

에너지 절감형 LED 집어등의 설계 및 제작

최성국¹ · 김선재¹ · 박대원¹ · 길경석[†] · 최철영² · 송상빈³

(원고접수일 : 2009년 12월 7일, 원고수정일 : 2010년 2월 10일, 심사완료일 : 2010년 3월 3일)

Design and Fabrication of an Energy Saving LED-Fishing Lamp

Sung-Kuk Choi¹ · Sun-Jae Kim¹ · Dae-Won Park¹ · Gyung-Suk Kil[†] · Chul-Young Choi²
Sang-Bin Song³

요약 : 본 논문에서는 에너지 절감형 발광다이오드 집어등의 개발과 적용에 대하여 기술하였다. 오징어, 다랑어, 고등어, 정어리 그리고 갈치와 같은 대부분의 생선은 주광성이며, 집어등은 이러한 어류들의 광반응 특성을 이용하여 어업 효율을 증대시킨다. 현재는 집어등으로 소비전력이 1.5 kW이고 인체에 유해한 자외선을 방출하는 메탈 할라이드 램프(MHL)가 대부분 사용되고 있다. LED 집어등의 개발을 위해, 광 파장에 따른 해수투과와 오징어의 광반응 특성을 연구하였다. 실험에서는 상기 두 가지 특성이 모두 470 nm 전후의 청색에서 나타났다. 결과에 근거하여, 1.5 kW MHL의 약 1/9의 소비전력인 160 W급 청색 LED 집어등을 제작하였다. 에너지 절감효과로 LED 집어등은 1.5 kW 80개의 MHL을 설치한 22톤 어선의 경우, 시간당 128 kWh의 전력소모를 줄일 수 있으며, 이는 이산화탄소 86 kg에 해당한다. 시제작 LED 집어등은 2척의 어선에서 실증 조업 중에 있다.

주제어 : 에너지 절감형, 발광다이오드(LED), 집어등, 메탈 할라이드 램프, 이산화탄소

Abstract: This paper dealt with the design and fabrication of an energy saving light emitting diode (LED) fishing lamp. Most fishes such as a squid, horse mackerel, mackerel, sardine and scabbard fish have characteristics for phototaxis and fishing lamps have promoted the fishery efficiency using their photo-reaction. In these days, metal halide lamp (MHL) as the fishing lamp, which consumes 1.5 kW and radiates harmful ultraviolet rays are mainly used. To develop the LED-fishing lamp, the penetration depth in sea water and the photo-reaction of a squid as light wavelength were studied. The experimental results showed the both characteristics were existed in blue color around 470 nm.

Based on the results, we manufactured a 160 W and blue LED-fishing lamp which is consume about one-nine of 1.5 kW MHL. As energy saving effect, the use of LED-fishing lamp can reduce 128 kWh per an hour which is correspond to CO₂ of 86 kg for a 22 ton-fishing boat equipped with 80-1.5 kW MHL. Now, the prototype LED fishing lamps are being evaluated on two fishing boats.

Key words: Energy saving, Light Emitting Diode (LED), Fishing lamp, Metal Halide Lamp (MHL), CO₂

† 교신저자(한국해양대학교 전기전자공학부, E-mail:kilgs@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4414)

