

## 함정용 노출·방수형 LED 조명기구의 설계 방안

길경석\* · 김일권<sup>1</sup> · 조향은<sup>1</sup> · 권혁상<sup>2</sup> · 조흥기<sup>3</sup>

(원고접수일 : 2011년 5월 2일, 원고수정일 : 2011년 5월 25일, 심사완료일 : 2011년 6월 14일)

### Design Guide of Surface and Watertight LED Luminaires for Naval Vessels

Gyung-Suk Kil\* · Il-Kwon Kim<sup>1</sup> · Hyang-Eun Cho<sup>1</sup> · Hyuk-Sang Kwon<sup>2</sup> · Heung-Gi Cho<sup>3</sup>

**요약** : 본 논문에서는 함정용 노출·방수형 형광등기구 대체를 위한 LED 조명기구의 설계방안에 대하여 연구하였다. 조명기구에 대한 한국산업규격(KS), 국방규격(KDS) 및 미국방규격(MIL)의 안전 및 성능 요구사항을 비교하였다. LED 등기구의 설계기준을 도출하기 위하여 기존 형광등기구의 소비전력, 총광량 및 배광 등 전기 광학적 특성을 실험적으로 분석하였다. 기존 조명기구의 성능을 기초하여 4가지 LED 조명기구를 시제작하였다. 기존 형광등에 비해 소비전력은 44~51 [%] 절감되고, 총광속은 8~13 [%] 증가하는 함정용 LED 조명기구의 설계방안을 제시하였다.

**주제어** : 설계방안, 함정, 형광등, LED 조명기구, 한국산업규격, 국방규격, 미국방규격

**Abstract**: This paper dealt with a design guide of LED luminaires to replace the surface and watertight fluorescent lamp (FL) fixtures for naval vessels. Several standards such as Korean Industrial Standard (KS), Korea Defence Standard (KDS) and US Military Standard (MIL) were compared in terms of safety and performance of lighting fixtures. The electrical and optical characteristics like power consumption, total luminous flux, and illumination distribution of the FL fixtures were experimentally analyzed to acquire design rules for LED luminaires. Based on the results, four types of LED luminaires were fabricated, and we proposed a design guide of LED luminaires for naval vessels which save power consumption of 44~51 [%] and increase total luminous flux of 8~13 [%].

**Key words**: Design guide, Naval vessels, FL fixture, LED luminaire, KS, KDS, MIL

### 1. 서 론

세계적 기후변화 대응, 국가 성장동력 및 녹색산업으로 LED 응용에 대한 연구가 후면광원 (back light unit), 조명, 농축산, 수산양식, 의료 등 각 분야에서 활발하다[1-5]. 특히, LED 조명이 산업 전 분야에 빠르게 적용되고 있고 유럽을 시작으로 백열전구와 같은 기존 광원이 단계별로 생산 중단됨에 따라 방위사업분야에도 에너지 절약형 장수명 LED 조명의 적용을 위한 표준화가 진행되고 있으며, 그 중에서도 함정 (naval vessel)에 적용이 우선

추진되고 있다[6-7].

함정에는 백열 및 형광 램프 등 육상과 같은 광원을 사용하는 조명기구가 집중 설치되어 있어 전력소비가 크고, 또한 필라멘트 광원으로 진동과 충격에 의해 육상에 사용하는 경우보다 수명이 1/2~1/5 정도로 짧은 단점이 있다.

함정용 조명기구의 표준화와 규격화면에서는 충격, 진동, 전자기 간섭 (EMI) 등 기계적, 전기적 요구사항이 육상의 조건과는 다르므로, 지난 2009년부터 지식경제부 기술표준원에서 제정해오고 있는

\* 교신저자(한국해양대학교 전기전자공학과, E-mail: kilgs@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4893)

1 한국해양대학교 전기전자공학과

2 한국조선기자재연구원

3 국방기술품질원

LED 조명기구의 성능 및 안전요구사항을 그대로 적용하는 것은 한계가 있다[8-10].

따라서 본 논문에서는 에너지 절감과 합정의 고유기능 수행에 적합한 LED 조명기구의 설계 및 제작방안에 대해 연구하였다. 설계 대상은 합정내 전체 조명기구 중 60 [%] 이상을 차지하는 노출·방수형 형광등기구로 하였다[11]. 기존 조명기구의 안전 및 성능 요구사항을 분석함으로써 LED 조명기구로 대체하기 위한 설계방안을 제시하였다.

