

중 · 소형 해상용 등명기 대체용 LED 광원 설계에 대한 연구

(A Study on the Lighting Component of Marine Lattern using Light Emitting Diodes)

정학근* · 정봉만 · 한수빈 · 박석인 · 김 훈

(Hak-Geun Jeong · Bong-Man Jung · Soo-Bin Han · Suk-In Park · Hoon Kim)

요 약

반도체 광원(LED 소자)을 이용한 새로운 해상용 등명기의 경우 기존의 해상용 등명기와는 발광 원리 및 발광 방식이 다르며, LED는 반도체 소자로서 외기 환경(온도)의 변화에 따른 그 특성이 변화하는 문제점을 내포하고 있어, 본 논문에서는 우리나라의 계절적 변화에 적응되고, 해양 환경 특성에 적합한 LED 등명기를 개발하여 현재 사용중인 등명기의 문제점을 해소하고 품질 개선, 시인효과 및 신뢰성 향상으로 이용자에게 양질의 서비스를 제공하고 선박의 안전운항에 기여하고자 하였다. 이를 위하여 기존 전구식 등명기의 기술기준, 고휘도 LED 광원을 이용한 고휘도 등명기 광원 설계, 및 고휘도 LED 등명기의 실효광도 및 색도의 측정 분석시험에 대해 연구를 수행하였다.

Abstract

The advantages of LED(Light Emitting Diode) are low electric power consumption, long life time and excellent visibility. In order to design and develop the marine lantern using LED, technical trends and standards about the marine lantern were analyzed, and sample products were manufactured and evaluated in comparing with existing marine lantern. The performance of developed LED lantern is better than that of the existing marine lantern using an incandescent lamp. The electric power consumption of our products is 30[%] and the luminous intensity is two or four times brighter than existing marine lantern.

Key Words : LED(Light Emitting Diode), Marine lantern, Lens

1. 서 론

해상에서 선박의 안전한 항해를 위해서는 주기적으로 선박의 위치를 확인할 필요가 있다. 이를 위해 선박의 교통량이 많은 곳에서는 선박의 운항을 돕기

위한 인공적인 시설을 필요로 하게 되며, 이러한 목적을 달성하기 위하여 설치된 시설이 항로표지이다. 항로표지에 있어서, 특히 해상의 등부표에 장착된 등명기는 그 현지의 운영 환경이 무인으로 운영되고 지리학적 요인으로 관리가 용이하지 않기 때문에 전원의 안정적인 공급 및 정기적인 유지보수가 가장 큰 문제점으로 대두되어 있다. 또한 현재 등명기의 광원으로 사용되고 있는 필라멘트식의 광원은 전원의 비효율적 사용으로 인해 잦은 전원부의 정기 점검과 보수를 요하고 있으며, 또한 축전지의 내구년한 단축은

* 주저자 : 한국에너지기술연구원 전기조명연구센터
Tel : 042-860-3127, Fax : 042-860-3102
E-mail : hgjeong@kier.re.kr
접수일자 : 2004년 11월 16일
1차심사 : 2004년 11월 18일
심사완료 : 2005년 10월 21일

로 관리자 측에서는 잦은 점검을 요하고 있다[1,2].

20세기 말 반도체 기술의 급진장으로 실용화되고 있는 고휘도 LED 광원의 경우 백열전구에 비해 유리나 필라멘트를 사용하지 않아 충격에 매우 견고하고, 저소비 전력으로 동일한 광도를 출력하는 높은 유효 발광효율, 수십 배 이상의 장수명과 양호한 충격, 진동 및 점소등 특성 등으로 해상용 등명기의 대체 광원으로 매우 혁신적인 기술이라 할 수 있다. PCB 기판에 다수의 고휘도 LED(반도체 발광 다이오드, Light Emitting Diode)와 구동회로로 구성되는 해상용 등명기는 특정 파장대의 단색광을 발광하므로 착색렌즈 사용에 따른 빛 손실이 없고, 저전력 소모로 태양전지 및 축전지의 소용량화로 제작 비용의 절감은 물론 장수명으로 인해 유지보수비용의 절감 등 그 효과는 상당할 것으로 기대된다.

따라서 본 논문에서는 해상용 등명기 중 렌즈의 구경이 250[mm] 이하의 중·소형 해상용 등명기를 대체하기 위한 고광도 LED 등명기의 광원부의 설계, 제작 및 성능시험을 수행하였다.

