

드럼필터여과기와 자외선살균기 도입을 통한 유입수 처리 시 광어 질병 저감 효과

강봉조 · 공포 · 장영환 · 유은호 · 원승환

I. 서 론

제주를 비롯한 국내 대부분의 광어 양식장은 육상 수조식으로 유수식 양식장으로 운영되고 있다. 즉 유입수에 대한 여과나 살균처리없이 그대로 사육수조로 해수가 유입되고 있어 이로 인해 해황 악화 시 뱀물이 유입을 비롯하여 유입수로부터 어류 병원체 유입에 그대로 노출되어 있는 실정이다. 제주에서는 2015년도부터 오존, 전기분해, 자외선등의 살균시스템 광어 양식장에 시범적으로 도입되어 운영되고 있다. 해양수산연구원에서는 2012년도부터 2015년까지 드럼필터 여과기와 자외선 살균기를 통한 유입수 여과 살균 후 FRP수조를 연계하는 위생사육수조시스템(「드럼필터여과기+자외선살균기+FRP 수조 연계 시스템」을 위생사육수조시스템으로 명명하였다)을 개발하여 양식장 유입수 처리효과에 대한 선행연구를 수행하였다. 위생사육수조시스템을 광어 중간육성 단계(광어 치어 입식 후 약 4개월여 동안을 통상 중간육성단계라고 한다)에 적용한 결과 중간육성단계 고질적인 피해 질병인 스쿠티카병등의 예방효과를 확인한 바 있으며(강등 2015), 그 결과를 바탕으로 「양식장 위생 시스템」 특허를 취득하였다. 이러한 선행연구에서 도입된 FRP수조의 규격은 수조 외부에서 핸들링이 가능하도록 중간육성 전용을 목적으로 6.25㎡(2.5m×2.5m) 크기로 제작하여 실험이 이루어졌다. 즉 선행연구는 광어 치어의 단계에 적용을 통해 중간육성단계의 질병 저감효과에 대한 실증 시험이었다. 반면 이번 연구에서는 이러한 선행연구결과를 바탕으로 현재 제주지역 대부분의 광어 양식장에 일반적으로 시설된 수조인 약 100㎡ 내외의 콘크리트 수조에 적용을 통해 양성단계의 질병저감효과를 목표로 하였다. 그 이유는 FRP 수조의 경우 현재 양식장에 당장 도입 시 시설에 따른 경제적 비용 부담과 별도의 시설면적등이 소요될 것임에 따라 현재 광어양식장에 시설된 콘크리트수조를 대상으로 치어 입식단계부터 양성단계까지 적용을 통해 유입수 처리 효과에 대한 가능성을 확인하고자 하였다. 또한 자 본 연구에 적용된 살균방식인 자외선 살균기의 경우 살균효율 유지를 위해서는 자외선등의 정기적 세척이 필요한데 이를 위해서는 기술 전문가가 자외선살균기를 분해하여 세척해야 하는 어려움이 있어 이를 해결하고자 자외선 살균기에 자동세척기가 설치된 모델 도입하여 그 효과를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 양식장 선정 및 여과-살균시스템 설치

실험 양식장은 서귀포시 남원읍 소재 광어 양식장 1개소를 대상으로 하였으며, 여과-살균시스템 도입은 실험 대상 양식장의 고가 수조에서 양식장 사육수조로 공급되는 해수 관에 직경 PE관을 연결 한 후 드럼필터여과기를 설치하였다. 드럼필터여과기 하단에 바로 자외선 살균기를 연결 시킨 후 콘크리트 수조로 해수가 공급되도록 하였다. 드럼필터여과기는 드럼방식에 스크린 필터를 도입한 여과기(Hydrotech, Sweden)를 설치하였으며, 여과망목은 40 μ m 규격을 사용하였다. 자외선살균기(Ultraaqua, Denmark)는 저압고출력아말감램프 (low pressure amalgam UV lamp)에 자동세척시스템이 도입된 모델을 사용하였다. 자외선 살균기의 살균강도는 약 60~70mJ/cm² 자동세척기는 1일 10회 세척이 이루어지도록 조정하였다(표 1).

