식재료로 주로 중국에서 많이 양식되고 있다(New, 2002; FAO, 2020). 큰징거미새우는 민물 새우 중 가장 큰 종에 속하며, 수컷의 체장이 약 40 cm, 체중 약 400 g, 암컷의 체장이 25 cm, 체중 200 g으로 성장하는 30 cm 전후로 자라는 대형 담수산 열

대새우이다(Kim et al., 2013, Frozza et al., 2021). 외관상 특징으로 수컷은 암컷에 비해 몸집이 크며, 길고 거대한 집게발 한쌍을 가진다([Fig. 1]).

큰징거미새우는 주변 기수의 영향을 받는 열대 담수수계에 서식하고 있으며(Wowor and Ng, 2007), 유생단계에서 치하가 되면 기존의 기수사육조건에서 담수사육으로 양식이 가능한 것으로 보고되어있다(Mather and de Bruyn, 2003).

큰징거미새우는 잡식성으로 곤충 및 어류 뿐

† Corresponding author : 055-540-2740, hjuae1031@korea.kr

\* 이 논문은 2024년 국립수산과학원 수산시험연구사업(R2024033)의 지원에 의해 수행되었음.

아니라 자연에서 발생하는 유기물 낙엽 등을 먹는데 이러한 생태적 특성을 활용한 야외 생태통합양식(Integrated Multi-Trophic Aquaculture; IMTA)을 적용한 연구가 보고된바 있다(Wilder et al., 2000; Asaduzzaman, 2010). 하지만 큰징거미새우 양식을 실내에 적용한 사례는 없다.

바이오플락양식(Biofloc technology, BFT), 순환여과양식(Recirculating aquaculture system, RAS) 및 수산양식(Aquaculture)과 수경재배(Hydroponics)의 농수융합기술인 아쿠아포닉스(Aquaponics) 등은 대표적인 친환경적인 양식방법이다(Van Rijin, 1996; Avnimelech, 2006; Buhmann et al., 2015; Yu et al., 2023).

특히, BFT나 RAS는 실내에서 이루어지는 양식방법으로 기존 양식방법(지수식, 유수식, 가두리식 등)에 비해 상대적으로 고밀도 양식이 가능하며 외부 유입원이 적어 질병예방에도 효과적이다(Hargreaves, 2006; Asaduzzaman et al., 2008). 그러나 RAS의 경우, BFT와 비교해 고밀도 생산이 가능하지만, 수처리에 필요한 여과조 설비, 부지선정 등 시설비용이 높은 단점이 있다(Losordo et al., 2004; Engle et al., 2020).

BFT 양식은 배출수 및 사육수의 교환을 최소화 함으로써 기존의 유수식양식과 비교해 가온비용, 사육수 배출수 재활용, 항생제 감소 등을 기대할 수 있는 친환경 양식기술이다(Avnimelech et al., 2006; Emerenciano et al., 2012; Park et al., 2021).

BFT 사육수 내 암모니아의 제거는 사육수 내 존재하는 *Bacillus* Sp, *Pseudomonas* Sp 등의 타가영양세균(Heterotrophic bacteria)의 우점과 유용미생물로 구성된 미생물총(Biofloc)이 관여한다(Wei et al., 2016). 바이오플락이 잘 유지될수 있도록 적절량의 유기탄소원(Carbon, C)을 공급하게되면 사육수내에서 암모니아 동화작용(Ammonification)이 발생하며, 이때 암모니아가 빠르게 제거된다(Browdy et al., 2012). 암모니아 동화작용은 수산양식 시 사료공급과 대사과정에서 발생하는 암모

니아를 빠르게 제거하여 안정된 수질의 유지가 가능하다(Avnimelech, 1999; Crab et al., 2010, Jang, 2016). 또한 발생한 미생물총은 사육생물의 추가적인 먹이원이 되어 사료효율 또한 향상되는 이점이 있다(Crab et al., 2012, Emerenciano et al., 2012; Fischer et al., 2020).

BFT 양식은 해산새우류를 대상으로 상업형 규모로 개발되어져 왔으며(Avnimelech, 2006), 국내에서는 해산새우류인 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*)에 적용하여 8개소 양식장에서 해수 BFT 양식방법으로 양식장을 운영하고 있다(Baek and Jeong, 2019). 어류의 경우, 나일 틸라피아(*Oreochromis niloticus*), 아프리카 켈피쉬(*Clarias gariepinus*), 향어(*Cyprinus carpio*)와 같은 잉어과 어류(Cyprinidae)에 대한 연구가 활발하게 진행되어져 왔다(Jatoba et al., 2019; Minabi et al., 2020; Vyas et al., 2020). 하지만 큰징거미새우 양식에 있어서 실내에서 BFT와 같은 친환경양식기술을 활용하여 사육한 연구결과는 아직 보고된 바 없다.

본 연구에서는 큰징거미새우 양식에 실내 BFT 사육기술을 적용하여 치하에서 중간양성 단계까지의 성장 및 수질을 분석을 통해 BFT 적용및 친환경양식의 가능성을 확인하고자 한다.

