

Biofloc Technology(BFT) 적용을 위한 수질특성에 대한 연구

최지용* · 박준성 · 김형수* · 황주애* · 이동길** · 이정호†

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

Assessment of water Quality Parameters During a Course of Applying Biofloc Technology(BFT)

Ji Yong CHOI* · Jun Seong PARK · Hyeongsu KIM* · Ju-ae HWANG*
· Donggil LEE** · Jeong-Ho LEE†

*National Institute of Fisheries(senior researcher) · National Institute of Fisheries(researcher) ·

**†National Institute of Fisheries(director)

Abstract

The growth of aquaculture industry is on the rise as the world's population grows and food sources become scarce. However, the increase in aquaculture faces environmental problems due to polluted effluent.

Therefore, the aquaculture industry is actively developing biofloc technology (BFT), an eco-friendly aquaculture method. This study analyzed the water quality characteristics during biofloc formation for 30 days (1, 3, 6, 12, 18, 24, 30 days). As a result, changes in color (light brown → dark brown) and foam on the water surface were observed over time. Peaks of ammonia (5.7 mg/L, 1 day), nitrite (3.4 mg/L, 6 days) and nitrate appeared as a sequence (60.1 mg/L, 12 days), and it was confirmed that water quality stabilization occurred 24 days after cultivation. In addition, changes in the amount of floc in the water quality (34 mL/L, 1 day → 2 mL/L, 12 days → 6 mL/L, 18 days) and TSS change occurred using the Imhoff cone, and the floc size changed ($73,481 \mu\text{m}^2$, day 1 → $1,838 \mu\text{m}^2$, day 12 → $9,940 \mu\text{m}^2$, day 24). These results will provide data on dynamics of water quality during the biofloc formation process in freshwater, and may help understand biofloc formation in using BFT.

Key words : Biofloc technology, Water quality characteristics, Ammonia, Nitrite, Nitrate, Imhoff cone

I. 서론

세계적으로 인구의 지속적인 증가로 인해 양식 식품에 대한 수요도 증가하고 있으며 이에 따른 양식생산에 대한 확장과 강화가 요구되고 있다 (Davidson et al., 2012; Tacon et al., 2015). 한편, 2010년부터 2017년까지 잡는 어업에 의한 수산물 생산량은 매년 평균 0.9%씩 증가한 반면 양식에

의한 생산은 매년 4.8%씩 증가하고 있어 양식업의 중요성이 점점 커지고 있다(FAO, 2018). 그러나 이러한 양식산업의 성장은 양식장에서 배출되는 폐수로 인해 수생 생태계의 파괴와 국제적인 환경 규제의 대상이 되고 있다(Amirkolaie, 2008; Cripps and Bergheim, 2000; Pillay, 2004).

그러므로 세계적으로 환경문제를 유발하지 않고 사육수에서 주요 독성 오염물질인 질소산화물

† Corresponding author : 055-540-2700, jhlee7124@korea.kr

* 이 논문은 2020년 국립수산과학원 수산시험연구사업(R2020013, R2020015)의 지원에 의해 수행되었습니다.

(암모니아, 아질산, 질산염)을 제거하기 위한 친환경 양식방법에 대한 개발이 진행되고 있다. 그 대표적인 양식방법으로 순환여과시스템(recirculating aquaculture system, RAS)과 바이오플락 기술(biofloc technology, BFT)을 이용한 양식방법이 있다. 이러한 양식방법은 배출수의 최소화과 최소한의 유입수 공급으로도 질병으로부터 안전하다고 알려져 있다. 그 중에서도 RAS에 대한 많은 연구와 장치의 개발이 있어 왔다(Vinatea et al., 2018). 그 결과, 하루에 사육수의 10% 정도만을 배출하는 친환경 양식방법으로 알려져 있다(Avnimelech, 2012). 그러나 사료공급과 사육생물의 배설물로 인해 생성된 유기물을 필터 여과를 통해 제거함으로써 사육수 내 총 에너지의 손실이 발생하게 된다. 또한, 초기 높은 시설비용과 높은 유지보수 비용으로 인한 경제적 부담 때문에 쉽게 활용되지 못하고 있는 실정이다.

