

# 고속전철용 전조등 설계에 관한 연구

## A study on the headlight design for high speed train

최권희\*      전성현\*      정병호\*\*      이병석\*\*\*      김국진\*\*\*  
Choi, Kweon-hee    Jeon, Sung-hyun    Jung, Byung-ho    Lee, Byung-seok    Kim, Kuk-jin

---

### ABSTRACT

In case the problem came into the headlight composed of a bulb, lens and reflecting mirror, it has a sealed-beam type which must exchange all and semi-sealed beam type which can exchange only bulb. The headlight of train must be used at the time of going into tunnel and atmospheric phenomena such as heavy snow, rain and foggy as a rule, also it can be used with whistle blow when the dangerous article appears. In this study, general technical specification to improve headlight of the KTX and G7 high speed train is described throughout investigation technique of the industrialized country and headlight specification of train which is on commercial service.

---

### 1. 서론

기관차에 처음으로 전등 시설을 한 것은 1919년이였다. 미국에서 구입한 터우형 기관차에 파인 내셔널사에서 제작한 C형 터빈발전기가 설치되어 차량용 전등으로 사용되었다. 이후, 1914년부터 신차에는 같은 형인 K2형 500W의 터빈발전기가 사용되었고, 1927년 이후에는 일본 천기조선소 제작의 T9형 터빈발전기를 채용하였다. 또한 전조등에는 백열전구 외에 아크등도 한때 사용했으나, 1921년 이후에는 250W 전구가 대부분 사용되었다<sup>1)</sup>.

전조등은 전구, 렌즈, 반사경 등으로 이루어져 문제가 생겼을 경우 통째로 교환해야 하는 실드빔(sealed beam)형식과 전구만을 교환할 수 있는 세미-실드빔(semi-sealed beam)형식이 있다. 세미-실드빔 형식은 장치의 후면에서 전구와 반사경을 교환할 수 있어 실드-빔 형식에 비해 경제적이다. 그러나 완전 밀폐가 되어있지 않기 때문에 미세 먼지가 침투할 수 있고, 습기가 발생하여 반사경에 오염을 가져온다는 단점 때문에 실드빔 형식이 철도차량분야에서 더 많이 사용되고 있다.

열차의 전조등은 터널진입시, 역진입시, 기상변화(폭설, 폭우, 안개) 등이 발생할 때 사용하는 것이 원칙이나 기관차에 따라 위험물이 발생할 때, 기적과 함께 전조등을 점등시키기도 한다. 열차의 전조등 설계기준 및 시험평가 방법은 UIC와 NF와 같은 철도차량 규격에 명시되어 있으나, 국내철도차량 규격에는 설계에 필요한 상세한 내용이 언급되어 있지 않아 산악과 터널이 많은 한국의 지형적 특성에 적합한 전조등을 설계하기 위해 고려해야할 내용이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전조등에 대해 선진국의 관련규격과 국내에서 운행 중인 열차의 전조등 사양을 조사하여 KTX 및 G7 고속전철의 전조등 개조에 필요한 일반적인 사양에 대해 기술된다.

---

\* (주)로템 중앙연구소 선임연구원

\*\* (주)로템 중앙연구소 책임연구원

\*\*\* (주)로템 중앙연구소 수석연구원

## 2. 본문

### 2.1. 전조등 기호체계 및 설치위치

열차는 야간이나, 터널진입시, 역진입시, 기상변화(폭설) 등이 발생할 때, 열차의 전·후방으로부터 열차의 진행방향을 확인할 수 있도록 전조등(headlight)과 후미등(taillight)을 갖추고 운행한다. 전조등은 백색의 표시등을 차량 중심면에 대해 대칭으로 설치하든지, 차량의 상부 중앙에 설치하여 교행, 플랫폼 진입시 차량의 앞쪽에서 점등을 확인할 수 있어야 하고, 비추는 방향을 하향으로 전환할 수 있어야 한다. 후미등은 적색등 혹은 적색의 반사판으로 차량 후방으로부터 점등 또는 반사를 확인할 수 있도록 설치한다.

