< 기술논문 >

차량의 헤드램프 빔 패턴 인식을 위한 헤드램프 검사 시스템 개발

김 정 훈¹⁾ · 조 지 윤^{*2)}

울산대학교 자동차선박기술대학원 · 울산대학교 산업경영공학부

Development of a Headlamp Testing System for Automobile Headlamp Beam Pattern Recognition

Junghoon Kim¹⁾ · Chiwoon Cho^{*2)}

¹⁾Institute of e-Vehicle Technology, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

²⁾School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

(Received 13 December 2013 / Revised 14 June 2014 / Accepted 11 September 2014)

Abstract : "Cut off line" in automotive passing beam has very important safety function because it serves for headlamp aiming. Headlights that are aimed incorrectly will not only perform poorly but also offend oncoming traffic. In addition, an objective definition of cut off line in low beam is necessary, since a requirement for correct aiming of the beams is specified within all the existing regulations. Accordingly, headlight regulations are requirements that automobiles must satisfy in order to be sold in a particular country. In this study, a more advanced recognition method for the cut off lines of the various headlamps commonly used in Europe, North America, and domestic is suggested and a headlamp testing system is developed to adjust the beam to the country-specific regulation. This system uses image processing technology to detect the cut off lines in the beam patterns of halogen headlamps, high-intensity discharge headlamps, and light-emitting diode headlamps as well.

Key words : Headlamp(헤드램프), Cut off line(헤드램프 기준 경계선), Headlamp testing system(검사시스템)

1. 서 론

야간 운전시 대부분의 운전자는 전조등에 의지하여 차량을 운행한다. 전조등이라는 명칭을 처음 사용한 때는 1887년으로 프랑스의 드디옹 백작이 “자동차의 앞을 비추었다.”는 의미로 명명 되었다. 아세틸렌 전조등을 시작으로 전기를 이용한 램프가 개발되었고 전기 및 전구 기술의 지속적인 발전으로 최근에는 최첨단 레이저가 장착된 헤드램프가 개발되고 있으며 나아가 적외선 카메라를 이용해 전방의 생물체를 인식하는 나이트 비전 등 다양하고 우수한 성능의 장비가 계속 개발되고 있다.¹⁾ 그리고 운전자의 시각적 특성을 고려하여 제작된 전

조등의 성능에 따라 야간운전 시 쾌적함과 안락함을 얻을 수 있으며 잘 정비된 도로 조건에 최적으로 빛이 조사되어야만 운전자는 안정된 야간 운전을 할 수 있다.²⁾ 야간에 발생하는 교통사고는 주간 교통사고보다 치명적이기 때문에 주변 물체의 인지 및 전방 시야를 확보해주는 자동차의 전조등은 야간 교통사고 예방에 있어서 아주 중요한 요소이다.³⁾ 또한 최근에는 고휘도 발광 다이오드 램프를 장착한 차량도 개발되어, 완성차에 적용되고 있다.⁴⁾ 따라서 완성차 공장에서는 할로겐 램프, 고압방전 램프(HID), 발광다이오드 램프(LED) 등 차량의 다양한 헤드램프를 규정된 법규에 적합하도록 조정하여야 한다. 이를 위해 차량에 장착된 헤드램프의 빔 패턴을 정확하게 인식할 수 있는 헤드램프 검사시스

*Corresponding author, E-mail: chiwoon6@ulsan.ac.kr

템의 개발이 필요하다. 기존의 헤드램프 검사시스템들은 주로 스크린 방식 또는 투영식 등을 활용하였다. 이들 방식들은 빔 패턴 인식 방법이 단순하여 정확한 빔 패턴을 분석하기에는 한계가 있어 완성차 공장에 실적용 하는데 어려움이 있었다. 특히 스크린 방식은 시스템의 규모가 크기 때문에 공간이 협소한 완성차 공장에 적용하기에는 공간적 제약이 있다.