그 반면 BFT는 어류 사육 시 불가피하게 생기는 유기물 찌꺼기와 어류의 배설물 등, 독성으로 작용하는 질소산화물을 미생물의 활동을 통해 제거하는 기술로서, 배출수 및 사육수의 교환을 최소화함으로써 미래의 친환경 양식기술로 주목받고 있다. 이 기술은 높은 수준의 미생물 총(biofloc)을 형성하는데 기초한다. 그 원리는 사료 공급으로 인해 발생하는 유기물과 대사활동으로 발생하는 독성 암모니아를 호기성 분해하기 위해 충분한 산소의 공급과 사육수 내 탄소(Carbon, C)와 질소(Nitrogen, N)의 적절한 비율을 조성하게 함으로써 광합성 및 자가영양세균(autotrophic bacteria)이 우점하는 군집을 타가영양세균(heterotrophic bacteria)이 우점하는 군집으로 전환시켜 사육수 내에서 질소화합물을 효율적으로 제거하는데 있다. 현재까지 밝혀진 바로 C/N비가 15:1의 환경에서 단위 기질당 성장속도와 바이오매스 생산이 자가영양세균에서 보다 타가영양세균에서 10배 더 높기 때문에 질소화합물의 고정 은 BFT 내 플락에서 훨씬 더 빠르게 일어난다고 알려져 있다(Avnimelech, 1999; Hargreaves, 2006).

따라서 타가영양세균은 어류에 독성으로 작용하는 사육수 내 질소화합물을 자가 단백질원으로 동화시켜 질소를 효율적으로 제거한다. 이는 자가영양생물이 질소를 제거하는 양에 비해 40배 높은 값에 해당한다(Avnimelech, 1999). 이 뿐만 아니라 증식된 세균은 사육수 내 다른 미생물 및 미세 유기물 등과 결합하여 영양분이 높은 플락을 형성하게 되는데(Ahmad et al., 2017), 이 플락은 사육생물의 추가먹이원으로 재 섭취 된다. 위에서 언급한 원리를 통한 BFT의 수질개선 결과의 배출수를 최소화 할 수 있으며 고성장 및 고밀도 사육이 가능하게 할 수 있다.

현재까지 BFT에 대해, 해산새우류와 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔으며(Azim and Little, 2008), 다양한 방법으로 플락 형성과정을 연구하였으나, 대부분의 연구에서는 biofloc 배양을 사육생물 사육과 동시에 진행하였다. 이러한 방법은 초기 biofloc 배양 시 발생하는 암모니아, 아질산 등의 어류에 독성으로 작용하는 질소화합물의 값이 불안정하여 질소산화물에 내성이 높은 어류를 제외하고는, 특히 치어 생산을 하는 경우에는 어류의 대사와 생리에 치명적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 한편 현재까지의 대부분의 연구는 주로 해수를 이용한 연구가 진행되어져 왔으며 담수에서 biofloc이 형성되기까지의 수질특성 변화에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 탄소원으로 당밀(molasses)을 사용하여 인공적인 biofloc이 형성되는 과정에서의 수질의 특성을 30일 동안 관찰하고 분석하여, biofloc 형성 초기에 발생할 수 있는 문제점을 방지하고, 양식어업인이 BFT를 이용함에 있어 더욱 신속하게 biofloc을 형성시키고 BFT 양식에 쉽게 접근할 수 있도록 정보를 제공하는 것에 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 방법