1 한국해양대학교 전기전자공학부

2 한국해양대학교 해양환경생명과학부

3 한국광기술원 반도체조명기술센터

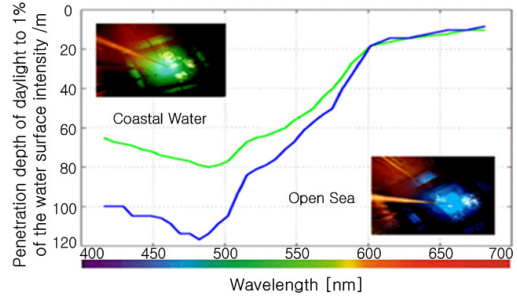
1. 서론

최근 지구온난화 등에 의한 기후변화의 영향은 점진적인 기온상승에만 그치지 않고 기후체계를 뒤 흔들며 가뭄, 폭풍, 홍수, 태풍, 산사태, 해일 같은 극단적인 기상현상이 넓은 지역에 자주 발생하고 있어 세계 여러 곳에 기상재해의 위협에 처해 있다. 이에 세계적으로 에너지 절감을 통한 이산화탄소의 배출을 억제하는 정책과 지원이 급증하고 있다. 우리나라도 저탄소 녹색성장산업의 하나로 LED(Light Emitting Diode)의 응용을 확대시키고 있으며, 그 중의 하나가 LED 집어등이다 [1-4]. 현재 오징어 채낚기선의 집어광원으로 사용되고 있는 메탈 할라이드 램프(Metal Halide Lamp, MHL)는 비지향성으로 전체 광속 중 수면에 조사되어 수중을 투과하여 집어에 사용되는 광원은 불과 3 %밖에 되지 않는다. 따라서 LED와 같은 지향성 광원으로 수중을 잘 투과하고 특히, 집어 대상어종에 적합한 색상의 LED 집어등을 적용하면 획기적인 소비전력의 절감이 가능하며, 이는 유류절감과 저탄소 배출정책과 직결된다.

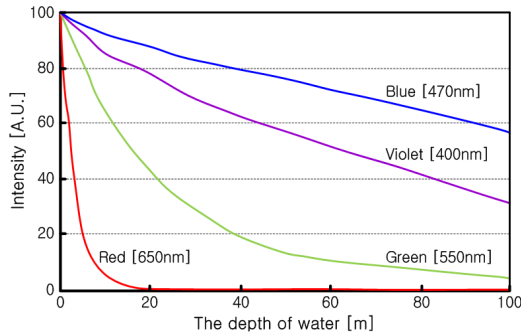
본 논문에서는 오징어 채낚기용 LED 집어등의 개발을 위해 오징어의 서식환경, 광반응 및 광의 해수투과에 대한 선행연구를 수행하였다. 우리나라 근해에서 어장이 형성되는 8월~12월 중 오징어는 수심 100~150 m 부근에 서식하므로 집어를 위해 광(光)의 투과율은 매우 중요하다. Figure 1은 광 파장별 해수투과특성을 나타낸 것으로 Figure 1(a)는 연안과 대양에서 태양에서 방사되는 가시광 파장중 청색(470 nm~490 nm)이 감쇄가 적어 깊은 수중에 도달함을 나타내고 있다.

Figure 1(b)도 마찬가지로 가시영역내의 파장중 청색이 해수를 가장 잘 투과하고 있으며, 또한 집어대상 오징어는 어종에 따라 다소 차이가 있으나, 470 nm~500 nm의 청색광에 가장 잘 반응하는 것으로 알려져 있다[5-6].

이들 결과로부터 심해에 서식하는 오징어를 어획에 적당한 수심 30~50 m에 모으기 위해서는 해수에서의 광투과율이 높고 오징어가 잘 반응하는 470 nm부근의 청색광이 가장 적합함을 알 수 있다.



(a) Penetration depth of daylight



(b) Penetration depth depending on wavelength

Figure 1: Penetration characteristics of light

LED 모듈을 제작하여 광의 수중투과 및 오징어의 광반응 실험결과로부터 1.5 kW MHL을 160 W급 LED 집어등으로 대체하여 20톤급 어선에서 실증 조업 중에 있다[7].

2. 집어등

주광성 어류를 집어하기 위한 집어광은 석유, 아세틸렌 빛을 시작으로 1930년대부터 전기조명이 적용되었다. 초기 집어등은 저용량 백열등에서 60년대 할로젠등, 70년대 후반에 MHL 집어등이 등장하면서 현재에는 1.5 kW급 MHL 집어등이 주류를 이루고 있다[8]. 집어등은 밝은 곳으로 대상어종을 모아 그 행동을 제어하며, 집어등에서 방사되는 빛이 그대로 수중에 투과되는 것은 아니며 해수조건에 따른 해면반사, 밤과 낮, 수심의 깊이 및 탁도 등에 따라 굴절되어 변화한다.