표 1. 드럼필터 여과기 및 자외선살균기 설치 규격

구 분	드럼필터여과기	자외선살균기	수조
규 격	제조사 : Hydrotech, Sweden	제조사:Ultraaqua, Denmark	재질 : 콘크리트 크기 : 81m ²
	망목크기 : 40 μ m	220W, 4기	
	처리용량 : 60m ³ /hr	자동세척기 도입	

2. 실험수조 및 실험어

실험어는 치어가 입식된 후 지하수만 공급되는 수조에서 약 2달 정도 사육 후 약 55g 내외 크기에서 실험수조로 옮겨 5월부터 11월까지 사육하면서 실험하였다. 실험은 드럼필터여과기 및 자외선 살균기를 거쳐 사육수가 공급되도록 한 수조(여과-살균시스템 수조)와 고가수조에서 처리없이 직접 사육수가 공급되는 수조(대조구)로 각 1개씩을 대상으로 하였고, 수조 크기는 81 m²이었다.



그림 1. 드럼필터여과-자외선살균시스템 설치 사진

A, 여과-살균시스템 설치전 수조 모습; B, 여과-살균 시스템 설치 후 모습; C, 드럼필터 여과기; D, 자외선 살균기

각 수조의 사육밀도는 여과-살균시스템 수조는 4,330마리, 대조구 수조는 3,700마리를 입식하여 여과-살균시스템 수조가 상대적으로 사육밀도를 높게 유지하여 실험을 실시하였다. 실험 사육기간동안 공급되는 원수는 자연해수와 지하수 혼합수를 사용하였는데 자연해수 공급비율을 약 70%내외가 되도록 하였다.

3. 여과-살균시스템의 살균효과 분석

여과-살균시스템의 살균효과 분석을 위해 여과-살균 시스템 수조와 대조구 수조의 주수구에서 각각 수조 유입수를 채취하여 일반세균수를 측정하여 살균효율을 분석하였다. 일반세균수 측정은 무균처리 된 0.45 membrane filter(Pall corporation, Mexico)를 이용하여 시료를 각각 0.1mL, 1mL, 10mL, 100mL 여과 후 NaCl이 첨가된 BHIA(BD, USA)평판에 부착 하여 $30 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 배양 후 형성된 colony를 계수하였고, 약

30~300개의 colony가 형성된 평판 위주로 선택하여 세균수 계수에 이용하였다. 각각의 여과 용량 별 세균수 측정 후 평균을 구한 후 100mL당 colony수로 환산하였다.

4. 여과-살균 시스템의 부유물질 제거 효능 분석

여과 효능 분석은 여과-살균시스템 수조와 대조구 수조의 유입수 중 부유물질 농도 측정을 통해 부유물질 저감 정도를 분석하였다. 부유물질 농도는 GF/C filter(Whatman, England)를 이용하여 각각의 해수 1L를 여과 후 건조하고 여과 전후의 filter무게로 부유물질의 농도를 측정하여 비교 하였다.

5. 실험결과의 분석

실험기간은 5월부터 시작하여 11월까지 7개월간 수행하였는데, 대조구 수조에서 누적 폐사율이 60%를 넘으면서 대조구 수조 내 사육밀도가 매우 낮아짐에 따라 실험을 종료하였다(여과-살균시스템수조는 실험 종료 후 계속적으로 사육실험 및 모니터링 수행 중). 실험종료 시 어체의 평균 체중은 약 400g 내외로 측정되었다. 여과-살균시스템의 살균효능 분석, 부유물질 제거 효능 분석, 누적 폐사율 분석을 분석하였다. 또한 여과 및 살균처리를 하지 않은 지하해수에 대하여 7월과 8월 2회에 세균수 및 부유물질 농도를 측정하여 참고자료로 활용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 여과-자외선 살균시스템의 살균효율 분석

실험기간 중 7월부터 11월까지 매월 1회씩 대조구 및 여과-살균시스템 수조 유입수 내 세균수 측정 결과를 바탕으로 여과-자외선 살균시스템의 살균효율을 분석한 결과 전 기간에 걸쳐 99.8%이상의 살균효율을 확인하였다.