가. 바이오플락 배양환경

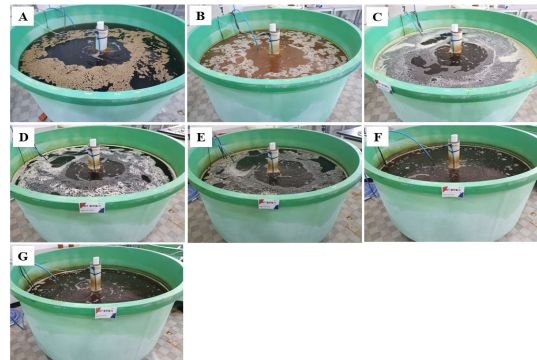
우선 바이오플락을 배양하기 위해서 원형수조 (지름 1.2 m, 깊이 1 m)에 1 ton의 지하수를 0.5 μ m-micro filter로 여과시켰다. 수조 내 15:1이상의 C/N비를 맞추기 위해 Avnimelech (1999, 2006)의 계산식에 따라 탄소원으로 당밀 1 L(evermiracle, 한국)와 질소원으로 1 kg 사료(우성사료, 한국)를 투입하였으며[Fig. 1, A], 좀 더 빠른 바이오 플락 배양을 위해 질소동화에 유용한 10종(*Bacillus subtilis*, *B. amuloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *Cellulomonas sp.*, *Cellulomanas biazotea*, *Pseudomonas stutzeri*, *P. denitrificans*, *Rhodopseudomonas palustris*, *Nitrobacter winogradskyi* 및 *Nitrosomonas europaea*)이 포함되어 있는 BFT 전용 생균제(BFT-ST, EgeeTech, Ltd., USA)를 공급회사의 지침대로 30 mL를 접종하여 3반복 실험을 진행하였다. 또한, 일정한 용존산소와 수온을 일정하게 유지하기 위해서 산소 발생시스템(금호마린, 대한민국)과 히터일체형 자동온도 조절기(1 KW, DH-1000ACW, 동화전자, 대한민국)를 이용하였다. 수중펌프(60 W, CT-50, 펠그린, 중국)를 수조 하단에 설치하고 분당 1회전 하도록 설정하여 유기물의 침전을 방지하도록 하였다. 이후 30일 동안 1, 3, 6, 12, 18, 24, 30일 간격으로 관찰하였다.

나. 수질변화 관찰 및 수질특성 분석

BFT 배양환경을 조성한 후 30일(1, 3, 6, 12, 18, 24, 30일) 동안 BFT 배양 수조 내 수질에서 나타나는 현상과 수색의 변화를 디지털 카메라를 이용하여 수질변화를 관찰하였다([Fig 1]).

수질측정은 BFT 배양환경을 조성한 후 30일(1, 3, 6, 12, 18, 24, 30일) 동안 용존산소(DO, mg/L), pH, 수온($^{\circ}$ C), 전기전도도(electrical conductivity, EC; μ s/cm)을 측정하였으며, 질소산화물인

$\text{NH}_3^+\text{-N}$ mg/L, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ mg/L, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ mg/L을 측정하였다. DO, pH, 수온, EC와 TDS는 다목적 수질 측정기 (YSI-556MPS, YSI Inc., USA)를 사용하였고, $\text{NH}_3^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 는 분석시약(Merck Inc., Darmstadt, Germany)과 분광광도계(NOVA 60, Spectroquant Inc., USA)를 이용한 비색법으로 분석하였다



[Fig. 1] Appearance of the biofloc water during 30- day of culture period, Day 1 (A), Day 3 (B), Day 6 (C), Day 12 (D), Day 18 (E), Day 24 (F) and Day 30 (G) cultured biofloc.

다. 플락 형성 및 측정

플락의 형성과 관련해서는 Manan et al.(2016) 등의 측정방법에 따라 측정하였으며, 총 부유물질(Total suspended solid; TSS)은 부유물을 필터로 거른 후 건중량을 측정하였으며, 임호프콘(Imhoff cone)을 이용하여 평가하였다. Imhoff cone에 1 L의 배양수를 채취하여 침전물의 양을 측정하고 관찰하였다. 또한 플락의 크기를 측정하기 위해 20 ml의 BFT 배양수를 채취하여 위상차 현미경(Nikon, TS100-F, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

