관상어 수족관용 저온 플라즈마방식 녹조억제장치의 성능 평가

이경훈* · 장규섭¹ · 김성훈 · 박성욱
국립수산과학원 시스템공학과, ¹(주)인바이온

Performance assessment of apparatus for controlling algae bloom in aqua pet tank using by a cold plasma

Kyoungheon LEE*, Kyu-Sup JANG¹, Seonghun KIM and Seong-Wook PARK

*Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute,
Busan 619-705, Korea*

¹Enbion Co., Busan 612-020, Korea

This study was performed to have an effect on control the growth of algae such as “*Actinastrum fluviatile*” which occurs frequently in the aquaculture tank using by a cold plasma, and it also would be expected to promote the growth of water plants due to active element causing OH radicals in the water. In addition, it was verified on the death rate as 99.9% on the scale protrusion of “*Aeromonas hydrophila*” as well as *E. coli*, especially, under extreme conditions more than 100 million pathogenic bacterium in the aqua pet tank, the ornamental fish had to act in a safe and healthy environment at over 98% death rate within 48 hours. It has been proven to give no affect on aerobic bacteria that exist in the filter or soil because there was no residual toxicity in the water tank. As the results, it will help to develop and apply on the sterilization device in other industries as well as aquarium organisms due to adopted energy-saving algorithm and reliability in use.

Keywords: Cold plasma, OH radicals, Algae bloom, Ornamental fish, Aerobic bacteria

서 론

최근 우리나라를 포함한 전 세계적으로 재조명되고 있는 관상어 산업은 관상어의 다양한 기능과 역할이 재인식되면서부터 신성장동력산업

으로 주목받고 있다. 관상어는 인간에게 메마른 현대 사회에 있어 살아 움직이는 생태계를 제공함으로써 정서적 안정, 생태교육, 체험학습, 취미생활 등의 기회를 제공할 뿐 아니라, 산업적으

*Corresponding author: khlee71@korea.kr, Tel:82-51-720-2583, Fax:82-51-720-2586

로는 1차 산업의 종묘 생산 및 양식 기술, 2차 산업의 관련 용품, 3차산업의 사육 및 관리와 전시 서비스까지 연계되어 있는 복합 산업이다. 따라서, 관상어 산업은 다양한 품종을 개발하거나 관련 용품 및 장비를 개발하고, 운영단계에서 발생하는 질병 관리 등의 최첨단 생명과학 기술이 요구되고 있으므로, 독일 및 일본 등 주요 선진국에서는 첨단 기술로 자리 잡았다 (KMI, 2010; Kim et al., 2011).

세계 관상어산업은 1983년 Pet 산업으로 인정 받은 이후, 유럽 및 미주, 일본 등의 주요 선진국을 중심으로 성장하였으며, 최근에는 중화권의 경제 성장과 함께 수요가 팽창하면서 급성장하고 있다. FAO (UN Food and Agriculture Organization, 이하 FAO)는 세계 관상어시장 총 규모를 약 18조원으로 추정하며, 1985년 이후 매년 관상어 교육규모는 연평균 14%의 높은 성장세를 보이고 있다 (FAO, 2011; IAF, 2011; Lee et al., 2012).

관상어를 취미로 갖는 일반 소비자뿐만 아니라, 고급 이용자들도 어려움을 겪는 공통점은 녹조 및 이끼에 의한 수족관 관리 문제와 바이러스성 어병에 의한 집단 폐사이다. 인공적인 환경에서 자연생태계와 같은 역할을 담당하는 수초의 성장을 촉진하기 위해서는 일정 수준이상의 빛의 양과 영양분이 반드시 필요한데, 일반인들이 적정 수준의 광량과 영양분을 주기적으로 조절하는 것은 매우 까다로운 작업으로서, 적정 수준을 넘어서면 수족관에 녹조류 및 갈조류 등의 이끼류가 발생하기 시작하는 문제가 있다. 또한, 바이러스성 어병균은 공기 중의 곰팡이류가 주요 인자로서 수족관내 수온 유지와 호기성 박테리아의 활성화가 제대로 이루어지지 않으면 어병이 출현될 확률이 높아지므로, 어병 발생 시 고가의 관상어를 격리하든지 자연사 시킬 수 밖에 없기 때문에 수족관내 어병 관리는 소비자들의 주요 관심대상이 되고 있다.