## 2. 관련 이론

노출·방수형 형광등기구를 대체할 LED 조명기구의 설계 조건을 구하기 위하여 기존 형광등기구의 전기적·광학적 특성과 안전 및 성능 요구사항을 분석하였다.

### 2.1 노출·방수형 형광등기구

현재 합정에 사용 중인 노출·방수형 형광등기구는 그림 1과 같이 2등용과 3등용으로 대별된다. 형광등은 합정내 공간이 협소하고, 내충격성을 고려해 600 [mm] T8만을 사용한다. 2등용은 피조면 평균 조도가 150~200 [lx], 3등용은 그 이상의 조도가 요구되는 장소 또는 백색 형광등 2등과 홍색 1등을 내장하는 경우에 적용한다. 홍색등은 파장 600~700 [nm]로 비시감도가 낮아 야간운항과 작전중에 점등한다[12].

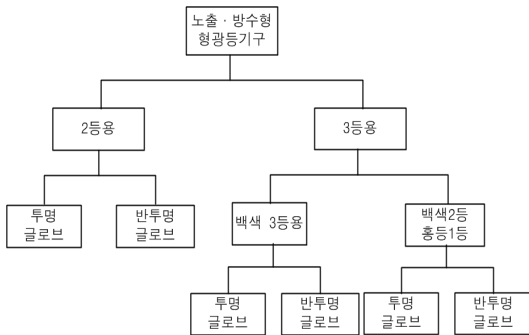
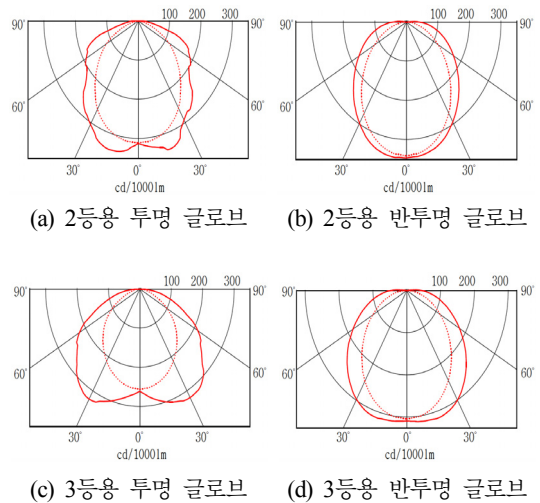


Figure 1: Classification of FL luminaires

설치 높이에 따라서는 동일 기구를 사용하지만 반투명 (milky) 또는 투명 (clear) 글로브 (globe)로

구분된다. 광원이 설치되는 천정이 높을 경우, 피조면의 요구 조도를 확보하기 위해 광속의 투과손실이 적은 투명 글로브를 적용하고, 천정이 낮은 경우는 광원이 시야에 들어와 눈부심을 발생시키므로 반투명 글로브를 사용한다.

형광등기구를 LED 조명기구로 대체하기 위하여 2등용 및 3등용, 투명 및 반투명 등기구 4종에 대해 소비전력, 총광속, 배광분포 등 전기적·광학적 특성을 분석하였다. 등기구별 배광곡선은 그림 2와 같으며, 빔각 (beam angle)은 약 115 [°]이다. 반투명 글로브의 경우, 전체적으로 균일한 방사를 나타내고 있으나, 투명 글로브에서는 내부 지지물의 반사 등으로 배광곡선이 왜곡되고 있음을 알 수 있다.



\* 실선 : C0/C180, 점선 : C90/C270

Figure 2: Illumination distribution of FL luminaires

표 1에 형광등 기구의 10시간 에이징 후 소비전력, 총광속 및 광효율을 나타내었다. 2등용과 3등용 형광등기구는 20 [W] 형광등을 2개 또는 3개를 내장하지만 소비전력이 53 [W] 및 81 [W]로 높은 것은 자기식 안정기 (magnetic ballast)를 적용했기 때문이다. 민수 선박을 포함한 합정에는 내구성과 전자파 간섭을 고려해 형광등기구에 전자식 안정기를 사용하지 않는다. 형광등의 색온도는 약 6000 [K]이다

**Table 1:** Characteristics of the FL luminaires

항목	구분	2등용		3등용	
		투명	반투명	투명	반투명
소비전력 [W]		53		81	
총광속 [lm]		1,855	1,671	2,567	2,338
광효율 [lm/W]		35.0	31.5	31.7	28.8