III. 연구 결과

가. 수질변화 관찰 결과

BFT 배양환경을 조성한 후 30일(1, 3, 6, 12,

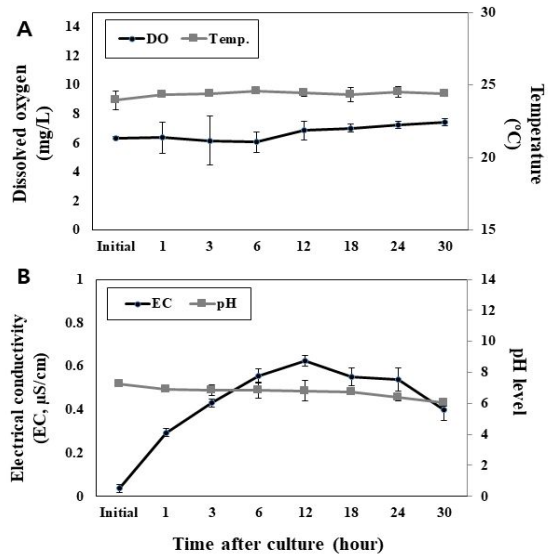
18, 24, 30일) 동안 BFT 배양 수조 내 수질에서 나타나는 현상과 수색의 변화를 관찰한 결과, 3일 차에 사료가 미생물에 분해가 시작되었으며, 수조 표면에 1/3 정도가 거품으로 덮인 것을 관찰하였다(Fig. 1, B). 6일 차에는 대부분의 사료가 분해되어 그 형태가 거의 없어진 것을 관찰하였다(Fig. 1, C). 12일 차에는 약간의 사료가 거의 분해된 것으로 보이며, 수조의 거품이 반으로 줄어든 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1, D). 18일 차에는 수조 내 사료 찌꺼기는 보이지 않았으며, 거품이 1/3 정도 덮인 것을 관찰하였다. 24-30일 차 모두 floc이 형성되는 것을 확인하였으며, 수 표면에 거품이 사라진 것을 확인하였다.

나. 수질 특성 변화

수질측정은 BFT 배양환경을 조성한 후 30일(1, 3, 6, 12, 18, 24, 30일) 동안 DO, 수온, EC 및 pH를 측정된 결과, 평균 DO와 수온은 각각 6.7 ± 0.5 mg/L, 24.4 ± 0.4 °C로 유지되었다(Fig. 2, A). DO의 경우, biofloc 형성 초기(1~12일 차)에는 불안정한 변화가 일어났다(표준편차의 범위; Range of standard deviation (S.D): $\pm 0.70 \sim 1.68$ mg/L). EC는 배양 후 12일 차까지 점점 증가(최고치 0.644 $\mu\text{S/cm}$)하였으며, 이 후 점점 감소하여 30일 차에 평균 0.402 $\mu\text{S/cm}$ 의 값을 유지하였다(Fig. 2, B). pH는 초기 7.14에서 시간이 지남에 따라 서서히 감소하여 30일 차에 6.13까지 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 2, B).

다. Biofloc 형성 및 TSS 변화 분석

BFT 배양환경을 조성한 후 30일(1, 3, 6, 12, 18, 24, 30일) 동안 총 용존 고형물 (total dissolved solids; TDS)과 biofloc의 양 및 floc의 사이즈를 측정된 결과(Fig. 5), <Table 1>, TD와 biofloc의 양은 3일 차에 각각 가장 높은 값 (0.752 , 34 ml/L)을 나타냈으며, 이후 12일 차까지 감소하다가 18일 차에 소폭 증가한 후 다시 감소하는 경향이 나타남을 확인할 수 있었다(<Table 1>).



[Fig. 2] Changes in water parameters during 30-day culture period (Initial, Day 1, 3, 6, 12, 18, 24 and 30). Parameters include DO and temperature (A), EC and pH (B).

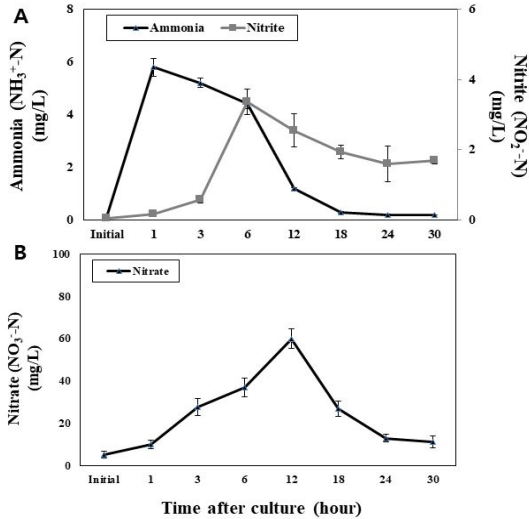
<Table 1> TSS and biofloc volume by days.