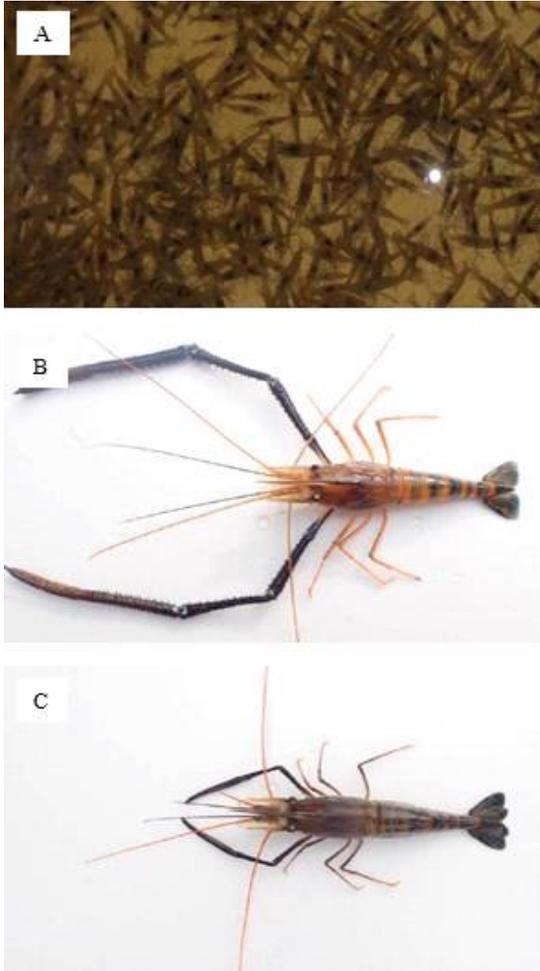
## II. 연구 방법

### 1. 연구 방법

#### 가. 사육시스템 적용 및 관리

BFT 및 야외 유수식양식을 비교하기 위해 BFT 사육수조는 PP 원형수조 (약 20 ton, Ø 6 m x H 0.8 m)와 야외사육지 (약 225 ton, L 17 m x W 25 m x H 0.6 m)를 이용하였으며, 6월 2일 입식하여 9월 30일까지 16주 (119일) 간 양성하였다.

BFT 사육수조는 바이오플락의 침전을 막기 위하여 강한 포기(Aeration)와 수중모터(협신, 90 W,



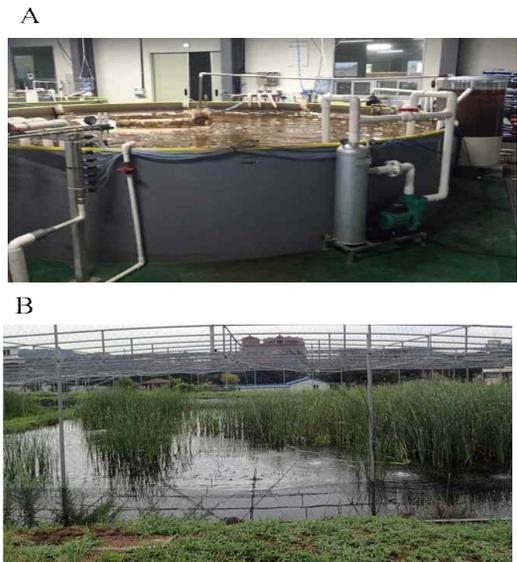
[Fig. 1] Comparison of external shape of *M. rosenbergii* (A, Juvenile; B, Male; C, Female).

대한민국)를 사용하여 사육수의 회전을 유도하였으며, 액화산소와 산소용해기를 이용하여 산소를 공급하여 용존산소는 5 mg/L 이상을 유지하였다. 또한, 사육수의 적정 수온 유지를 위해 2 kW 히터 (OKE-HE-100, Sewon OKE, South Korea)를 이용하여 실험기간 동안 28℃ 전후 온도로 유지하였다. BFT 사육수는 Avnimelech (1999)와 De Schryver et al. (2008)의 계산 방법에 따라 부족한 탄소원은 당밀을 투입하여 탄소와 질소의 비율 (탄질비)를 15:1로 유지하였다. 초기 미생물 형성

을 위하여 BFT-ST (중균제)와 BFT-CT (영양제) (ecotechservice, South Korea) 30 ppm을 접종하였으며, 실험기간동안 무환수로 사육을 진행하였다. 야외사육지는 환수율은 1일 1회전(100%)이 되도록 유입수량을 설정하였다.

BFT 사육수는 시간 경과에 따라 플락의 생성이 증가하며 pH가 감소하게 되므로, 사육수의 pH가 7 미만으로 떨어지지 않도록 중탄산나트륨 ( $\text{NaHCO}_3$ )을 첨가하였다(Hargreaves, 2013).

