

학술정보 ②

콘크리트 탱크 사육수조에서 수질 및 향어의 성장에 미치는 자외선-오존 램프의 영향 실험

이정열* · 김경환 · 성용식 · 류경남 · 하만수**

(*군산대학교 해양과학대학 양식공학연구소, **(주)한국오존텍)

E-mail : yjeong@ks.kunsan.ac.kr

1. 서 언

오존은 산소원자 3개가 결합된 분자이며 매우 강력한 산화력이 있어서 여러 분야에 이용되고 있으며 가장 흔히 이용되는 분야는 수(水) 처리 분야이다. 수 처리 분야에서 오존의 이용 목적은 첫째 수중 유기물질의 산화분해, 둘째 탈색 및 탈취, 셋째 소독을 위하여 사용하고 있다. 오존은 극히 짧은 반감기와 처리 중 남은 오존이 순간적으로 산소로 되돌아가는 성질이 있기 때문에 환경적으로 매우 유익하며 미래의 살균기 및 산화제로 크게 각광을 받게 될 것이다. 또한 자외선 역시 1 ~ 380nm의 극히 짧은 전자파의 일종으로 대상물질의 pH, 색상, 맛, 냄새, 온도 등을 변화시키지 않고 세균을 죽일 수 있는 안전한 살균제이기 때문에 식품 및 의학 분야에서 널리 응용되어 오고 있다.

양식 산업에서도 사육수를 살균, 정화하는데 오래 전부터 오존 및 자외선의 이용이 알려져 있지만(Wheaton, 1977; Spotte, 1979; 강 등, 1999), 오존 및 자외선의 사용상 불편함 및 부정확한 사용법으로 인한 부작용 등으로 그 사용은 제한적이다. 그러나 최근 저전압 방식의 오존 발생장치에 자외선을 첨가한 혼합 살균기(이하 「U-zone」이라 칭함)

가 한 중소기업체에 의해 개발됨으로서 종래의 오존 발생기와 자외선 살균기를 각각 사용하는 불편함을 해소하고, 그 효과를 배가시킬 수 있게 되었다. 현재 이 「U-zone」을 사용하고 있는 양식업체는 약 30여개 업체에 달하고 있으며 그 효과는 어느 정도 인정하고 있지만, 아직 정확한 사용법이 정립되어 있지 않아서 오로지 경험과 직감에 의존하여 사용하고 있는 실정이다. 그래서 경우에 따라서는 오존 및 자외선의 부작용 및 잘못 사용으로 사육 어류를 죽이는 경우가 있는가 하면 오히려 용량 부족으로 소기의 목적을 달성하지 못하는 경우도 있다.

한편, 오존 및 자외선 처리수가 소독을 위해 사용하는 본래의 목적 이외에 어패류의 산란 촉진과 부화율이 향상되었다는 양식인들의 구두 보고가 있어서, 이에 대한 확인 및 사용법을 정립하여 양식업계에 보급할 필요성이 절실히 요청되고 있다. 현재 주요 어류의 치어 확보율은 산란량의 5~30%인 점을 감안할 때, 만일 「U-zone」의 사용으로 건강하고 성장률이 좋은 종묘의 확보율을 향상시킬 수 있다면 어류 종묘생산에 획기적인 계기가 될 수 있을 것이 틀림없다.

본 연구에서는 우선 먼저 중소기업에서 개발한

「U-zone」을 사용하였을 때, 양식산업에서 가장 중요한 사육수의 개선효과와 어류의 성장에 미치는 영향을 측정하여 그 효능을 검증하고 올바른 사용법을 전달하여 재래적 양식 방법에서 탈피하여 보다 능률적인 양식산업이 될 수 있도록 하기 위하여 사육수로부터 오는 질병 문제 및 수질개선의 애로사항을 해결하고자 하였다.

재료 및 방법

사육용 수조는 군산대학교 해양과학대학 부속 양어장의 콘크리트 탱크(10×11×0.8m) 2개를 이용하여 1개는 실험용으로 하였고 다른 1개는 대조용으로 하였다. 실험용 향어는 부속양어장에서 부화하여 사육해 오던 것으로 평균체장 33~36cm, 평균 체중 540~570g의 향어를 이용하였다. 자외선-오존 램프는 (주)한국오존텍에서 제조한 것을 제공 받아 사용하였는데 그 사양은 표 1과 같다.