표 1은 NF F 14-402에 규정된 전조등 및 후미등에 사용되는 기호를 나타낸 것이다. 백색 내부 고정 전기신호(LPRF 또는 LF)에는 조명 변경장치가 있으며, 단일 적색 조명체계(LFR)는 적색 스크린을 갖는 백색 조명신호로 구성될 수 있다. 전조등 및 후미등의 설치위치는 그림 1과 같이 레일상면으로부터 1500~1700mm이 되어야 하며, 가장 가까운 신호 사이의 최소 간격은 1300mm으로 규정되어 있다. 이러한 거리는 유선형 차량의 경우, 1000m까지도 축소될 수 있다. 또한 유럽과 같이 국제노선에서 운행되는 차량 정면에는 열차 길이 방향 축을 중심으로 상부에 정면신호(dipped headlight)가 추가 규정으로 제시되고 있다. 현재 경부고속전철(KTX)에 사용되는 정면신호는 레일상면으로부터 3457mm에 1개가 설치되어 있고, 최근에 개발된 G7 고속전철(한국), AGV(프랑스), 신칸센700계(일본), ICE3(독일) 등에는 전두부 형상을 고려하여 사용되지 않고 있다.

표 1 사용되는 고정 전기신호 및 전조등

종류	기능	기호
Headlight	LPRF	⊗ 또는 ⊙
Dipped headlight	LF	⊗ 또는 ⊙
Tail light	LFR	⊗ 또는 ⊙

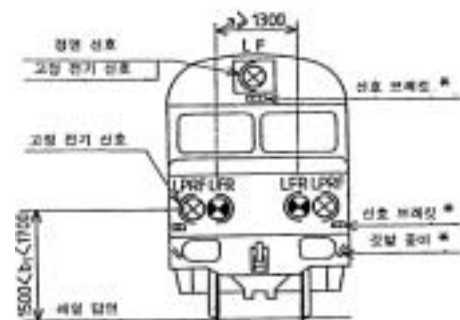


그림 1 전조등/후미등의 위치

### 2.2. 전조등의 종류 및 수명


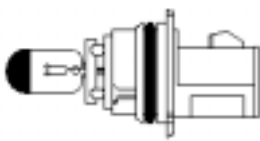

전조등은 전구, 렌즈, 반사경 등으로 이루어져 문제가 생겼을 경우 통째로 교환해야 하는 실드빔(sealed beam)형식과 전구만을 교환할 수 있는 세미-실드빔(semi-sealed beam)형식이 있다. 세미-실드빔 형식은 장치의 후면에서 전구와 반사경을 교환할 수 있어 실드-빔 형식에 비해 경제적이다. 뿐만 아니라, 할로젠(halogen) 전구를 사용시, 25lm/W에 이르는 높은 광속 효율을 갖고 있기 때문에 자동차분야에서는 이미 세미-실드빔 형식으로 나아가고 있다. 그러나 완전 밀폐가 되어있지 않기 때문에 미세 먼지가 침투할 수 있고, 습기가 발생하여 반사경에 오염을 가져온다는 단점이 있다. 표 2는 일반적으로 많이 사용되고 있는 전조등 종류 및 특성에 대한 비교표를 나타낸 것이다.

전조등의 전구는 소모품이므로 일정시간이 지나면 새것으로 교환해 줘야 하는데, 수명은 정격 전압으로 점등하고, 필라멘트가 끊어질 때까지의 시간을 측정 또, 이 시험의 점등 중, 20W이하의 전구에서 1400시간, 20W이상 초과하는 전구에서는 790시간에 달하였을 때 광속 유지율을 구한다. 또한, 미리 시험전압과 수명의 관계를 정하였을 경우에는 그 시험 전압에서 측정하여도 무방하다. 진공전구에는 정격전압의 130% 정도의 전압, 가스 주입 전구에서는 정격전압의 120%이다. 일반적으로 시험전압과 수명과의 관계를 정하였을 때, 정격전압에 대한 등가수명은  $L_1=L_2*(V_2/V_1)^n$ 으로 정해진다. 여기서,  $L_1$ 은 정격전압에서의 수명,  $L_2$ 는 과전압 시험전압에서의 수명,  $V_1$ 은 정격전압,  $V_2$ 는 과전압 시험시의 평균전압,  $n$ 은 진공전구에서 13, 가스주입전구에서 14이다<sup>5)</sup>.