2.2 안전 및 성능 요구사항

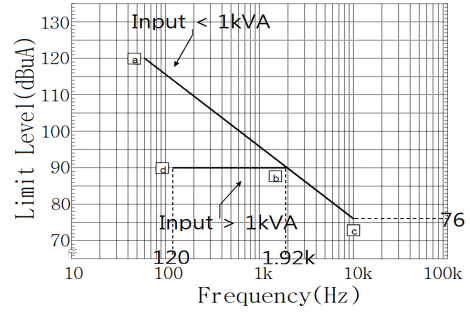
합정에서 사용되는 기존 조명기구는 한국산업규격 (KS)에 기초하여 국방표준 (KDS)과 미국방규격 (MIL)을 따른다.

표 2에 기존 합정용 등기구에 대한 국방규격과 LED 관련 한국산업규격 (KSC 7653)을 항목별로 비교하였다.

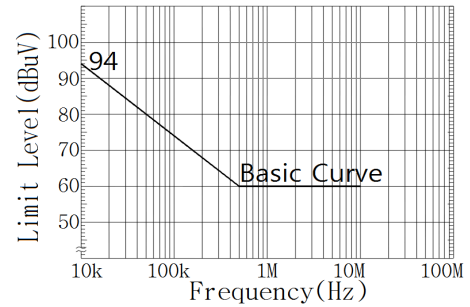
**Table 2:** Comparison of standards

항 목	KSC 7653 (LED조명기구)	국방규격 (형광등기구)
표시사항	○	○
감전보호	○	○
절연저항	500V,4MΩ	500V,10MΩ
절연내력	4,000V	1,500V
전원변동	○	○
전원상실	-	-
기계적 강도	○	-
고온고습	최고30℃, 95%, 48h	-
고온건조	40℃ 1시간	-
진동	-	MIL-STD-167
저온	-10℃ 1시간	-
난연성	○	○
염수분무	-	○
IP	○	○
온도상승	○	-
소음	-	MIL-STD-740
충격	-	MIL-S-901
역률	0.9 이상	0.85 이상
내구성	○	-
전자파간섭	○	-
광효율	○	-
광속유지율	○	-
빔각	-	-

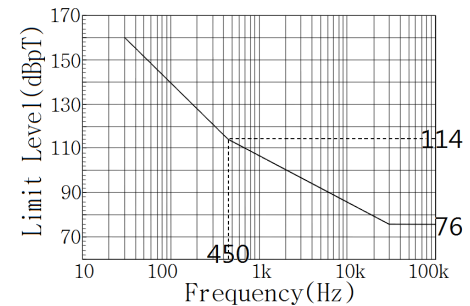
\* KSC 7653 : 매입형 및 고정형 LED 등기구의 안전 및 성능요구사항



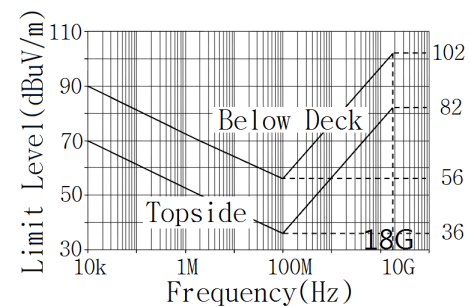
(a) 전도성 전류



(b) 전도성 전압



(c) 방사 자기장



(d) 방사 전기장

**Figure 3:** EMI level specified in MIL-STD-461F

기존 형광등기구를 LED 조명으로 대체하기 위한 관점에서 사용환경은 변화가 없으므로 온도, 습도, 진동, 충격 등은 기존 국방규격과 동일하며, EMI, 광효율, 광속 유지율 및 빔각에 대한 사항이 추가로 요구된다. EMI 요구사항으로는 합정에 탑재되는 전기·전자통신 기기에 대해 그림 3과 같이 전도 및 방사 전자파에 대한 미국방규격 MIL-STD-461F를 따른다[13].

KSC IEC 60092-306에 의하면 등기구의 형태는 거친 돌출물, 날카로운 각, 가파른 곡면 등을 피하도록 설계, 제작되어야 한다[14]. 또한 선박내의 화재는 치명적인 인적, 물적 손상을 줄 수 있으므로 램프의 소켓 내부 충전부의 지지는 적어도 난연성 및 불연성 재료를 사용하여야 하며, 접지를 위한 적절한 단자를 갖추도록 규정하고 있다. 합정의 운용 특성상 조명기구가 작동하는 구역의 온도 및 습도의 조건은 MIL-STD-1399/ SEC.302에 따라 외기온도는 -30~40 [°C], 해수온도는 -2~30 [°C]이며, 상대습도는 10~100 [%]이다[15].

