

철도차량 조명 환경 연구

A Study on Railroad Vehicle Lighting Environment

강 옥 구[†] · 장 우 진^{*}
 (Og-Goo Kang · Woojin Jang)

Abstract - This paper investigates the lighting environment of railway system which are mainly used in KTX, Saemaul and Mugunghwa. When lighting used in KTX such as fluorescent lamp and incandescence is being replaced with LED lamp, illumination load of each railroad vehicle has been compared. The comparison result shows that the reduction of power consumption is 43.34% before and after the change. Also it has been performed the economic evaluation.

Key Words : Lighting energy, Lighting load, High efficiency luminaire, LED, Railroad vehicle, LED luminaire

1. 서 론

오늘날 에너지 산업전반에 걸쳐 유가급등에 따른 에너지 절약의 필요성이 증대되고 있으며 화석에너지를 이용한 발전에 따른 환경문제를 지적하고 이를 억제하기 위한 다양한 방안연구에 집중하고 있는 실정이다[1]. 최근 친환경에너지 개발 및 대체에너지 발굴에 못지않게 중요한 것이 우리 생활 속에서 기존에너지 사용량을 감소시킬 수 있는가 온 인류의 큰 관심사라 할 수 있다[2]. 철도와 대도시의 지하철이 우리나라의 육상 및 지하 수송수단의 주도적 역할을 하고 있다. 이러한 철도의 중요성을 고려하여 현재 운행되는 철도 중에서 KTX(산천, 폐제베), 새마을호, 무궁화호의 차량 조명 환경을 파악하고자 하였다. 이러한 차량의 현재 조명램프가 형광램프 및 백열램프를 사용하는 차량에 대하여는 기존과 동등이상의 조도를 유지 할 수 있는 LED램프로 교체 시 에너지 절감과 전기요금 감소에 따른 경제적 효과와 쾌적하고 효율적인 철도차량의 조명환경으로 개선하고자 하였다. 현재 대한민국에 운영되고 있는 철도 차량의 조명 환경을 조사 해보니 KTX인 산천은 LED조명으로 시설되어 있었으며, 무궁화호의 차량 내부 조명램프는 기존의 형광램프와 백열램프에서 LED 램프로 교체되어 운행되고 있었다. 또한 일부 미 교체된 차량에 대하여는 조만간 LED조명으로 전면 교체할 예정이었다.

새마을호는 운영을 중단하고 새로운 객차인 ITX로 교체 운행해가고 있는 실정이었다. 이러한 현실을 감안해 불 때

KTX(산천), 새마을호, 무궁화호의 조명환경개선에 따른 에너지 절감 및 전력요금의 절약에 대해 연구할 필요가 없게 되었다. 그러므로 조명 환경 개선이 필요한 철도차량은 KTX(폐제베)만이 해당 되었다. 본 논문에서는 KTX(폐제베)에 대한 현재의 조명환경을 조사하고 기존의 형광램프 및 백열램프를 LED조명으로 교체 시 소비전력과 전기요금 및 조명환경의 개선에 대하여 알아보하고자 한다.

2. KTX 차량의 조명 현황

2.1 조명 전원 설비

현재 운행되고 있는 KTX 차량조명에 대하여 사용전압과 주파수 및 전원구성방식을 조사하였다. 일반 조명의 경우는 AC 220V, 60Hz를 사용하였고, 국부조명에는 DC 24V가 사용되고 있다.

KTX의 전원 계통의 구성과 전압 방식은 그림 1과 같다.

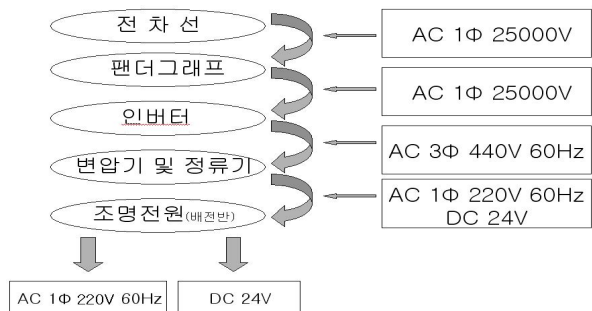


그림 1 KTX 전원계통과 전압 방식
 Fig. 1 power system and supply method of KTX

2.2 조명 전원 설비

KTX(폐제베)는 운행 시 객차 18량과 동력 2량으로써 총 20량의 객차 편성을 이루고 있다. 차량객실의 조명 현황에 대하여 KTX의 광원의 종류 및 용량과 설치 위치에 따라 객실 조명, 화장실 조명, 연결구간 조명, 기타 조명으로 구분

[†] Corresponding Author : Dept. of Rail Road Electrical and Signal Engineering, Graduate School of Rail Road Seoul National University of Science and Technology, Korea

E-mail : k-ok-koo@hanmail.net

^{*} Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea

접수일자 : 2014년 7월 31일

수정일자 : 2014년 8월 18일

최종완료 : 2014년 8월 20일

하여 정리 하였다. 또한 각 위치별 조명 환경의 현황을 사진으로 정리하여 제시 하였다.

