

수중 양식과 탐사를 위한 LED 녹색평판조명램프

소현준* · 강상택** · 김재균*** · 소대화****a

*연세대학교 대학원, **STX 엔진, ***퓨전라이텍,

****a한국과학기술정보연구원 ReSEAT 프로그램□명지대학교 전자공학과,

Green Panel Lighting Fixture of LED Lamp for Aquaculture and Marine Aquanautics

Hyun-Jun Soh* · Sang-Taek Kang** · Jae-Gyun Kim*** · Dea-Wha Soh****a

*Graduate School, Yonsei University, **STX Engine, ***Fusion Litech,

****aReSEAT Program, KISTI, Seoul 130-741, Korea□Dept. of Electronic Eng., Myong-Ji Univ.

E-mail : gpsoh45@naver.com

요 약

본 논문은 녹색조명설비의 구현으로 얇은 패널구조의 LED 조명등을 제작하여 가로등조명, 수중배양□양식조명, 집어등 및 수중탐사의 특수조명 활용성을 확인하였다. 제작된 패널구조의 녹색조명등은 상기한 용도의 조명등으로서 매우 탁월함이 확인되었다. 그 중 집어등의 경우는, 작은 치어 등의 미세생물체와 어류의 조광이동성 및 군집 활동성 증진에 효과적이었으며, 수중배양□양식 조명에서는 녹색 조류, 해초, 수초 및 각종 유기체의 광합성 성장에 유용하였고, 특히 수중조명장치로서의 방수성 및 방열작용의 탁월성이 확인되었다.

ABSTRACT

The Green Lamp Fixture (GLF) of LED prepared with thin panel structure was investigated for illumination of street lamps and other lighting system uses, which was also very useful to aquaculture and aquafarm lighting uses, or fish luring lights and marine aquanautics of *aquamarinautics* (*aquamarine+aquanautics*) uses, etc. In the case of fish luring lights, it was verified that the fish luring of Green Lamp Fixture of LED was very effective for phototaxis movement and ecological community promotion to the micro-living things of organisms and the small fries and fishes, like as 'crowding together'. For the aquaculture lightings, it was also very excellent in waterproof and heat-sink properties, photosynthetic growing of algae and micro-organisms, water-weeds and seaweeds living underwater.

키워드

Green Lamp Fixture, LED, panel-structure, aquaculture, organism, seaweed

1. 서 론

지구의 역사와 함께 만들어진 화석연료자원은 에너지혁명과 함께 지구촌 온난화 문제를 유발하였고, 이제 그 존재의 최후통첩인 '고갈'을 목전에 두고 있는 실정이다. 따라서 인간 스스로의 자구적 노력으로 대체 해결해야하는 영원한 숙제를 떠안게 되었고, 소위 녹색친환경에너지를 직접 만들어 써야하는 난제를 낳았으며, 또한 인류의 생존역사와 함께 이어져온 섭생문화는 동물성육류

단백질로부터 이제는 곤충을 사육해서 먹고 살수 밖에 없는 먹거리문화대변혁을 맞이하게 되었다. 먹을거리뿐 만은 아니다. 지구환경을 지배하는 대양에서는, 해풍과 함께 연안주변을 향하여 해표수가 이동하고 그 자리에는 심저수가 올라와 메워지면서, 동시에 심해저에 있던 풍부한 영양염이 올라와 해수면 근처의 부영양화를 촉진하여 순환생태계의 평형을 이루어준다. 이 과정을 해수 용승(upwelling)현상이라고 하며, 연안 해양영양염의 공급루트를 이룬다. 따라서 연안에서의 생물체