| Days | TSS | Biofloc volume (ml/L) | Floc size (μm^2) |
|------|-----|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | 66 | 15 | 0.0 |
| 3 | 170 | 34 | 4.9 |
| 6 | 80 | 3 | 40.8 |
| 12 | 55 | 2 | 41.7 |
| 18 | 151 | 6 | 11.7 |
| 24 | 100 | 2.5 | 1.0 |
| 30 | 70 | 1 | 100.0 |

Floc의 사이즈를 측정된 결과, 3일 차까지 floc의 크기가 점점 증가하여 $73,481 \pm 33,477$ μm^2 으로 나타났으나, 이후 18일 차까지 $2,135 \pm 567$ μm^2 의 크기로 감소하였다. 이후 24-30일 차에 다시 크기가 커지는 것(24일, $9,940 \pm 6,608$ μm^2 , 30일, $7,704 \pm 5,548$ μm^2)을 확인할 수 있었다(Fig. 5), <Table 1>).

BFT 배양환경을 조성한 후 30일(1, 3, 6, 12, 18, 24, 30일) 동안 어류에 독성으로 작용하는 $\text{NH}_3^+ \text{-N}$, $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 와 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 를 측정된 결과, 시간이

지남에 따라 암모니아(1일 차, 5.85 mg/L), 아질산(6일 차, 0.58 mg/L), 질산염(12일 차, 60 mg/L) 순으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 이후 다시 감소하여 각각 24일 차, 30일 차, 30일 차에 수질이 안정된 것을 확인할 수 있었다([Fig. 3]).



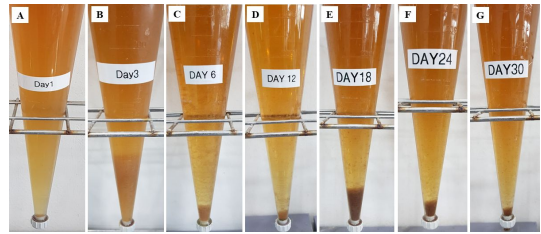
[Fig. 3] Changes in nitrogen nutrients during 30-day culture period (Initial, Day 1, 3, 6, 12, 18, 24 and 30). Nitrogen nutrients include ammonia (NH₃⁺-N) and nitrite (NO₂⁻-N) (A), nitrate (NO₃⁻-N) (B).

라. Floc의 양 및 색 분석

Floc의 양 관찰에 있어서 시각에 의한 관능검사에서는 시간이 지남에 따라 floc의 양이 증가함에 따라 색상이 천천히 짙어지는 현상을 관찰할 수 있었다([Fig. 4, A~D]). 그러나 18일 차부터는 더욱 변화가 커져 30일 차까지 관찰한 floc의 색은 진한 갈색을 띄는 것을 관찰할 수 있었다 ([Fig. 4, E~G]).

또한, floc의 양을 측정된 결과 3일 차(34 mL/L)까지 증가하다가, 다시 12일 차(3 mL/L)까지 감소하는 경향이 나타났다. 이후 18일 차(6 mL/L)에 다시 증가하였으며, 각각 24일 차(2.5 mL/L)와 30일 차(1 mL/L)에는 점점 감소하는 경

