

<기술논문>

차량 하중 변동에 따른 전조등 컷오프라인 자동 보상에 대한 연구

김기현^{*1)} · 김준현¹⁾ · 변동규¹⁾ · 이동익²⁾에스엘 주식회사 전자연구부¹⁾ · 경북대학교 전자공학부²⁾

A Study on Automatic Compensation for Head Lamps Cut-off Line Under Load Variation

Kihyeon Kim^{*1)} · Junhyeon Kim¹⁾ · Dongkyu Byeon¹⁾ · Dongik Lee²⁾¹⁾Automotive Electronics Team, SL Corporation, 1208-6 Sinsang-ri, Jillyang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 712-837, Korea²⁾School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Received 7 May 2010 / Accepted 3 September 2010)

Abstract : Vehicle lightings are very important for safe driving during night time. Since the eye recovery time after an exposure to oncoming headlights would take after several seconds, the aiming point of vehicle head lamps have to pass safety requirements. Despite the fact that vehicle inclination is variable with vehicle load conditions, the head lamps aiming point is usually fixed at a constant position which is set by car manufacturer. Consequently, vehicle head lamps under varying load conditions often make people in the opposing vehicle uncomfortable, and even worse, can cause an accident. This paper presents an active vehicle lighting mechanism to automatically adjust its aiming point, or cut-off line, in order to compensate the change in vehicle inclination resulting from load variations. The effectiveness of the proposed method is demonstrated through a set of simulations and experiments with a real vehicle.

Key words : Cuf-off(컷오프), Inclination(기울기), Load variation(차량 하중 변동), Head lamp(차량 전조등), Adjust method(조정 기법)

1. 서론

최근 야간 차량운행 비율이 높아짐에 따라 야간 주행 중 발행하는 교통사고가 증가하고 있다. 전체 교통사고 발생건수에서 야간사고의 비중은 40.4%로서 59.6%를 차지하는 주간 사고에 비해 낮은 편이다. 그러나, 주간사고의 치사율이 2.5%인 반면 야간 사고의 치사율은 3.6%로 오히려 높게 나타나고 있다. 따라서 야간 운전자의 시인성 확보 수단인 차량 전조등과 도로 조명의 중요성이 더욱 커지고 있다.¹⁾ 현재 차량 전조등의 경우, 3250°K ~ 3450°K 색온도를 갖는 H4, H7용 전조등과 4000°K 이상의 색온도를 갖는 HID (high intensity discharge) 전조등이 이용

되고 있으며, 최근에는 LED를 이용한 고효율 광원 전조등이 개발되고 있어 야간 운행 시 운전자의 전방 주변 물체 인식률이 개선될 것으로 기대된다. 그러나 H4용 전조등의 경우 평균 55W에 이르는 높은 출력으로 인해 대향차 운전자 및 보행자의 눈부심을 유발할 수 있다. 이러한 문제를 피하기 위해 차량 생산과정에서 전조등 빔의 조사각 (aiming point) 조정이 이루어진다. 그러나 출고 후 차량하중 변동으로 인한 조사각 변화가 발생하기 때문에 대향차 및 보행자의 시야 확보에 어려움을 줄 뿐 아니라, 운전자 자신의 시인성을 떨어뜨려 사고 위험을 높일 수 있다. 연구결과^{2,3)}에 의하면 전조등으로 인한 눈부심 노출 후 회복시간은 2~4초에 이른다. 운전자가 1초 가량의 반응시간을 확보했을 때 90%이상의 사고