여과-살균시스템 수조는 100mL당 $2 \sim 2.21 \times 10^2$ cfu로 측정되었으며, 대조구 수조의 경우에는 대부분 $1.26 \times 10^5 \sim 8.8 \times 10^5$ cfu/100ml의 세균수가 측정되었으나 9월에는 1.92×10^6 /100ml로 상대적으로 높게 나타났다.

표 2. 여과-살균시스템의 살균효율 분석

구분	세균수 측정 결과(cfu/100ml)		살균 효율(%)
	대조구	여과-살균시스템수조	
‘16. 7월	1.74×10^5	3.35×10	99.98
‘16. 8월	1.26×10^5	2.21×10^2	99.82
‘16. 9월	1.92×10^6	9.8×10	99.99
‘16. 10월	1.23×10^5	4	99.99
‘16. 11월	8.8×10^5	2	99.99

2. 여과-자외선 살균시스템의 여과 효능 분석

실험기간 중 7월부터 11월까지 매월 1회씩 대조구 및 여과-살균시스템 수조 유입수 내 부유물질 농도를 측정하여 비교한 결과 대조구의 경우는 0.21~0.73mg/L로 측정되었고, 여과-살균시스템수조의 경우는 0.15 ~ 0.49mg/L로 측정되어 유입수 내 찌꺼기 등 부유물질이 제거되고 있음을 확인 할 수있었다(표 3). 또한 드럼필터 여과기에서 걸려져 제거된 찌꺼기를 모아 관찰한 결과 매우 미세한 형태의 뿔성분이 대부분이었으며 현미경적 관찰결과 구조류등도 관찰되었다(그림 2).

표 3. 대조구 및 여과-살균시스템 수조의 부유물질 농도 측정 결과

구분	부유물질 농도(mg/L)	
	대조구	여과-살균시스템 수조
‘16. 7월	0.73	0.49
‘16. 8월	0.26	0.16
‘16. 9월	0.31	0.24
‘16. 10월	0.53	0.48
‘16. 11월	0.21	0.17