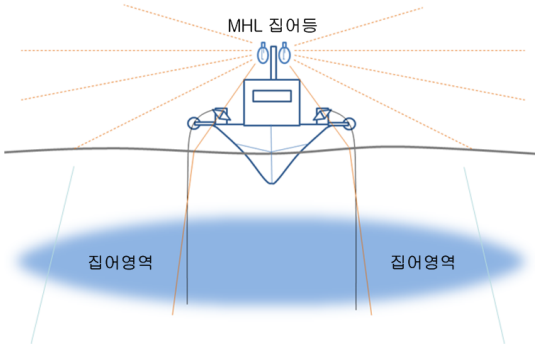


Figure 2: Light distribution by MHLs

Figure 2는 MHL 집어등을 오징어 채낚기 어선에 2열로 설치하였을 때 배광을 나타낸 것으로, 집어등 상호간 반사손실과 전 방향 방사로 조업영역인 해수표면에는 전체광속의 20%정도만 도달한다. 또한 MHL의 스펙트럼은 Figure 3과 같이 320 nm~840 nm로 넓게 분포하며, 전 광속 중 450 nm~500 nm의 청색파장은 15%정도이다.

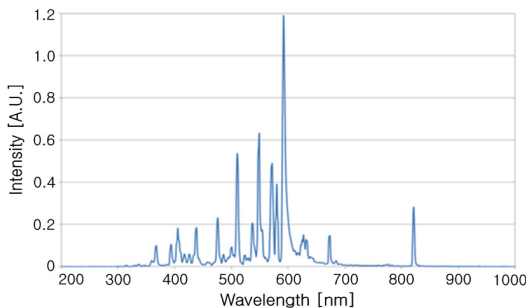


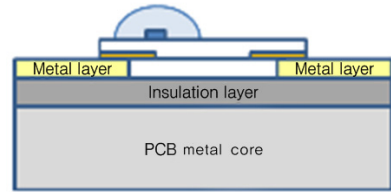
Figure 3: Optical spectrum of a MHL

이와 같은 집어등의 설치상태와 스펙트럼을 고려하면 MHL 집어등에서 방사되는 전 광속 중 수증을 투과하여 오징어 집어에 유효한 광속은 3%에 불과하다. 1.5 kW MHL 집어등의 광효율이 70 lm/W라고 하면 전 광속은 105,000 lm이며, 본 광속의 3%인 3,150 lm만 오징어 집어에 이용된다고 볼 수 있다.

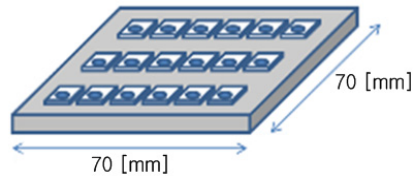
결론적으로, 1.5 kW MHL 집어등에 상응하는 LED 집어등은 파장 470 nm±10 nm, 효율 20 lm/W, 160 W(3,150 lm/20 lm/W=157.5 W)이다.

3. 설계 및 제작

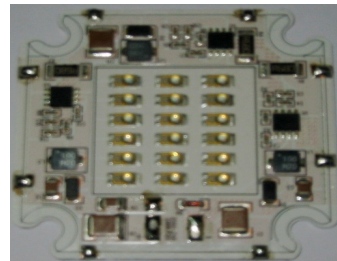
선행 연구결과로부터 160 W급 고집적 LED 집어등을 제작하였다. Figure 4와 같이 최대 정격 3 W LED 18개를 70×70 mm의 금속 PCB(Printed Circui Board)상에 3×6배열로 실장하였다.



(a) Cross sectional diagram



(b) Layout



(c) Photograph

Figure 4: LED module

금속 PCB는 LED Chip을 접촉시켜 Chip에서 발생한 열을 효과적으로 외부에 전달한다. Metal core는 알루미늄 합금(Al5052)을 사용하여 경량화하고 열전도도를 향상시켰다.