표 1. 실험에 사용한 UV-Ozone 램프의 제원

램프의 크기		전 기		오존 발생량 (ppm)	수 명 (hr)
길이 (mm)	직경 (mm)	전원 (V)	소모량 (W)		
500	15	220	32	500	24,000

본 연구에서는 수량 5톤 당 1대의 「U-zone」을 설치하도록 계획하여 모두 15대의 램프를 실험구 사육수조에 설치하였다. 실험구에 설치한 15대의 「U-zone」은 처음에는 모두 가동하였으나 그 영향 정도를 보아 가면서 가동 시간과 램프 수를 조절하였다(표 2). 램프를 통과하는 수량은 수중펌프(1/2 Hp, 18,000 l/hr)를 사용하여 사육수를 순환시켰는데, 주수량은 10톤/hr 내외로 하루 2.7회 정도 순환시켰다. 실험구 사육수조와 대조구 사육수조에는 각각 향어 중간 종묘 505마리와 523마리를 수용하고

사육하면서 매주 오전 8시에 수질을 측정하여 대조구와 실험구 수질을 비교 분석하였고 시험이 끝났을 때에는 향어의 성장도를 측정하여 「U-zone」 사용의 효과 여부를 조사하였다. 실험구와 대조구 사육 수조의 환수는 수질이 극히 나빠지지 않는 한 환수를 하지 않았으며, 폭기장치를 이용하여 용존산소량의 공급은 충분히 하였다. 먹이는 자동급이기를 사용하여 어류들이 충분히 먹을 수 있도록 하였다. 수질 분석은 현장 측정 항목을 제외한 측정 항목은 시료를 실험실로 운반하여 분석하였는데 분석방법은 표 3과 같다.

결과 및 고찰

1. 수질 변동

2000년 6월 10일부터 10월 30일까지 142일 동안 향어를 사육하면서 「U-zone」이 설치되어 있는 실험구와 설치되어 있지 않은 대조구 사육수조의 수질 변동을 조사한 결과는 그림 1에 나타낸 바와 같다.

먼저, 사육기간 동안 수온 변화를 보면 실험을 시작한 6월부터 계속 상승하여 8월 19일경에 가장 높은 수온을 보이다 하강하기 시작하여 10월말에는 15℃ 전후를 나타내었다. 실험구와 대조구간의 수온 차이는 거의 없었지만, 수온 상승기에는 실험구가 그리고 하강기에는 대조구가 약간 높게 나타나 기온의 영향이 실험구에서 대조구보다 더 많이 받은 것으로 나타났다. 이는 실험구의 사육수가 순환되는데 따른 것이다. pH는 실험기간 동안 대체로 감소하는 경향을 나타내었는데 실험구가 대조구보다 낮게 나타났다. 이는 실험구의 식물플랑크톤의 밀도가 「U-zone」의 영향으로 대조구보다 낮게 분포하였기 때문이다. 용존산소량은 실험기간 동안 변동 폭이 크게 나타났으며 실험구가 대조구보다 낮게 분포하였다. 수중의 용존산소량은 식물

표 2. 실험기간 중 「U-zone」 램프의 가동 상황

날자	6. 12		7. 6		7. 11		7. 29		8. 8		10. 14		10. 28
가동 여부	15개 가동 시작		소등		15개 점등		소등		10개 점등		소등		실험 끝
가동 시간		24일		6일		19일		11일		67일		14일	