2. 국내 등명기의 현황 및 기술 기준

2.1 국내 등명기의 보급현황

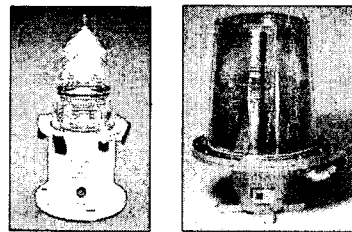
현재 우리나라 항로표지 기수는 2002년 1월 현재 국유·사설을 포함한 2,130기가 운영되고 있으며 해양수산산업의 발전과 더불어 연평균 5.7[%]의 증가 추세로 2002년부터 2010년까지 650기의 광과 표지가 증설될 것으로 예상되고 있다. 현재의 광과표지용 등명기 사용실태를 표 1을 통해 국내 등명기 설치 현황을 살펴보면, 소형 등명기가 90[%], 중형 등명기가 7.7[%], 대형 등명기 및 기타가 3.3[%]를 점유하고 있다.

따라서 본 논문에서 개발되는 LED 등명기는 국내에서 사용되고 있는 등명기중 입력전압 12[V], 입력전류 2.03[A]의 백열전구를 사용하고 있는 155[mm], 200[mm] 그리고 250[mm] 등명기를 대체하고자 한다.

그림 1은 현재 국내에서 사용되고 있는 등명기 중 광원과 본 논문에서 LED 등명기로 대체하고자 하는 렌즈와의 초점거리에 따라 분류되고 있는 200[mm], 250[mm] 등명기의 모습이다.

표 1. 국내의 국유시설 등명기 설치 현황
Table 1. The number of marine lantern

구분	기수	등명기 규격				
		계	대형	중형	소형	기타
계	1,789	2,713	49	209	2,436	19
유인등대	49	49	49			
무인등대	688	688		209	479	
등표	176	176			176	
도등	7	7				7
조사등	5	5				5
지향등	7	7				7
등주	11	11			11	
등부표	796	796			796	
교량등	50	974			974	



(a) 200[mm] 등명기, (b) 250[mm] 등명기

그림 1. 200[mm] 및 250[mm] 등명기의 사진
Fig. 1. 200[mm] & 250[mm] Marine Lantern

2.2 등명기의 기술기준

해상에서 항해자는 신호를 쉽게 인지해야 하므로 기능적인 측면에서 중요한 요소는 빛의 강도와 색의 종류이다. 등명기에 있어서 빛의 강도는 광달거리로, 빛의 색은 색도기준을 통하여 규정되고 있다[3,4].

등화 표지로부터 빛이 도달하는 최대거리라는 관점에서 항로표지의 용어로는 “광달거리”라고 말하지만, 결국은 항해자가 등광을 인식할 수 있는 최대 거리를 말한다. 표지의 빛은 어떤 거리만큼 떨어진 곳에서는 보이지 않게 되어 버리지만, 이것은 2개의 요인에 따른다. 하나는 광원은 충분히 밝은데 그 빛이 지표면에 의해 가려져 항해자의 눈에 들어가지 않게 되기 때문이고, 다른 하나는 빛이 발산이나 대기 중에서의 흡수, 산란에 의해 감소하여 항해자의 눈에 감지되지 않게 되어 버리기 때문이다. 그래서 이들을 구별하여 전자를 지리학적 광달거리, 후자를 광학적 광달거리라고 부르고 있다. 중소형 등명기에

있어서는 광학적 광달거리가 중요한 요소이다. 광달거리의 단위에는 해리(단위기호 : M 또는 n mile, nm=1,852[m])가 쓰이지만, 통상은 단지 "mile"이라고 말하는 일이 많다. 육상의 마일(1,609[m])과 혼동하지 않도록 유의하여야 한다.

현재 국내의 중·소형 등명기는 사용되는 전구의 종류(12[V]/1.15[A], 12[V]/2.03[A], 12[V]/3.05[A]) 및 착색렌즈의 종류에 따라 표 2와 같이 광달거리와 최대광도가 결정된다. 그리고 등명기는 적색, 황색, 녹색, 백색의 네 가지의 빛을 이용하여 각각의 신호를 구분하고 있다. 각각의 빛은 항해자가 서로 혼동되지 않도록 표 3의 색도 기준으로 규정하고 있다[3].