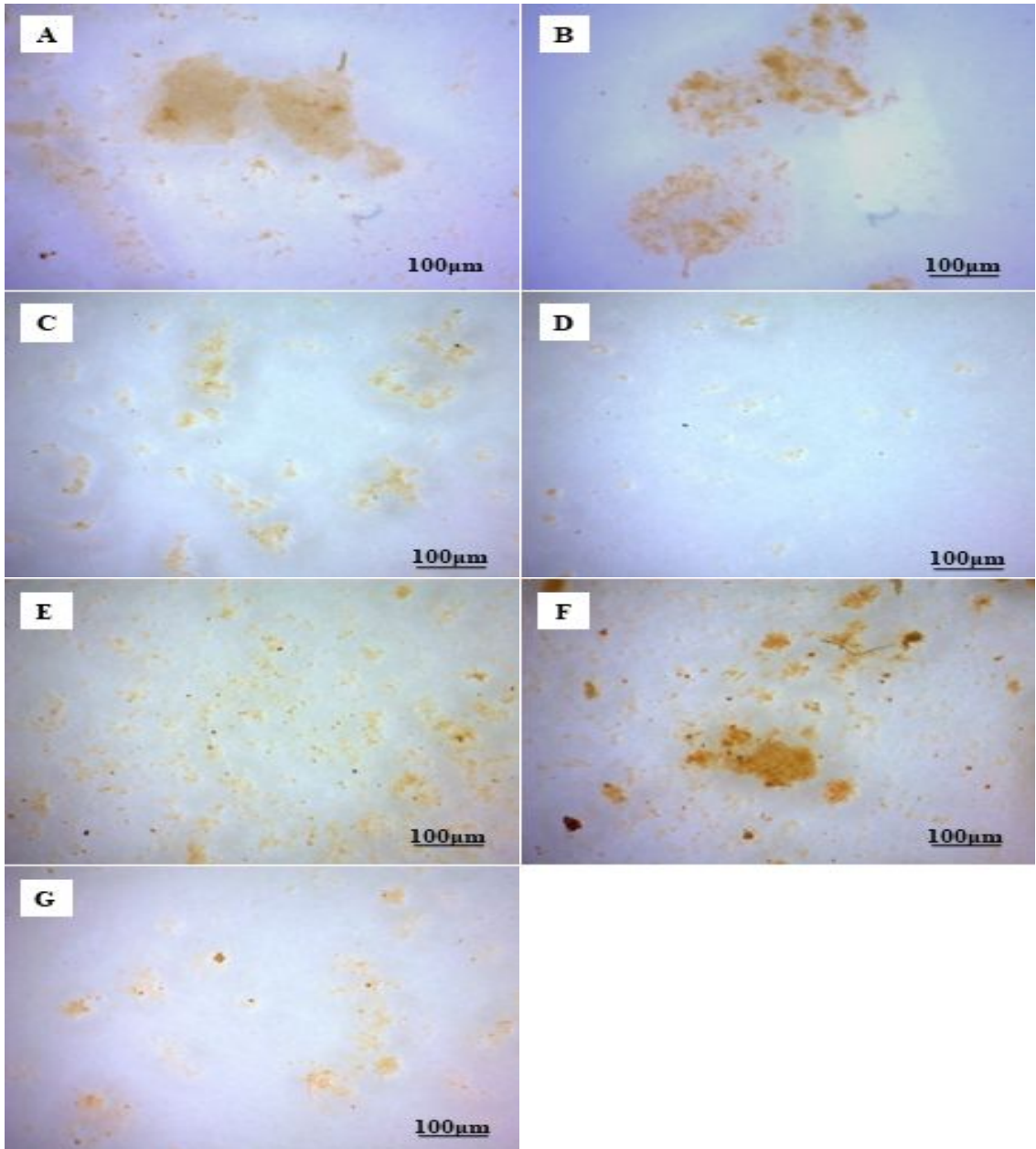
향이 나타났다([Fig. 5]).



[Fig. 4] Different pictures mean biofloc volume and coloration using Imhoff cone during 30-day culture period, Day 1 (A), Day 3 (B), Day 6 (C), Day 12 (D), Day 18 (E), Day 24 (F) and Day 30 (G) after cultured.

IV. 결론

본 연구는 양식어업인이 BFT를 이용함에 있어서 더욱 신속하게 biofloc을 형성시키고 BFT 양식에 쉽게 접근하도록 정보를 제공하기 위해 수행되었다. BFT 양식 시 양식생물의 초기입식과 같이 Biofloc을 생성할 때 갑자기 발생하는 질소화합물이 사육생물에게 치명적인 독성으로 영향을 미칠 수 있다(Avnimelech, 2012). 이에 대한 피해를 최소화시킬 목적으로, Biofloc 사육수 생성과 관련하여 Biofloc을 인공적으로 형성시키기 위하여 탄소원으로 당밀(molasses), 질소원으로 배합 사료를 사용하였으며 biofloc이 형성되는 과정을 30일 동안 관찰하였다. DO와 pH의 경우, 초기에는 불안정한 변화가 일어났으나 이후 점차 안정되었다. 용존 고형물과 biofloc의 양도 3일 차에 가장 높은 값을 나타냈으나 이후 전체적으로 감소하는 경향이 나타남을 확인할 수 있었다. 어류에 독성으로 작용하는 NH₃⁺-N, NO₂⁻-N와 NO₃⁻-N를 측정된 결과도 마찬가지였다. Imhoff cone을 사용한 floc의 양 관찰에서도 18일 차 이후 점점 감소하는 경향이 나타났다. 이는 생성된 floc을 이루는 세균들이 질소화합물을 점점 소비하며



[Fig. 5] Microscopic observation of biofloc conglomerations in water sample (20 ml) on petri dish during 30-day culture period, Day 1 (A), Day 3 (B), Day 6 (C), Day 12 (D), Day 18 (E), Day 24 (F) and Day 30 (G) after cultured. The size of the floc was directly indicated on the picture.