2.2.1. 광원의 종류 및 용량

광원의 종류와 용량에 대하여 차량별로 각각 조사하였다. 표 1에 보이는 바와 같이 객실조명은 천정등 및 측면등과 독서등 으로서 천정등과 측면등은 형광램프를 사용하고 독서등은 백열램프를 사용하고 있다. 또한 형광램프용 안정기는 자기식으로서 40[W]용을 사용하며 20[W] 램프는 두개당 하나의 40[W] 안정기를 사용함을 알 수 있다.

표 1 객실 조명

Table 1 The Illumination for passenger room

차량 번호	수 량				
	천정등		측면등		독서등
	형광램프 40[W]	자기식 안정기 40[W]	형광램프 20[W]	자기식 안정기 40[W]	
1	20	20	36	18	56
2	18	18	32	16	26
3	22	22	40	20	35
4	20	20	36	18	32
5	22	22	40	20	35
6	20	20	36	18	56
7	22	22	40	20	60
8	20	20	36	18	56
9	22	22	40	20	60
10	22	22	40	20	60
11	20	20	36	18	56
12	22	22	40	20	60
13	20	20	36	18	56
14	22	22	40	20	60
15	20	20	36	18	56
16	22	22	40	20	60
17	20	20	36	18	56
18	20	20	36	18	56
동력1			16	8	1
동력2			16	8	1
계	374	374	708	354	938

표 2에는 연결구간의 조명 사용 실태를 나타내었다. 연결 구간 조명은 승강대 천정등과 복도등이 20[W] 형광램프를 사용하며, 안정기는 40[W] 자기식 안정기를 사용하여 20[W] 램프 두개당 1개의 안정기를 사용하고 있다.

화장실과 갱웨이, 공중전화부스의 조명을 조사해본 결과는 표 3에 정리하였다. 화장실은 20[W] 형광램프 두개당 40[W] 자기식 안정기를 사용하고 있으며 공중전화부스는 20[W] 형광 램프에 20[W] 자기식 안정기를 사용하였다. 또한 갱웨이는 10[W] 백열램프를 사용하고 있다.

기타조명으로는 열차 팀장실의 20[W] 형광램프에 20[W] 자기식 안정기 2개의 등이 있으며 운전실은 10[W] 형광램프와 10[W] 자기식 안정기로 구성된 4개의 등이 있다. 또한 전조등은 HID 램프 35[W] 6개가 있다.

2.2.2. 등기구 형태 및 조명 환경 조사

1) KTX 차량 조명환경

그림 2는 객실 측면등으로서 형광램프 20[W]을 사용하고

표 2 연결구간 조명

Table 2 The lighting for connected sector of the passenger room

차량 번호	수 량			
	승강대 천정등		복도등	
	형광램프 20[W]	자기식 안정기 40[W]	형광램프 20[W]	자기식 안정기 40[W]
1	4	2	2	1
2	4	2	6	3
3	4	2	2	1
4	4	2	4	2
5	4	2	2	1
6	4	2	4	2
7	4	2	2	1
8	4	2	4	2
9	4	2	2	1
10	4	2	2	1
11	4	2	4	2
12	4	2	2	1
13	4	2	4	2
14	4	2	2	1
15	4	2	4	2
16	4	2	2	1
17	4	2	4	2
18	4	2	2	1
계	72	36	54	27

표 3 화장실 조명

Table 3 Toilet illumination of the train

차량 번호	수 량				
	화장실		갱웨이	공중전화 부스	
	형광램프 20[W]	자기식 안정기 40[W]	백열램프 10[W]	형광램프 20[W]	자기식 안정기 20[W]
1	2	1	1		
2	4	2	2	1	1
3			2		
4	4	2	2		
5			2	1	1
6	4	2	2		
7			2		
8	4	2	2	1	1
9			2		
10			2		
11	4	2	2	1	1
12			2		
13	4	2	2	1	1
14			2		
15	4	2	2	1	1
16			2		
17	4	2	2	1	1
18	2	1	1		
계	36	18	34	6	6

있다. 그림 3은 객실 천정등으로서 형광램프 40[W]을 간접 조명 방식으로 설치되어 있고 또한 그림 5는 객차간의 연결 구간으로 형광램프 20[W]을 사용한다. 그림 4는 화장실조명으로 형광램프 20[W]을 사용하고 있다.