표 2. 평균수평광도 및 광달거리
Table 2. Horizontal luminous intensity & distance

전구 규격	평균 수평광도 및 광달거리							
	투명렌즈		적색렌즈		녹색렌즈		황색렌즈	
	광달 거리 (NM)	최대 광도 (cd)	광달 거리 (NM)	최대 광도 (cd)	광달 거리 (NM)	최대 광도 (cd)	광달 거리 (NM)	최대 광도 (cd)
12[V], 1.15[A]	6	180	4	54	4	54	5	122
12[V], 2.03[A]	7	360	5	108	5	108	6	244
12[V], 3.05[A]	8	500	6	150	6	150	7	340

표 3. 등명기의 색도기준
Table 3. Color standard for marine lantern

광 색	좌 표	1	2	3	4
적 색	X	0.710	0.700	0.670	0.680
	Y	0.290	0.290	0.320	0.320
황 색	X	0.585	0.581	0.555	0.560
	Y	0.415	0.411	0.435	0.440
녹 색	X	0.022	0.282	0.207	0.013
	Y	0.778	0.518	0.397	0.494
백 색	X	0.440	0.285	0.285	0.440
	Y	0.382	0.264	0.332	0.432

3. LED 등명기 광원부

3.1 LED 광원부 설계

LED를 이용한 해상용 등명기 광학모듈의 설계를 위해, 먼저 발광부와 렌즈사이의 거리가 매우 가까운 경우에는 LED 광원을 점광원으로 가정할 수 없

기 때문에 LED에서 발산하는 가상초점을 정하고, 렌즈 설계공식을 사용하여 렌즈를 설계한다. 다음 단계는 광학 해석 프로그램을 이용하여 사용하고자 하는 LED에 대한 모델링과 모의실험을 수행함으로써 렌즈 성능을 향상시키는 여러 가지 방법을 모색한다. 마지막 단계는 설계된 렌즈를 제작하여 성능 실험을 통해서 LED의 선정 여부를 결정한다. 같은 규격을 갖는 LED일지라도 제조사의 LED 마다 미소한 배광이나 광도의 차이가 있기 때문에, 설계된 렌즈의 곡률외에 다양한 곡률을 가진 렌즈 모델을 실제 제작하여 실험을 통하여 최종적으로 결정한다.

일정한 방향으로만 빛을 발산하는 LED에 대해서는 정해진 빔각을 가지고 어떤 가상초점에서 빛이 방사한다고 가정한다. 예를 들어 15도의 빔각을 갖는 LED의 가상초점은 그림 2와 결정하고, LED 형상에 대해서는 광해석 프로그램을 이용하여 그림 3과 같이 모델링을 수행하였다.

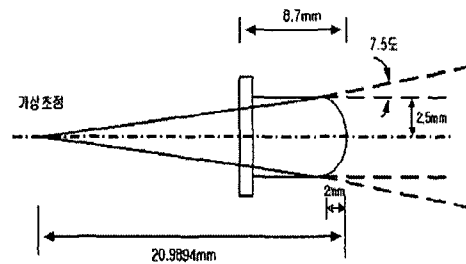
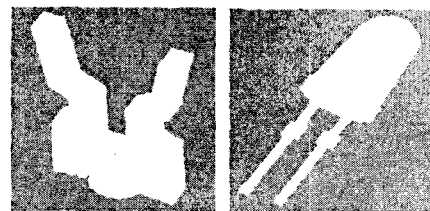


그림 2. 가상초점의 모델링
Fig. 2. Modeling of the virtual focal point



(a) LED Chip & Lead (b) Lens & Shape

그림 3. LED Chip 및 형상 모델링
Fig. 3. Modeling of LED chip & shape

LED 모델링의 정확성을 검증하기 위하여 레이 트래이싱(Ray Tracing)을 통하여 LED 배광분포에 대한 모의실험을 수행한 결과를 그림 4에 나타내었다. 가시

각 15도를 갖는 고휘도 LED에 대해서 수행한 결과로 그림 4에서 보면 축대칭으로 중심축(0도) 광도의 50[%]가 되는 지점이 7.5도를 나타내어, 대상으로 한 LED의 실제 배광특성과 잘 일치함을 볼 수 있었다.