표 3. 사육수의 수질분석 방법

분석 항목	분석 방법
수소이온농도(pH)	유리전극법(Mettler MP-220)
수온(℃)	수질측정기(YSI-85)
용존산소(mg/L)	수질측정기(YSI-85)
전기전도도(mS/cm)	수질측정기(YSI-85)
투명도(m)	투명도판(φ 20cm)
부유성고형물질(mg/L)	유리섬유여과법(Boyd and Tucker, 1992)
총암모니아성 질소(mg/L)	인도페놀 청법(Boyd and Tucker, 1992)
아질산성 질소(mg/L)	디아조아법(Boyd and Tucker, 1992)
질산성 질소(mg/L)	구리-히드라진 환원법(Mullin and Riley, 1955)
인산성 인(mg/L)	아스코빅산 환원법(Boyd and Tucker, 1992)
총알카리도(mg/L as CaCO ₃)	산 적정법(Boyd and Tucker, 1992)
총경도(mg/L as CaCO ₃)	EDTA 적정법(Boyd and Tucker, 1992)

플랑크톤의 영향을 많이 받는데, 폭기를 하였음에도 불구하고 변동 폭이 크게 나타난 것은 식물플랑크톤의 풍흉에 따른 현상으로 실험구가 대조구보다 낮게 나타난 것도 같은 이유이다. 즉, 실험구의 식물플랑크톤의 밀도가 적기 때문에 식물플랑크톤에서 나오는 용존산소의 유입량이 적었기 때문이며, 특히 8월 12일경에 실험구에서 용존산소량에 최소를 보이는 것은 「U-zone」의 가동을 중단하여 식물플랑크톤의 번식이 급증하여 갑자기 산소 소비량이 커졌기 때문으로 판단된다. 전기전도도 분포는 대조구가 점차적으로 증가하는 경향을 보이는데 반하여 실험구는 대체로 일정한 변동폭을 유지하면서 대조구에 비해 낮게 나타났다. 전기전

도도는 물 속에 존재하는 이온량의 척도로서 무기염류의 농도가 높을수록 크게 나타난다(오·신, 1991). 실험구가 대조구에 비하여 일정한 수준을 유지하며 낮게 나타난 것은 사육 어류로부터 나오는 용존성 무기염류가 「U-zone」에 의해서 분해 감소된 것을 의미한다.

사육수조의 기초생산력(식물플랑크톤의 양)을 간접적으로 나타내 주는 투명도는 실험구와 대조구 사이에 현저한 차이를 보이고 있으며 실험구의 투명도가 항상 높게 나타났다. 특히 식물플랑크톤의 번식이 「U-zone」에 의해 조절이 되어진 때는 수조의 바닥(80cm)까지 투명도를 나타내어 대조구의 30cm 내외와 뚜렷한 차이를 보였다. 탁도의

경우에도 실험구와 대조구 사이에 차이를 보이면서 대조구에서 높게 나타나고 있다. 또한 탁도의 변동 역시 「U-zone」의 가동 여부와 관련하여 높고 낮게 나타나고 있는데 대체로 「U-zone」램프를 가동한 후 3일경부터 영향이 나타나기 시작하여 10일 정도가 되면 완전한 영향을 반영하

여 나타나는 것으로 조사되었다. 부유성고형물질의 경우에는 실험구 및 대조구 모두 다소의 변동폭을 보이고 있는데, 대조구는 실험기간 동안 전반적으로 증가하는 경향을 보인 반면 실험구는 8월 12일까지 약간 증가하는 듯하다가 8월 19일에 현저히 낮은 값을 보인 후 다시 증가하는 경