그림 2 객실1
Fig. 2 Passenger room 1



그림 3 객실2
Fig. 3 Passenger room 2



그림 4 화장실
Fig. 4 Toilet of the train



그림 5 연결구간
Fig. 5 Connected sector of the passenger room

2.3 차량내부 조명등 위치

그림 6은 KTX차량 내부의 객실 전반 조명등 위치 및 국부조명등 위치를 표시하였고 피조면과 조명등의 거리를 실측한 결과는 표 4에 명기 하였다. 피조면으로는 차량객실의 중

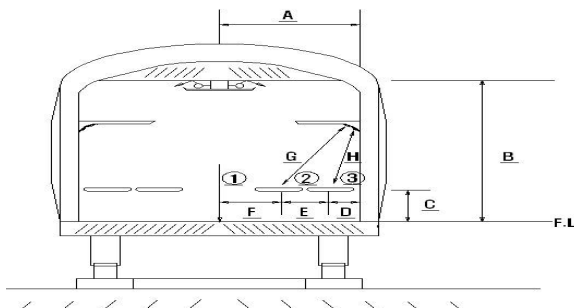


그림 6 차량 객실 조명등 위치도
Fig. 6 Lighting fixture location diagram of the passenger room

표 4 차량객실 조도측정 위치

Table 4 Test point for illumination measurement of the passenger room

기호	거리 [mm]	조도측정위치
A	1300	① 통로 중앙바닥 ② 내측 책받침 중앙 ③ 창측 책받침 중앙
B	2200	
C	620	
D	330	
E	500	
F	470	
G	1250	
H	1050	

양부분인 바닥과 내 측 및 창 측 책받침 중앙으로 정하였다.

2.4. 조명 제어방식

조명 시스템 제어는 기관사 제어, 운전 요원 및 유지보수 요원 제어, 승객 및 기타 제어로 구분해 볼 수 있다[3].

- 1) 기관사제어: 서비스실에서 스위치를 사용하여 열차의 전체 조명을 개별적으로 조정.
- 2) 운전요원 및 유지보수요원: 누름 버튼을 이용하여 각 객차의 내부 조명을 제어.
- 3) 승객 및 기타: 누름버튼은 각 좌석의 독서등을 제어.

2.5 개선 전 차량내부 조명 환경

차량내부 조도는 철도 수송 기관에서 적용하고 있는 KS A 3011:1998, 조도기준과 실제 야간 조도를 측정하여 비교 검토 하였다. 또한 기존 조명환경에 대해 개선 방안을 연구 하고자 했다.

2.5.1 기준조도(철도수송기관)

객실과 독서대, 식당, 화장실 등의 조도기준[4]는 KS A 3011: 1998, 조도기준에서 제시된 조도 범위의 최하 및 최상 조도를 제외한 중간 정도를 적용 조도로 산정하였다. 산정된 기준은 표 5와 같다.

표 5 산업표준 KS A 3011 조도기준

Table 5 The industry-standard illumination reference KS A 3011

위 치	조도분류	조도[lx]	적용조도[lx]
객차 연결 복도 승하차,좌석통로	C	15~20~30	20
독서	D	30~40~60	40
식당, 주방	E	60~100~150	100
일반 조명	C	15~20~30	20
화장실	D	30~40~60	40

2.5.2 실제측정 조도 (KTX)-야간

차량 내부 조명은 외부 주광이 없는 상태에서 조명에 의한 조도를 측정하여야 하기 때문에 조도 측정 시간을 일몰 후 외부가 완전히 어두워진 상태에서 조도를 측정하였다. 경부선의 동대구 → 대전구간에서 일반실을 대상으로 하여 측정하였고 측정된 조도는 표 6에 정리하였고 그림 7에서는 차량내의 위치에 따른 표 5의 기준조도와 표 6의 측정조도를 비교하여 분석한 결과 객실통로와 화장실을 제외한 모든 부분이 기준조도보다 높음을 알수있었다.

2.5.3. KTX 조도 산정

국부조명의 조도 산정은 전반조명이 있는 상태에서 국부 조명을 점등하여 조도 측정을 하였으므로 순수 국부 조명만의 측정이 불가능하여 다음 방식의 측정 조도에 의하여 산정하였다.