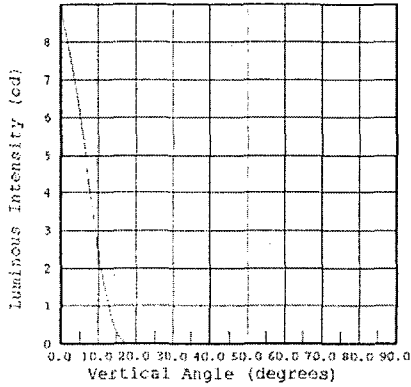


그림 4. 모델링을 통한 배광특성 해석
Fig. 4. Luminous intensity distribution analysis result of LED model

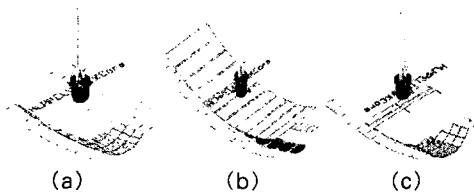


그림 5. 다양한 형태의 렌즈 형태
Fig. 5. Modeling of various lenses

등명기는 램프에서 발산되는 빛이 집광되어 가능한 한 멀리 전달될 수 있도록 해야되므로, LED에서 일정한 각으로 발산되는 빛을 집광하기 위하여 집광 렌즈의 설계가 필요하다. 집광 렌즈의 설계시 광원이 위치하는 초점거리에 따라 렌즈의 곡률이 변화하기 때문에 적당한 크기의 렌즈를 설계하기 위해 LED와 렌즈 사이와 LED 빔의 렌즈 유효높이를 잡고, 그림 5에서 보는 것과 같이 다양한 렌즈 형태를 설계하여 모델링된 LED를 이용하여 모의 실험을 수행하였다. 우선 그림 5의 (a)는 일반적인 형태의 렌즈 형상으로, 곡률 형태가 상하(렌즈의 높이)를 중심으로 렌즈를 설계가 되기 때문에 상하는 빔을 집중시킬 수 있지만 좌우는 빔을 집광할 수 없는 형태이다. 이를 보완하기 위해 그림 5 (b)의 반구 형태의 렌즈와 그림 4 (c)와 같이 렌즈의

안쪽면에 프리즘의 형태를 추가해 보았다.

각각의 렌즈 형태에 LED의 수량을 늘려가면서 모의실험을 수행하였고, 결과를 표 4에 정리하였다.

표 4. 렌즈형태에 따른 광도 Data 비교
Table 4. Luminous Intensity Comparison according to lens shapes

구 분	곡률 형태	반구 형태	Prism+곡률
LED 1개	22.2[cd]	48.3[cd]	45.9[cd]
LED 3개	51.8[cd]	56.8[cd]	69.3[cd]
LED 5개	66.2[cd]	-	70.5[cd]

렌즈에 LED 1개를 사용하였을 때의 광도를 보면 곡률 형태는 약 22.2[cd], 반구형태는 약 48.3[cd] 그리고 안쪽에 프리즘을 설계한 형상은 45.9[cd]의 광도를 보였다. 결과로 알 수 있듯이 곡률 형태보다는 다른 2개의 렌즈형태가 상하는 물로 좌우의 빔까지 집중시켜주기 때문에 2배정도의 빔 세기를 갖는 결과를 보였다. 그러나 이 결과는 단지 LED 1개를 사용했을 경우이다. LED를 3개를 사용하였을 때의 광도 결과를 보면 1개와 3개의 광도의 차이는 곡률 형태의 렌즈형상이 가장 크고, 다른 2개의 렌즈형상은 1.18배, 1.5배의 낮은 차이를 보였다. 이러한 결과는 곡률형태의 렌즈에서는 좌우로 퍼지는 빔으로 서로 영향을 주기 때문이고, 다른 두개 형태의 렌즈는 좌우로 퍼지는 빔이 없기 때문에 더 이상의 빛이 집광되지 않기 때문이다.

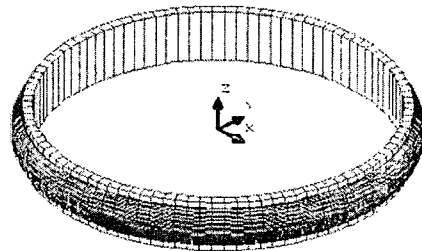


그림 6. 최종 결정된 렌즈 형태
Fig. 6. Lens shape for marine lantern

등명기는 바다의 한가운데 놓여져 수평면으로는 전방향으로 빛을 발산되어야 하는 특성과, 이러한 모의실험 결과를 바탕으로 렌즈는 수직면으로만 집광이 될 수 있는 그림 6과 같은 형태로 결정하였다.