서식이 왕성하여 풍부한 수산어족이 형성된다. 또한, 폐수를 담수나 해수와 섞어 미세생물체의 먹이로 공급함으로써, 폐수처리와 함께 생물체배양에 적용하여 환경복원에 기여할 수 있다. 그러므로 육지로부터의 풍부한 영양염과 끊임없이 유입되는 오폐수로 이루어진 해저의 두꺼운 영양염침적물을 먹이로 삼을 수 있는 저서생물체를 체계적으로 배양함으로써, 해저오염물질을 생체공학(bionics)적으로 처리하는 순기능을 제공할 수 있다. 이때 해저에서 광합성 식물성플랑크톤을 배양하여 오폐수처리에 적용하는 방안이 가능하지만, 심해저무광지대에서의 광합성에는 빛을 공급할 수 있는 방안이 필수적으로 강구돼야 한다. 자연광은 물속 깊이 투과하면서 흡수되고 결국 무광지대(aphotic zone)에 이르지만, 연안해에서는 일반적으로 혼탁담수 유입과 용승현상 등에 의한 혼탁도(turbidity)가 심화되어 투광지대(euphotic zone)의 깊이가 현저히 감소될 수밖에 없다. 여기서 해저생태를 위하여 높은 수압내력과 방수능력이 탁월한 고효율방사 조광장치가 요구된다. 이를 위해서 심해에 optical fiber 설치를 적용한 사례가 있으나, 현장필요성 확인에 그쳤다.[1][2] 따라서 주제의 보다 능동적 '평판형LED수중램프'를 제작하여 심해 배양, 탐사, 보안, 경비 및 수산집어용 수중조광장치로의 가능성을 확인해본다. 여기서 수중의 동식물자원에 필요한 빛에너지는 지상으로부터의 비효율적 전달방식에 비하여, 수중광흡수를 배제하는 근지점수중직사조광설비의 필요성과 그 대안을 제시함으로써, 본 연구의 필요성과 당위성을 밝히고 그 활용 방안으로 우선 동물성어족수산자원의 효율적 조업획득을 위한 '녹색절전형어족집어등' 및 무한활용가능성을 지닌 미세플랑크톤 해양자원 확보를 위한 신개념의 '에쿼머리너틱스용초박평판액냉식LED램프' 제작과 활용에서 해양수산-기계-전자 및 반도체소자의 융-복합기술관점에서 기술적 논의를 제시해본다.

II. 에쿼머리너틱스 LED 녹색평판램프

가. 평판액냉식 수중조명램프

1. 수산집어등

일반적으로 LED 조명등은 그 방열특성에서 수명과 성능이 결정된다. 그러나 대부분의 경우는 LED 조명설비의 구조적 회로에서 발생하는 열을 방사시키는 방열기능에만 급급할 뿐, 밀폐된 LED 자체의 접합부발열과 주변장치들 간의 방열경로에서 결여된 제반잔여현상의 방열문제는 대체로 소외된 상태로 남아있기 때문에, LED 조명등 본래의 특성과 수명을 충실히 지키기에는 너무 멀리 보고 있는 것 같다. 그러므로 이와 같은 문제점의 해결방안으로 초박형평판액냉식LED램프의 제안과 이를 설계하여 제작함으로써, 지니고 있는 본래의 수명과 성능의 고유특성을 살려, 다음과 같이 확보하였다.

- 1) 파워급 LED조명등에서 가장 큰 문제로 지적되는 방열경로상의 문제는 치명적인 손상을 초래한다. 따라서 통상 5만 시간 또는 이론적 수명인 20만 시간에 접근하는데 가장 큰 걸림돌 장벽을 액체매질에 의한 전 방위 방열방식으로 분산 해결하여, 수중은 물론 수상(공기 중) 전 부문에 공히 적용할 수 있는 혁신적 조명방식을 구현하는 구조적 특징을 살린다. (LED칩과 방열판간의 빈 공간 등에 의한 칩 자체 열방산 경로 확보)
- 2) 수중조명에서 액체매질과 유연함체의 특수구조에 의한 고내구성 확보(수심 1000m 깊이에서 수백 회 반복왕복 시 문제발생 전무)
- 3) 기존의 여러 조명등에 비하여 양산에 용이한 초박형구조(slim)의 가공성 확보(기본구조와 사양)
- 4) 서해안 시화앞바다 해안(인천송도 인접)에서, 제작한 LED 조명등(백색)의 집어유인현상시연 시 탁월성확인 (2010년05월08일 밤11시 경)

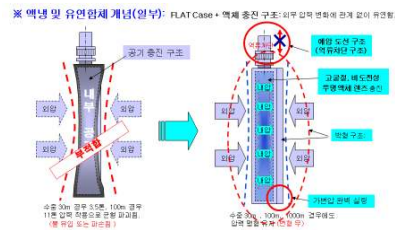


그림1. 평판액냉식 LED 조명등의 기본 구조



LED 조명등으로 유인된 미세생물체(상) 및 이를 보고 주변을 유영하는 계(하)의 모습 <2010년05월08일 11시 경 서해안 시화 앞바다에서 시연한 백색LED조명등 집어현상 (치어/플랑크톤 류)>