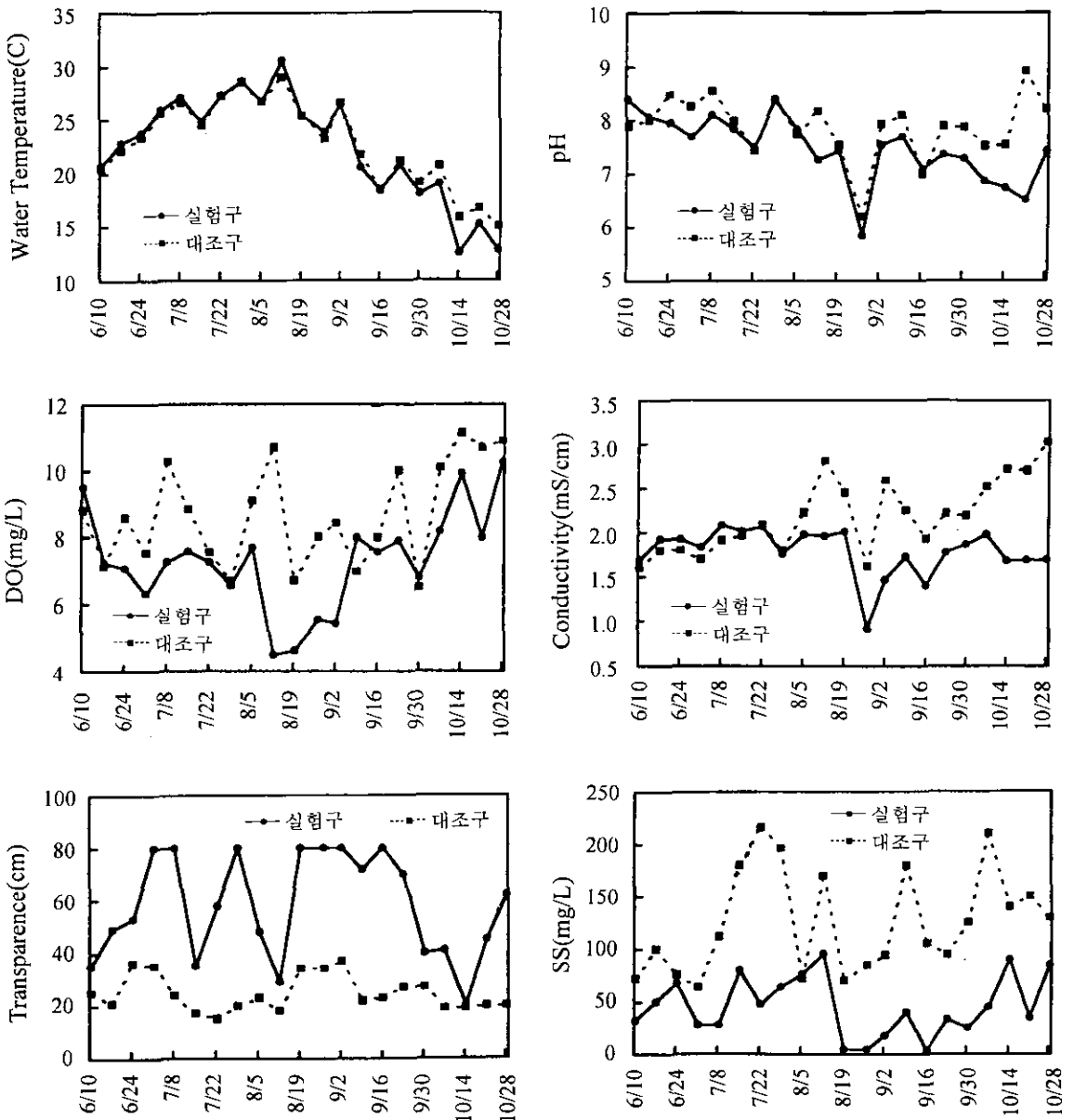


그림 1. 향어 사육수조의 수질 변동

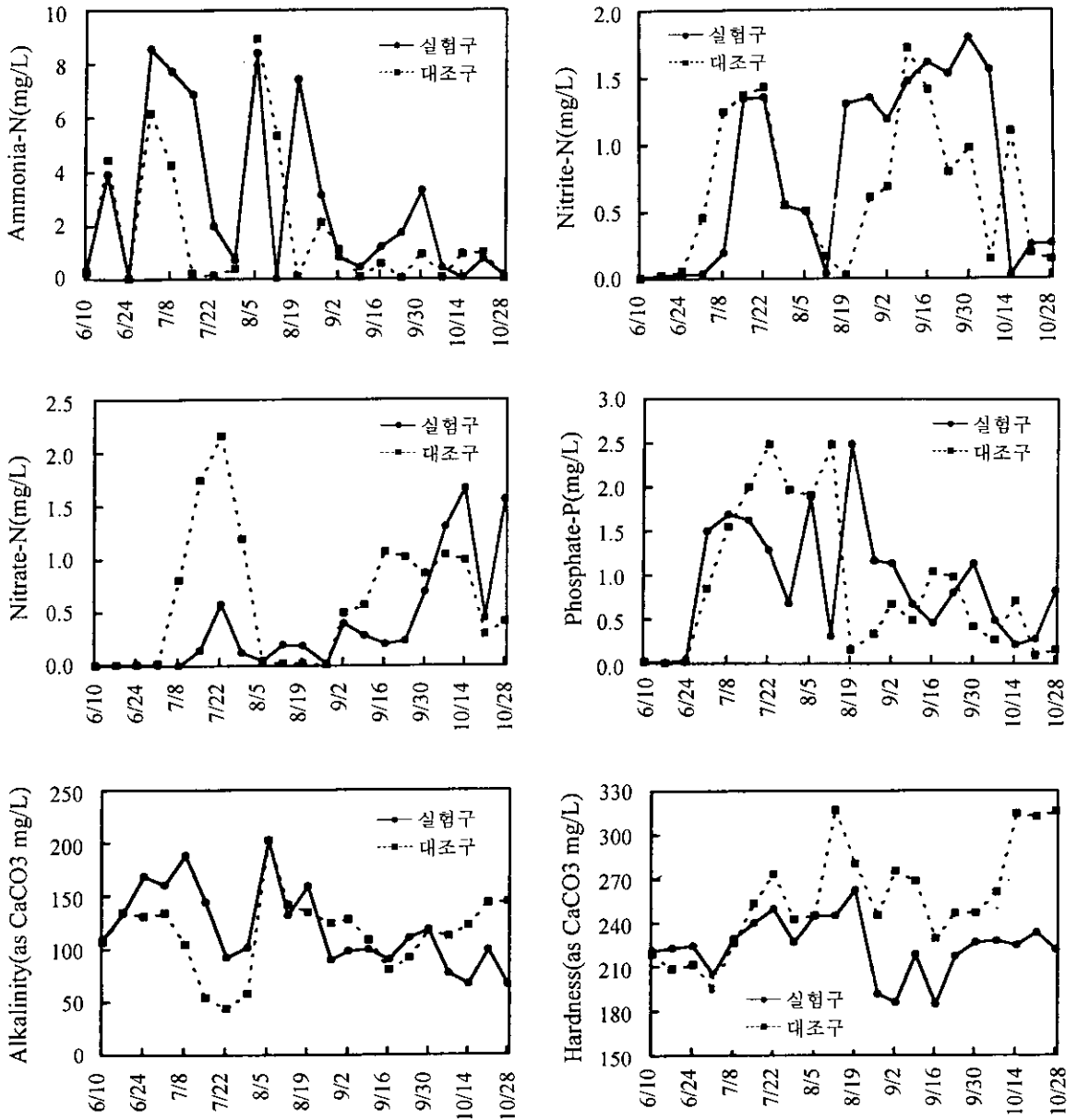


그림 1. 계속

향을 보였다. 일반적으로 「U-zone」 램프의 가동이 시작되면 식물플랑크톤의 번식이 영향을 받아 부유물질의 양이 조절되지만 중단되었을 때는 식물플랑크톤의 번식이 시작되어 부유성고형물질의 양이 증가한다. 램프를 가동함과 동시에 식물플랑크톤의 풍도가 조절되어 최저치를 보이지

만, 램프 주위에 플랑크톤의 사체들이 침적됨으로서 「U-zone」 램프의 양향이 점차 감소함에 따라 다시 플랑크톤의 번식이 증가되는 현상이 반영된 결과라고 생각된다.