*Macrobrachium* 속의 새우는 수컷간의 공격성이 심하고, 영역성을 가지게 되며, 공식(Cannibalism)을 한다는 보고가 있다(Kimpara et al., 2013; Thanh et al., 2009). 따라서 공식에 의한 폐사를 방지하기 위해 은신처를 설치하였다. BFT 사육수조의 경우, 내경 100 mm PVC 파이프를 약 20 cm 크기로 잘라 수조별 50개를 BFT 수조에 설치하여 표면적을 넓혀주었다. 야외사육지의 경우, 자연발생한 수초와 수생식물을 은신처로 이용할 수 있으므로 따로 은신처를 설치하지 않았으며, 해적생물(수서곤충, 조류 등)의 유입을 막기 위해 철제 프레임과 방조망을 설치하였다([Fig. 2]).



[Fig. 2] BFT rearing tank (A) and Outdoor farming system (B).

## 2. 수질 분석

수온, pH, 용존산소(Dissolved oxygen, DO)는 다항목 수질측정기(YSI-650, Yellow spring instruments, Ohio, USA)를 이용하여 사료 공급 전 매일 오전 10시에 측정하였다. 질소화합물(Nitrogen components)인 총 암모니아성 질소(Total ammonia nitrogen, TAN), 아질산성 질소(Nitrite nitrogen, NO<sub>2</sub>-N), 질산성 질소(Nitrate nitrogen, NO<sub>3</sub>-N)의 측정은 사료 공급 전 매일 오전 10시에 채수하여 분석시약(Merck KGaA, Darmstadt, Germany)과 흡광광도계(Merck KGaA, Darmstadt, Germany)를 이용한 비색법을 통하여 분석하였다. 또한 총 부유성 고형물(Total Suspended Solids, TSS)은 APHA (2017)의 방법에 따라 채수한 사육수 1 L를 투과시킨 필터를 오븐에 건조시켜 건중량을 구하여 측정하였다.

## 3. 큰징거미새우 입식 및 성장분석

실험에 이용된 큰징거미새우는 부화 후 3 개월 차 전장 39.4 ± 6.37 mm, 두흉갑장 12.0 ± 1.78 mm, 체중 0.6 ± 0.32 g의 치하를 이용하였다. 실험구별 1,000마리(602 ± 4.38 g)를 입식하여 3반복 사육실험을 진행하였다. 상업용 새우사료(조단백질, 38.0%; 조지방 7.0%; 칼슘 1.5%; 15.0%; 조섬유 3.0%; 인 2.7%, Suhyup-feed, South Korea)를 체중의 5%로 매일 오전 10시, 14시, 18시에 나누어 급이하였다. 성장에 따른 사료공급량 정량을 위하여 통발을 이용하여 매일 30마리를 채집하였으며, 통발 내 채집된 생물은 큰징거미새우만 선별하였고 통발 내 혼획된 생물을 동정한 후 제거하였다. 체중은 전자저울(MW-200, Cas, South Korea)을 사용하여 측정하였다. 실험종료 후 총 수확량(Total weight, T.W)과 마리수를 확인하였으며, 증체량(Weight gain, W.G), 일일성장률(Specific growth rate, S.G.R), 생존율(Survival rate, S.R) 및 사료계수(Feed coefficient ratio, F.C.R)는 다음 계산을 이용하여 비교하였다.

$$W.G (kg) = \text{mean final weight (kg)} - \text{mean initial weight (kg)}$$

$$S.G.R (\%/day) = (\ln(\text{final weight}) - \ln(\text{initial weight})) / \text{days} \times 100$$

$$S.R (\%) = \text{Final individuals} / \text{Initial individuals} \times 100$$

$$F.C.R = \text{Feed intake} / (\text{Final weight} - \text{Initial weight})$$

## 4. 통계분석

BFT 및 야외사육지 두 실험구의 성장과 수질 분석 결과에 대한 유의성 검증은 SYSTAT 소프트웨어(Systat version, 18, SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA)를 이용하여 *t*-test를 하였으며, 통계학적 유의수준은  $p < 0.05$ 로 설정하였다.

# Ⅲ. 연구 결과

## 1. 수질분석

실험기간 동안 BFT와 야외사육지의 평균수온은 각각 28.5 ± 0.49°C 와 28.7 ± 1.71°C로 나타났으며, pH의 경우 7.4 ± 0.15, 7.9 ± 0.11, DO의 경우 8.5 ± 0.40 mg/L, 9.0 ± 0.54 mg/L로 나타났다.

수온, pH 및 DO의 경우 두 실험그룹에서 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 1,  $p < 0.05$ ).

TAN, NO<sub>2</sub>-N는 BFT에서 1 mg/L 미만으로 안정적인 값이 유지되었으며, 야외사육지의 경우, 실험기간 중 42~77일 사이에 BFT에 비해 상대적으로 높은 경향을 나타냈다([Fig 4. A, B]).

<Table 1> Water condition parameter in the BFT and Outdoor treatments during culture of *M. rosenbergii*

	BFT	Outdoor
Temperature (°C)	28.5 ± 0.49	28.7 ± 1.71
pH	7.4 ± 0.10	7.9 ± 0.11ns
DO (mg/L)	8.5 ± 0.40	9.0 ± 0.54ns

The data correspond to the mean of 3 replicates ± standard deviation ( $p < 0.05$ ). ns = non significant.