그림2. 미세생물체의 광-자극 주광운집 현상

- 5) 시제작한 LED 조명기(청색)의 해수면 조광전파실험에서 주 광-전파거리가 10m 이상으로 측정되어 우수한 조광특성을 확인하였다.(서해안 항구 도시 인천송도인접의 혼탁해역 시화호에서) 특히, 서해안 경기 만에서 측정된 빛의 수중전파거리 보고 자료에 의하면, 불과 6m 수심에서 해수표면 광도의 1/100(녹황색: 510~550/nm), 1/1000(적색: 665~683nm) 및 1/5000 이하(청색: 412nm)의 전파거리와 광도변화에 비하면, 가장 열악한 청색에서 더욱 우수함을 볼 수 있다.[3] 물론, 측정 장소와 광원의 종류 및 세기에 따라서 전파거리 특성은 많은 차이가 있을 수 있으나, 서해가 황해로 표기될 정도로 누린 황색을 떠는 탁

도가 있음을 볼 때, 그리고 부유물이 비교적 많이 있을 것으로 평가되는 해수표면의 주 광-전과거리가 10m 이상으로 확인됨은 집어등이나 그 밖의 용도에서 수중조명등으로서 우수하게 평가된다.



그림3. 청색조명등(시작품)의 해수면조광전과 <시화호: 중심부 주광전과거리 10m 이상>

나. 수리해양탐사등(aquamarinautics light)

1. 미세생물 플랑크톤류의 자원화

미세생물체로써 플랑크톤(plankton)이란 담수나 해수 등에서 물의 유동에 따라 떠 있거나 표류하는 생물체의 총칭으로서, 그 생물개체를 플랑크터(plankter)라고 한다. 플랑크톤 용어는 독일과학자 Hensen(1887)에 의해 처음 사용되었으며, 어원은 '방랑'을 의미하는 고대 그리스어 planktos에서 유래하였다. 따라서 플랑크톤은 스스로 물의 이동을 거스를 만큼의 이동능력이 없기 때문에 유영동물(nekton)과 차별화되고, 수계의 수층에서만 생활한다는 점에서 저서생물(benthos)과 구분되는데, 이러한 플랑크톤에는 원생생물, 동물, 식물 그리고 세균 등이 포함된다.

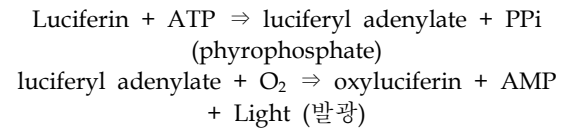
이와 같이 미세하고 자활능력이 나약한 플랑크톤이 최근 들어 생물공학적 여러 가지 응용 면에서, 지금까지 제한된 천연자원으로부터 얻어오던 많은 물질들을 대체할 수 있을 만큼의 충분하고 많은 가능성을 지니고 있으며, 특히 이산화탄소를 일시적으로 흡수, 저장하여 단백질과 지질 등의 유용한 물질을 만들어 공급해줄 수 있다는데서 대량적으로 또는 집약생산 방식으로 배양하기에 이르렀고, 이들은 굴 유생의 양식용으로 사용하거나, 또는 유기물폐수의 처리, 생물비료, 우주식품 또는 우주공간의 산소공급원, 비타민과 베타-카로틴 등의 생산원료, 약제생산 및 항체생물활성물질, 식품의료용 및 탄화수소와 지질을 이용한 바이오연료(오일 등) 및 식용유 등 수 많은 생물공학 분야의 활용가능성을 제공함으로써, 최근 새롭게 각광을 받게 된 것이 사실이다. 이를 생산하는데는 기본적으로 유기물광합성을 위한 빛에너지(광원)와 적절한 영양염원(먹이)이 필수적으로 제공되어야 한다.