*Corresponding author, E-mail: kihyeonkim@sl.co.kr

예방 효과를 가져 올 수 있다는 연구결과⁴⁾를 감안하면, 2~4초에 이르는 회복시간은 안전운전에 매우 큰 위협이 될 수 있기 때문에 전조등에 의한 눈부심 감소 방안이 반드시 필요하다. 이와 같은 필요에 따라 선진국에서는 ECE R-48.6.2.4.3⁵⁾에 의거하여 직·간접적인 광 반사가 자동차의 후방거울 및 기타 반사 표면을 통해 다른 운전자에게 불편함을 주지 않도록 규제하고 있다. 관련 법규를 만족시키기 위해서 일반적으로 적용되는 전조등 빔의 조사각 조정 높이는 차량 10m 전방 스크린에 조사된 빔 높이가 지상에서 전조등까지의 직각 높이에서 -1%~-1.5% 지점으로 설정하며, 이 지점을 전조등의 컷오프라인 (cut-off line)이라고 부른다. 앞서 설명한 것처럼, 차량의 컷오프라인 조정은 제조사에서 차량 조립과정 중 전조등 빔 높이 조절작업을 통해 이루어지며, 이때 차량 하중은 공차 또는 운전자 탑승 시의 하중이 적용된다. 따라서 운전자 1인 탑승 시의 하중에 맞추어 고정된 컷오프라인은 실제 운행 중 탑승인원 증가 및 급제동에 의한 하중변동에 따라 컷오프라인의 변화가 자주 발생할 수 있다.

Fig. 1은 차량 하중 변동에 따른 컷오프라인의 변화를 보여준다. 그림에서 A지점은 전조등이 장착되는 위치이며, B와 C는 각각 차량의 앞·뒤 바퀴 축을 나타낸다. 제조공정에서 조정된 컷오프라인의 높이는 실선으로 나타낸 Y_{Cutoff} 이다. 실제 주행 시 하중 변동에 따라 차량의 앞 뒤 축간 경사각 ϕ 의 변화가 일어날 경우 차량의 기구적 특성으로 인해 새로운 컷오프라인은 점선으로 표시한 Y'_{Cutoff} 로 변경된다. 기존의 연구를 살펴보면, 도로의 기울기를 이용해

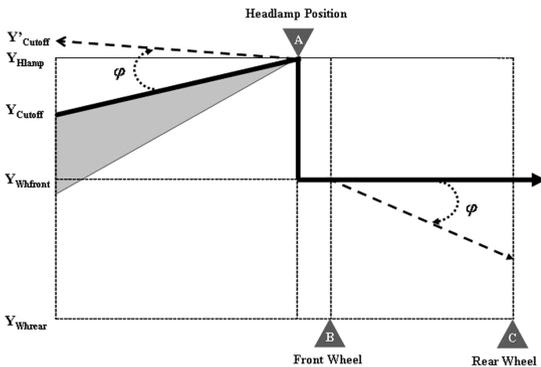


Fig. 1 Cut-off line change according to load variation

해 전조등을 제어하는 연구가 진행된 바 있으나,⁶⁾ 이는 야간 주행 시 도로의 경사진 정도와 다가오는 차량에 대한 정보를 이용하여 최적의 조도량을 얻는 방법이므로, 본 논문에서 고려하는 차량 자체의 하중변동에 의한 컷오프라인 변화에는 적용할 수 없다. 반면에, Fig. 2와 같이 운전석에 위치한 스위치와 램프 축에 장착된 레벨링 액츄에이터를 이용하여 조사각을 수동으로 제어하는 방식이 일부 차량에 적용되고 있다. 그러나 차량하중의 변화 및 차량가속 등에 따른 컷오프라인의 변경을 매순간 운전자가 직접 정확하게 보상하기를 기대하기는 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 차량 하중에 따라 변경된 컷오프라인을 자동으로 보상하기 위한 기법을 제안하고, 시뮬레이션 및 실차 적용실험을 통해서 성능과 효용성을 검증한다.

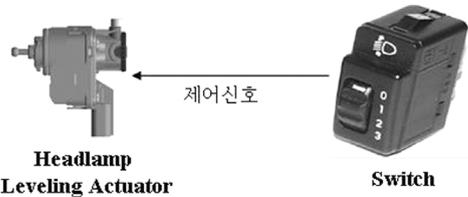


Fig. 2 Manual type head lamp leveling device

2. 레벨링 장치

레벨링 장치는 Fig. 2에 나타낸 조정장치 구성 중 액츄에이터를 가리킨다. 액츄에이터는 전조등 무게를 고려해 적절한 기어비가 적용된 기어와 모터의 조합으로 구성된다. 액츄에이터에 의한 컷오프라인 보상의 기본개념은 Fig. 3과 같다.