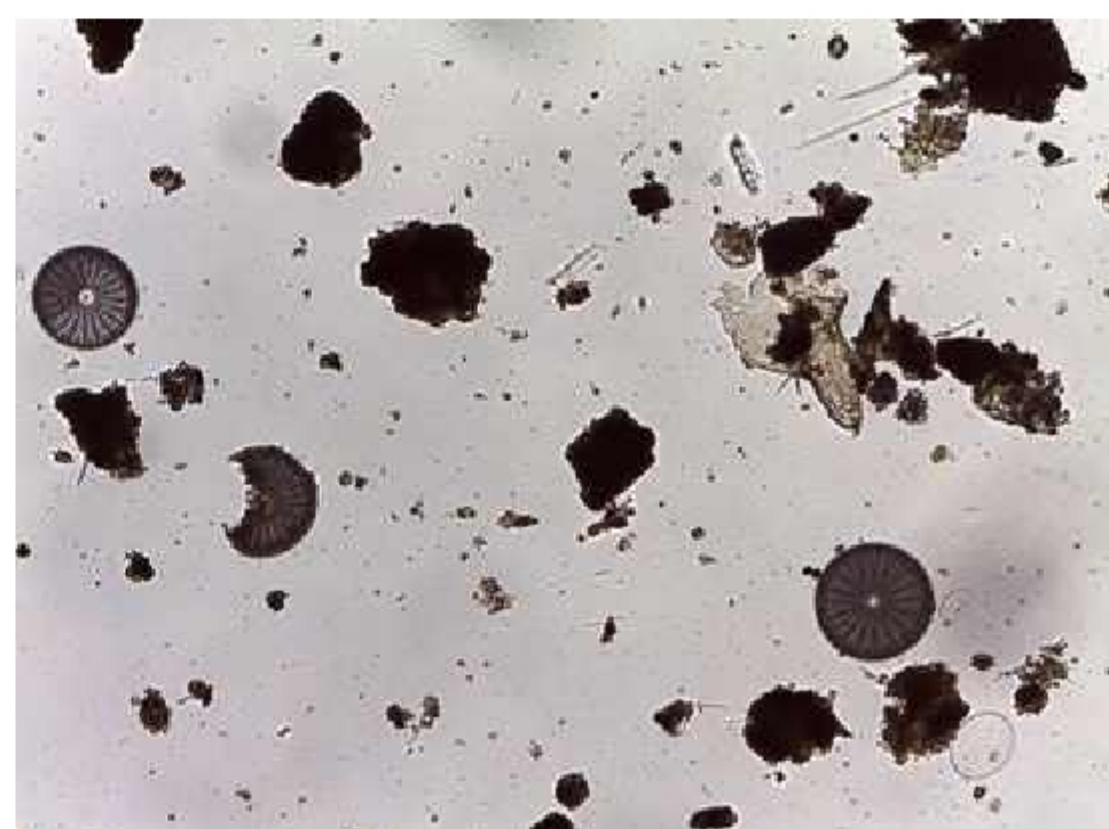


그림 2. 드럼필터여과기에서 걸려진 찌꺼기의 형태(왼쪽)와 현미경 관찰 사진 (오른쪽, ×100)

3. 지하해수 내 세균수 및 부유물질 농도

실험 양식장에서 사용중인 지하해수에 대하여 세균수 및 부유물질 농도를 분석한 결과 세균수는 $5.44 \times 10^2 \sim 6.8 \times 10^2 \text{cfu/100ml}$ 로 측정되어 살균처리수(여과-살균시스템수조 유입수)에 비해 10~100배 정도 높은 수준을 나타내었으며, 부유물질은 0.05 ~ 0.09mg/L로 여과-살균처리시스템 수조 유입수 보다 낮은 수준으로 나타나 지하수의 경우 부유물질 농도는 매우 낮음을 확인 할 수 있었다(표 4).

표 4. 지하해수의 세균수 및 부유물질 농도

구 분	‘16. 7월	‘17. 8월
일반 세균수(cfu/100ml)	6.8×10^2	5.44×10^2
부유물질(mg/L)	0.09	0.05

4. 질병발생 및 누적 폐사율 비교

여과-살균시스템 수조의 경우는 실험 기간동안 총 누적폐사(병어 제거 포함)가 1,280마리였으며, 대조구 수조는 2,230마리로 측정되어 각각 27.9%, 60.2%의 폐사율을 나타내었다. 실험결과를 바탕으로 할때 약 32%의 폐사율 저감효과를 확인 할 수 있었다(표 5).

표 5. 실험기간동안의 폐사율 비교

구분	대조구	여과-살균시스템 수조
입식수량	3,700	4,330
누적폐사량 ^D	2,230	1,280
폐사율 (%)	60.3	27.9

^D 누적폐사량은 폐사어와 질병감염증상에 확인한 병어를 포함한 수치임. 대조구의 경우는 폐사어 1,454마리와 병어 776마리이었으며, 여과-살균 시스템 수조는 폐사어 441마리, 병어 767마리이었다.

또한 각각의 수조의 질병 발생패턴은 대조구 수조에서는 기생충성 질병으로 스쿠티카병과 여윌증상이 관찰되었고, 세균성 질병으로 에드워드병과 연쇄구균병이 관찰되었다. 여과-살균시스템 수조의 경우에는 기생충성질병으로 스쿠티카병은 관찰되었으나

여윌증상은 관찰되지 않았으며, 세균성 질병으로는 에드워드병과 연쇄구균병이 관찰되었다. 대조구수조의 주요 폐사원인은 스쿠티카병과 여윌증상에 의한 것으로 추정되었다(표 6).