최근 식품 및 양식분야에서 미생물의 성장을

억제하고 불성화시키는 생물학적 작용을 이용하여 다양한 물체의 표면 살균과 처리에 저온플라즈마 방식 (cold plasma)이 적용되고 있다 (Mok and Lee, 2012; Lee et al., 2012). 이러한 전극 상이 방식은 대기압 상태의 공기 또는 특정 기체를 통과시키면서 글로우 방전하여 플라즈마를 생성하며, 전류를 차단함과 동시에 플라즈마 생성이 중지되고 활성상태의 입자들이 곧바로 사라지기 때문에 제어가 간단하고 잔류물질이 남지 않기 때문에 대상물체의 성질에 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 연구에서는 플라즈마 수방전 장치를 이용하여 관상어를 취미로 갖는 주요 사용자의 요구사항인 녹조를 효율적으로 억제하고 병원균 제거에 따른 살균 효과를 검증하였다.

재료 및 방법

플라즈마 수방전 수처리 기술

본 실험에서 사용한 플라즈마 수방전 장치는 수처리 (water process) 공학의 최신 기술로 플라즈마 방전을 통해 OH 라디칼을 생성하여 오염물질인 유기물을 산화 처리하는 기술로서, 본 기술은 기존 양극 방식에서 탈피하여 단일 plate 방전기술을 구현하므로 구조를 단순화 할 수 있고, 소형화가 가능하여 소형의 가정용 제품에 적합하다는 장점이 있다. 따라서, 수방전 기술을 가정용 수족관에 적용시켜 병원성 바이러스 및 유해 생물을 제거하여 관상생물이 안전하게 수족관 환경에 적응하며, 녹조, 갈조, 붓이끼 등 미소생물을 효과적으로 제거하므로 수조관리에 편리함을 부여할 수 있는 기술로 제시되었다.

본 실험에 적용된 수방전 플라즈마 살균의 원리는 직접적 살균 작용과 간접적 살균 작용으로 2가지로 분류된다. 직접적 살균 작용은 균 등의 미생물에 고전압을 인가함으로써 세포막 내외의 전위차를 발생시켜 세포막을 파괴하며, 플라즈마에 의하여 생성된 이온의 직접적 충돌에 의해 세포가 파괴된다. 간접적 살균 작용은 OH 라

Fig. 1. Graphic representation of OH radical and the responses of *E. Coli*.

1) Bacteria, 2) Bacteria cell membrane and radical, 3) Radical reacts with cell membrane, 4) Cell membrane destroyed by radical, 5) Bacteria with cell membrane destroyed, 6) Extinction condition.

디칼 등이 활성종을 생성시켜 세포막을 파괴하는 방식을 말한다. 본 제작품은 생물체를 적용하는 제품 특성상 직접적 방식에 의한 살균은 배제하며, 다량의 각종 라디칼을 발생시켜 병원균을 살균하는 방식을 선택하였다.

녹조 발생 억제

녹조류 (green algae, *Chlorophyta*)는 식물성 플랑크톤의 일부분으로 독립영양을 섭취하며 성장하는데, 플랑크톤이 가지고 있는 다양한 색소로 인해 색깔이 녹색이나 갈색으로 변하게 되어 녹조, 갈조라고 부른다. 소형 수족관에서 주로 발생하는 것이 녹조이며, 이는 *Actinastrum fluviatile*의 녹조류와 *Tribonema minus*의 황녹조류 등에 의해 발생된다. 녹조류를 포함한 조류는 질소와 이산화탄소, 빛 에너지를 이용하여 성장하는데, 질소는 단백질원으로, 이산화탄소는 유기물질 합성원으로, 빛은 에너지원으로 작용한다. 또한, 소형 수족관에서도 이와 같은 요인들이 충족되면 급속하게 조류가 발생되는데, 수초 재배용 바닥재 (이하 소일)에서 용출되는 영양소와 성장하기 좋은 수온, 이산화탄소, 광원 등이 그 역할을 한다. 그러나, 아름다운 수초 경관

을 유지하기 위해서는 어느 하나라도 부족하면 수초 성장에도 악영향을 미치기 때문에 이 요소들의 균형 문제를 고려해야 하므로 의도하지 않는 녹조류의 발생은 아쿠아리움의 미관뿐만 아니라 수초의 건강한 성장을 위해서도 반드시 억제되어야 한다.