본 연구에서는 완성차에 최종 장착된 헤드램프의 해당 국가별 기준 만족여부를 테스트하기 위한 헤드램프 검사 시스템을 개발하였다. 헤드램프의 빔 패턴 분석은 CCD(Charge-coupled device) 카메라를 사용하여 기존 방법보다 개선된 이미지 분석이 가능토록 구현하였다. CCD 카메라는 화질이 우수하여 정밀한 분석이 가능하며 섬세한 색상 구분이 용이하고 정밀도가 높은 장점이 있다. 이를 활용하면 기존 방식들에 비하여 검사 시스템의 규모를 축소하여 설계 가능함으로 협소한 완성차 공장에 적용이 용이하다. 더불어 개발된 본 검사 시스템을 할로겐 램프, HID 램프, LED 램프 등 세 가지 종류의 헤드램프에 적용하였고 CCD 카메라의 비전 영상을 통하여 헤드램프의 명암 한계선과 Cut off line(차량 헤드램프 빔의 기준선이 되는 라인)을 확인할 수 있다. 헤드램프는 종류별로 빔 패턴이 서로 달라 Cut off line 찾는 방법을 각기 달리 해야 한다. 따라서 본 연구에서는 헤드램프 종류별로 헤드램프의 빔 패턴을 분석하였고, 또한 종류별 특성에 적합한 보다 개선된 Cut off line 검출 방법을 제안하고 구현하였다.

2. 헤드램프 국가별 조정기준

본 연구에서는 차량 헤드램프의 하향등에 대한 VOL(Visually optically aligned left) 빔패턴과 Cut off line과 관련된 국가별 헤드램프조정 기준에 대하여 분석하였다. 국토교통부의 자동차안전기준과 완성차 공장에서 제시하는 국가별 헤드램프 하향등의 조정기준은 Table 1과 같다.

2.1 내수 헤드램프 조정기준

내수 헤드램프의 조정 기준은 Fig. 1과 같이 25m 기준, Cut-off line의 수평 부분이 H1(램프센터 선) 아

Table 1 Standard of regulation

국가	기준램프	기준거리(m)
내수	하향등	25
유럽	하향등	10
북미	하향등	7.6

Fig. 1 Cut off line at a distance of 25m

래 250mm에 위치하도록 헤드램프를 조정하는 것이 내수 헤드램프 에이밍의 범규이다. W1은 좌측 램프와 우측 램프간의 거리이다.

2.2 유럽 헤드램프 조정기준

유럽 차량 헤드램프의 조정 기준은 하향등의 10m 기준 Cut off line이 Fig. 2와 같이 100mm 하향된 지점에 Cut off line이 형성되어야 한다. 따라서 유럽의 조정기준은 내수 차량의 헤드램프 조정기준과 동일한 기준을 가진다.

Fig. 2 Cut off line at a distance of 10m

2.3 북미 헤드램프 조정기준

북미의 램프의 경우 VOR(Visually optically aligned right) 램프 타입만 사용된다. Fig. 3은 VOL 빔패턴과 VOR 빔 패턴을 비교한 것이다. VOL 램프는 좌측이

Fig. 3 Headlamp beam patterns

VOR램프는 우측이 수평라인의 기준인 것을 확인할 수 있다.

북미 법규에 따르면 차량의 헤드램프 센터와의 거리가 7.6m(25ft) 기준에서 헤드램프의 높이와 헤드램프 빔의 높이가 같아야 한다.

3. 헤드램프 검사 시스템 개발

3.1 헤드램프 검사 시스템 개요

기존의 집광식 헤드램프 검사 시스템은 대부분 수동으로 동작하여 헤드램프 센터와 검사 시스템간의 정확한 위치를 맞추기가 어려웠다. 또한 일부 자동 제어를 하여도 일반 모터를 사용하기 때문에 정밀한 제어가 불가능 하였다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 서보모터(Servo motor) 제어를 채용하여 정확한 위치 제어가 가능하도록 하였다. Fig. 4는 본 연구에서 개발된 헤드램프 검사 시스템이다.