LED는 전류제어 소자이므로 입력전압의 변화에 대해 안정적으로 동작시키기 위해 Figure 5와 같이 구동회로를 설계하였다. 입력전압 범위는 DC 20~28 V이며, 각각의 LED에 흐르는 전류는 700 mA로 제한된다.

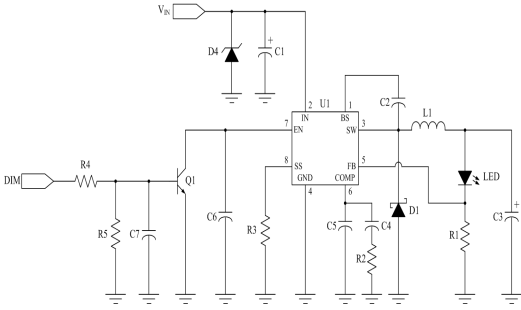


Figure 5: Driver circuit

LED에서 방사된 광은 지향성으로, 수중 투과율을 향상시키기 위해 LED를 집적화하여 광도를 높였기 때문에 단위면적당 발열량이 많다. LED는 온도에 따라 광효율과 수명에 큰 영향을 주기 때문에 본 모듈 구조에 적합한 냉각방식의 선택과 구조 설계가 필요하다.

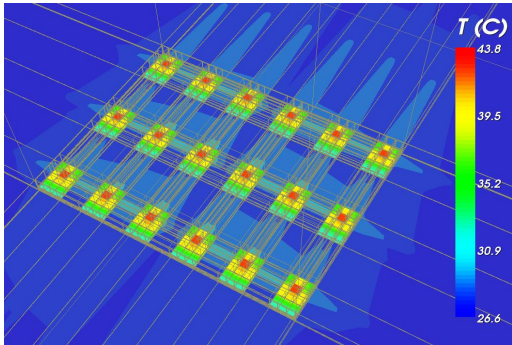


Figure 6: Heat distribution of the module

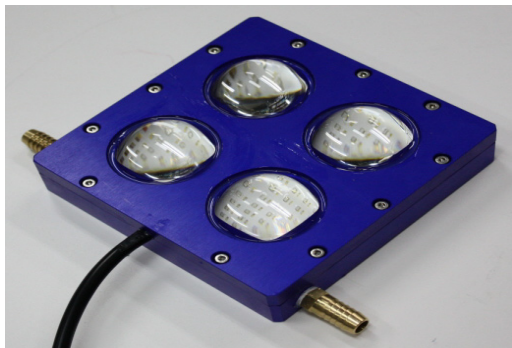


Figure 7: Photograph of the prototype LED-fishing lamp

본 논문에서는 열해석 프로그램(Q-LED, Future lighting solutions)으로 LED 배열에 따른 발열 분포를 해석하여 최적의 배치를 하였다.

금속 PCB 후면에 냉각수가 흐르는 수냉각 방식의 적용으로 Figure 6과 같이 주변온도는 27 °C에서 LED 소자는 43.8 °C이하, 소자의 접촉부는 40 °C에서 더 이상 상승하지 않으므로 안정적 구동이 가능한 것으로 판단된다.

최종적으로 제작한 LED 집어등은 Figure 7과 같이 단위모듈(3×6 배열의 18개 소자) 4개를 배치하고, 전면부에는 집광용 볼록렌즈를 부착하여 수중 투과율을 높였다. LED 집어등의 외함은 열전도도를 향상시키고 경량화하기 위해 알루미늄 재질로 제작하였다.

Table 1은 시제작 LED 집어등의 사양을 나타낸 것으로, 정격전압은 24 V, 소비전력은 164 W이다. 또한 어선의 상부에 배치되는 집어등은 중량이 증가하면 선박의 무게중심이 상부로 이동하게 되며, 조업 중 흔들림과 복원성 문제가 발생하게 되므로 중량을 최대한 줄여 1.6 kg으로 제작하였다.