표 6. 질병발생 패턴 비교

구 분	질병 발생 종류	
	대조구	여과-살균시스템 수조
기생충성 질병	스쿠티카병 여윌증상	스쿠티카병
세균성 질병	에드워드병 연쇄구균병	에드워드병 연쇄구균병

광어의 여윌증상은 원인이 명확히 밝혀져 있지 않은 질병으로 현재 점액포자충의 일종인 *Parvicapsula* sp.가 원인체로 추정되고 있다. 이 연구에서도 대조구 수조에서 채집된 여윌증상 개체의 세노관에서 *Parvicapsula* sp.가 관찰되었다(그림 3).

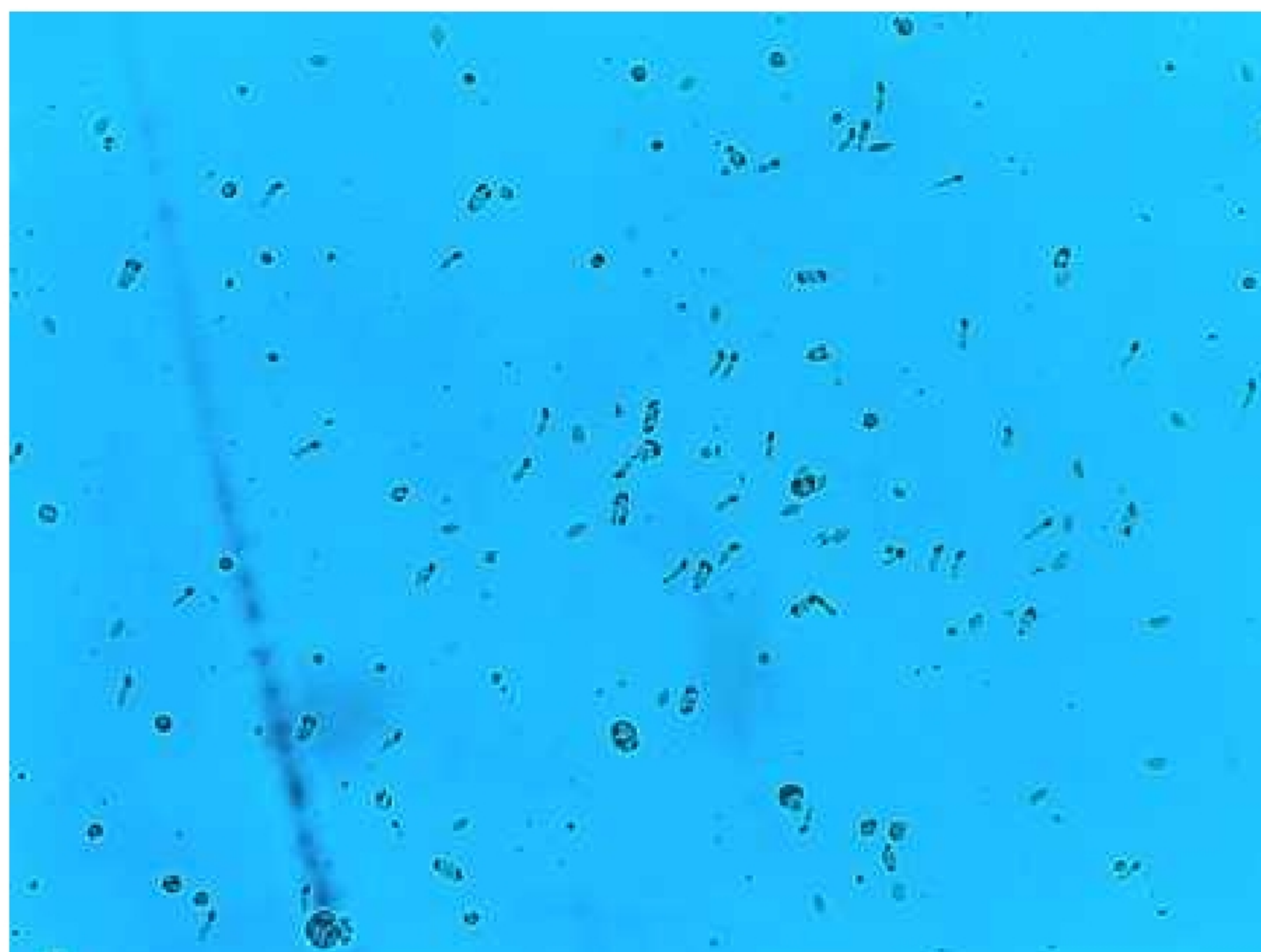


그림 3. 대조구 수조의 여윌증상 개체에서 관찰되는 *Parvicapsula* sp. 현미경 사진($\times 100$)

IV. 고 찰

이 연구는 광어 양식장의 유입수에 대해 드럼필터여과기 및 자외선 살균처리에 대한 질병 저감 효과를 분석하고자 사례연구로 수행되었다. 자외선 살균기의 경우 살균 효율은 유입수내 탁도와 자외선 살균기의 자외선등의 청소상태에 따라 영향을 받을 수 있는데 이 연구에서는 자외선 살균기내 자동세척기가 도입된 모델을 설치하여 실험하였다. 여과-살균시스템의 유입수 내 세균수 살균 효율은 약 99.8% 이상으로 확인되었다. 이러한 결과로 자외선 살균기내 자동세척기 가동으로 별도의 인위적인 세척과정 없이 살균 효율이 유지될 수 있는 것으로 평가된다. 자외선살균기의 살균 효과와 더불어 단점으로 꼽히는 부분이 자외선등 청소의 필요성이라고 알려져 있으며, 양식장 관리 특성상 잦은 인위적 청소는 전문기술이 부족할 경우 관리에 어려움을 겪을 수 있는데 자동세척기 도입시 청소에 대한 어려움이 해결될 수 있으며 또한 살균 효과 유지가 문제가 없음을 확인 할 수 있었다.