줄어들었을 것이며, 감소한 질소화합물로 인해 floc의 양도 줄어들었다고 볼 수 있다.

당밀을 활용한 biofloc 형성 시 시간에 따른 수

질은, 처음부터 일정 기간 동안에 당밀과 첨가된 사료에 의한 수질 악화 현상이 일시적으로 나타나게 되는데(Crab et al., 2007), 점차 biofloc의 형

성 및 미생물의 작용으로 수질이 개선되는 현상이 나타났다. 전반적으로 18일 이후부터는 매우 양호한 수질을 보였다.

본 연구의 결과, 담수 내에서 biofloc을 형성시키는 과정을 가시적으로 알 수 있는 측정치를 제공할 수 있었으며, 사육생물 없이 biofloc을 형성시키는 방법을 통해 시간은 더 소요되지만 Avnimelech(2012)의 BFT 사육 방법에 비해 질소 화합물로부터 사육생물의 피해를 감소시키는 대안적 방법을 제시할 수 있었다. 더불어 본 연구를 통해 양식어업인이 BFT 양식을 이용함에 있어 효율적이고 안정적으로 접근할 수 있는 방법을 제시할 수 있었다.

사육생물의 종류에 따라, 수온, 질소화합물 등 성장에 적합하거나 부적합한 사육수의 환경범위는 다양하다. 그러므로 본 연구에서 도출한 시간 경과에 따른 각종의 환경데이터는 사육하는 어종에 따라, 양식어업인이 참고하기에 필요한 자료가 될 것이다. 또한, 본 연구와 조건을 달리하는 다양한 연구가 수행되어 보다 신뢰 높은 데이터가 축적되어야 할 것이다.

References

- Amirkolaie AK(2008). Environmental impact of nutrient discharged by aquaculture waste water on the Haraz River. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 3(5), 275~279.
- Ahmad I, Rani AMB, Verma AK, and Masqsood M, (2017). Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquaculture international*, 25, 1215~1226.
- Avnimelech Y(1999). Carbon nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227~235.
- Avnimelech Y(2012). *Biofloc technology: a practical guidebook*, The World Aquaculture Society, Baton Rouge, 181.
- Azim ME, Little DC and Bron JE(2008). Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology*, 99, 3590~3599.
- Crab R, Avnimelech Y, Bossier P and Verstraete W(2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270, 1~14.
- Cripps SJ and Bergheim A(2000). Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, 22, 33~56.
- Davidson K, Pan M, Hu W and Poerwanto D(2012). Consumers willingness to pay for aquaculture fish products vs. wild-caught seafood- a case study in hawaii. *Aquaculture Economic and Management*, 16, 136~154.
- FAO(2019). *The state of world fisheries and aquaculture: meeting the sustainable development goals*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Hargreaves JA(2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 34, 344~363
- Manan H, Moh JHZ, Kasan NA and Mhd I(2016). Biofloc application in closed hatchery culture system of pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* in sustaining the good water quality management. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 11(4), 278~286.
- Pillay TVR(2004). *Aquaculture and the Environment*, 2nd Edn., Blackwell Publishing, UK., 1-208.
- Tacon AGJ and Metian M(2015). Feed matters : Satisfying the Feed demand of Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 23, 1~10
- Vinatea L, Malpartida J, Carbo R, Andree KB, Gisbert E and Estevez AI(2018). A comparison of recirculation aquaculture systems versus biofloc technology culture system for on-growing of fry of *Tinca tinca* (Cyprinidae) and fry of grey *Mugil cephalus* (Mugilidae). *Aquaculture*, 482, 155~161.

-
- Received : 19 November, 2020
 - Revised : 27 November, 2020
 - Accepted : 04 December, 2020