BFT의 NO<sub>3</sub>-N와 TSS의 값은 점점 증가하였고, 야외사육지의 경우 NO<sub>3</sub>-N은 상대적으로 낮게 나타났다. 야외사육지의 TSS는 TAN, NO<sub>2</sub>-N과 같이 42~77일 기간에 일시적으로 높아지는 경향이 나타났다([Fig. 4. C, D]).

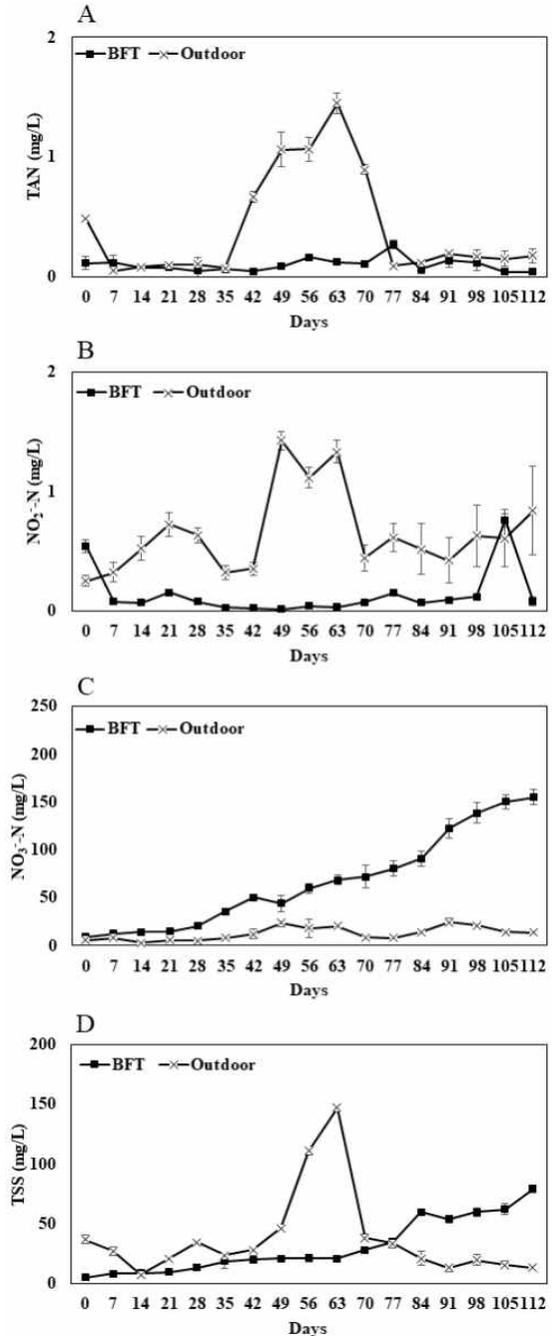
## 2. 성장비교

실험결과, 입식 4주차부터 BFT 실험구의 전장과 두흉갑장의 성장이 야외사육지에 비해 빨랐으며, 12주차 이후 두 실험구간 성장에 있어 유의한 차이가 나타났다. 개체별 성장의 경우 BFT (TL, 156.5 ± 8.17 mm; HL, 49.0 ± 2.80; BW, 48.8 ± 7.94 g)가 야외사육지(TL, 148.1 ± 4.39 mm; HL, 43.0 ± 7.07; BW, 43.4 ± 6.31 g)보다 성장이 빠른 경향이 나타났다([Fig. 5]). 총 무게(T.W)의 경우, BFT는 36.7 ± 0.92 kg, 야외사육지는 36.0 ± 1.42 kg, 증체량(W.G)의 경우 BFT는 36.0 ± 0.92 kg, 야외사육지는 36.0 ± 1.42 kg로 나타났다. 일일성장율(S.G.R)은 BFT에서 3.9 ± 0.08 %/day, 야외사육지는 3.8 ± 0.04 %/day로 총 무게, 증체량 및 일일성장률은 두 실험구 모두 비슷한 결과가 나타났다. 그러나, 생존율(S.R)의 경우 BFT는 75.1 ± 1.88%, 야외사육지는 82.9 ± 3.23%, 사료계수는 BFT에서 2.7 ± 0.07, 야외사육지는 2.3 ± 0.09로 생존율과 사료계수에서 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ ) (<Table 2>).