Table 1: Specification of the LED fishing lamp

Operating Voltage [V _{DC}]	24
DC Current [A]	6.8
Power Consumption [W]	164
Size [mm]	158×158
Weight [kg]	1.6

4. 평가 및 분석

시제작 LED 집어등의 스펙트럼, 배광 및 광도 등 광학적 특성과 발열 분포를 평가하였다.

4.1 광학적 특성

Figure 8은 시제작 LED 집어등의 스펙트럼을 나타낸 것으로, 피크 파장은 470 nm이며, FWHM(Full Width at Half Maximum)은 30 nm로 455~485 nm의 순수한 단일 청색광이다.

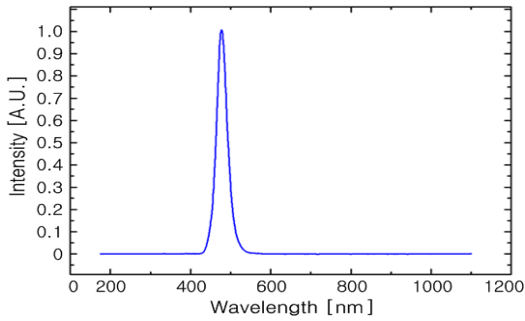


Figure 8: Optical spectrum

LED 집어등의 배광각은 너무 좁으면 조업 중 선박의 흔들림으로 피조면의 조도 변화가 크며, 너무 넓으면 빛이 분산되어 수중 투과율이 떨어지므로 설치조건과 조업영역을 고려하여 30°로 설계하였다. 평가결과에서는 Figure 9와 같이 방사면에서 45°이지만, 피조면에서 30°로 좁아져 균일한 분포를 나타내고 있다.

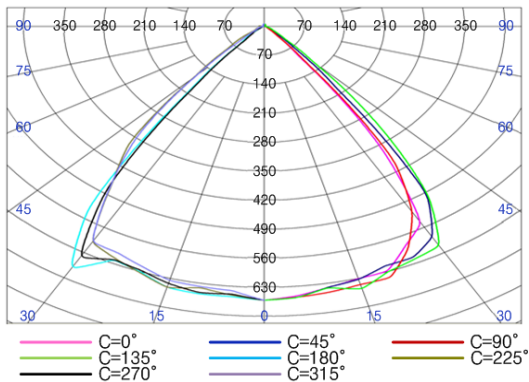


Figure 9: Light distribution

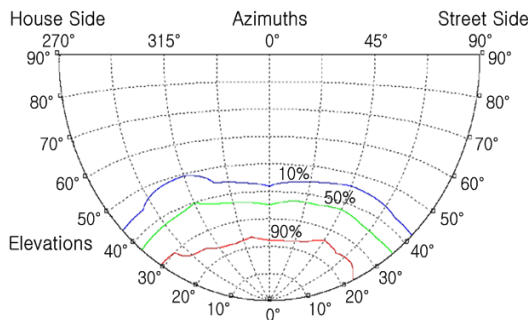


Figure 10: Candela diagram

LED 집어등의 최대 광도는 675 cd 이며 Figure 10에서 청색 10%, 녹색은 50%, 적색 90%의 지점을 나타내며, 내/외부 렌즈의 굴절차에 의한 약간의 편차가 발생하고 있으나, 전 방향에서 고르게 분포함을 알 수 있다.

4.2 발열 분포

Figure 11은 실험실내에서 집어등을 점등하여 5분 경과 후, 열화상 카메라로 측정된 온도분포를 나타낸 것이다. 점등 초기온도는 약 20 °C이었으나 시간이 경과함에 따라 증가하여 23 °C에서 열평형 상태를 유지하였다. 실제 조업상황에서는 냉각수로 해수가 이용되어 더 낮은 온도에서 운영이 가능하므로, 장수명과 고효율을 기대할 수 있다.