선박용 등기구의 방수에 대한 보호등급은 KSV 8017에 따라 기본적으로 IP2X의 보호등급을 갖도록 규정하고 있다[16]. 국방규격은 보다 구체적인 규정을 기술하고 있으며, 노출·방수형 형광등기구의 경우 IP56으로 내경 12.5 [mm]의 노즐을 사용하여 전 방향에서 물을 장비에 분사할 시 장비내부에 물이 침투되어 절연물과 접촉하여 유해한 영향을 끼치지 않아야 한다.

충격에 대해서는 MIL-S-901D의 규정에 따라 일반조명용 형광등기구의 경우, 합선의 안전과 연속적인 전투에 필수적인 아이템으로 간주하여 shock grade A, Class 1, Type A 시험에 이상 및 파손이 없어야 한다[17]. 이와 같이 기존 조명기구는 상기 특수조건을 제외하면 대부분 KS에 기초한다.

### 3. 실험 및 분석

합정용 노출·방수형 LED 조명기구에 대한 최적의 전기·광학적 조건을 도출하기 위하여 그림 4와 같이 조명기구를 시제작하였다. LED는 광효율을 높이기 위하여 직하형으로 배치하고, 2등용과 3등

용에 대응할 수 있도록 총 소비전력은 30 [W]와 40 [W]의 2가지 형태로 제작하였다.

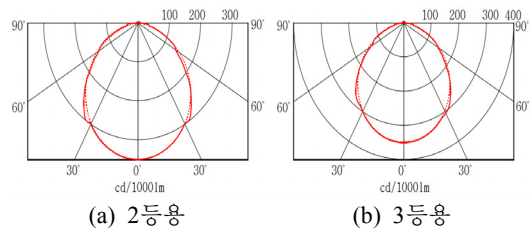


Figure 4: Photograph of the LED luminaire

기존 형광등기구의 외형은 2등용과 3등용, 투명과 반투명 글로브의 총 4종으로 구분되어지나, LED 조명기구는 LED의 배치에 따라 크기 및 배광 조절이 가능하므로 소비전력만 다를 뿐 조명기구의 형상은 한가지로 하였다.

LED 모듈은 기존 등기구에서와 같이 2회로 또는 3회로로 구분할 수 있도록 전원장치와 LED 회로를 독립적으로 구성하였으며, 각 회로별 소비전력은 전원장치의 손실을 포함하여 약 14 [W]이다.

배광측정기를 이용하여 LED 조명기구의 전기적 광학적 특성을 측정, 분석하였으며, 결과는 그림 5 및 표 3과 같다.



\* 실선 : C0/C180, 점선 : C90/C270

Figure 5: Illumination distribution of the prototype LED luminaire

Table 3: Characteristics of the prototype LED luminaire

구분	소비전력 [W]	총광속 [lm]	광효율 [lm/W]	빔각 [°]
2등용대체	28	1,950	69.6	115 이상
3등용대체	42	2,960	70.5	115 이상

시제작 LED 조명기구의 광효율은 2등용 69.6 [lm/W], 3등용 70.5 [lm/W]로 기존 형광등기구의 2배 이상으로, KSC 7653의 광효율과 비교하면 2등용은 60 [lm/W] 이상 (30 [W] 이하), 3등용은 65 [lm/W] 이상 (30 [W] 초과)보다 높은 수준이다. LED 조명기구의 광효율을 높일 수 있지만, 광발산면적이 동일한 상태에서 광량을 증가시키면 휘도가 높아 눈부심으로 불쾌감을 줄 수 있으므로 KS 기준을 따르는 것이 적합하다.

빔각은 115 [°] 이상으로 설계하면 피조면의 조도분포를 기존 형광등기구와 동일하게 할 수 있다.

본 시제작품은 기존 형광등기구 대비 소비전력이 2등용은 47 [%], 3등용은 48 [%] 절감하면서, 총광속은 2등용은 최대 16.7 [%], 3등용은 26 [%]까지 향상시킬 수 있다.

#### 4. 설계 방안

기존 형광등기구의 광학적 특성, 함정의 설치 및 운항 환경과 시제작 조명기구의 성능을 고려하여, 함정용 노출·방수형 LED 조명기구의 설계 방안은 다음과 같다.