JIS 7503(철도용 전구 실드빔, 100V, 150/50W 형)에 전조등의 정치수명은 1500시간으로 규정되어 있으며, 내구 시험전압 126V에서 90시간으로 정의되어 있다. 그러나 국내의 경우, 철도차량용 실드빔 규격 KSC 7507(철도 신호용)에는 수명이 규정되어 있지 않고, KSR 5020(자동차용 전조등 형 실드빔형 전구, 12V~24V)에는 최대 수명이 500시간, 최소가 150시간으로 규정되어 있다. 또한 실드빔형 전구에 대한 철도용품 표준규격(철도 2240-2145아 개정 2003.5.21)에 따르면, 100V, 150/50W의 정치수명은 1000시간으로만 규정되어 있다.

전구의 수명은 전압에 큰 영향을 받으며 전구의 성능에 중요한 요소로도 작용한다. 만일 전압이 규정전압보다 4% 높으면 전구의 수명은 40% 감소하고, 반대로 규정전압보다 4% 낮으면 이와 비슷하게 수명이 증가하게 된다. 만일 열차가 운행도중에 필라멘트가 끊어질 경우, 전조등의 경우는 이상 유무를 쉽게 발견할 수 있는데 반해, 후미등은 이상 유무를 확인하기 어렵기 때문에 별도의 고장검지 회로가 추가되어야 한다.

표 2 전조등 종류 및 특성

구 분	세미-실드빔(semi-sealed beam) 형식		실드빔(sealed beam) 형식
	백열 전구	할로겐 전구	
구조 주1)	 Type: B21d-4	 Type: halogen lamp	 Type: PAR 56
장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-연색성이 좋다.</li> <li>-점광원에 가깝고, 빛의 집광이 용이</li> <li>-연속 조광이 가능하다.</li> <li>-점등이 시간이 빠르다.</li> <li>-광속 저하가 적다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-25lm/W에 이르는 높은 광속 효율을 얻는다.</li> <li>-후화가 거의 일어나지 않아 일정한 광출력을 갖는다.</li> <li>-백열전구에 비해 수명 길다.</li> <li>-고온에 견디는 석영 유리를 사용하여 열 충격에 강하다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-전구, 렌즈, 반사경이 일체 형으로 견고하게 조립된다.</li> <li>-반사경이 더러워지지 않아 효율이 높다.</li> <li>-완전 밀폐되어 미세 먼지가 들어가지 않는다.</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-효율이 낮고 수명이 비교적 짧다.</li> <li>-열방사가 많고 이로 인한 열 손실이 많다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-열발생이 심해 탠손으로 전구를 만지기 어렵다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bulb 분리가 불가능하여 고장시 전체를 교환한다..</li> </ul>
수 명	1500~4000HR	3500~6000HR	500~1000HR
국내 적용열차	KTX(경부고속전철)	최근 자동차에서 적용	디젤동차/기관차, 전기기관차, 전동차(SMSC, 대구시, 인천시, SMRT 등), KTX 전조등 개조차량, G7 고속전철

주1) 세미-실드빔 형식의 외형구조는 실드빔 형식과 유사하지만, 전구를 분리할 수 있도록 되어 있음

### 2.3. 적용규격 비교

열차의 전조등은 적어도 244m(약 800 feet) 이상의 전방에 있는 사람을 기관사가 쉽게 인지할 수 있도록 초점이 조정되어 있어야 하며, 열차가 교행이나 플랫폼 진입시 상향빔과 하향빔을 전환할 수 있는 기능을 구비하고 있어야 한다. 뿐만 아니라, 차량 후방으로부터 전방열차의 상태를 검지할 수 있는 점등 또는 반사를 확인할 수 있어야 한다<sup>4)</sup>.

일반적으로 전조등의 기능은 오프기능, 양측 전조등(side-headlight)의 상향빔과 하향빔 전환기능, 상부 전조등(dipped headlight)의 상향빔과 하향빔 전환기능, 감광기능, 점멸기능 등을 가져야 하며, 배터리가 최대 충전시 광도(光度, luminous intensity)와 감광(dimmed light)시 광도를 규격에 명시하여야 한다<sup>7)</sup>.

