

선박용 LED 등기구의 적용에 따른 경제성 분석

박서준¹ · 변성환² · 김선재³ · 박경수⁴ · 길경석[†]

(Received January 13, 2016 ; Revised April 4, 2016 ; Accepted April 14, 2016)

Economic analysis on the applications of shipboard LED luminaires

Seo-Jun Park¹ · Sung-Hwan Byeon² · Sun-Jae Kim³ · Kyoung-Soo Park⁴ · Gyung-Suk Kil[†]

요약: 본 논문에서는 실습선과 함정의 광원으로 80% 이상을 차지하는 백열등 및 형광등기구를 대체하기 위한 선박용 LED 등기구의 경제성 분석에 관하여 기술하였다. 소비전력, 초기투자비용, 유지비용 및 유류비에 대한 절감률을 분석하였고, 탄소배출량과 손익분기점을 산출하였다. 실습선의 초기투자비용은 3.8배 상승하였지만, 5년간 유지비용은 51% 절감되었다. 40%, 50% 및 60%의 점등률에 따른 손익분기점은 각각 11개월, 9개월 및 7개월로 산출하였다. 함정의 초기 투자비용은 3.5배 상승하였지만, 5년간 유지비용은 55% 절감되었다. 40%, 50% 및 60%의 점등률에 따른 손익분기점은 각각 15개월, 12개월 및 10개월로 산출하였다. 또한 실습선과 함정의 탄소배출량은 각각 69% 및 65% 절감되었다. 이러한 결과를 통하여 실습선과 함정에 LED 등기구를 적용한다면, 50% 이상의 유지비용 절감과 60% 이상의 소비전력, 유류비 절감 및 탄소배출량이 감소될 것으로 판단된다.

주제어: 경제성 분석, 선상, LED, 실습선, 함정

Abstract: This paper dealt with the economic analysis on the application of shipboard LED (Light Emitting Diode) luminaires to replace incandescent and fluorescent lamps, which account for over 80% of light source on a training or naval vessel. The rates of savings achieved in the power consumption, initial investment, maintenance cost, and fuel cost were analyzed. The break-even points and the CO₂ emissions were also calculated. For the training vessel, the initial investment was increased by 3.8 times, while the maintenance cost over five years was reduced by 51%. When 40%, 50%, and 60% of luminaires were turned on, the calculated break-even points were 11 months, 9 months, and 7 months, respectively. On the other hand, the initial investment was increased by 3.5 times while the maintenance cost over five years was saved by 55% for the naval vessel. The break-even points were calculated as 15 months, 12 months, and 10 months, respectively. Moreover, the CO₂ emissions of the training and the naval vessels were reduced by 69% and 65%, respectively.

From the results, it was revealed that the maintenance cost can be reduced by more than 50%, and that the power consumption, fuel cost, and CO₂ emissions can be reduced by more than 60% if LED luminaires are used on two types of vessels.

Keywords: Economic analysis, Shipboard, LED, Training vessel, Naval vessel

1. 서 론

고출력 고휘도 LED(Light Emitting Diode)는 조명용 광원으로 혁신적 결과물을 만들어내고 있으며, 기존 백열등과 형광등의 대체 광원으로 상용화가 활발하다[1]-[4]. 소비전력은 50%-90%의 절감이 가능하며, 수명도 백열등 대비 40배 이상, 형광등 대비 5배 이상 길어 경제성 측면에서도 큰 효과가 있다[5][6]. 이들 장점으로 육상은 물론 선박에서도 LED 조명

이 급속히 적용되고 있으나, 단순 교체에 불과하다.