2. 야광충의 활용과 멸살

바다에 사는 반딧불이 야광충(夜光蟲: noctiluca)은 편모충류의 원생동물로써, 지름이 1~2mm 내외의 공 모양이고 껍질(피부)이 없으며 뒤쪽에 있는 굵고 긴 촉수를 움직여 해면을 떠다니면서 밤에 파도에 밀려 빛을 발하는 미세생물체이다. 편모공(鞭毛孔)은 크고 입처럼 깊이 패여 있으며, 1

개의 굵은 촉수가 몸 밖으로 나와 원생동물이나 갑각류의 유생을 잡는 것이 특징이다. 세로 편모는 짧고 편모공 속에 있는데 가로 편모는 변형되어 판 모양이다. 세포질속에 여러 개의 발광성 알갱이가 있어 물리적 자극을 받으면 발광을 하기 때문에, 밤의 해면에서 배가 지나간 뒤의 물결이나 파도의 꼭대기가 청백색으로 빛나는 것은 이중의 야광충이 있기 때문이다. 이상증식을 하면 적조를 일으키기도 하며 연안어업에 막대한 피해를 준다. 특히 초여름에서 한여름에 걸쳐 바람이 없는 내만(內灣)에서 수온이 다소 높을 경우에 이상번식(異常繁殖)을 하면 바다가 토마토주스와 같은 붉은 색깔을 띠게 된다.[4]

이러한 발광동물들은 luciferin 물질반응을 통하여 빛을 발산하며, 그 메커니즘은 luciferase(효소)가 luciferin을 분해, 산화하여 이루어진다.



한편, 2012년에 개최되는 여수세계박람회(해양엑스포)의 주 전시관 앞바다에는 '돌고래와 로봇물고기가 함께 노는 인공바다 숲'이 조성될 계획이다. 엑스포 조직위원회에 의하면, 전시관 앞바다 해양 공간 'Big-O'지역을 로봇물고기와 토종돌고래 및 야광충으로 꾸며 오염물질을 정화하는 친환경 공간으로 만들 계획이라고 하였다.(매일경제: 2009. 4. 23일자 기사)

또한, 야광충은 식물성과 동물성의 중간 형태를 갖는 플랑크톤 원생생물체중의 하나이다. 야광충이 여름철 기온이 상승하면서 이상번식을 하면 주위의 산소를 대부분 흡수하여 발광에너지 생성에 사용하게 되므로, 주위의 산소농도가 점차 감소하게 되고 밀도가 높아지면 해수면이 붉게 되면서 소위 적조현상을 발생시킨다. 이와 같은 적조현상은 연안어업에 막대한 피해를 끼치게 됨으로 적조생물들을 사멸 처리해야 하는 사회적 문제가 발생한다.

따라서 적조생물의 하나인 야광충의 사멸을 확인하기 위한 시험방법으로, 야광충의 발광현상을 이용하였다. 다시 말하면, 캄캄한 밤중에 야광충이 있는 시험조에서 발광현상의 유, 무를 확인하여 사멸여부를 쉽게 확인하는 방법으로 시험을 하였다. 살아서 빛을 내던 야광충이 발광을 하지 않으면 일단 사멸된 것으로 보아도 틀림이 없기 때문이다. 사멸시험방법은, 살균력이 강한 활성수산화기를 사용하였다. 먼저 바닷물을 해리시커 [□OH]를 비롯한 여러 가지 활성수산화기를 생성시켜 이들 활성수산화기에 의한 야광충의 반응을 확인하였다. 야광충시험조에서 플라즈마 이온발생기를 사용하여 수 초 동안 해리시킨 뒤, 다시 물리적 자극을 주어 발광을 촉진시킨다. 야광충은 전혀 발

광하지 않았다. 이는 야광충이 활성수산기에 의해 모두 사멸되었기 때문이다. 플라즈마 이온발생기에서 발생된 [□OH]활성수산기가 *isochrysis galbana*와의 반응결과와 같이 야광충 사멸결과를 발광 유무의 가시적으로 간단히 확인하였다.[5]

이와 함께, 야광충을 유용하게 활용하기 위한 배양생산을 추진하고 있다. 여러 가지의 필요한 사항들이 있지만, 특히 야광충 배양에 필수적인 광원을 앞(Ⅱ의 I)에서 제시한 '평판액냉식LED수중조명기'의 기초 원리를 적용하여 제작한 '인공광원 수리해양탐사램프의 활용 배양기법'을 진행 중이다. 이를 확대 적용하여 바이오에너지용 *algae cultivation* 계획도 수행 중에 있다.

3. 녹색평판수리해양램프의 활용

육상으로부터 유입되는 생활하수와 산업폐수 등 인간 활동의 영향으로 부영양화, 저층 빈산소 수괴 및 적조현상 등이 발생하여 환경이 악화되고 있다. 이러한 환경은 해양생물 특히 저서생물의 서식을 어렵게 하며, 특히 표층퇴적층 가까이에 형성된 빈산소 수괴가 각종 양식을 하는 상층으로 용승 할 경우 막대한 생물폐사를 일으킬 수 있다. 이와 같은 빈산소 층을 개선하기 위해 해양유입의 부하량을 조절하는 개선책을 제시하기도 하지만, 한번 악화된 퇴적환경 개선에는 막대한 시간과 예산을 필요로 한다.