표 3은 각국의 전조등 및 후미등 사양을 보인 것이고, 그림 2는 최신 고속전철의 전조등 유형을 각각 보인 것이다. 전조등의 사양에서 주목해야 하는 것은 양측 전조등의 설치위치를 레일상단으로부터의 거리와 전두부 중심축으로부터 최소 수평거리에 따라 초점 거리가 결정되므로 설계시 주의를 요한다. UIC 534 OR 규격에서는 레일상단으로부터 1.5~1.7m, 수평거리 1.3m 이하로 되어있고, G7 고속전철은 레일상단으로부터 약 2.3m이고, 수평거리는 1.46m이다.

표 3 각국의 전조등 및 후미등 사양

구 분	KTX(경부고속전철)	호주	영국	미국	EC	
관련규격	NF F 14402 기준	RCP 5102	RSG RT 2180	CFR Part 229.125	TSI 4.2.20	
전 조 등	수량	3개의 백색 전조등		2개 이상	전조등 2개 이상 보조등 2개	3개의 백색 전조등
	위치	레일상단: 1.68m 1개는 중앙부 상단 수평: 1.63m	레일상단 1m이상	레일상단: 1.4~1.75m 수평: 1.3m	레일상단: 0.9m이상 수평: 1.52m	레일상단:1.6~2.0m 1개는 중앙부 상단 수평: 최소 1m이상
	광도	12,000~18,000 cd	200,000 cd	90,000 cd	최소 200,000 cd	70,000 cd 이상
	인식거리		상향빔 450~500m 하향빔 240~250m		244m 이상	
	기타	독립된 회로차단기 ON/OFF 스위치 상하 전환기능 감광 및 점멸기능	독립된 회로차단기 ON/OFF 스위치 상하 전환기능	25초 이상 물체 확보 전조등 고장검지 및 기관사에게 통보	감광 및 점멸기능 포함	감광 및 점멸기능 포함
후 미 등	수량	2개의 적색 전조등		최소 2개 이상		2개의 적색 후미등 (최소 170mm 직경)
	위치	레일상단: 1.68m 수평: 1.63m		레일상단 1.4~1.75m 수평으로 1.3m	레일상단: 0.9m이상 수평: 1.52m	레일상단 1.6~2.0m
	광도	300~700 cd		최대 100~250 cd		
	인식거리			최소 400m 이상		
	점멸	분당 120번 이상		분당 120번 이상	최소40번, 최대180번	

광도 사양에 있어서, 국내 전동차는 40,000~50,000cd(실드빔 100V/165W, PAR 56), 전기기관차는 150,000cd(실드빔 110V/200W, PAR 46), 디젤기관차는 160,000cd(실드빔 30V/200W, PAR 56) 이상을 사용하고 있다. 또한 KTX에 사용되는 전조등은 프랑스 TGV와 동일하게 동력차당 50W 3개, 총 150W의 전구가 설치되어 있으며, 전구당 12,000~18,000cd의 광도를 가지고 있어 다른 규정에 비해 다소 어두운 감이 있다. 그러나 고속신선은 거의 직선 구간이고 차상신호방식에 의해 운전되며, 기존선에서는 600m~800m마다 신호기가 설치되어 있고, 이 신호기와 연동되어 운전실 제어대에도 동일한 신호가 현시되므로 전조등의 밝기는 안전운행에 큰 문제가 되지 않는 것으로 조사되었다. 다만, 열차가 고속신선에서 기존선으로 진입시, 기존차량의 전조등에 익숙해져 있는 기관사를 위해 기존차량과 동일한 수준의 조도를 확보하고자 37,000~50,000cd(실드빔 85V/150W, PAR 56)사양으로 계약자와 협의를 완료하여 이에 대한 개량을 추진중에 있다<sup>8)</sup>.