선박에서는 백열램프(Incandescent lamp, IL), 할로겐 램프(Halogen lamp), 형광램프(Fluorescent lamp, FL), 메탈 할라이드 램프(Metal halide lamp, MHL), 고압나트륨 램프(High pressure sodium lamp, HPS) 및 제논 램프(Xenon lamp) 등의 광원을 사용한다. LED 등기구는 내진동 및 내충격성이 우수하여 특히, 선박에서 장수명이 보장된다[1]-[3][7]. 그러나 LED 등기구의 최적 설계와 적용을 위해서는 경제적 대체효

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1672-2812>): Department of Electronics Electrical and Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: kilgs@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4414

1 Department of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: hvpsj0318@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4893

2 Department of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: margaret2924@gmail.com, Tel: 051-410-4893

3 Department of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: hvlab@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4893

4 Department of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: kspark1357@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4893

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

과에 대한 분석이 요구되므로, 본 논문에서는 지금까지 해양 산업분야에서 한 번도 시도되지 않은 기존의 등기구를 LED 등기구로 대체 시 적용 효과를 정량적으로 제시하였다. 기존 선박 조명계통과 등기구의 특성을 분석하고, 상용화되어 있는 LED 등기구로 대체 시 초기 투자비용, 소비 전력량 및 연료 소비량 등을 분석하여 손익분기점을 찾아내고 동시에, CO₂ 배출량도 산출하였다.

2. 선박용 등기구

선박용 등기구는 환경적인 특성에 대한 KS V 8427, KS C 7653 및 KS C IEC 60598-1을 만족해야 한다. 또한, 실외 등기구는 IP 56을 만족하도록 방진, 방수 성능을 향상시켜 적용한다[8]. 선박용 등기구는 일반조명, 신호조명 및 특수조명으로 구분되고 이는 백열등기구, 형광등기구, 항해등, 신호등, 투광등 및 탐조등으로 용도에 따라 분류한다. 등기구의 분류를 Figure 1에 나타내었다.

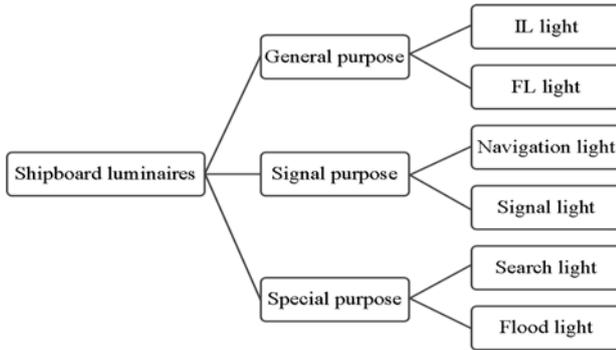


Figure 1: Classification of shipboard luminaires

광원 중 백열램프는 연색성이 100에 근접하지만, 15 lm/W 이하로 전 세계적으로 단계적인 퇴출이 시행되고 있다[9]. 국내에서는 2014년부터 생산과 수입이 전면 중단되었다. 백열램프의 수요가 많은 선박에서 이를 대체할 수 있는 LED를 이용한 조명개발이 진행 중이다[1][10].

3. 경제성 분석

선박 조명 부하 중 백열등 및 형광등기구가 차지하는 비중이 80%이상으로 매우 높기 때문에 이를 대상으로 경제성을 분석하였다. 형광등기구는 안정기 손실을 포함하므로 소비전력은 FL 40 W는 48 W와 FL 20 W는 26 W로 적용하였다. 선종은 실습선과 함정을 대상으로 비교하였다.

선박용 등기구의 부하설비분석과 초기투자비용, 운용비용인 유지비용 및 소비전력에 따른 유류비를 산출하였다. 등기구 점등률은 40%, 50% 및 60%로 구분하였다. 선박용 발전기 연료는 병커C유가 사용되므로, 유류비는 변환 효율 4.3 kWh/l 를 기준으로 한국석유공사에서 2015년 7월 기준으로 제시한 세전가격 521원을 적용하였다.

대체 광원 및 등기구는 백열등 및 형광등기구의 광학적 성

능을 만족하는 LED 등기구만으로 하였으며, 등기구별 광속은 Table 1과 같다.