3.2 시제품의 제작과 성능평가

LED 등명기의 광원부를 최적화하기 위해 전 절에서 결정된 렌즈에 적합한 다양한 LED를 선정하여 LED 광원부의 시제품을 제작하고, 그 성능을 평가하였다. LED 광원부 시제품은 현재 사용되는 등명기의 구조 및 형태를 기본으로 하여 LED의 장점을 고려하여 설계하고 제작하였다.

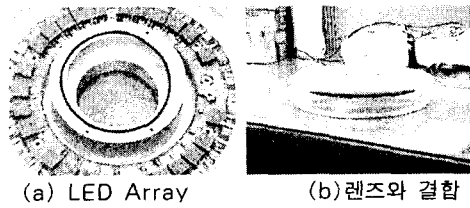


그림 7. 해상용 등명기의 LED 모듈
Fig. 7. LED module for marine lantern

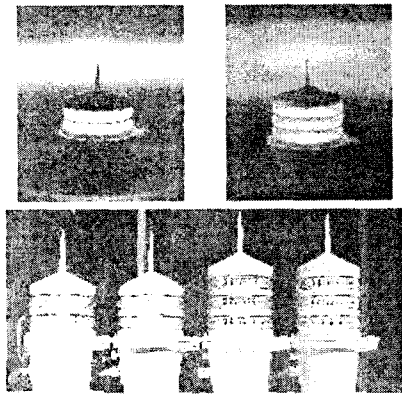


그림 8. 완성된 LED 등명기
Fig. 8. The LED marine lanterns

현재 중·소형 등명기에는 14[W](12[V], 1.15[A]), 24[W](12[V], 2.03[A]), 36[W](12[V], 3.05[A]) 소비전력의 램프가 사용되고 있는데, 이 중 가장 많이 사용되고 있는 24[W] 램프를 대체하기 위하여, LED 광원부의 모듈은 LED 전기적 특성을 고려하여, 한 모듈당 적색, 황색은 8[W], 녹색과 백색은 10[W]를 넘지 않는 조건으로 설계하였고, LED Array는 그림 7의 (a)에서 보는 것과 같이 다수의 LED를 방사형으로 배치하여 제작하였고, 전 절에서 설계된 렌즈를 제작하여 그림 7의 (b)와 같이 결합하였다. 그림

8은 완성된 LED 등명기의 모습으로, 소비전력 24[W] 이내로 적색, 황색은 3단으로, 백색과 녹색은 2단으로 제작된 모습이다.

제작된 등명기의 색도는 칼라리미터(PR650)를 이용하여 백색(투명색), 적색, 녹색, 황색의 4가지 색에 대해서 측정되었고, 수평방향의 모든 각도(360[°])에서 일정하게 보이며, 표 5의 좌표로 측정되었다. 그림 9는 등명기의 색도를 규정한 표 3의 허용범위에 측정된 색좌표를 표시한 것으로, 적합한 색도를 나타냄을 알 수 있다.

표 5. 등명기의 색도
Table 5. Color for marine lantern

좌 표	적색	녹색	황색	백색
X	0.705	0.593	0.581	0.297
Y	0.295	0.092	0.415	0.278

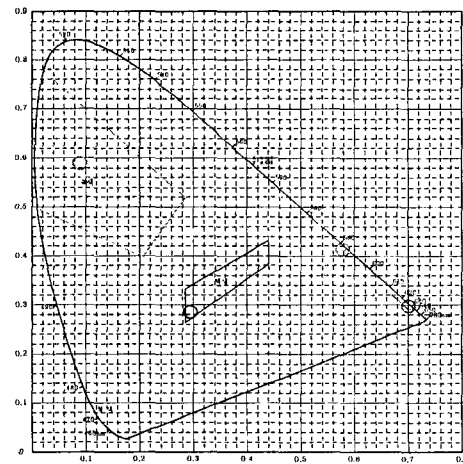


그림 9. 등명기의 색도
Fig. 9. Color for marine lantern

광학성능 중 배광 및 광도에 대한 성능은 배광측정기(Gonio-photometer)를 이용하여 수행하였다[4]. 각각의 시제품은 설계 사양과 일치하는 성능을 얻을 수 있었다. 75개의 LED를 사용한 LED 모듈 1개의 성능은 단일 모듈 기준으로 적색, 황색, 백색은 약 200[cd], 녹색은 약 370[cd]로 측정되었다. 그림 10은 등명기의 수평방향의 배광 곡선으로, 적색, 황색, 녹색은 각 색에 해당되는 등명기이고, 청색은 백색 등명기의 배광 곡선이다. 전 방향으로 빛이 균일함을

알 수 있다. 그림 11은 등명기의 수직 방향의 배광 곡선으로, 수직 방향으로의 빛은 잘 집광되어 최대광도의 50[%]가 되는 지점이 $\pm 4[^\circ]$ 이내임을 볼 수 있다.