본 연구에서 적용한 플라즈마 수방전 장치는 미세기포와 함께 발생하는 강력한 살균력을 가진 라디칼이 녹조류의 세포를 파괴하여 녹조발생을 억제하는 개념으로 제작되었으며 대조구와 비교하여 녹조발생의 억제 정도를 검증하였다.

또한, 실험에 사용한 녹조억제장치의 성능은 전극 코팅 두께 및 형상, 케이스 크기 및 형상 등에 대해 영향을 받기 때문에, 센서의 조건은 Table 1과 같이 설정하였고 플라즈마를 생성하는 전원은 전력계 (GP-1305TP, EZ Co., Ltd., Korea)를 사용하여 전류와 전압을 설정하여 실

Table 1. Specification of Cold Plasma pilot system

Parameter	specification
Current (A) / Voltage (V)	0.6A / 12.0V
Electrode-gap (mm)	0.5mm
Electrode-area (mm ²)	1,256mm ²
Thickness of mesh coating (μm)	0.5μm

Fig. 2. Cold Plasma concept and pilot test.

험하였다.

실험에 사용한 수조 (W900×D450×H450)는 여과기, 히터, 조명시간, 수초, 소일 등을 동일한 조건으로 세팅하였다. 전경수초는 코브라글라스 (*Lilaeopsis brasiliensis*)를, 후경수초는 로탈라 인디카 (*Rotala indica*)를 이식하였으며, 수온은 24–26° C를 유지하도록 하였다. 세팅이 완료된 5일 경과하였을 때 본 장치를 설치하였으며, 인가시간 3분, 비인가시간 1시간으로 설정하여 대조구와 비교 실험을 수행하였다.

어병균 사멸 및 관상어 폐사율

어병은 환경과 어류의 항병력 및 병원체의 3가지 요인이 복합적으로 작용하여 발생되는데, 환경이 악화되거나 어류의 항병력이 저하되거나 병원체가 증가할 경우 어병이 발생하는 것이 일반적이다. 병원체는 공기나 물 또는 어류의 몸속에 항상 존재하지만 건강한 물고기는 이들에 대항할 수 있는 항병력을 가지고 있기 때문에 병에 걸리지 않는다. 그러나, 수질 악화, 수온의 급격한 변화 등이 발생하면 물고기의 항병력이 저하될 뿐만 아니라, 병원체 수도 급격하게 증가하여 질병에 걸릴 확률이 매우 높아진다.

어병의 절반 이상이 세균에 의한 것으로, 솔방울병, 패혈증, 아가미부식병 (칼럼나리스, *Felxibacter columnaris*) 등이 대표적인 세균에 의한 질병이다. 질병을 일으키는 세균의 유입 경로

는 새롭게 아쿠아리움에 투입된 물고기나 수초에 의한 것과 인간의 손을 통하는 것이 있는데, 유입된 병원균들이 번식하여 개체수가 급격히 증가하면 물고기가 어병에 걸릴 확률이 높아지게 된다.

본 장치에서 발생하는 라디칼은 세균의 세포막과 반응하여 세포막을 파괴하여 세균을 사멸시키는 과정을 확인하기 위하여, 대조구를 포함한 실험수조 (W900×D450×H450) 2곳에 테트라제일의 관상어 100마리를 각각 사육시키고, 솔방울병 원인균 (*Aeromonas hydrophila*)를 투입하여 시간 경과에 따라 관상어의 발병률과 폐사율을 확인하였으며, 각 수조로부터 표본수 5ml을 채수하여 TSA (Tryptone Soy Agar)배지에 10배 희석하여 도말한 배지를 37° C에서 1일간 배양한 후 콜로니를 계수하여 *A. hydrophila*의 생존율도 확인하였다.