Table 1: Luminous flux by luminaires

Light source	Luminous flux[lm]	LED	Luminous flux[lm]
IL 60 W	700	8 W	785
FL 26 W × 2	1,840	10 W × 2	1,850
FL 48 W × 2	3,600	20 W × 2	3,735

기존 등기구 대비 높은 광속을 나타내며, 백열등기구 및 형광등기구는 빛이 전반 확산하므로 반사각을 적용하여 광효율을 높인다. 그러나 LED 등기구는 직하 광원으로 모든 빛을 필요한 영역에 조사할 수 있다.

3.1 실습선

3.1.1 조명부하 분석

실습선은 Bridge, Boat deck, Shelter deck, Main deck, 2ND deck 및 Engine room으로 나누어지며, 각 구역의 실내·외 조명으로 백열등기구 및 형광등기구가 배치되어 사용한다. 이러한 실습선의 구역별 기존 등기구의 종류 및 수량을 바탕으로 소비전력을 산출하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2: Types of luminaires by area

Area	Light source	Quantity[ea]	Total power consumption[W]
Navigation & Training bridge	IL 60 W	8	480
	IL 20 W	2	40
Boat deck	IL 60 W	43	2,580
Shelter deck aft	IL 60 W	46	2,760
Main deck	IL 60 W	83	4,980
	IL 40 W	2	80
2ND deck	IL 60 W	46	2,760
Engine room	IL 60 W	17	1,020
Navigation & Training bridge	FL 48 W×2	7	672
	FL 26 W×2	11	572
Boat deck	FL 48 W×2	14	1,344
	FL 26 W×1	3	78
	FL 26 W×2	17	884
Shelter deck aft	FL 48 W×2	32	3,072
	FL 26 W×1	16	416
	FL 26 W×2	34	1,768
Main deck	FL 48 W×2	51	4,896
	FL 26 W×1	101	2,626
	FL 26 W×2	56	2,912
2ND deck	FL 48 W×1	2	96
	FL 48 W×2	27	2,592
	FL 26 W×1	32	832
Engine room	FL 26 W×2	14	728
	FL 48 W×2	13	1,248
	FL 26 W×1	4	104
Engine room	FL 26 W×2	82	4,264
	Total	763	43,804

비율적으로 소비전력이 증가하므로 실습선의 전 구역 대신 기존 등기구의 적용이 많은 Main deck구역을 선정하였고, 기존 광원에 광학적 성능을 만족하는 LED 등기구를 동일한

수량으로 대체 한 결과를 **Table 3**에 나타내었다. 이 때, 20 W, 40 W 및 60 W의 백열등기구를 8 W LED 등기구로 대체하고, 48 W를 20 W로, 26 W를 10 W로 각각 형광등기구에서 LED 등기구로 대체하였다.

Main deck 구역에서 기존 등기구 및 LED 등기구의 소비전력은 각 15,414 W 및 4,834 W로 산출되었다.

Table 3: Types of LED luminaires on main deck

Area	LED	Quantity[ea]	Total power consumption[W]
Main deck	8 W	83	664
	10 W×1	101	1,010
	10 W×2	56	1,120
	20 W×2	51	2,040
Total		291	4,834

3.1.2 초기투자비용

실습선의 등기구 종류별 가격을 바탕으로 기존 등기구와 LED 등기구의 단가와 초기투자비용을 각각 **Table 4** 와 **5**에 나타내었다.

기존 등기구 및 LED 등기구의 초기투자비용은 각 3,618천원 및 13,747천원이며, 10,129천원 증가하였다.

Table 4: Initial investment cost of IL and FL luminaires

Light source	Quantity[ea]	Unit cost[₩]	Cost[₩]
IL 60 W	243	1,000	243,000
IL 40 W	2	600	1,200
IL 20 W	2	300	600
FL 26 W×1	156	5,200	811,200
FL 26 W×2	214	6,400	1,369,600
FL 48 W×1	2	6,000	12,000
FL 48 W×2	144	8,200	1,180,800
Total			3,618,400

Table 5: Initial investment cost of LED luminaires

LED	Quantity[ea]	Unit cost[₩]	Cost[₩]
8 W	247	8,500	2,099,500
10 W	156	12,000	1,872,000
10 W×2	214	24,000	5,136,000
20 W×1	2	16,000	32,000
20 W×2	144	32,000	4,608,000
Total			13,747,500

3.1.3 운용비용

실습선을 연간 24시간을 지속 운용 했을 시, 기존 등기구와 LED 등기구의 수명 및 단가에 따라 5년간 유지비용을 **Table 6** 과 **7**에 나타내었다.