KTX(경부고속전철)    G7 고속전철(한국)    AGV(프랑스)    ICE3(독일)

그림 2 최신 고속전철의 전조등 유형

## 2.4. 전조등 제어

G7 고속전철 및 KTX의 전조등은 배터리 입력전압(50V~90VDC)의 변동에 영향을 받지 않고 규정된 밝기를 준수하기 위해 85VDC 일정출력전압(CVS; constant voltage system)을 갖는 전원장치를 설치하여 주간에는 하향빔, 야간 및 터널 주행시, 기상변동(폭설, 폭우, 안개)시에는 상향빔을 켜고 운행한다. 또한 전두부 동력차에서 전조등이 사용될 때, 후두부 동력차에서는 후미등(tail light)이 점등된다. 그림 3은 반-회로(half circuit) 개념에 기초한 전조등 제어회로를 나타낸 것이다.

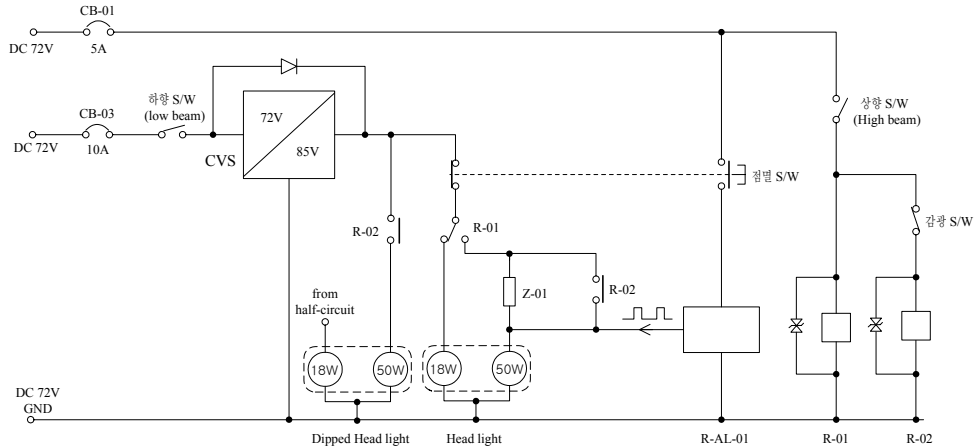


그림 3 전조등 제어회로

### 전조등의 하향빔(low beam) 제어

전조등 하향 S/W(low beam switch)가 취급된 상태에서 배터리 전원(72VDC)은 CVS로 입력되어 85VDC가 출력되며, CVS 고장시는 72VDC가 Diode를 통하여 하향 상태인 18W로 점등(300~700cd) 된다.

### 전조등의 상향빔(high beam) 제어

야간운행 또는 터널내 운행시, 전조등 상향 S/W(high beam switch)가 취급된 상태에서 상향빔 제어릴레이(R-01) 및 감광 제어릴레이(R-02)가 여자되어, 상향빔 상태인 50W로 점등(12,000~18,000cd)된다. 단, 상향빔 상태로 운행중, 열차교행시 눈부심을 방지하기 위하여 주간제어기(Mascon controller)에 설치된 감광 S/W를 취급하면, 감광 제어릴레이(R-02)가 OFF 되어 전원이 저항(Z-02)을 거쳐 상향빔으로 공급되어 감광상태(8,000cd 이하)로 된다. 감광기능은 정상상태의 약 80% 밝기로 설정한다.

### 전조등의 점멸신호(flashing signal) 제어

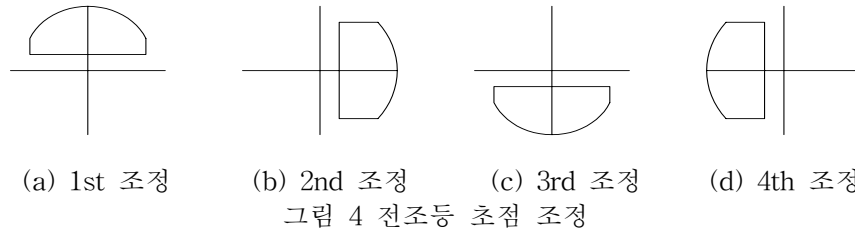
운행중, 열차 고장으로 인해 정차시, 점멸 S/W를 취급하면 85VDC 전원라인이 차단되고 점멸계전기(R-AL-01) 동작에 의해 분당 120회(1/3주기 ON, 2/3주기 OFF) 구형파 전압이 상향빔으로 공급되어 전조등이 깜박거린다.