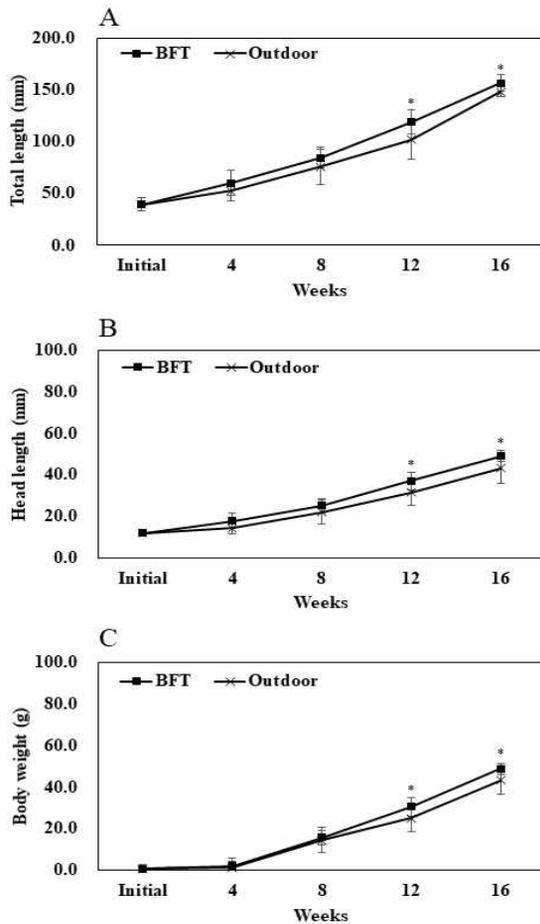
<Table 2> The growth performance of *M. rosenbergii* in BFT and Outdoor

	BFT	Outdoor
TW (kg)	36.7 ± 0.92	36.0 ± 1.42 <sup>ns</sup>
W.G (kg)	36.0 ± 0.92	35.3 ± 1.42 <sup>ns</sup>
S.G.R (%/day)	3.9 ± 0.08	3.8 ± 0.04 <sup>ns</sup>
S.R (%)	75.1 ± 1.88	82.9 ± 3.23 <sup>*</sup>
F.C.R	2.7 ± 0.07	2.3 ± 0.09 <sup>*</sup>

The data correspond to the mean of 3 replicates ± standard deviation \* superscripts in the same row are significantly different ( $p < 0.05$ ). ns = non significant



[Fig. 4] Comparisons of nitrogen components and TSS in the BFT and Outdoor treatments during 16 weeks culture of *M. rosenbergii* (A, TAN; B, NO<sub>2</sub>-N; C, NO<sub>3</sub>-N; D, TSS).



[Fig. 5.] Comparisons of growth in the BFT and Outdoor treatments during 16 weeks culture of *M. rosenbergii* (A, Total length; B, Head length; C, Body weight) ( $p < 0.05$ ).

#### IV. 결론

본 연구에서는 큰징거미새우 치하를 BFT 시스템에 입식하여 야외사육지에서 양성결과와 비교하였다. BFT 실험구의 경우 야외사육지에 비해 개체간의 성장속도가 빨랐으며 수질 분석 결과에서는 암모니아, 아질산염에 대한 변화폭이 야외사육지에 비해 안정적으로 유지되는 경향을 확인하였다.

큰징거미새우의 식성은 잡식이지만 육식에 가

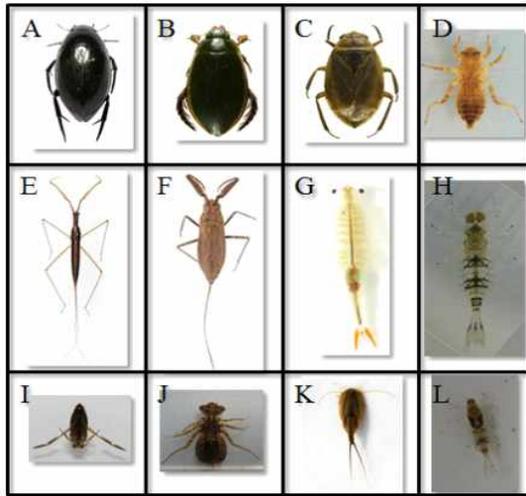
까우며, 조단백질 함량이 높은 사료를 섭취할 시 성장이 빠르다고 알려져있다(Ballester et al., 2010; Camarin et al., 2023). 선행연구에 따르면 동일조건의 큰징거미새우의 우수식 실내양성 실험결과 약 35%의 조단백질 함량을 가진 사료를 급이시 일일성장률은  $3.24 \pm 0.01\%/day$ , 생존율은  $80 \pm 1.63\%$ 로 나타났다고 보고했다(Murthy et al., 2012). 본 연구의 실험 결과에서는 BFT 시스템에서 조단백질(Crude protein, CP) 38% 사료를 공급하였을 때 일일성장률은  $3.9 \pm 0.08\%/day$ 로 나타나 선행연구 결과보다 높게 나타났다.

생존율의 경우, BFT 적용 큰징거미새우의 생존율이  $75.1 \pm 1.88\%$ 로 야외사육지에서 사육한 결과( $82.9 \pm 3.23\%$ )보다 낮게 나타났다. 수질분석 결과에서 야외사육지의 경우 특정기간(42일~77일)동안 TAN,  $NO_3^-$ -N 그리고  $NO_2^-$ -N 수치가 높았다가 낮아지는 경향을 보였지만 생존율에는 영향을 끼치지 않았다. 실내양식은 한정된 면적을 활용한 경제성 측면에서 집약적이며 고밀도의 양식이 가능한 장점이 있다. 밀도가 높을수록 양식생물의 스트레스작용으로 인한 건강도 및 성장에 영향을 미치게 된다(Costa et al., 2017). 큰징거미새우처럼 공격성이 강하고 공식을 하는 생물의 경우, 생존율 개선을 위해 적정 방양밀도 구명과 다양한 종류의 구조물 및 기질을 활용한 생존율 개선효과 실험 등의 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

야외사육지 개체의 전장이나 체중 등 성장도는 BFT와 유의적으로 차이가 없었으나, 사료계수를 비교한 결과,  $2.3 \pm 0.09$ 로 BFT ( $2.7 \pm 0.07$ ) 보다 낮게 나타났다. 사료공급의 경우 야외사육지 실험구의 개체무게가 BFT 실험구보다 낮아 총 급이량이 줄었지만 사료효율은 BFT보다 높게 나타났다.