Table 6: Replacement cost of IL and FL luminaires

Turn-on ratio[%]	Replacement cost[k₩]
40	11,377
50	13,363
60	16,142

Table 7: Replacement cost of LED luminaires

Turn-on ratio[%]	Replacement cost[k₩]
40	5,499
50	6,873
60	8,248

실습선을 5년간 운용했을 시, 등기구 유지비용의 차액은 점등률에 따라 5,878천원, 6,490천원 및 7,894천원이다. 365일 24시간 기준으로 발전기를 운용 할 경우, 연간 유류비는 **Table 8**과 같다.

Table 8: Annual fuel consumption

Turn-on ratio[%]	Luminaires	Power consumption[kWh]	Fuel consumption[ℓ]	Fuel cost[k₩]
40	IL&FL	153,489	35,695	18,597
	LED	47,962	11,154	5,811
50	IL&FL	191,861	44,619	23,246
	LED	59,953	13,942	7,263
60	IL&FL	230,233	53,542	27,895
	LED	71,943	16,731	8,716

점등률에 따라 연간 유류비 차액이 12,786천원, 15,983천원 및 19,179천원으로 산출되었다. LED 등기구로 대체 하였을 시, 점등률을 고려하여 손익분기점을 산출하기 위해 미리 산출했던 초기투자비용과 점등률에 따른 유지비용 및 유류비를 합산하여 손익분기점을 **Figure 2**에 나타내었다.

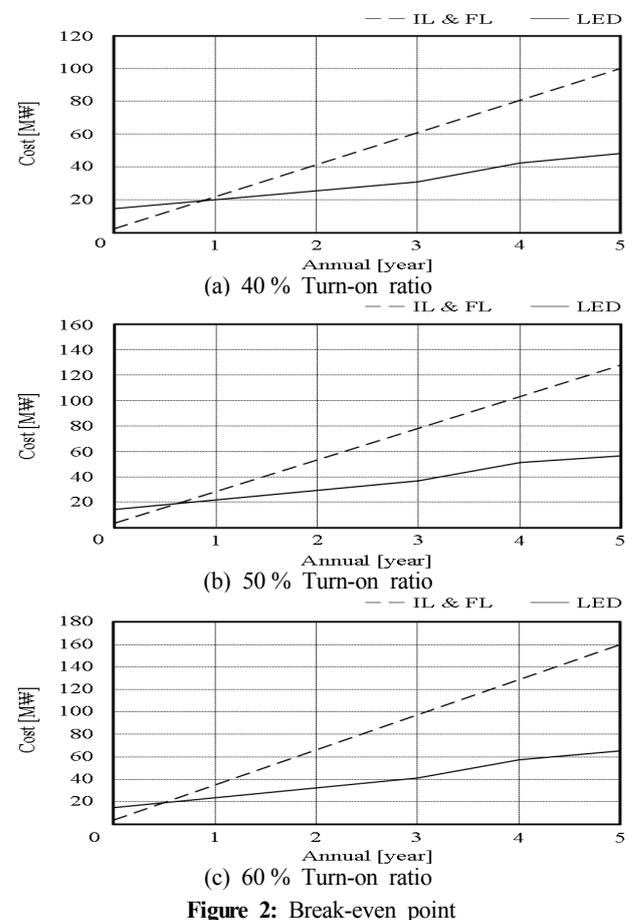


Figure 2: Break-even point

실습선의 손익분기점은 40%, 50% 및 60%의 점등률에 따라 각각 11개월, 9개월 및 7개월 후에 초기투자비용을 회수할 수 있다.