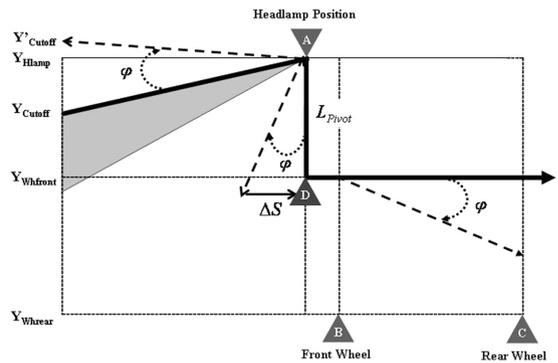


Fig. 3 Cut-off line compensation concept using actuator

앞서 Fig. 1에서 설명한 것과 같이 앞 뒤 축간 경사 각 ϕ 의 변화가 발생하였을 때, D위치에 장착된 액츄에이터를 통해 동일각의 변화가 발생된 전조등 지지대(pivot arm, L_{pivot})를 ΔS 만큼 보상하면 기존의 컷오프라인을 유지할 수 있다. 이때, 컷오프라인 제어방식에 따라서 DC모터 또는 스텝모터를 액츄에이터로 이용할 수 있다.

3. 자동 컷오프라인 보상 장치 설계

3.1 액츄에이터 제어값 산출

컷오프라인 보상을 위해 가장 중요한 파라미터라고 할 수 있는 액츄에이터 제어값 ΔS (Fig. 3)은 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta S = \tan\phi \times L_{Pivot} \quad (1)$$

여기서, L_{pivot} 은 전조등과 액츄에이터의 지지대 길이를 나타내는 상수값이며, 차량의 기울기 ϕ 는 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} \phi &= \arctan \frac{|Y_{Whfront} - Y_{Whrear}|}{|X_{Whfront} - X_{Whrear}|} \\ &= \arctan \frac{|Y_{Whfront} - Y_{Whrear}|}{L_{WB}} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $L_{WheelBase}$ 는 차량 앞뒤 바퀴 축간 거리를 나타내는 상수값으로서, 차량 구조 설계에 따라 결정되는 차축의 위치 $X_{Whfront}$, X_{Whrear} 사이의 거리로 주어진다.

3.2 하중 변동에 따른 차축 높이 변화 분석

하중 변동에 따른 차량 경사 변화각 ϕ 를 측정하기 위해서는 하중별 차축 높이의 변화 특성을 이해할 필요가 있다. 이를 위해서, Table 1 및 Fig. 4와 같이 유럽에서 적용되는 것과 유사한 조건에 따른 차축의 높이 변화 특성을 실험 하였다. 탑승자 1인당 65Kg의 하중을 가정하였으며, 다섯 가지의 하중조건 하에서 차축 높이의 변화를 측정하였다.

다섯가지 차량하중 조건에 따른 앞뒤 차축의 높이 변화에 대한 실험결과를 Fig. 5에 나타내었다. 실험 결과에 대한 표준편차는 앞 축이 8mm~9mm, 뒷 축이 30mm~31mm을 각각 나타냄으로써 앞 축에 비

Table 1 Load condition table

Load name	Load condition
F1R0	1 Driver
F2R0	F1R0 + 1 Passenger
FP	F1R0 + 4 Passenger
FP+FL	FP + Full trunk
F1+FL	F1R0 + Full trunk