## 2.5. 전조등 초점 조정

전조등의 초점 조정은 차량의 선두 축(axle) 전방 6m 지점에 판넬을 설치하고, 전조등의 기하학적 축을 레일상부로부터 수직방향으로 일치시켜 그림 4와 같이 상(image)이 투영될 수 있도록 십자 모양의 선을 판넬에 표시한다.

전조등의 소켓을 360도 회전이 가능한 취부 호환성을 갖는 소켓으로 교체한다. 그리고 판넬에 투영되는 빔(beam)의 형상을 확인하기 위해 반달빔(half-moon beam) 모양을 갖도록 전구를 교체

하고, 소켓을 90도씩 회전시키며 전조등 조정 스크류를 이용하여 규정된 사양에 적합한 투영빔이 형성되도록 조정한다.



## 2.6 전조등 개조시 고려사항

현재 운행중인 KTX 전조등 조도를 높게 하기 위해 검토되어야 주요내용은 다음과 같다. 먼저 전조등의 전구가 50W/18W에서 150W/50W로 변경됨에 따라 전조등에 일정한 전압을 인가하는 전원장치(CVS), 점멸용 계전기, 감광저항, 차단스위치 및 케이블의 적정 규격여부에 대해 검토되어야 한다. 또한 용량변경 및 전조등 형식 변경에 따른 전구의 수명, 취부방법 및 발열량에 대해서도 추가적인 검토가 요구된다.

## 3. 결론 및 향후 계획

열차의 전조등은 야간이나 이상 기후 상황에서 기관사의 전방시계를 좋게 하기 위해 사용되는 것이다. 그러나 전방시계만을 지나치게 강조하다 보면 또 다른 문제점을 초래할 수 있다. 예를 들면, 터널이 많은 한국의 지형적인 특성 때문에 상향빔과 하향빔이 갑작스럽게 전환됨에 따라 기관사의 눈의 피로가 발생될 수 있고, 기존선 운행시 도로를 운행하는 자동차에 전조등 조명이 직사되어 위험을 초래하지 않아야 한다. 또한 교행이나 플랫폼 진입시 기관사 및 승객에게 불편을 주어서도 안된다. 따라서 KTX 및 G7 고속전철의 전조등 개조에 대해서는 전문적인 내용에 대해 추가적인 조사가 요구된다.

기존의 전조등 관련 기술은 주로 전조등의 밝기를 향상시키는데 초점이 맞춰져있었다. 특히 하향 전조등은 열차의 바로 앞만을 비추게 되어있기 때문에 전방 원거리 장애물을 비춰주는 상향빔만큼 효과적이지 못하다. 상향빔은 원거리에 초점이 있기 때문에 운전자가 장애물을 쉽게 감지할 수 있도록 해준다. 그리고 기존의 전조등 상향/하향 전환 시스템은 전조등을 갑자기 전환하게 되고, 다른 광원으로도 전환되는 경우가 있다. 전조등의 전환을 부드럽게 하기 위해서 빛이 서서히 변화되도록 조절해야 하는 기술과 전조등의 수명을 증가시키기 위해 자동차와 같이 할로겐 전구를 사용하는 방안에 대해서는 향후 과제로 제시된다.

## 참고문헌

- [1] 철도기술백서, 전기분야 기술발달사, 한국철도기술연구원
- [2] Technical Definition Specification Light Units, TRB 5479420, GEC ALSTHOM
- [3] Railway transport equipment railway vehicle signalling fixed signalling electric signal-arrangement and characteristics, NF F14-402
- [4] Headlights and auxiliary lights, CFR Part 229.125
- [5] 백열전구(일반 조명용), KSC 7501, 1999.
- [6] Signal-lamps and signal-lamps brackets for locomotives, railcars and all tractive and self-propelled stock(1), UIC 534 OR, 3rd edition, 1980.
- [7] Layout of drivers' cabs in locomotives, railcars, multiple unit trains and driving tailers, UIC 651 OR, 2nd edition, 1994.
- [8] KTX 전조등 개조 사양서, HPI, 2004.