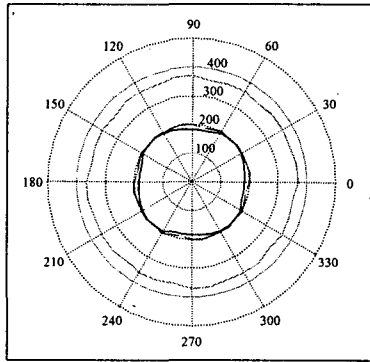


그림 10. LED 등명기의 수평 배광분포
Fig. 10. Horizontal luminous intensity distribution of LED marine lantern

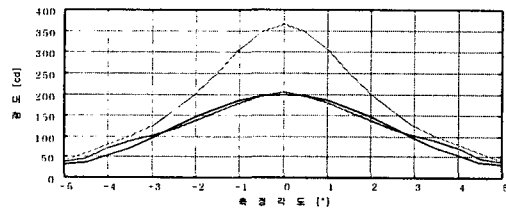


그림 11. LED 등명기의 수직 배광분포
Fig. 11. Vertical luminous intensity distribution of LED marine lantern

4. 결 론

표 6. 등명기의 성능 비교
Table 6. Comparison of LED & bulb type marine lantern

구 분	적 색	녹 색	황 색	백 색	
전 구 식	광 도[cd]	108	108	244	360
	소비전력[W]	24	24	24	24
L E D	광학성능[cd/W]	5	5	10	15
	광 도[cd]	200	370	200	200
E D	소비전력[W]	8	10	8	10
	광학성능[cd/W]	25	37	25	20

현재 사용되고 있는 등명기의 문제점 등을 해소하고 품질 개선, 시인효과 및 신뢰성 향상으로 이용자에게 양질의 서비스를 제공하고 선박의 안전운항에

기여할 수 있는 등명기용 LED 광학모듈을 개발하였다. 표 6에 개발된 해상용 LED 등명기 광학모듈 시제품과 현재 등명기에 사용되고 있는 전구와 성능을 비교하였다. 약 1/3(1/7~3/4)의 소비전력 사용으로 동일 광도를 낼 수 있었고, 같은 전력소비 규모의 LED 등명기를 제작할 경우는 그 밝기가 기존의 해상용 등명기에 비해 색상에 따라 약 1~6배의 광도를 얻을 수 있었다.

References

- [1] B. Jung, "Research and Development of LED Lantern", Final Report, 2002, 12.
- [2] H. Jeong, "LED Marine Lantern Technology" Energy Saving Technology Workshop, Vol. 18, pp575~pp580, 2003. 11.
- [3] IALA, "Recommendations for the colours of light signals on aids to navigation", MOMAF Standards, 1977. 12.
- [4] IALA, "Recommendations on the determination of the luminous intensity of a marine aid-to-navigation light", MOMAF Standards, 1977. 12.

◇ 저자소개 ◇

정학근 (鄭學勤)

1973년 10월 9일생. 1996년 전남대학교 전기공학과(학사). 1998년 광주과학기술원 기전공학과(석사). 현재 한국에너지기술연구원 연구원.

정동만 (鄭鳳晩)

1954년 12월 6일생. 1980년 연세대학교 전기공학과(학사). 1983년 충남대학교 전자공학과(석사). 1990년 충남대학교 전자공학과(박사). 현재 한국에너지기술연구원 책임연구원.

한수빈 (韓秀彬)

1958년 6월 9일생. 1977년 한양대학교 전자공학과(학사). 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사). 1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과(박사). 현재 한국에너지기술연구원 책임연구원.

박석인 (朴奭寅)

1974년 3월 27일생. 1997년 포항공과대학교 전기전자공학과(학사). 1999년 포항공과대학교 전기전자공학과(석사). 현재 한국에너지기술연구원 연구원.

김 훈 (鄭鳳晩)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과(학사). 1983년 서울대 공대 전기공학과(석사). 1988년 서울대 공대 전기공학과(박사). 현재 강원대 공대 전기전자공학부 교수.