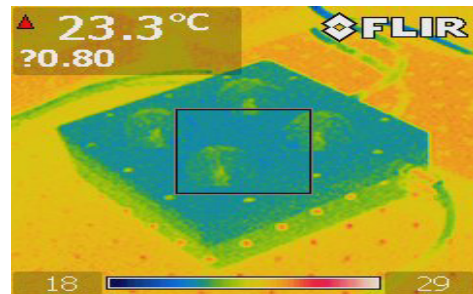


Figure 11: Photograph of heat distribution

5. 실증 현황

시제작 LED 집어등의 성능은 2009년 10월 10일부터 20톤 근해 채낚기 어선(MHL 80개)에 100대를 설치하여 조업 중에 있으며, 현재까지 얻어진 실증 결과는 다음과 같다.

(1) MHL 집어등은 고연색성 광원으로 수면에 조사시 빛이 분산되어 육안으로는 수중에서 어류활동의 관찰이 불가능했으나, LED 집어등은 청색 단일광으로 해수 투과율이 높아 조업에 보다 효과적이었다.

(2) LED 집어등으로 조업 시 어획량은 기존 대비 40~70 %로 감소하였다. 이는 MHL 집어등을 사용하는 어선 근접 시 상대적으로 나타나는 현상으로, 동일한 집어효과를 얻기 위해서는 고시된 채

낚기 어선의 광력을 120 kW에서 20 kW인 1/6정도로 제한할 필요가 있다[9].

(3) 조업 시 오징어의 천적인 돌고래가 출현되지 않아 청색 LED 집어등의 적용에 긍정적인 반응을 나타내었다.

(4) MHL 집어등은 점등과 재점등에 5분이상의 시간이 요구되나, LED 집어등은 지연이 발생하지 않으므로 조업에 보다 효과적이다.

(5) 수냉식 LED 집어등은 유지보수가 불편하나, 중량은 공랭식 대비 1/3정도 이므로 선박안전 항행에 도움이 되는 것으로 확인되었다.

이와 같은 특징 외에 LED 집어등은 반도체와 전자회로로 구성되므로 전자파 장애, 배광각 및 사용 환경에서의 염해 대책 등이 확보되어야 할 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는 MHL 집어등의 광스펙트럼 및 해수 투과율, 설치조건과 오징어 광반응에 대한 연구를 수행하여, 현재 사용 중이 1.5 kW MHL 집어등에 대응하는 160 W급 LED 집어등을 개발하고 실증을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 해수 중 광의 투과율은 470 nm~490 nm의 청색 파장이 가장 높게 나타났으며, 어획대상인 오징어의 광반응도 동일 파장 영역이었다.

(2) MHL 집어등의 설치조건에서 조업영역 해수표면에 조사되는 광속은 총광량의 20%정도이며, 그중 집어에 유효한 청색파장은 15%에 불과하므로, 실질적으로는 MHL 전광속중 3%만이 집어에 이용된다. 따라서 1.5 kW MHL 집어등은 효율 20 lm/W의 청색 LED를 적용하여 160 W급으로 1:1 대체가 가능하다.

(3) 광학적, 환경적 요인을 고려하여 160 W급 LED 집어등을 설계, 제작하였으며, 효율은 20 lm/W, 배광각 30°, 최대 광도 675 cd, LED Chip의 최대온도 43.8°C, 그리고 중량은 1.6 kg이다.

(4) 시제작 LED 집어등은 20톤급 오징어 채낚기 어선에서 실증 조업 중이며, 현재까지의 결과로

어획량은 MHL 집어등 대비 40~70%정도로 감소한 것으로 나타났다. 이는 MHL 집어등을 사용하는 어선이 근접 시 상대적으로 나타나는 현상으로, 어선 톤수별로 고시된 광력을 하향 조정하고 제도적 지원에 의해 모두 LED 집어등을 적용하면 동일한 효과를 얻을 것으로 판단된다.