3.1.4 CO₂ 배출량

연간 탄소배출량을 산출하기 위해 병커C유의 특성은 석유 환산계수 0.936으로 원유와 가깝고 따라서 탄소배출계수도 0.875로 매우 높다. 한국에너지관리공단에 따르면 병커C유 리터당 0.003 tCO₂로 배출한다. 연간 병커C유의 소비량으로 탄소배출량을 환산하여 Table 9에 나타내었다.

Table 9: Annual CO₂ emissions

Turn-on ratio[%]	Luminaires	Fuel consumption[ℓ]	CO ₂ emissions[tCO ₂]
40	IL&FL	35,695	107.08
	LED	11,154	33.46
50	IL&FL	44,619	133.85
	LED	13,942	41.82
60	IL&FL	53,542	160.62
	LED	16,731	50.19

따라서 탄소배출량은 각각의 점등률에서 기존 등기구에 비해 연간 73.62 tCO₂, 92.03 tCO₂ 및 110.43 tCO₂로 감소하는 것으로 분석되었다.

3.2 함정

3.2.1 조명부하 분석

함정은 실습선과 달리 등화관제를 실시하므로 1개가 홍등인 3등용 형광등기구를 사용한다. 실습선과 비교하기 위해 기존 등기구와 LED 등기구의 부하를 Table 10 과 11에 나타내었다.

Table 10: Total power consumption by IL and FL luminaires

Types	Quantity[ea]	Total power consumption[W]
IL 60 W	143	8,580
FL 26 W×2	642	33,384
FL 26 W×3	417	32,526
Total	1,202	74,490

Table 11: Total power consumption by LED luminaires

LED	Quantity[ea]	Total power consumption[W]
8 W	143	1,144
10 W×2	642	12,840
10 W×3	417	12,510
Total	1,202	26,494

실습선과 동일한 방식으로 기존 등기구는 74,490 W이며, LED 등기구를 대체하면 총 26,494 W으로 산출되었다.

3.2.2 초기투자비용

등기구 종류별 가격으로 기존 등기구와 LED 등기구의 단가와 초기투자비용을 각각 Table 12 와 13에 나타내었다.

Table 12: Initial investment cost of IL and FL luminaires

Light source	Quantity[ea]	Unit cost[W]	Cost[W]
IL 60 W	143	1,000	143,000
FL 26 W×2	642	6,400	4108,800
FL 26 W×3	417	11,600	4,837,200
Total			9,089,000

Table 13: Initial investment cost of LED luminaires

LED	Quantity[ea]	Unit cost[W]	Cost[W]
8 W	143	8,500	1,215,500
10 W×2	642	24,000	15,408,000
10 W×3	417	36,000	15,012,000
Total			31,635,500

기존 등기구의 초기투자비용은 9,089천원이고, LED 등기구는 31,635천원이며, 22,546천원 증가하였다.

3.2.3 운용비용

등화관제로 야간에 홍등을 점등하므로 3등용 형광등기구는 일반 조명을 16시간 사용하며, 홍등을 8시간 사용한다. 연간 운용하였을 때, 3등용 형광등기구는 5,840시간, 홍등은 2,920시간을 점등하며, 나머지 조명은 8,760시간을 점등한다. 그리고 실습선과 동일한 방법으로 각 등기구의 5년간 교체 비용을 Table 14 와 15에 나타내었다.

Table 14: Replacement cost of IL and FL luminaires

Turn-on ratio[%]	Replacement cost[kW]
40	14,746
50	18,311
60	22,120

Table 15: Replacement cost of LED luminaires

Turn-on ratio[%]	Replacement cost[kW]
40	6,649
50	8,311
60	9,973

함정을 5년간 운용했을 시, 등기구 유지비용의 차액은 점등률에 따라 8,097천원, 10,000천원 및 12,147천원으로 산출되었다. 유류비는 실습선과 동일한 방법으로 산출하였으며, Table 16과 같다.