Fig. 4 Headlamp testing system

3.2 헤드램프 검사 시스템 구성

헤드램프 검사 시스템의 구성은 크게 헤드램프 제어용 PC, 디지털 입출력 제어보드, 서보모터, 그리고 운영 소프트웨어 등으로 구성된다. 본 검사 시스템의 운영 소프트웨어 개발환경은 Table 2와 같으며 자체 개발하였다.

Table 2 Development environment

구분	개발환경
OS	Window XP
TOOL	Visual studio 2008
Language	C++

Fig. 5 Operating sequence of headlamp testing system

본 헤드램프 검사 시스템의 작동 순서는 Fig. 5와 같다. 최초 헤드램프 준비 위치에서 완성차 헤드램프의 RH(Right hand) 위치로 이동하고, 이어서 헤드램프 에이밍 작업을 마친 후 반대쪽 헤드램프의 LH(Left hand) 위치로 이동하여 에이밍 작업을 진행한다. 모든 작업이 완료되면 헤드램프는 홈 위치로 복귀하여 다음 검사 요청 시까지 대기한다. 더불어 검사 대상 헤드램프의 판매 지역 구분은 헤드램프 검사 시스템이 자동 인식토록 구성하였다.

3.3 기존 Cut Off Line 검출 방법

과거 완성차 공장의 헤드램프 검사 시스템들은 헤드램프 하향등 검사 시 Cut off line을 기준하지 않고 대부분 헤드램프의 가장 밝은점(Hot spot)을 기준

Fig. 6 Detection of cut off line

으로 하향등 검사를 하였다. 그러나 헤드램프 빛의 가장 밝은점은 헤드램프마다 산포가 심해 정확한 기준이 되지 못하였다. 이러한 원인 등으로 완성차 공장의 헤드램프 관리기준이 Cut off line 검출방식으로 변경되었다. 기존의 헤드램프 검사 시스템은 다음의 방법으로만 Cut off line을 검출하였고 구체적인 내용은 아래와 같다. 차량의 하향등을 헤드램프 검사 시스템의 옵티컬 박스에 빛을 비추면 Fig. 6과 같은 영상을 CCD 카메라를 통해 확인할 수 있다. 비쳐지는 영상을 근거로 수평라인의 시작점인 A지점에 가상의 수평선(0°)을 긋고 사선라인의 끝점 B지점에 사선(15°)을 긋는다. 이어서 A점과 B점을 연결하는 가상의 선(청색)을 그어 그 선의 아랫방향으로 선(분홍색선)을 긋는다. 분홍색 선의 가장 긴 선분이 Cut off line의 기준점이 된다.

3.4 Optical Box 개발 및 원리

이미지 분석을 위한 헤드램프 검사 시스템의 옵티컬 박스 구성은 Fig. 7과 같다. 크게 두 대의 CCD 카메라로 구성되며 오토아이리스 렌즈를 장착한 카메라는 이미지의 광축을 분석하고, 나머지 한대는 이미지의 픽셀 값을 이용하여 광도값을 산출한다.

광축 카메라는 12mm 렌즈 포커스를 이용하였다. 옵티컬 박스의 안쪽에 부착된 이미지와 21cm 거리에 광축 카메라가 설치되었다. 옵티컬 박스의 프레넬 렌즈(Fresnel Lens)를 통하여 집광된 빛을 광축 카메라로 분석하면 Fig. 8과 같은 이미지 영상을 취득할 수 있다. 프레넬 렌즈는 빛을 모아주는 역할을 하여, 광원으로부터 광속을 모아 화상을 균일하고 밝게 조명한다.

Fig. 7 Configuration of optical box

Fig. 8 Headlamp beam pattern from optical box

3.5 CCD 카메라 및 렌즈 셋팅

본 연구에서 사용된 CCD 카메라의 해상도는 수평 640, 수직 480 픽셀을 가진다. 또한 렌즈는 오토아이리스 렌즈를 선택하여 카메라의 영상신호 또는 제어신호에 의해 자동으로 렌즈 조리개를 조정할 수 있도록 구성하였다. 카메라 셋팅은 셔터스피드를 1/125로 조정하여 차량의 빔패턴을 분석할 때 가장 안정적인 결과값을 얻을 수 있었다. 본 연구에 사용된 CCD 카메라와 렌즈의 정보는 Table 3과 같다.