호기성 세균 밀도

관상용 수조는 수초와 물고기, 미생물 등이 공존하는 작은 생태계로 구성되어 있는데, 그 중 미생물은 수중, 소일 내, 여과기 등에 혼재하고 있으며 수조 내에서 중요한 역할을 수행한다. 호기성 세균은 산소가 있는 곳에서 생육 번식하는 세균으로서, 이들과 반대되는 특성을 가진 산소가 없는 곳에서 생육하는 혐기성 세균도 수조 내에 존재하나 이들은 호기성 세균에 비해 매우 낮

은 밀도로 존재한다. 호기성 세균은 공기 중의 유리 산소를 이용하여 유기물은 산화 및 분해하면서 에너지를 얻으며, 분해된 유기물은 식물의 생장에 필요로 하는 영양분을 제공해 준다. 더욱이, 질소 순환에 관여하는 세균이 존재하는데, 이들은 단백질이 분해되어 생기는 물고기와 수초에 유해한 암모니아를 중화하여 아질산으로 산화시키는 *Nitrosomonas* 속과 아질산을 질산염으로 산화시키는 *Nitrobacter* 속이 포함된다. 이들이 만약 존재하지 않으면 죽은 수초, 물고기의 배설물, 남은 미끼로부터 공급되는 단백질이 분해되어 생기는 암모니아가 계속 축적되어 물고기와 수초에 악영향을 미치게 된다. 이러한 호기성 세균은 병원성 세균과의 경쟁하여 병원성 세균을 억제하는 역할을 한다.

따라서, 살균 효과를 갖는 각종 장치가 호기성 세균의 밀도를 급격하게 감소시키면 수족관내 생태계가 무너지기 때문에 호기성 세균의 밀도에 비교적 영향을 적게 미치면서 녹조류와 병원성 세균을 제어하는 알고리즘 적용이 필요하므로, 대조구를 포함한 실험수조 (W900×D450×H450) 2곳으로부터 5ml를 채수하고 100 μ l를 식염수용액 (0.85% 염화나트륨 용액) 900 μ l에 섞어 10배 희석시켜 저온 일반세균을 선택적으로 배양할 수 있는 R2A배지에 100 μ l 도말하였다. R2A배지는 채수에 포함된 저온 일반세균을 배양하기 위해 비교적 영양분이 부족한 빈영양배지를 사용하여 배양하며, 도말한 R2A 한천배지를 25°C에서 3일간 배양하여 생성된 콜로니의 수를 계수하였다.

결과 및 고찰

녹조 발생 억제 효과 및 수초 성장 촉진

전경수초와 후경수초를 동일한 수초량으로 이식하고 수족관이 안정된 10일 이후에 녹조억제장치를 대조구와 함께 좌측편에 설치하여 12일이 경과할 시기에 수초의 성장을 촉진하기 위하여 이산화탄소를 투입하였다. 그 결과, 15일이

경과하면서 대조구의 코브라글라스에 녹조류가 발생하기 시작하였으나, 녹조억제장치가 설치된 실험수조에서는 녹조류가 관찰되지 않았으며, 20일이 경과하는 시기에 대조구의 수조에서는 녹조류 성장이 포화상태에 도달하여 더 이상 성장이 되지 않았으며, 좌측편 녹조억제장치 실험수조에서도 코브라글라스에 녹조류가 서서히 발생하기 시작하였다 (Fig. 3).

본 실험에서는 60일 동안 우측 대조구 수조에서는 녹조류의 발생이 4회 포화되었고, 로탈라 인디카는 총 2회 트리밍하였다. 그러나, 녹조억제장치가 설치된 좌측 수조에서는 녹조류의 발생이 단 1회 포화되었으며, 트리밍을 완료한 후 발생한 녹조류는 극히 제한적으로 성장하였다. 또한, 후경수초인 로탈라인디카는 총 4회의 트리밍 과정을 수행하였다. 이러한 결과는 녹조억제장치가 강력한 살균 라디칼을 발생시켜 식물성 조류의 성장을 억제하며, 특히 수조 내에서 가장 빈번하게 발생하는 조류 (*Actinastrum fluviatile*)에 효과적인 것으로 판단된다. 이러한 원인으로는 수족관 내의 한정된 양분을 수조에 집중시키는 것은 물론, 저온 플라스마 장치가 물속 미량원소를 활성화시켜 수초의 초기 성장 및 뿌리내림 현상을 촉진시키는데 영향을 주는 것으로 사료된다.