- ① LED는 소형의 고휘도 직진성 광원으로 눈부심이 크기 때문에 확산판을 적용한다. 따라서 LED 조명기구는 기존 형광등기구에서와 같이 투명 또는 반투명 글로브로 구분할 필요가 없다.
- ② LED 조명기구는 에너지절감과 장수명이 최대의 장점으로 기존 형광등기구의 광학적 특성과 KSC 7653에 정격전력과 색온도별로 제시된 광효율 [lm/W]을 기준으로 한다. 실질적 방안으로 조명기구의 광효율에 따라서 총광속이 동일하여도 소비전력이 달라지며, LED의 광효율이 매년 10 [%] 정도씩 상승하므로 총광속 [lm]의 범위와 정격전력 [W]의 최대값으로 제시하여야 한다. 총광속을 일정범위로 제한하는 것은 광효율이 높아 총광량이 너무 많으면 눈부심이 발생하기 때문이다. 본 논문에서는 에너지절감과 광효율 등을 고려하여 함정용 노출·방수형 LED 조명기구에 대한 설계조건을 표 4에 제시하였다.

**Table 4:** Design guide of surface and watertight LED luminaires for naval vessels

구분	소비전력 [W]	총광속 [lm]	색온도 [K]	빔각 [°]
2등용대체	30 이하	1,800~2,100	5,500 ± 500	115 이상
3등용대체	40 이하	2,600~2,800	5,500 ± 500	115 이상

본 제안은 KSC 7653의 광효율 60~65 [lm/W]를 적용한 것으로 기존 형광등기구 대비 총광속은 등기구에 따라 8~13 [%] 상승시키면서 소비전력은 44~51 [%] 절감할 수 있다.

- ③ EMI로 인하여 기존 형광등기구는 자기식 안정기를 사용하므로 이에 대한 문제가 없었다. 그러나 LED는 직류전류 구동소자로 교류전원 사용시 정류(rectifier)와 전류 제한(current limit)이 필요하며 고효율 저손실을 위한 스위칭 변조 전원장치(converter)가 사용된다. 이러한 전원장치는 주파수 변조와 전류 스위칭으로 EMI가 발생하므로 MIL-STD-461F를 만족하도록 설계하여야 한다.
- ④ 에너지 절감효과와 수명에 직결되는 광속유지율은 KSC 7653에 정의된 바와 같이 정격전압에서 2,000시간 사용 후 초기광속(100시간 에이징후 측정된 값)의 90 [%]을 유지해야 한다.
- ⑤ 조명기구의 빔각은 피조면에서 조도의 균일도(uniformity of illumination)에 영향을 주며, 기존 형광등기구와 마찬가지로 115 [°] 이상이 되어야 LED 조명기구 설치 시 피조면 조도의 향상 뿐만 아니라 명암의 차이도 최소화할 수 있다.
- ⑥ 회로구성에 있어서는 기존 등기구에서와 마찬가지로 2등용 또는 3등용 회로가 각각 구분되어야 어느 1개 형광등이 수명을 다해도 나머지 형광등으로 최소 조도를 확보할 수 있다.
- ⑦ 기타 안전 및 성능요구사항에 대해서는 기존 KDS 및 KS를 따른다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 합정용 노출·방수형 형광등기구를 LED 조명기구로 대체하기 위한 설계방안을 제시하였다.

기존 형광등기구의 광학적 특성, 합정의 설치 및 운항 환경과 시제작 조명기구의 성능을 고려하여 제안한 합정용 노출·방수형 LED 조명기구의 설계 방안은, 기존 형광등기구 대비 총광속은 8~13 [%] 상승시키면서 소비전력을 44-51 [%]로 절감할 수 있는 조건이다. 기타 안전 및 성능 요구사항에 대해서는 KS, KDS 및 MIL-Std에 기초하고 추가적으로 전자과장해의 요구사항을 만족시키면 된다.

## 후 기

본 연구는 2010년 민·군겸용기술사업과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1121-0015).

## 참고문헌

[1] 이정호, 남기봉, 고재현, 김중현, “엣지형 LED 백라이트의 균일도 향상을 위한 도광판의 광구조 최적화”, 한국광학회지, 제21권, 제2호, pp. 61-68, 2010.

[2] 김병수, 홍원표, “LED램프를 적용한 사무소 건물의 실내조명환경 및 에너지 성능분석”, 한국조명·전기설비학회 논문지, 제24권, 제5호, pp. 77-85, 2010.