큰징거미새우의 측정을 위해 설치된 통발에서 채집된 생물의 종 동정 결과, 야외사육지에는 물땡땡이(*Hydrophilus acuminatus*), 물방개(*Cybister japonicus*), 물자라(*Muljarus japonicus*), 밀잠자리

유충(*Orthetrum albistylum*), 게아재비(*Ranatra chinensis*), 풍년새우(*Branchinella kugenumaensis*), 투구새우(*Triops longicaudatus*) 등의 수서생물이 서식하고 있는 것을 확인하였다([Fig. S1]).



[Fig. S1.] Aquatic insects in Outdoor treatment (A, *Hydrophilus acuminatus*; B, *Cybister japonicus*; C, *Muljarus japonicus*; D, *Orthetrum albistylum* (Larva); E, *Ranatra chinensis*; F, *Laccotrephes japonensis*; G, *Branchinella kugenumaensis*; H, *Proclonon pennulatum*; K, *Triops longicaudatus*; L, *Proclonon maritimum*.

또한, 큰징거미새우가 수서생물 등을 섭취하는 생태학적 특성(Wilder et al., 2000)과 관련이 있을 것으로 사료되며 추후 연구를 통해 야외사육지 적용 큰징거미새우의 위내용물 조사 등의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 사육밀도의 증가는 성장과 건강에 영향을 미치는 요인으로서 작용하게 된다(Long et al., 2019). 야외사육지에 비해 BFT 적용 큰징거미새우의 경우 사육밀도가 높으며, 밀도에 따른 스트레스 등의 요인의 발생으로 사료효율에 있어 추가적인 영향을 주었을 것이다.

선행연구에 따르면 큰징거미새우의 서식적온은  $29 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 여름철 고수온에 야외사육지를 활용

하여 양성이 가능하다고 보고되어있다(Kumaresan et al., 2016). 하지만, 10월 이후 수온이 강하되는 시기엔 월동을 위해 실내이동이 필수적이다. 하지만 이동을 위한 포획과정에서 폐사하거나 다리 부절로 인한 탈락개체가 발생한다(Strange et al., 1977). 이해 반해 BFT는 사육지 이동이 필요없고, 계절 및 외부의 날씨에 큰 영향을 받지 않아 연중 양성이 가능한 이점이 있다(Avnimelech, 2006). 본 연구 결과에 의하면 생존율은 야외사육지 실험구에서 약 7% 높게 나타났지만 동절기 이동과 지속적인 새로운 유입수 공급 등의 문제를 고려한다면 BFT는 야외사육지에서 사육과 비교할 때 많은 이점(배출수 최소화, 가온에너지 최소화 등)을 가진다(Kim et al., 2014; Baek and Jeong, 2019; Hwang et al., 2021).

수질분석결과 미생물총의 양을 나타내는 지표인 TSS와  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우 야외사육지와 비교해 BFT에서는 양성기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향이 나타났다. TSS의 과생성은 호흡을 저해하고 고농도(250-900 mg/L)의 질산염( $\text{NO}_3$ )은 사육수의 독성생성 및 유용미생물의 감소에 영향을 준다고 알려져 있다(Madsen et al., 2000). 하지만 BFT 실험구의 경우  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 수치가 150 mg/L 이하로 유지되어 독성이 생성되지 않은 것으로 판단된다. 그러나 양성기간이 늘어남에 따라 TSS 및 질산염( $\text{NO}_3$ )의 농도는 더욱 높아질 것으로 판단되어, 추후 연구에서는 BFT 적용 시 양성기간과 TSS, 질산염( $\text{NO}_3$ )의 적정 범위 및 사육 밀도에 따른 적정 밀도의 구명과 이에 따른 스트레스작용에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 TSS 및 질산염의 감소에 효과적인 기능을 가진 아쿠아포닉스를 적용하는 것도(Hwang et al., 2021; Pinho et al., 2022; Kim et al., 2022) 장기간 큰징거미 새우를 양성할 때 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 큰징거미새우 치하( $39.4 \pm 6.37$  mm)에서 중간양성어 단계( $156.5 \pm 8.17$  mm)까지 실내 BFT를 적용하여 성공적으로 사육하였다. 큰

징거미의 실내사육은 야외사육지의 양성을 위한 이동과 동절기 이동 등의 문제를 극복할 수 있을 것이다. 본 연구의 결과는 실내 큰징거미 사육 및 BFT 적용을 위한 기초연구로 활용될 수 있을 것이다.