한편, 무기염류의 변동을 보면 총암모니아태 질소의 경우 그림 1에서 보듯이 변동 폭이 크게 나타

났는데 8월 19일 이후에는 비교적 낮은 수치를 유지하였다. 그러나 실험구와 대조구 사이에 차이를 거의 보이지 않아서 「U-zone」의 암모니아 분해능(分解能)은 거의 없는 것으로 판단된다. 이러한 경향은 아질산 및 질산의 변동 경향에서도 비슷하게 나타나고 있어서 실험구와 대조구 사이에 유의적(有意的)인 차이를 보이지 않고 있으며, 아질산태 질소의 경우에는 8월 19일을 전후하여 증가하였다 감소하는 경향을 보였다. 여기서 아질산이 최고를 나타내는 시기를 볼 때 암모니아가 아질산으로 산화되어 나타나는 것으로 볼 수 있다. 또 질산태 질소의 경우도 시간에 따라 증가하는 경향을 보여 아질산이 산화되어 나타나는 것으로 볼 수 있으며 대조구에서 7월 22일경 및 9월 16일경에 대조구보다 먼저 높은 값을 나타내는 것은 실험구보다 대조구에서의 산화속도가 더 빠르게 진행되고 있음을 반영하는 것이라 하겠다. 인산태 인의 경우 실험구 및 대조구 모두 7월 8일경부터 8월 26일경까지 높은 값을 유지하다 서서히 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 「U-zone」의 영향과는 관계없이 사료 소비가 많은 하절기에 높고 수온의 영향으로 사료 소비가 점차 감소함에 따라 인의 농도도 감소하는 전형적인 양어장의 수질변동을 나타내었다.

총알카리도의 경우에는 50~150mg/L의 범위를 변동하였는데 9월 30일경까지는 실험구와 대조구 모두 비슷한 경향을 보이다 대조구는 증가하는 경향을 보인 반면 실험구는 감소하는 경향을 나타내어 다소 차이를 보였다. 이와 같은 경향은 총 경도에서도 비슷하여서 대조구는 실험기간 동안 증가하는 경향을 보인 반면 실험구는 일정한 수준을 유지함으로써 서로 대조를 나타내었다. 이와 같은 경향은 대조구의 경우 식물플랑크톤의 광합성영향으로 알카리도와 경도가 높아진 반면 실험구의 경우 식물플랑크톤이 상대적으로 적음으로 해서 낮은 알카리도와 경도를 나타내는 것이 아닌가 생각된다.

2. 향어의 성장

142일 동안 「U-zone」을 처리한 경우와 처리하지 않은 2개의 콘크리트 탱크에서 향어를 사육 실험한 결과는 표 4에 나타낸 바와 같다.

실험 시작시 대조구에는 523미(평균 개체무게 541g), 실험구에는 505미(평균 개체무게 570g)의 향어를 수용하여 실험이 종료되었을 때 폐사 어류수를 보면 대조구에서 50미, 실험구에서 41미가 각

표 4. 142일 동안 대조구와 실험구의 향어 사육 결과

항목 \ 수조	대 조 구		실 험 구		증가율 (b/a)
	시작	수확(a)	시작	수확(b)	
사육 어류수	523	473	505	464	-
총무게(kg)	283.1	534.9	287.9	791.0	1.48
평균개체무게(g)	541	1,130	570	1,700	1.50
폐사 어류수		50		41	0.82
폐사율(%)		9.56		8.12	0.85
총증중률(kg)		251.5		503.1	2.00
총사료급이량(kg)		650		770	1.18
사료계수		2.58		1.53	0.59

각 폐사되어 대조구가 실험구보다 약간 많은 폐사를 보이는 듯하지만 이는 유의적이지 아니며, 대부분 실험 초기 취급에 따른 스트레스에서 오는 폐사였으며 질병에 의한 폐사는 실험구 및 대조구 모두 없었다. 수확시 총 증중량을 보면 대조구의 경우 251.8kg인데 반하여 실험구는 503.1kg을 보여 실험구가 대조구에 비하여 2배나 많은 증중 효과를 보였다. 사료계수에서도 대조구는 2.58인데 비하여 실험구는 1.53을 나타냄으로서 실험구가 1.69배 높은 사료효율을 나타내었다. 이와 같은 효과는 실험 사육이 시작되면서 실험구와 대조구 모두 식물플랑크톤이 증가하기 시작하지만 실험구는 「U-zone」의 영향으로 식물플랑크톤이 크게 번성하지 못하고 일정한 수준을 유지하여 향어들의 섭이에 도움을 준 반면 대조구는 계속 플랑크톤이 증가하여 너무 농밀하게 번성함으로써 오히려 향어들이 섭이를 하는데 지장을 받아 사료의 섭이량이 많지 않는데 그 원인을 찾을 수 있다.