Table 3 Specification of CCD

	카메라	렌즈
모델명	ES-XC50	H6-12(V)GE-II
해상도	640×480	-
셔터스피드	1/125	-
초점범위	-	6 ~ 12 mm

4. 실차 헤드램프 테스트 및 결과

국내 헤드램프 조정 기준은 북미지역을 제외한

Table 4 Types of headlamps

헤드램프 구분표			
	할로겐	HID	LED
헤드램프 종류
헤드램프 패턴
헤드램프 형식

국의 기준과 동일하다. 본 헤드램프 검사 시스템을 활용하여 실차 헤드램프의 빔패턴을 분석하고 CCD 카메라에서 분석한 Cut off line이 이러한 국내·외 법규를 만족하는지 검증하였다. Table 4는 주요 헤드램프의 구분표이며, 본 연구에서는 차량 헤드램프의 하향등 검사를 기준으로 내수 및 유럽 차량의 기준인 VOL 램프 패턴을 분석하였다. 각 램프 타입별 기준 Cut off line 검출 방법 외에 보다 개선된 검출 방법을 적용하여 효율성을 확인 하였다.

4.1 할로겐 램프 빔 패턴 분석 및 결과

할로겐 램프는 1000 시간이 넘는 긴 수명과 저렴한 교체비용 때문에 현재 자동차 업계에서 가장 많이 사용되고 있는 차량용 램프이다.

할로겐 램프의 경우 MFR(Multi focus reflector) 타입의 할로겐 램프를 헤드램프 검사 시스템의 X, Y 축에 맞추어 고정한 후 빔 패턴을 분석하였다. MFR 타입의 할로겐 램프는 Fig. 9와 같은 형상을 가지며 리플렉터에서 모든 빛을 제어하는 램프이다.

할로겐 램프를 헤드램프 검사 시스템에 주사하여

Fig. 9 Halogen lamp with reflector type

Halogen Lamp

Fig. 10 Search for cut off line of the halogen lamp

얻는 영상을 통하여 Cut off line이 법규를 만족하는지를 분석하였다. MFR 타입 할로겐 램프의 경우 가장 밝은 점(Hot spot)에 대한 가장 밝은 점의 평균치(Center of mass)는 비교적 안정적이다. Fig. 10은 Center of mass를 이용하여 Cut off line을 찾는 새로운 방법을 설명한다.

90% Center of mass에서 이동범위를 선정한다. 이동 범위는 상단 수평라인에서 가장 평평한 부분까지 이동하도록 범위를 선정한다. 밝기 라인은 가장 선명한 명암을 가지는 밝기 라인을 선정한다. 본 연구에서는 검출된 Center of mass에서 50pixel 만큼 이동한 상단부 수평라인이 가장 평평한 부분이었으며, 70% 밝기의 명암이 가장 선명하여 이를 기준으로 하였다. 검출된 이미지 특성에 따라 밝기 라인과 이동범위는 변경이 가능하며 헤드램프 이미지의 특성에 따라 이는 적절히 조정되어야 한다. Cut off line의 기준점이 VOL 램프의 수평라인이 되므로 보다 정확한 수평라인의 높이를 결정할 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

4.2 HID 램프 빔 패턴 분석 및 결과

HID(High intensity discharge) 램프는 고압 방전 램프의 약자로 금속 증기 중의 방전에 의해서 발광하는 고압 나트륨 램프, 메탈헬라이드 램프, 고압 수은 램프의 총칭이다.⁵⁾ 기존 할로겐 램프보다 2~3배 정도의 우수한 지향성 및 밝기 특성을 가지고 있고, 안전성, 편의성 시인성이 좋다.⁶⁾ HID 램프는 Fig. 11과 같은 디자인을 가지며 프로젝션 타입으로 제작된다.