## References

- APHA (American Public Health Association)(2017). Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, 23<sup>rd</sup> ed.; American Public Health Association: Washington, DC, USA, ISBN 978-0-87553-287-5.
- Asaduzzaman M, Wahab MA., Verdegem MCJ Huque S, Salam MA and Azim M.E(2008). C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture*, 280, 117~123. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.04.019>
- Asaduzzaman M., Rahman MM, Azim ME, Islam MA, Wahab MA, Verdegem MCJ and Verreth JAJ(2010). Effects of C/N ratio and substrate addition on natural food communities in freshwater prawn monoculture ponds. *Aquaculture*, 306, 127~136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.035>
- Avnimelech Y(1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227~235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X)
- Avnimelech Y(2006). Bio-Filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquac Eng*, 34, 172~178. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.001>
- Baek JY and Jeong MJ(2019). An Economic Feasibility Comparison Analysis on White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Aquaculture with Biofloc technology. *J Kor Soc Fish Mar E*. 31 (5), 1408~1416. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.10.31.5.1408>
- Ballester ELC, Abreu PC, Cavalli RO, Emerenciano M, Abreu L and Wasielesky W(2010). Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquacult. Nutr.*, 16(2), 163~172. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00648.x>
- Browdy CL, Ray AJ, Leffler JW and Avnimelech Y(2012). Biofloc-based aquaculture systems. In: Tidwell JH (ed) *Aquaculture production systems*. Wiley, Oxford. <https://doi.org/10.1002/9781118250105>
- Buhman AK, Waller U, Weeker B and Papenbrock J(2015). Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agric. Water Manage*, 149, 102~114. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.001>
- Camarin M, Gonzaga A, Jamis J and Calpe A(2023). Effects of biofloc technolog on water quality and growth performance of *Macrobrachium rosenbergii*. *Israeli Journal of Aquaculture*, 75(2). <https://doi.org/10.46989/001c.88899>
- Crab R, Chielens B, Wille M, Bossier P and Verstraete W(2010). The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research*, 41(4), 559~567. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02353.x>
- Crab R, Defoirdt T, Bossier P and Verstraete W(2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356~357. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- Costa AAP, Roubach R,m Dallago BSL, Bueno GW, McManus C and Benal FEM(2017). Influence of stocking density on growth performance and welfare of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in cages. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 2, 43~251. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-8939>
- De Schryver P, Crab R, Defoirdt T, Boon N and Verstraete W(2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277, 125~137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>
- Emerenciano M, Ballester ELC, Cavalli RO and Waielesky W(2012). Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquac Res*, 43(3), 447~457. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02848.x>

- Engle R, Kumar, G and Van Senten J(2020). Cost drivers and profitability of U.S. pond, raceway, and RAS aquaculture, *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(4), 847~873.  
<https://doi.org/10.1111/jwas.12706>
- FAO (Food and Agriculture Organization)(2020). The state of world fisheries and aquaculture. FAO, Rome, Italy, 1~224.
- Fischer H, Romano N, Renukdas N, Egnew N, Sinha AK and Ray AJ(2020). The potential of rearing juveniles of bluegill, *Lepomis macrochirus*, in a biofloc system. *Aquaculture Reports*, 17, 100398.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100398>
- Frezza A, Fiorini A, Vendruscolo ECG, Rosado FR, Konrad D and Rodrigues MCG(2021). Probiotics in the rearing of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879) in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 52, 4269-4277.  
<https://doi.org/10.1111/are.15265>
- Hargreaves JA(2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquac Engineer*, 34(3), 344~363.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.009>
- Hargreaves, JA(2013). Biofloc production systems for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) publication No. 4503.
- Hwang JA, Lee JH, Park JS, Choi JR, Lee D and Kim HS(2021). Effect on Eel *Anguilla japonica* and Crop Growth by the Development of a Biofloc Technology (BFT) Aquaponic System. *Korean J Fish Aquat Sci* 54(4), 418~425.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0418>
- Jang IK(2016). Biofloc Technology for Aquaculture with White Shrimp. National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea, 3~15.
- Jatoba A, Borges YV and Silva FA(2019). BIOFLOC: sustainable alternative for water use in fish culture. *Arq. Bras. Med. Veterinaria e Zootec*. 71(3), 1076~1080.  
<https://doi.org/10.1590/1678-4162-10309>
- Kimpara JM, Moraes-Valenti P, Queiroz JF and New MB(2013). Effects of intensification of the Amazon River prawn, *Macrobrachium amasonicum*, grow-out on effluent quality. *Journal of the World Aquaculture Society* 44, 210~219.  
<https://doi.org/10.1111/jwas.12021>
- Kim SK, Pang Z, Seo HC, Cho YR, Samocha T and Jang IK(2014). Effects of bioflocs on growth and immune activity of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Aquac Res* 45, 362~371.  
<https://doi.org/10.1111/are.12319>
- Kim YC, Romano N, Lee KS, Teoh CY and Ng WK(2013). Effects of replacing dietary fish oil and squid liver oil with vegetable oils on the growth, tissue fatty acid profile and total carotenoids of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Research*, 44, 1731~1740.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03179.x>
- Kim NN, Park JS, Lee JH, Hwang JA, Choi JY and Kim HS(2022). A Study on the Growth Performance of Far Eastern Catfish *Silurus asotus* and Vegetable *Lactuca Sativa* L. e. Fidel in an Aquaponics System Based on Biofloc Technology (BFT) and Hydroponic System. *J Kor Soc Fish Mar E*, 34(2), 360~370.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2022.4.34.2.360>
- Kumaresan V, Palanisamy R, Pasupuleti M and Arockiaraj J(2016). Impacts of environmental and biological stressors on immune system of *Macrobrachium rosenbergii*. *Reviews in Aquaculture*, 9, 283~307.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12139>
- Long L, Zhang H, Ni Q, Liu H, Wu F and Wang X(2019). Effects of stocking density on growth, stress and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in a recirculating aquaculture system. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, 219, 25~34.  
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.02.002>
- Losordo TM, Ray LE and DeLong DP(2004). Flow-through and recirculating systems. *Biology and Culture of Channel Catfish*, 34, pp. 545~560.  
[https://doi.org/10.1016/S0167-9309\(04\)80020-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9309(04)80020-6)
- Madsen HCK, Buchmann K and Møllergaard S(2000). Association between trichodiniasis in eel *Anguilla anguilla* and water quality in recirculation system. *Aquaculture* 187, 275~281.  
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00323-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00323-9)
- Mather PB and de Bruyn M(2003). Genetic diversity in wild stocks of the giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*): Implications for aquaculture and conservation. *NAGA, WorldFish*