표 6 KTX 야간 조도 측정표

Table 6 Measurement table of night illumination for KTX

위 치	구분	조명 환경	측정 조도 [lx]	비 고
역정차시 좌석 책받침대 (커튼 무)	창측	조명	60	동대구역
	내측	조명	30	
정상시 좌석 책받침대 (커튼 무)	창측	조명	80	받침대 높이 : FL+620mm 창측(창으로부터) : 330mm 내측(창으로부터) : 830mm 광원 종류 : 국부조명(독서용) 백열전구 11.5[W]투광등 전반조명 (통로:FL40[W] 백색 및 주광색, 창측:FL20[W]주광색) 반간접 및 간접조명
	내측	조명	30	
독서시 좌석 책받침대 (커튼 유)	창측	조명	230	
	내측	조명	120	
통로	중앙 부분	조명	10	창측으로부터 통로중앙까지 : 1300[mm]
연결구간	승하차 승강로	조명	140	바닥기준 주광색 사용광원 : FL20[W]
화장실		조명	20	바닥기준 주광색 사용광원 : FL20[W]

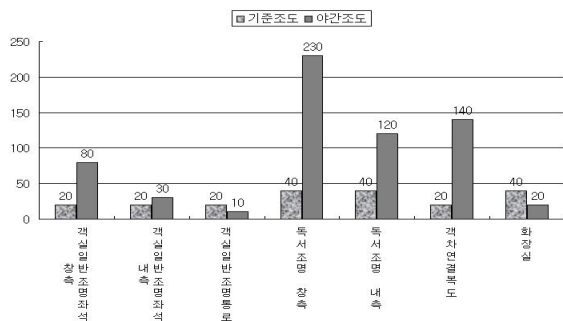


그림 7 기준 조도와 야간 조도의 비교

Fig. 7 Comparison between standard illumination and night illumination

$$\begin{aligned}
 &(\text{전반조명} + \text{국부조명})\text{조도} - (\text{전반조명})\text{조도} \\
 &= \text{국부조명의 조도} \\
 &120[\text{lx}] - 30[\text{lx}] = 90[\text{lx}]
 \end{aligned}$$

3. 조명환경 개선 방안 연구

KTX는 편당 객실차량 18량과 동력차량 2량으로 총 20량이 편성되어 운행되고 있다. 1회 운영 시 KTX 고속철도의 전체 조명 부하를 정리하였다.

3.1 기존 차량 1편당 전체 조명부하

형광램프 40[W]는 안정기 포함한 소비전력으로 48[W], 20[W]는 안정기 포함 24[W], 10[W]는 안정기포함 12[W] HID 35[W]는 안정기 포함 40[W]를 계산하였다. 또한 형광램프 20[W]용 안정기는 40[W]용 안정기에 20[W]램프를 2

개씩 연결하여 사용하고 있으므로 20[W]용 램프의 안정기는 형광램프 20[W]×2을 하여 40[W]용 안정기 1개씩 계산하였다. 기존 차량 1편당 전체 조명부하는 표 7과 같이 정리할 수 있다.

표 7 KTX 편당 조명부하

Table 7 Lighting load per train in KTX

광원의 종류	램프용량 [W]	적용부하 [W]	수량 [개]	소비전력 [W]
형광램프	40	48	374	17,952
	20	24	878	21,072
	10	12	4	48
백열램프	11.5	11.5	938	10,787
	10	10	34	340
전조등(HID)	35	40	6	240
계				50,439

3.2 기존 광원을 대체할 수 있는 LED램프

표 8과 같이 KTX에 사용하는 기존의 형광램프와 백열램프의 용량별 광속과 LED 램프의 용량별 광속을 비교하여 기존램프를 LED 램프로 교체 시 동등 이상의 조도를 유지할 수 있는 조명환경을 만들고자 하였다.

표 8 램프의 용량별 광속 비교

Table 8 Light flux comparison per lamp power capacity

종 류	용량 [W]	광속 [lm]	종 류	용량 [W]	광속 [lm]
형광램프	40	2470	LED직관 (컨버터외장형)	23	2507
	20	960		12	1022
	10	480	LED (컨버터내장형)	6	511
백열램프	10	80		1.5	127
	11.5	92			
HID램프	35				

LED 광속은 등기구 효율을 85.2 [lm/W]로 하였다[5]. (단, 소숫점 이하 절사) 형광램프의 광속은 등기구 광속을 적용하였다. 표 9에 의해 기존램프를 LED 램프로 교체 할 수 있는 것은 형광램프 40[W]를 LED 램프 직관형 23[W], 형광램프 20[W]를 LED램프 12[W], 형광램프 10[W]를 LED램프 6[W], 백열램프 10[W]와 11.5[W]를 LED램프 1.5[W]로 교체하고 HID 35[W]는 기준을 사용하는 것으로 한다.