Table 16: Annual fuel consumption

Turn-on ratio[%]	Luminaires	Power consumption[kWh]	Fuel consumption[ℓ]	Fuel cost[kW]
40	IL&FL	210,359	48,920	25,487
	LED	73,352	17,058	8,887
50	IL&FL	262,949	61,151	31,859
	LED	91,691	21,323	11,109
60	IL&FL	315,538	73,381	38,231
	LED	110,029	25,588	13,331

LED 등기구로 대체하였을 시, 손익분기점을 산출하기 위해 미리 산출했던 초기투자비용 차액 22,546천원이며,

유류비의 차액은 점등률에 따라 연간 16,600천원, 20,750천원 및 24,900천원으로 산출되었다. 따라서 초기투자비용, 유지비용 및 유류비를 합산하여 손익분기점을 Figure 3에 나타내었다.

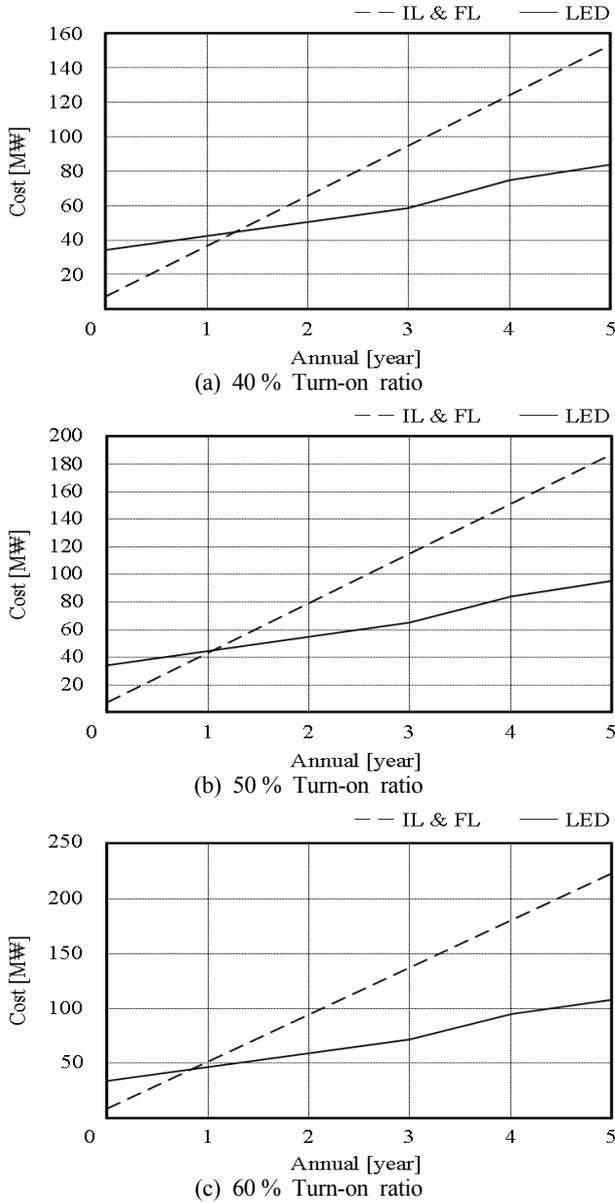


Figure 3: Break-even point

손익분기점은 40%, 50% 및 60%의 점등률에 따라 각각 15개월, 12개월 및 10개월 후에 초기투자비용을 회수한다.

3.2.4 CO₂ 배출량

함정의 연간 병커 C유의 소비량으로 탄소배출량을 Table 17에 나타내었다. 탄소배출량은 각각의 점등률에서 기존 등기구에 비해 연간 92.59 tCO₂, 119.78 tCO₂ 및 143.38 tCO₂로 감소하는 것으로 분석되었다.

Table 17: Annual CO₂ emissions

Turn-on ratio[%]	Luminaires	Fuel consumption[ℓ]	CO ₂ emissions[tCO ₂]
40	IL&FL	48,920	146.76
	LED	17,058	51.17
50	IL&FL	61,151	183.45
	LED	21,323	63.67
60	IL&FL	73,381	220.14
	LED	25,588	76.76

4. 결론

본 논문에서는 선박 조명의 80%를 차지하는 백열등 및 형광등을 LED광원으로 대체 시, 소비전력, 초기투자비용, 유지비용 및 유류비에 대한 절감률을 분석하여 손익분기점을 산출하였으며, 결과는 다음과 같다.