- Center Quarterly, 26(4), 4~7.
- Minabi K, Sourinejad I, Alizadeh M, Ghatrami ER and Khanjani MH(2020). Effects of different carbon to nitrogen ratios in the biofloc system on water quality, growth, and body composition of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquac. Int.* 28, 1883~1898.  
<https://doi.org/10.1007/s10499-020-00564-7>
- Murthy HS, Kumarswamy R, Palaksha KJ, Sujatha HR and Shankar(2012). Effect of different types of shelters on survival and growth of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of Marine Science and Technology*, 20(2), 153~157.  
[https://doi.org/10.6119/JMST.201204\\_20\(2\).0005](https://doi.org/10.6119/JMST.201204_20(2).0005)
- New MB(2002). Farming Freshwater Prawns; A Manual For The Culture of The Giant River Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). FAO Fisheries Technical Paper. Rome.
- Park JS, Lee JH, Kim NN, Hwang JA and Kim HS(2021). A Study on Growth Performance and Water Quality of Far Eastern Catfish (*Silurus asotus*) using Biofloc Technology (BFT). *Aquaculture. J Kor Soc Fish Mar E*, 33(2), 367~375.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.4.33.2.367>
- Pinho SM, de Lima JP, David LH, Emerenciano MGC, Goddek S, Verdegem MCJ, Keesman K and Portella MC(2022). FLOCponics: The integration of biofloc technology with plant production. *Rev Aquac*, 14(2), 647~675.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12617>
- Strange RJ, Schreck CB and Golde JT(1977). Corticoid stress response to handling and temperature in salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106, 213~218.  
[https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1977\)106<213:CSRTHA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1977)106<213:CSRTHA>2.0.CO;2)
- Thanh NM, Ponzoni RW, Nguyen NH, Vu NT, Barnes A and Mather PB(2009). Evaluation of growth performance in a diallel cross of three strains of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in Vietnam. *Aquac.*, 287: 75~83.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.051>
- Van Rijin J(1996). The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture-A review. *Aquaculture*, 139, 181~201.  
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)00151-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)00151-X)
- Vyas A(2020). "Chapter 3-Biofloc systems in aquaculture: global status and trends," in *Trends of Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture and Biomedicine Systems: Perspectives for Human Health*, eds A. A. Rastegari, A.N. Yadav, and N. Yadav (Amsterdam: Elsevier), 31~42.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820528-0.00004-1>
- Wei Y, Liao SA and Wang AL(2016). The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture*, 465, 88~93.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.040>
- Wilder MN, Huong DTT, Atmomarsono M, Hien TTT, Phu TQ and Yang WJ(2000). characterization of Na/K-ATPase in *Macrobrachium rosenbergii* and the effects of changing salinity on enzymatic activity. *Comp. Biochem. Physiol.* 125A, 377~388.  
[https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(00\)00162-8](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(00)00162-8)
- Wowor D, Ng PKL (2007). The giant freshwater prawns of the *Macrobrachium rosenbergii* species group (Crustacea: Decapoda: Caridea: Palaemonidae). *Raffles Bull. Zool.* 55: 321~336.
- Yu YB, Lee JH, Choi JH, Choi YJ, Jo AH, Choi CY, Kang JC and Kim JH(2023). The application and future of biofloc technology (BFT) in aquaculture industry: A review. *Journal of Environmental Management*, 342, 118237.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118237>
- 
- Received : 01 February, 2024
  - Revised : 29 February, 2024
  - Accepted : 05 March, 2024