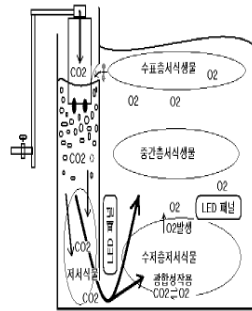


그림4. 수중저서생물 수직 공동배양개략도

따라서 필요한 경우 인공기술을 적용하는 적극적인 활동이 요구된다. 만약, 수면표층의 탄소와 산소를 비롯한 대기를 풍부하게 흡수한 물이 저층으로 자연 순환될 수 있다면 저층에 광합성식물을 배양하여 탄소를 흡수하고 산소를 배출하여 수중생태 순환을 원활하게 할 수 있다. 하지만, 자연순환이 불가함으로 인공기술을 적용할 수밖에 없다. 공기를 심해저까지 유입시켜 흡수시키는 일은 더욱 어렵다. 그러므로 수면 층에서 CO2가 용해 흡수된 표층수를 해저로 강제 유도하여 저서식물 배양에 공급하고, 동시에 산소를 발생시켜 수중생태계를 활성화시키기 위해 필요한 물밀 층의 심해조광을 녹색평판수리해양램프의 탁월한 심해저 내구성 활용기회로 적용할 가능한 계약방안을 그림4와 같이 제안하며, 해저 빈산소 현상을 해소하

여 저서수중생물체를 배양하고, 저서생물체의 광합성으로부터 방출하는 산소를 수중생태계에 공급하는 생태순환체계를 형성하는 것이다. 이때 먼 바다에서 필요한 에너지는 태양광, 파력, 풍력 등의 현장발전전력을 사용한다.

또한, LED 램프의 고유발광과장 특성은 육상식물 재배의 인공광원에도 과급되고 있다.[6] 육상식물에는 chlorophyll의 흡수 과장인 청색과 적색광이 주로 사용되는데, 더욱 효과적인 방법은 이들 두 과장의 빛을 식물체의 광흡수 비율에 따라 최적필스폭을 적용하여 선택제어 해줌으로써 재배효율을 높이는 것이다. 머지않아 모든 육상식물 재배에 적용하는 식물공장시대가 올 전망이다. 그러나 해양수산 적용에는 아직 소극적이며, 미세조류나 해조류 등 광합성식물 배양 연구에 부분적으로 적용되는 추세이다.

V. 결 론

따라서 위에 제안한 저서생물 배양기술에서 필요와 유용성에 따라 저서규조류와 같은 성장배양속진 대상과 적조원인종과 같은 규제대상 생물체의 성장 또는 억제(휴면포자의 발아 포함) 등에 주체의 '평판액냉식LED수중조명기'를 활용하는 선택과장제어조광배양 기술을 개발하여 유용한 생물체의 성장배양과 환경복원에 기여하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 한국과학기술정보연구원(KISTI) 수행 교육과학기술부 과학기술진흥기금 출연사업의 “고경력 과학기술인을 활용한 지원사업(Reseat Program)”의 일부이며, ‘정도시험기연구소’ 후원에 감사를 드린다.

참고문헌

- [1] 오석진 외, '발광다이오드를 이용한 저거미세조류의 성장촉진에 의한 오염해역 저질환경개선', 한국해양공학회지, Vol. 10, No. 2, pp.99, 5, 2007
- [2] Fukami et al., 'Improvement of eutrophic coastal bottom environments by using an optical fiber and effective psychrophilic bacteria', Fish. Sci., Vol 68, 612-620. 2002
- [3] 심재형 외, 플랑크톤 생태학(Plankton Ecology), 서울대학교출판부, 2004.11.10.
- [4] EnCyber&EnCyber.com
- [5] Bai Min-dong, et al., Studies for killing the oceanic harmful organisms in ship's ballast water using hydroxyl radicals, Dalian Maritime Univ., June 2009
- [6] Dea-Wha Soh, et al., 'Low Carbon and Green Growth Farming with Solar-LED Illumination', AKC 2009: Asia-Korea Conf. on Advanced Science & Technology, Yanji, China, p34, Aug. 28-29, 2009