Fig. 4 Load conditions on vehicle

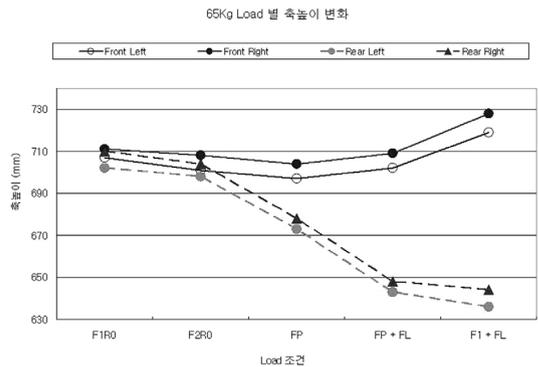


Fig. 5 Height measurement result on load condition

해 뒷 축의 높이가 하중변화에 더 민감함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 차량 뒷 축 부분에 센서를 부착하여 하중에 따른 출력값 변화를 측정하였다. 차량의 하중변동을 인식하기 위해 MR센서, 어레이 광학 센서 등 다양한 센서에 대한 연구가 진행되었지만⁷⁾ 본 연구에서는 성능이 검증된 Hall IC센서를 이용하여 실험을 수행하였다. 측정결과를 각도로 환산하여 Fig. 6에 제시하였으며, 이를 통해서 차량 하중 변화에 따른 상대적인 기울기 변화를 확인할 수 있다. 실험결과로부터 간단한 데이터 매핑 기법을 적용하여 차축 높이 변화 인식을 위한 기초 데이터로 활용할 수 있었다.

그러나 이 결과는 정차 또는 정속 상태와 같은 정적인 동작환경에 적용할 수 있으며, 동적인 동작환경과 같이 급가감속으로 인한 차량 축의 동적인 높이 변화에 적용하기 위해서는 앞 뒤 축에서 차량 전

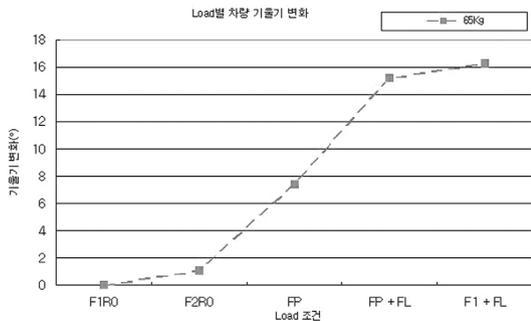


Fig. 6 Inclination measurement result on load condition using Hall IC sensor

체의 높이 변화를 관찰할 필요가 있다. 본 논문에서는 실시간 구현을 위한 단순화된 보상기법 설계가 목적이므로 정적 환경에서의 컷오프라인 보상에 대해서만 다룬다.

3.3 시스템 설계

전체 시스템 구성은 Fig. 7과 같이 차량 속도 및 차량 기울기 인식을 위한 센서부, 센서 출력값 U 를 토대로 액추에이터 제어값 Y_D 을 산출하는 제어기, 그리고 전조등 조사각 조정을 위한 레벨링 장치로 구성된다.

Fig. 8에 제시한 제어기의 세부 구조를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 차량 하중을 나타내는 기울기 정보와 차량 속도정보를 입력으로 받아들인다. 그 후, 기울기 정보에 포함된 잡음 및 과도한 변화를 감소시키기 위한 필터를 거쳐서 액추에이터의 제어값을 산출한다.

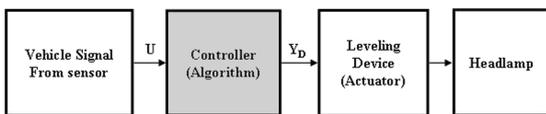


Fig. 7 Proposed controller diagram

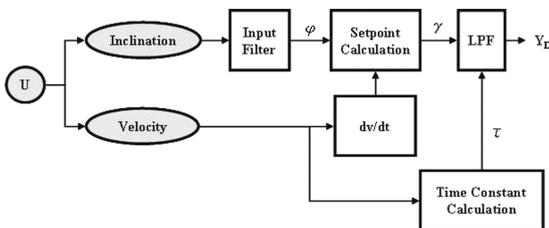


Fig. 8 Detailed controller block diagram

센서출력의 AD변환과정에서 발생하는 오차를 최소화하기 위해서 16비트용 10진 연산기로 간단히 구현 가능한 FIR 필터를 설계하였으며, 이를 통해 출력된 데이터는 식 (1), (2)를 이용하여 액추에이터 제어값으로 계산된다.

마지막 단계에서 적용된 저역통과필터(LPF)는 하중변화가 많이 일어나는 저속주행시의 보상동작을 제한하거나 운전자의 선택에 따른 운용모드를 반영하기 위해서 사용된다. 필터의 시상수는 차량 속도를 반영하여 동적으로 결정된다. 이때, 시상수 결정은 정차시에는 빠른 속도로 보상하여 주행전 보상동작이 완료될 수 있도록 설정하고, 주행 중에는 운전자의 Feeling 향상을 위해 느린 속도로 보상될 수 있도록 설정하였다.