본 실험 결과를 정량적으로 표현하기 위하여, 각각의 수조로부터 채수하여 1리터 내에 포함된 조류의 종류를 동정하고, 각 종류의 조류 세포를 계수한 결과는 아래와 같다 (Table 1). 녹조억제장치를 설치한 수조와 설치하지 않은 대조구 수조에 비교하였을 때, 실험수조는 대조구에 비해, 전체 조류 세포의 수가 1.4% 정도가 관찰되었으며, 특히 녹조의 원인인 녹조류 (*Actinastrum fluviatile*)와 황녹조류 (*Tribonema minus*)에 대한 제어 효과가 뛰어남을 확인하였다. 또한, 엽록소-a의 측정 결과, 대조구에서는 Chlorophyll-a 농도가 1.6 (μ g/l)에 비해 녹조억제장치를 설치한 수조는 0.9 (μ g/l)로 낮게 나타났다.

관상어 수족관용 저온 플라즈마방식 녹조억제장치의 성능 평가

Fig. 3. Water plant growth according to time elapsed with cold plasma apparatus (left) and without one (right).

Table 2. Phytoplankton counts of algae species in aqua pet tanks

Appearance species		Algae counts(cells/ml)	
		Control tank	Treatment tank
Chlorophyta	<i>Actinastrum fluviatile</i>	10,440	0
Diatom	<i>Aulacoseira muzzanensis</i>	80	0
Diatom	<i>Fragilaria construens</i>	0	201
Dinophyta	<i>Glenodinium oculatum</i>	0	13
Diatom	<i>Nitzschia sigmaidea</i>	0	13
Chrysophyceae	<i>Tribonema minus</i>	5,180	0
Unknown	—	100	0
Total		15,800	227

어병균 사멸과 관상어 폐사율

수족관의 대표적인 어병균의 사멸과정을 확인하기 위하여, 대조구를 포함한 실험수조2곳에

테트라계열의 관상어 100마리를 각각 사육시키고, 솔방울병 원인균 (*Aeromonas hydrophila*)를 투입하여 시간 경과에 따라 관상어의 발병률과

Fig. 4. Survival rate of *A. hydrophila* in the each tanks.

Fig. 5. Accumulated death rate of 2 groups of aquarium fish in case-control study.

폐사율을 확인한 결과는 Figs. 4 및 5와 같다. 아래 Fig. 4와 같이, 플라스마 수방전 장치를 설치하지 않은 수조에서는 병원균 투입 2일 후 수조 내 환경에 적응하지 못한 절반 가량의 어병균이 자연 사멸되어 54%의 균이 존재하는 것으로 나타났다으며, 약 20일을 경과하는 시기부터 29%의 어병균이 일정하게 존재하는 것으로 나타났다. 그러나, 플라스마 수방전 장치를 설치한 수조에서는 병원균 투입 2일 만에 약 2%만이 존재하였으며, 약 14일이 경과하는 시점부터 99.9%의 균이 사멸되었다.

한편, Fig. 5와 같이 수조 내에 투입된 테트라

계열 관상어는 병원균이 투입된 초기 감염에 의해 일정하게 발병을 진행하였으며 최종적으로 28%의 누적 폐사율을 나타내었고, 추가적인 전염이나 감염은 없는 것으로 확인되었다. 한편, 플라스마 수방전 장치를 설치하지 않은 수조에서는 투입된 어병균의 약 30% 내외가 수족관 환경에 적응하여 생존하였으며, 생존한 30% 내외의 병원균에 의해 관상어는 계속해서 감염되어 실험 경과 22일만에 100% 폐사하였다. 본 실험 결과에 따라, 병원성 어병균인 솔방울병을 비롯한 대장균의 검증에서도 5분 이내에 99.9%의 살균효율을 확인할 있었으며, 1억마리 이상의 균을 투입한 극한 조건에서도 48시간 내에 98% 이상의 어병균을 사멸시킬 수 있으므로 수족관 내의 관상어가 활동할 수 있는 안전하고 건강한 수조 환경을 조성할 수 있다.

호기성 세균 밀도 검증

살균 효과를 갖는 각종 장치와는 달리, 수족관 내 생태계의 영향을 최소화하면서, 녹조류와 병원성 세균을 제어하는 알고리즘을 적용한 플라스마 수방전 장치의 호기성 세균 밀도를 검증한 결과는 Fig. 6과 같다.