본 헤드램프 검사 시스템을 활용하여 HID 램프의 빔 패턴을 분석하였다. HID 램프의 경우 밝은 빛이 넓게 포진되어 있어 가장 밝은 영역에서의 가장 밝은 점의 산포가 심한 것을 확인 할 수 있었다. 또한

Fig. 11 HID lamp

빛의 밝기가 할로겐 램프 보다 높아 CCD 비전 카메라로 분석하기에도 어려움이 있었다. 이는 빛의 산란으로 인해 수평라인의 명함 한계선을 정확히 분석하기 어렵기 때문이다. 또한 HID 헤드램프는 약 90% 밝기의 Center of mass는 안정적이며, 100% 영역의 Center of mass는 산포가 심함을 확인 하였다. 그 원인은 HID 램프 파장의 불규칙성과 헤드램프의 빛이 너무 밝기 때문이었다. Fig. 12는 HID 헤드램프의 Cut off line을 찾는 새로운 방법을 설명한다.

HID 램프는 할로겐 램프와 달리 약 15° 각도로 올라가는 사선을 분석함으로써, 좀 더 안정적인 Cut off line을 찾을 수 있었다. 그 이유는 HID 램프의 수평라인이 할로겐 램프의 수평라인보다 빛의 밝기가 밝아 산란이 많이 발생하였기 때문이다. 헤드램프 70% 밝기의 수평과 수직 라인의 교차점에서 약 5 pixel 상단의 사선을 Cut off line으로 정하는 것이 가장 효율적이었다.

Fig. 12 Search for cut off line of HID lamp

4.3 LED 램프 빔 패턴 분석 및 결과

LED(발광다이오드, Light-Emitting Diode)는 반도체의 일종으로 수명이 길고 전력 전달 속도도 빠르다. 자동차 헤드램프가 과거엔 단순히 어두운 밤길을 흰하게 비췄다면 요즘 헤드램프는 하는 일도 많아졌으며, 디자인도 진화되고 있다.

최근 주요 LED Chip 메이커와 전조등 모듈 제조 기업에서 자동차 완성업체와의 기술협력을 통해 LED 전조등에 대한 핵심 기술 개발을 완료하였고, 이후 2015년까지 전체 자동차의 15%까지 보급될 것으로 예측되고 있다.^{7,8)} Fig. 13과 같이 LED 램프의 경우 여러 개의 램프가 조합되어 디자인 된다.

본 연구에서는 Fig. 14와 같이 4개의 헤드램프를 갖는 LED 램프를 헤드램프 검사 시스템에 주사하여 테스트를 진행하였다.

우선 LED 램프의 경우 기존 HID 헤드램프 보다 더욱 밝은 광도를 가진다는 사실을 확인하였다. 그러나 모든 램프를 점등한 상태에서의 검사 시, Cut off line의 중첩과 노이즈 현상으로 인해 테스트가

Fig. 13 LED lamp

Fig. 14 Design of LED lamp

Fig. 15 Screen image of cut off line

불가능하였다. Fig. 15는 LED 램프의 모든 램프들이 동시에 점등되었을 때의 스크린 이미지이다.

따라서 K라인 통신(차량헤드램프 모듈과 헤드램프 검사 시스템간의 통신방식)을 통하여 헤드램프 검사가 진행되는 동안 차량의 1번 램프만 점등하여 테스트를 진행하였다. 즉, 헤드램프 검사시스템과 차량 ECU의 상호통신을 통해 램프의 C모드에서 테스트를 진행하였다. C모드란 Fig. 16과 같이 검사 전 하나의 램프만 점등하도록 하는 모드이다.

실제 K라인 통신을 통해 C모드로 전환한 이후의 스크린 화면은 Fig. 17과 같다. C모드에서 헤드램프의 빔을 스크린에 주사하면 Cut off line이 중첩되지 않고 선명함을 확인할 수 있었다.