실습선의 소비전력 및 탄소배출량은 68% 감소하였으며, 초기투자비용은 3.8배 증가되었다. 유지비용은 5년동안 51% 절감되었고, 손익분기점은 40%, 50% 및 60%의 점등률에 따라 11개월, 9개월 및 7개월로 분석되었다.

함정의 소비전력 및 탄소배출량은 65% 감소하였으며, 초기투자비용은 3.5배 증가되었다. 유지비용은 5년동안 55% 절감되었고, 손익분기점은 40%, 50% 및 60%의 점등률에 따라 15개월, 12개월 및 10개월로 분석하였다. 따라서 점등률이 높을수록 단기간에 초기투자비용을 회수하며, 장기간 운용할수록 경제적 효과가 크게 나타난다. 한편, 등기구의 수량이 많은 함정에서는 초기투자비용이 높지만, 유지비용의 절감효과가 더 큰 것으로 나타났다. 백열등기구의 비율이 높은 실습선에서 손익분기점은 빨라지며, 탄소배출량은 더 감소하였다.

후기

본 연구는 미래창조과학부 및 한국연구재단 BK21플러스 사업의 지원으로 수행되었음.

References

- [1] N. W. Jang, "The recent trends of shipboard LED luminaires," Proceedings of the KIIEE, vol. 29, no. 1, pp. 9-13, 2015 (in Korean).
- [2] D. G. Nam, S. H. Lee, C. I. Jung, H. P. Yoon, and H. H. Jo, "Development trend of element technology for shipboard LED light production," Proceeding of the KSNRE Fall Conference, pp. 164, 2010 (in Korean).
- [3] H. E. Cho, S. J. Kim, H. K. Cha, G. S. Kil, and H. S. Kwon, "Analysis of vibration durability requirements for a shipboard LED luminaire," Proceeding of the KOSME Second Conference, pp. 409-410, 2010 (in Korean).
- [4] A. R. Lee, Y. M. Yu, I. S. Her, and J. K. Yeo, "The thermal design of high-power LED module for devel-

- opment of LED searchlight,” Proceeding of the 44th KIEE Summer Annual Conference, pp. 1441-1442, 2013 (in Korean).
- [5] S. J. Kim, S. J. Kim, H. J. Ha, G. S. Kil, and I. K. Kim, “Design and fabrication of a high power LED searchlight,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 6, pp. 737-743, 2014 (in Korean).
- [6] S. K. Choi, S. J. Kim, D. W. Park, G. S. Kil, C. Y. Choi, and S. B. Song, “Design and Fabrication of an Energy Saving LED-Fishing Lamp,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 4, pp. 515-521, 2010 (in Korean).
- [7] Y. S. Kim, J. S. Sim, and G. S. Lee, “The economical efficiency analysis of LED illuminator application at subway station,” Proceeding of the Korean Society for Railway Spring Conference, pp. 1868-1872, 2010 (in Korean).
- [8] G. S. Kil, I. K. Kim, H. E. Cho, H. S. Kwon, and H. G. Cho, “Design Guide of Surface and Watertight LED Luminaires for Naval Vessels,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 35, no. 5, pp. 654-660, 2011 (in Korean).
- [9] S. H. Jhin, S. J. Seong, J. H. Kim, J. W. Jung, G. S. Cho, and S. Kim, “Comparative analysis of the LED A-19 lamp for suitable replacement of 60[W] light bulb,” Proceedings of the KIEE Annual Conference, pp. 105-108, 2012 (in Korean).
- [10] W. Y. Cheon, J. H. Kim, J. H. Kim, B. J. Gu, J. S. Jeon, and Y. C. Kim, “Research of demonstration for LED lighting in ship,” Proceedings of the KIEE Annual Conference, pp. 83-85, 2011 (in Korean).