[3] 이장원, 임지원, “LED를 이용한 식물 성장 연구”, 2011년도 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp. 121-124, 2010.

[4] 차상욱, 김선재, 장운용, 길경석, 최철영, “어패류 양식을 위한 LED 광시스템”, 2010년도 한국마린엔지니어링학회 공동학술대회 논문집, pp. 417-418, 2010.

[5] 문지혜, 이호재, 홍기태, “고출력 LED를 이용한 치과의료용 수술등의 최적설계”, 2009년도 춘계학술대회 논문집, pp. 403-404, 2009.

[6] 국방부, “합정탑재장비의 규격통일 및 민수장비의 통합방안 연구”, 2003.

[7] United States Department of Defense, MIL-DTL-16377/53C - Fixtures, Incandescent and Light Emitting Diode (LED), Detail Lighting, Lantern, Hand, Portable and Bulk-head Mounted Watertight Symbols 100.2, 100.2L, 100.3, 100.3L, 101.2, 101.2L, 101.3, 101.3L, 102.2, 102.2L, 108 and 108L, 2005.

[8] 지식경제부 기술표준원, KS C 7651 - 컨버터 내장형 LED 램프의 안전 및 성능 요구사항, 2010.

[9] 지식경제부 기술표준원, KS C 7652 - 컨버터 외장형 LED 램프의 안전 및 성능 요구사항, 2010.

[10] 지식경제부 기술표준원, KS C 7653 - 매입형 및 고정형 LED 등기구의 안전 및 성능 요구사항, 2010.

[11] 방위사업청 표준관리부, KDC 6210-R4005 - 선박용 형광등, 2006.

[12] Ronald N.Helms, Illumination Engineering, Prentice-Hall, Inc., 1980.

[13] United States Department of Defense, MIL-STD-461F - requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment, 2007.

[14] 지식경제부 기술표준원, KSC IEC 60092-306 - 선박용 전기설비-제 306부:기기-조명 및 부속품, 2007.

[15] United States Department of Defense, MIL-STD-1399(NAVY) Sec. 302 - interface standard for shipboard systems section 302 weather environment, 1988.

[16] 지식경제부 기술표준원, KSV 8017 - 선박용 전기기구의 외피의 보호형식 및 검사 통칙, 1985.

[17] United States Department of Defense, MIL-S-901D - military specification : shock tests, H. I. (high-impact) shipboard machinery, equipment, and systems, requirements for, 1989.

## 저 자 소 개



### 길경석(吉曠碩)

1984년 인하대학교 전기공학과 (공학사), 1987년 인하대학교 전기공학과(공학석사), 1996년 인하대학교 전기공학과(공학박사), 2003-2004년 영국 Cardiff 대학 방문교수, 1996년 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학부(교수), 2009년 - 현재 첨단마린조명연구소(소장). 관심

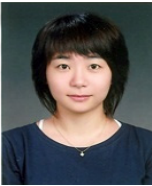
분야: 방전 · 고전압, 전력설비 진단기술, 전기철도, 해양 LED 조명



### 김일권(金一權)

1997년 한국해양대학교 전기공학과(공학사), 2001년 한국해양대학교 전기공학과(공학석사), 2004년 한국해양대학교 전기공학과(박사수료), 2002 - 2011년 (주)태양전자, 조명기술연구소, (주)케이디파워 중앙연구소(선임연구원). 관심분야

방전 · 고전압, 전력설비 진단기술, LED 조명



### 조향은(曹享恩)

2010년 한국해양대학교 기계시스템공학과 (공학사), 2010년 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학부(석사과정) 관심분야: 전력설비 진단기술, LED 조명



### 권혁상(權載閔)

2002년 대진대학교 통신공학과 (공학사), 2009년-현재 한국해양대학교 전기전자공학부(석사과정), 2002 - 2004년 EURO E&S(제품시험인증 사원), 2004 - 2008년 VDE Global Services Korea (제품시험인증 대리), 2008년 - 현재 한국조선해양기자재연구원(방폭안전 팀장). 관심분야: 방폭안전,

LED 조명, 선박용 전자장비



### 조흥기(趙興紀)

1985년 숭실대학교 전기공학과 (공학사), 1990년 숭실대학교 전기공학과(공학석사), 2003년 숭실대학교 전기공학과(공학박사), 1990년 - 현재 국방기술품질원(책임연구원), 관심분야: 전력전자, 에너지저장, 합정전투체계