2. 「U-zone」 사용대수

사육수와 「U-zone」의 사용 대수와의 관계를 보면 표 2에 나타난 바와 같이 실험 처음에는 사육수 5톤에 1대의 비율로 계산하여 6월 12일부터 7월 6일까지와 7월 11일부터 7월 29일까지 2회에 걸쳐 15대를 가동한 결과 사육수의 수질이 빠른 속도로 맑아지고(보통 3일 이내) 향어들의 행동에 힘이 없으며 섭이를 하지 않는 등의 영향을 보이고 폐사 개체가 출현함으로 램프의 영향이 너무 심한 것으로 판단하고 8월 8일부터는 램프의 수를 10대로 줄여 가동한 결과 수질이 비교적 안정되고 어류 또한 정상적인 섭이 활동을 보이므로써 사육수 8~10톤당 1대꼴로 「U-zone」를 설치하는 것이 적당한 것으로 나타났다.

결 론

자외선-오존 램프인 「U-zone」은 원래 음용수 등의 살균목적으로 개발된 것으로 점차 그 사용 목적이 다양해 지면서 축산부문에서 살균 및 냄새 제거 등의 위생처리(하, 1998)와 유리 온실의 순환식 양액재배시 폐양액 소독(과수채소신문, 1996)에 이르기까지 널리 활용되고 있으며 최근 양어장의 살균기로도 이용되고 있다.

이번 실험을 통하여 얻어진 결과를 종합해 보면 「U-zone」은 수질을 향상시켜 사육어의 성장을 증가시키는 직접적인 효과보다는 미생물과 조류(식물플랑크톤)의 번식을 억제하여 질병을 예방하고 플랑크톤의 적절한 번식을 유지시켜 줌으로서 과도한 플랑크톤의 번식으로부터 오는 수질 변화를 예방해 주는 간접적인 효과를 가져왔다. 이러한 실험 결과는 국립수산진흥원(1997)과 Christensen 등(2000)에서도 보고한 바 있는데, 간접적인 효과라 하더라도 결국은 어류로 하여금 성장을 촉진시켜 낮은 사료계수와 높은 성장 효율을 가져다 줌으로서 양어에 긍정적인 결과를 가져왔다. 그러나 「U-zone」 램프의 과도한 사용은 오히려 수질 악변과 사육어류를 죽이는 결과를 가져올 수 있으므로 사육수량(飼育水量)에 알맞는 「U-zone」 램프를 사용한다면 양어에 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다. 다만 이번 실험결과가 콘크리트 탱크를 이용한 수조에서 실시된 결과이므로 노지 양어지나 순환식 양어지에 본 실험 결과를 그대로 적용하기는 어렵고 향후 더 연구하여야 할 과제라고 생각된다.

참 고 문 헌

강주찬·박수일·김성근, 1999. 필터의 개발을 통한 해수 육상수조식 양식장의 환경개선에 관한 연구 III.

- 스크린필터 및 자외선 등의 운행에 따른 사육수의 정화효과. 한수지, 32(4), 501-506.
- 국립수산진흥원, 1997. 오존 처리수가 넙치의 성장 및 사육수질에 미치는 영향. 양식산업, 9. 38-43.
- 오영민 · 신석봉, 1991. 수질관리. 신광문화사, 서울. 311pp.
- 하만수, 1998. 축산에서 오존(O₃)의 이용. 양돈연구, 12. 148-152.
- Boyd, C. E. and C. S. Tucker, 1992. Water quality and pond soil analyses for aquaculture. Alabama agricultural experiment station, Auburn University, Alabama. 183pp
- Christensen, J. M., K. A. Rusch, and R. F. Malone, 2000. Development of a model for describing accumulation of color and subsequent destruction by ozone in a freshwater recirculating aquaculture system. J. World Aquaculture Soc., 31(2), 167-174.
- Mullin and Riley, 1955. The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters, with particular reference to seawater. Anal. Chem. Acta., 12, 464-480.
- Spotte, S., 1979. Fish and invertebrate culture. John Wiley & Sons, New York. pp179
- Wheaton, F. W. 1977. Aquacultural engineering. John Wiley & Sons, New York. pp708.