다양한 크기와 색을 가진 콜로니가 생성되었으며, 콜로니의 형태, 크기, 색깔 등을 고려하였을 때 호기성 세균의 다양성에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 정량적인 값으로는 3일간 배양한 콜로니의 수를 측정한 결과, 플라스마 수방전 장치의 실험수조와 대조구는 각각 90.0 ± 13.1 (Avg. $\pm$ SD, cells/ml)와 100.3 ± 15.2 (cells/ml)로 나타났는데, 이러한 결과는 양적인 영향을 거의 미치지 않는 것으로서, 호기성 세균에는 영향을 미치지 않으면서 녹조 제어와 병원균 사멸에 효과가 있는 것으로 확인되었다.

일반적으로 하천이나 호수에서 수온상승 및 영양염류 증가로 인해 녹조류나 남조류가 과다 번식하면, 수중의 산소가 부족하게 되고 정수처리 과정에서 여과지의 상층부에 녹조막을 형성

Fig. 6. Density results of aerobic bacteria in the treatment tank (a) and the control tank (b).

하여 여과 기능을 저하시키며 녹조가 심하게 발생하면 심한 악취가 유발된다. 이처럼 조류의 물리적 또는 화학적 제거 등의 제어관련 기술 개발을 계속 진행하고 있으며, Redox (reduction-oxidation)라는 전자의 이동에 의하여 산화 또는 환원 반응이 이루어지며 이 전기적인 촉매전위에 의해 미생물 또는 균류를 사멸할 수 있다 (Kim et al., 2007). 그러나 이러한 방식은 pH 변화나 황동섬유 등을 이용하여 전해밀도를 증가시켜 이용 용수와 접촉하는 금속 표면을 음극화하는 원리로 녹조류의 번식을 억제할 수 있다는 단점이 있으며, 저렴한 비용으로 담수조류를 제거할 수 있는 방법으로 녹조생물이 황토물질과 결합하여 흡착하는 원리를 응용하여 드럼필터 방식으로 단 시간내에 많은 양을 여과 처리하여 대량 번식을 최소화하는 연구 (Han et al., 2000)도 수행되었으나, 이와 같은 응집제에 따른 2차 오염의 문제가 항상 수반되므로 상용화되지 못하였다.

한편, 최근 선박평형수 처리기술의 발달로 인하여 해수분야에서도 여과방식, 자외선, 오존 및 전기분해와 같은 방식을 이용하여 개발되고 있으며, 특히 Tetraselmis는 UV LED 자외선이 260

~270nm 파장대에서 사멸율이 우수한 것으로 나타났으나, 넓은 해역에 분포하는 다양한 식물성 플랑크톤 살균 특성의 규명을 위해 특정 대상 세포의 선택적인 억제 요소는 LED 자외선 발광 강도에 따른 살균효율을 검증할 필요가 있다.

본 연구와 유사한 개념으로 개발된 방식으로, 조류 및 조류의 부산물의 제어를 위해 광촉매를 이용하는 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 조류 자체의 분해에 관한 연구성과는 미진하지만, 일부 남조류의 독성부산물에 대해 광촉매를 응용한 사례 (Feitz et al., 1999)가 있으며, 가격이 저렴하고 독성이 없는 이산화타이타늄 (TiO₂) 광촉매는 미생물 살균 기능에서도 환경정화용 촉매제로 매우 적합한 것으로 알려져 있다 (Wei et al., 1999). 본 연구에서 개발된 플라즈마 수방전 기술은 강력한 살균 라디칼을 발생시켜 한정된 양분을 수초에 집중시킬 있도록 수족관 내에서 가장 빈번하게 발생하는 녹조류를 억제하는 것은 물론, 물 속의 미량원소를 활성시켜 수초의 성장을 성장시키는 것을 확인하였다. 또한, 48시간 내에 98% 이상의 사멸 성능을 가지며, 수족관내 호기성 세균의 영향을 최소화하여 안전하게 아쿠아리움을 관리할 수 있는 차별화