더불어 LED 램프의 경우, 헤드램프 검사를 위해서는 균일한 광도와 분명한 Cut off line이 필요함을 확인할 수 있었다. 따라서 실제 완성차 공장에서의

Fig. 16 C mode of LED

Fig. 17 Screen image of cut off line in C mode

LED 헤드램프 검사 시에는 C 모드를 추가해서 에이밍 작업이 이루어져야 함을 확인하였다. LED 램프를 CCD 카메라로 분석한 결과 HID 램프와 빔 패턴의 특성이나 내용면에서 큰 차이점이 없었다. 따라서 LED 램프는 C 모드만 유지된다면 HID 램프와 동일한 방법으로 Cut off line을 찾을 수 있다는 결과를 얻었다.

5. 결 론

본 연구에서는 자동차에 최종 장착된 헤드램프가 각 국가별 기준의 Cut off line을 만족하는지 테스트 하기 위한 헤드램프 검사 시스템을 개발하였다. 빔 패턴 분석을 위해 CCD 카메라를 사용하여 기존 시스템보다 효율적이고 정밀하게 헤드램프의 빔 패턴을 분석할 수 있었다. 또한 본 검사 시스템은 차량 헤드램프를 타입별(할로젠, HID, LED 램프)로 검사할 수 있다. 일반적으로 헤드램프는 종류별로 빔 패턴이 서로 달라 Cut off line 찾는 방법을 각기 달리해야 함에 따라 본 연구에서는 헤드램프별로 빔 패턴을 분석하였고 보다 개선된 Cut off line 검출 방법을 제안하고 구현하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 할로젠램프는 HID 및 LED 램프보다 광도가 낮으며, Cut off line의 기준점이 VOL 램프의 수평라인이 되므로 보다 정확한 수평라인의 높이를 결정할 수 있다.
- 2) HID 램프는 할로젠 램프보다 광도가 밝으며, 할로젠 램프와 달리 약 15° 각도로 올라가는 사선을 분석함으로써, 좀 더 안정적인 Cut off line을 찾을 수 있었다.
- 3) LED 램프에서는 HID 램프와 거의 유사한 이미지를 취득할 수 있었다. 또한 차량 ECU와 헤드램프 검사 시스템간의 K 라인 통신은 완성차 공장에서의 보다 효율적인 LED 램프 검사를 위하여 반드시 필요하다.

References

- 1) B. D. Kang, "The Technology Trend of Automobile Headlamps," Auto Journal, KSAE, pp.82-87, 2006.

- 2) H. S. Lee, B. D. Kang, H. G. Choi and J. Y. Hwang, "A Study on Optimum Swivel Angle of AFLS Headlamps considering Various Road Curvatures," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.1434-1439, 2006.
- 3) H. G. Kim, B. D. Kang, H. S. Lee, K. K. Cho and S. J. Hong, "Evaluation of Headlamp Glare with Various Light Sources and Aiming Conditions," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.2176-2181, 2007.
- 4) S. W. Shin, J. M. Lim, M. K. Hwang and C. W. Yi, "The Trend of Technique and Standardization of LED Headlamp for Automobile," Korea Institute of Lighting Conference Proceedings, pp.145-148, 2008.
- 5) K. Rajaraman and M. Kushner, "A Monte Carlo Simulation of Radiation Trapping in Electrodeless Gas Discharge Lamps," Journal of Physics, Vol.37, No.13, pp.1780-1791, 2004.
- 6) J. Jonkers, M. Bakker and J. Mullen, "Absorption Measurements on a Low Pressure, Inductively Coupled, Argon Mercury Discharge for Lighting Purposes: The Gas Temperature and Argon Metastable States Density," Journal of Physics, Vol.30, No.13, pp.1928-1933, 1997.
- 7) C. Dubosc, "Compared Future Styling Trends for Lighting Systems on Major Markets," 6th International Symposium on Automotive Lighting, Vol.16, pp.181-187, 2005.
- 8) M. Scholl, "Global Headlamp Application with Dual Filament Bulbs," 6th International Symposium on Automotive Lighting, Vol.18, pp.618-630, 2005.