(5) 에너지 절감효과로써 20톤급 채낚기 어선의 경우, 집어등으로 1.5 kW MHL 80개를 설치하므로 전체 소비전력은 안정기 손실을 포함하여 144 kWh이며, LED 집어등은 약 16 kWh로 90% 정도의 전력량을 절감할 수 있고, 이를 CO₂ 배출량으로 환산하면 한시간당 86 kg을 줄일 수 있다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 “에너지절감형 LED 집어등 실증사업”과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-C1090-1021-0015)

참고문헌

- [1] 산업자원부, LED조명 보급 추진계획, 산업자원부, 2006.11.
- [2] 지식경제부, “LED산업 신성장동력화 발전전략”, LED융합조명산업 발전전략 자료집, pp. 11-22, 2008.
- [3] 길경석, “해양분야 LED응용”, 2008 광융복합산업 신기술세미나 자료집, 한국광산업진흥회, pp. 303-315, 2008.
- [4] 윤영채, 김종서, “지구온난화 방지를 위한 실효적 방안 연구”, 사회과학연구, 제20권, 1호, 충남대학교 사회과학연구소, pp. 85-114, 2009.
- [5] Okamoto Kensho, “青色發光ダイオード集魚燈の技術開發について”, Marine Forum 21, 2004.
- [6] 오카모도 켄쇼, “어선집어등의 개발과 해상조업 실험”, 전기기술, 제43권, 제3호, pp. 52-57, 2006.
- [7] Jae-Sung Choi, Sung-Kuk Choi, et al., “Photoreaction analysis of squids for a LED-fishing lamp”, Proc. of the 2nd

Int. Conference on MARITIME and NAVAL SCIENCE and ENGINEERING, pp. 92-95, 2009.

- [8] 최석진, “고휘도발광다이오드와 집어등광원의 방사특성 및 단위전력당 방사량 비교”, 한국수산학회논문지, 제41권, 제6호, pp. 511-517, 2008.
- [9] 농림수산식품부, “어업의 허가 및 신고 등에 관한 규칙”, 농림수산식품부령, 제74호, 농림수산식품부, 2008.

저 자 소 개



최성국(崔聖國)

2008년 한국해양대학교 나노반도체 공학과(이학사), 2008~현재 한국해양대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정. 관심분야: 조명공학, LED.



김선재(金善宰)

2009년 한국해양대학교 전기전자공학부(공학사), 2009~현재 한국해양대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정. 관심분야: 전기공학, 조명공학



박대원(朴大元)

2002년 한국해양대학교 전기시스템공학과(공학사), 2005년 동 대학원 전기전자공학과(공학석사), 2007~현재 한국해양대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정. 관심분야: 전기공학, 조명공학.



길경석(吉璟碩)

1984년 인하대학교 전기공학과(공학사), 1987년 동 대학원 전기공학과(공학석사), 1996년 동 대학원 전기공학과(공학박사), 2003년 3월~2004년 2월 영국 Cardiff 대학 방문교수, 1996~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수, 2009년~현재 첨단마린조명연구센터 소장. 관심분야: 조명공학, 전력시스템공학.



최철영(崔哲泳)

1990년 부경대학교 양식학과 (수산학사), 1999년 일본 동경해양대학 자원육성학과 (수산학박사), 1999년~2000년 일본 국립 琉球大學 강사, 2000년~2001년 캐나다 캘거리대학교 연구원, 2002년~2003년 미국 국립 보건연구원 (NIH) 연구원, 2004년~현재 한국해양대학교 해양환경생명과학부 (교수). 관심분야: 해양생물의 광반응 특성, LED광원별 해양생물의 성장, 성숙에 미치는 영향



송상빈(宋相彬)

1994년 전남대학교 전자공학과 (공학사), 1997년 전남대학교 전기공학과(공학석사), 2006년 전남대학교 전기공학과(공학박사), 2002년~2005년 (재)한국항로표지기술협의 (부장), 2005년~현재 한국광기술원 반도체조명기술센터(센터장). 관심분야: 전기공학, 조명공학, LED 조명.