된 기술로 평가할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 개발된 플라즈마 수방전 장치의 살균인자는 잔류 독성이 없어 관상용 수족관내 호기성 세균이 밀집해 있는 여과기나 소일 내에 존재하는 토양 세균에 거의 영향을 미치지 않으며, UV 살균기와 같이 지속적으로 작동되지 않고 수조의 크기에 맞춰 설정된 최적 알고리즘으로 작동하여 안전하고 건강한 수조환경을 형성할 수 있다는 장점이 있는 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서 개발된 저온 플라즈마 수방전 장치는 강력한 살균 라디칼을 발생시켜 식물성 조류의 성장을 억제하며, 수조 내에서 가장 빈번하게 발생하는 조류 “*Actinastrum fluviatile*”에 효과적이며, 물 속 미량원소를 활성화시켜 수초 성장을 촉진하는 것으로 판단된다. 또한, 솔방울병 원인균인 “*Aeromonas hydrophila*” 및 대장균은 1회 작동만으로 99.9% 효율로 균을 사멸시키는 것으로 확인되었다. 특히, 1억 마리 이상의 어병균을 투입한 극한의 조건에서도 48시간 내에 98% 이상을 사멸시키므로 관상어가 활동할 수 있는 안전하고 건강한 아쿠아리움 환경을 유지시켜주며, 잔류독성이 없어 수조 내 호기성 세균이 밀집해 있는 여과기나 소일 내에 존재하는 토양세균에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 검증되었다. 본 연구에서 개발된 장치는 UV 살균기와 같이 지속적으로 작동되지 않고 수조 크기에 맞게 설정된 최적 알고리즘으로 작동되기 때문에 에너지 절약과 안정성 측면에서도 효과적인 기술로 사료되며, 생물체가 존재하는 수족관을 포함한 여타 산업의 살균 기술에 비해서 적용 범위가 넓을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2011년도 부산광역시 지역기반육성기술개발사업 및 국립수산물과학원 수산시험연구사업 (RP-2013-FE-006)의 지원에 의해 수

행되었으며, 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님과 편집위원님께 감사드립니다.

REFERENCES

- FAO. 2011. International trend of aqua pet fish. <http://www.fao.org/fishery/topic/13611/en>. Accessed 10 Aug 2011.
- Feitz AJ, Waite TD, Jones GJ and Boyden BH. 1999. Photocatalytic degradation of the blue green algae toxin microcystin-LR in a natural organic-aqueous matrix. *Environ Sci Tech* 33, 243–249.
- Han JH, Park WS, Kim JH, Lee YS, Rho JH, Kim YK and Yoon BS. 2000. The development of algae removal system to minimize the damage of algae bloom on freshwater. *J Kor Soc Mar Environ Eng* 3, 62–69.
- International Aquarium Forum (IAF). 2011. International trend of aqua pet fish. <http://intaquaforum.org/index2%20mission.htm>. Accessed 10 Aug 2011.
- Kil GS, Choi SK, Park DW, Kim SW and Cheon SG. 2009. Analysis of disinfection performance of UV LEDs for a phytoplankton. *J Kor Soc Mar Eng* 33, 959–964.
- Kim DY, Jung MM. 2011. A study on development direction for ornamental fish industry in Korea. *J Fish Mar Sci Edu* 23, 616–626.
- Kim HS, Kim JH and Song JY. 2007. A study on the antimicrobial activity of copper alloy metal fiber in MWF. *Theories and Applications of Chem Eng* 13, 84–87.
- KMI. 2010. Policy direction to develop as a high value added ornamental fish industry. KMI report, 1–140.
- Lee K, Park SW and Kim HS. 2012. History and Advanced Market Trends of Aqua-Pet Industry in JAPAN. *J Fish Mar Sci Edu* 24, 44–55.
- Lee YS, Kim Y, Kim KS and Han HG. 2012. Disinfection properties and variation in the ozone concentration in seawater generated using a low-temperature dielectric barrier discharge plasma reactor. *J Environ Sci* 21, 1181–1186.

Mok C and Lee T. 2012. Dielectric barrier discharge plasma inactivation of Echerichia coli. Food Eng Progr 16, 33 – 39.	aqueous media : Toward a solar-assisted water disinfection system. Environ Sci Tech 28, 934 – 938.
Wei C, Lin WY, Zainal Z, Williams NE and Zhu K. 1994. Bactericidal activity of TiO ₂ photocatalyst in	2013년 3월 6일 접수
2013년 4월 24일 1차 수정
2013년 4월 26일 수리