3.3 LED램프로 교체 시 KTX 편당 조명부하

기존 광원을 LED램프로 교체 하였을때 LED램프의 용량과 각 차량에 1.8[kW] SMPS 1[EA] 씩 설치하여 총 20개의 1.8[kW] SMPS용량을 계산하였다. SMPS소비전력은 SMPS용량의 12%~15%인데 본 논문에서는 15%를 적용하였다.

개선 전과 개선 후의 전력소비량을 비교하면 개선전의 기존 조명부하는 50,439[W] 이었으나 LED 조명으로 개선 후 조명부하는 28,576[W] 이었다. 그러므로 개선 전에 비해 개선후의 조명부하의 소비전력은 56.66%로서 43.34%의 전력

표 9 KTX편당 개선 조명 부하

Table 9 Improved lighting load per train in KTX

광원의종류	램프용량[W]	수량(개)	소비전력[W]
LED (직관형)	23	374	8,602
	12	878	10,536
	6	480	2,880
	1.5	972	1,458
HID	35	6	210
계			23,686
SMPS	1,800×0.15=270	18	4,860
	500×0.15=15	2	30
합계			28,576

소모가 절감 된다.

3.4 사용 광원 개선에 따른 경제적 효과

사용 광원을 기존의 형광램프 및 백열램프에서 LED램프로 교체하였을 때 경제적 효과를 분석하였다.

1) 개선 전 소비전력에 따른 시간당 전기요금
 $50.439[\text{kW}] \times 80[\text{원/kWh}] = 4,035.12[\text{원/h}]$

2) 개선 후 소비전력에 따른 시간당전기요금
 $28.576[\text{kW}] \times 80[\text{원/kWh}] = 2,286.08[\text{원/h}]$

개선 전에 비해 전기요금은 차량 운행에 따른 시간당 전기요금이 1,749.04원 절약되었다. 개선 전·후를 비교하면 개선 전에 비해 43.34[%]의 전기요금을 절약할 수 있다.

4. 결 론

기존 철도 차량의 조명환경을 조사한 결과 KTX(떼제베) 차량만이 조명환경 개선 대상임을 알 수 있었다. 그러므로 본 논문에서는 KTX 차량에 대한 형광램프와 백열램프를 LED램프로 교체하고자 하였으며 이에 대한 차량별 기존 조명부하를 조사하여 기차1편당 총 부하로 정리하였다. 1편당 조명부하를 정리한 결과 개선 전 조명부하가 50.439[kW] 이며, 개선 후 조명부하가 28.576[kW]로 개선 전에 비해 43.34[%]의 소비전력이 감소됨을 알 수 있었다. 또한 경제성을 분석한 결과 개선 전에 차량1편당 운행에 있어서 1시간당 4,035.12원의 전기요금이 발생되었으나 조명을 LED램프로 교체 후 전기요금도 차량 1편당 운행 시 1시간에 2,286.08원의 전기요금이 발생됨을 알 수 있었다. 이를 경제적으로 볼 때 개선 전에 비해 43.34[%]의 전기요금이 절약됨을 알 수 있었다. 전체의 KTX 연간 운행시간을 정리하여 계산하면 크게 전기요금을 절약할 수 있을 것으로 사료된다. 여기서 연간 전체 절약금액은 정확한 운행시간을 산출하기 어려움이 있어 운행 시 1시간에 대한 전기요금 절약을 백분율로 정리하여 얼마의 비율로 절약되는지를 알고자 했다.

References

[1] Hansang Lee, Yoonsung cho *et al.*, "Study for Power Management System Using Regenerative Energy in Electric Railway Systems", The trans. of the KIEE, Vo1. 63, No1, pp191~196, 2014. 1.

[2] Og-goo Kang, and Woojin Jang, "Study on the police station building's Electrical capacity analysis and the lighting load", KIIEE Autumn Annual conference, pp. 9~11, 2012.

[3] Korea Railroad Corporation, Train Lighting Management Manual, 2006. 1.

[4] Korea Standards Association, illuminance standard, KS A 3011: 1998

[5] High-Efficiency Energy Equipment Certificates, Recessed type and Fixed type LED Lighting Fixture, Lighting Fixture efficiency 85.2[lm/W], Korea Energy Management Corporation, 2013. 5. 31.

저 자 소 개



강 옥 구 (姜 玉 求)

1957년 8월 10일생. 2003년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2005년 한양대학교 공학대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 박사과정. 1993년~현재 (주)하예성엔지니어링 대표이사.



장 우 진 (張 禹 鎭)

1956년 5월 13일생. 1979년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸(공학사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸(공학석사). 1989년 동대학원 박사과정 졸(공학박사). 현 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수