대조구 수조의 유입수에 대한 세균수 조사 결과 $1.26 \times 10^5 \sim 81.92 \times 10^6/100\text{ml}$ 로 측정되어 매우 높은 수준의 세균 분포수준을 보였으며 계절적으로는 9월이 가장 높은 세균수 분포를 보였는데 이는 상대적으로 높은 수온에 따른 영향으로 판단된다. 반면 지하해수의 경우는 $5.44 \times 10^2 \sim 6.8 \times 10^2 \text{cfu}/100\text{ml}$ 로 측정되어 지하해수와 해수가 혼합된 대조구 수조의 유입수에 비해 1/1,000 ~ 1/1,000 수준으로 낮은 수준을 보였다.

부유물질농도 측정결과 대조구의 경우는 0.21~0.73mg/L로 측정되었고, 여과-살균시스템수조의 경우는 0.15 ~ 0.49mg/L로 측정되었다. 대조구수조의 경우도 최고 수준이 1.03mg/L보다 낮은 수준이어서 농도적으로는 낮은 수준으로 평가될 수 도 있으나 사육물량이 1시간당 약 60톤 정도가 공급된다는 점을 감안할 때 총량적으로 볼 때 여과는 필요할 것으로 판단된다. 이러한 부분은 정성적 평가로서 드럼필터 여과기에서 여과되어 배출된 찌꺼기 성상을 보면 대부분 펄 성분의 찌꺼기가 걸러지는 것을 통해 확인 할 수 있다. 유수식 광어 양식장 질병예방을 위해 최근 오존이나 전기분해등 여러 가지 살균시스템이 시범 도입되고 있는데 살균시스템의 종류에 상관없이 유수식 양식장의 경우 수처리를 위해서는 반드시 물리적인 여과가 우선되어야 할 것으로 사료된다.

이번 연구에서 여과-살균시스템 수조의 실험기간동안의 누적 폐사율은 27.9%, 대조구의 경우는 60.3%로서 약 32%의 폐사저감 효과를 보였다. 여과-살균시스템 수조의 폐사 감소는 스쿠티카병 발생이 대조구에 비해 감소한 것과 여웜증상이 발생하지 않은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 여웜증상은 점액포자충류(Myxozoa)에 속하는 Parvicapsula속 기생충이 원인체로 추정되고 있는데, Cobocroft *et al.* (2013)은 $44 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 이상의 자외선 조사 시 Stroped

trumpeter(*Latris lineata*)의 *Kudoa neurophila* 감염 예방효과를 보고하였고, Shirakashi *et al.* (2014) 은 자외선에 의한 *Kudoa yasunagai* 와 *Kudoa amamiensis* 감염 예방 효과를 보고하기도 하였다. Shirakashi *et al.* (2014)은 자외선에 의한 방어류(*Seriola fish*)에서 *Kudoa yasunagai* 와 *Kudoa amamiensis* 감염 예방 효과를 보고하기도 하였다. Nishioka *et al.*(2016)은 *Kudoa septempunctata* 감염 사례가 있는 광어(*Paralichthys olivaceus*) 종묘장에서 대조구(무처리), 유입수에 대한 모래 여과 처리구, 모래-카트리지 여과(sand-5 μ m cartridge) 처리구, 모래-카트리지-자외선(46mJ/cm²) 처리구, 자외선(46mJ/cm²) 처리구에 대한 실험 결과 대조구에서는 약33%의 *Kudoa septempunctata* 감염이 확인되었으나 나머지 유입수 처리구에서는 *Kudoa septempunctata* 가 관찰되지 않았다고 하였고 종묘장의 *Kudoa septempunctata* 감염 예방을 위해 모래여과-자외선살균 처리를 권고하였다. Nishioka *et al.*(2016)의 수처리 시스템 도입에의한 *Kudoa septempunctata* 감염 예방 효과에 대한 연구결과는 본 연구에서 여과-살균시스템 도입 수조의 Parvicapsula속 점액포자충 감염 예방효과와 유사한 결과로 사료된다.

유수식 광어 양식장의 *Kudoa*속 또는 *Parvicapsula*속 점액포자충류의 감염을 포함한 질병 예방을 위해서는 유입수에 대한 여과와 살균처리가 필요할 것으로 판단된다. 즉 현재 제주지역에 양식장에 유입수 처리를 위해 여러 가지 방식의 살균시스템 도입이 이루어지고 있는데 여과에 대한 부분도 같이 검토가 이루어질 필요가 있을 것으로 판단된다.

V. 참고문헌

- Cobcroft , J.M., and Battaglione, S.C.: Ultraviolet irradiation is an effective alternative to ozonation as a sea water treatment to prevent *Kudoa neurophila* (Myxozoa: Myxosporea) infection of striped trumpeter, *Latris lineata* (Forster). J. Fish. Dis., 36:57-65, 2013.
- Nishioka T., Satoh J., Mekata T., Mori K., Ohta K., Morioka T., Lu M., Yokoyama H. and Yoshinaga T.:Efficacy of sand filtration and ultraviolet irradiation as seawater treatment to prevent *Kudoa septempunctata*(Myxozoa:Multivalvulida) infection in olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Fish Pathol., 51:23-27, 2016.
- Shirakashi S., Nishimura T., Kameshira N., Yamashita H., Ishitani H., Ishimaru K. and Yokoyama H.: Effectiveness of ultraviolet irradiation of seawater for the

prevention of *Kudoa yasunagai* and *Kudoa amamiensis*(Myxozoa:Multivalvuida) infection in *Seriola* fish. Fish Pathol., 49:141-144, 2014.

강봉조, 장영환, 전봉근 : 양식장 위생사육수조시스템의 질병저감 실증사례 연구. 2015 연구사업보고서, 제주특별자치도해양수산연구원. 64-73, 2015.