4. 실험 및 결과

4.1 시뮬레이션

본 논문에서 설계한 컷오프라인 보상장치의 성능을 평가하기 위해서, 먼저 Matlab/Simulink를 이용하여 Fig. 8에서 설명한 바와 같이 기능 블록을 설계하고 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션시의 샘플링 시간은 30ms로 이산 시간을 적용하였으며, 시뮬레이션에 사용될 simulink의 target architecture를 8bit MCU로 설정하여 실차환경에 적용될 ECU(electronic control unit)와 유사한 성능환경을 구성코자 하였다.

차량속도 및 기울기 데이터를 Fig. 9, Fig. 10과 같이 입력한 결과, 액추에이터 제어값은 Fig. 11과 같이 나타났다. 입력조건에서 속도는 Fig. 8에서 나타낸 바와 같이 액추에이터 제어값 산출과 시상수 선정에 사용될 뿐 아니라 차량의 정차 또는 정속운행 정도를 인지하기 위해 사용된다.

결과 그림 Fig. 11은 앞서 3장에서 설명한 내용을 토대로 예측한 결과와 동일한 값을 나타내었다. 본 연구에서는 운용모드에 따라, 기울기 센서 출력값이 20도 이하에서는 보상동작을 수행하지 않으며, 센서값이 급격하게 변하는 시간 $t=20$ 초, 68초 등의 구간에서는 일정시간이 경과한 뒤에 보상이 이루어짐으로써 필터링을 이용한 급격한 액추에이터 동작완화 기능이 적절히 수행됨을 확인할 수 있다.

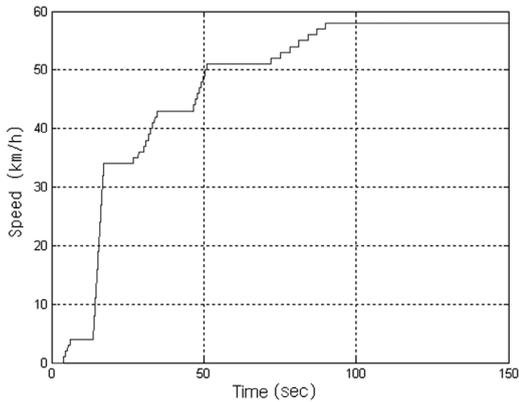


Fig. 9 Input as speed

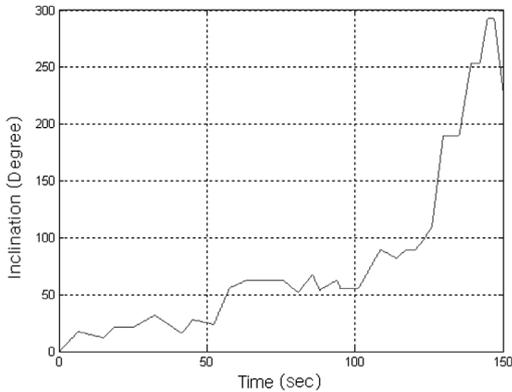


Fig. 10 Input as inclination

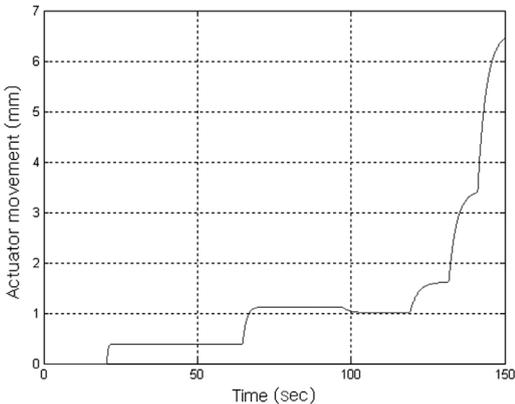


Fig. 11 Output as actuator movement

또한, 기울기 변화가 빈번히 일어나는 80초~96초 구간에서는 액츄에이터가 반응하지 않고, 일정시간동안 각도를 유지한 97초~102초 구간에서 마지막 기

울기에 대해 보상이 이루어짐을 확인 할 수 있었으며, 기울기 변화 뒤 일정시간이 유지되는 125초와 140초 구간에서도 똑같은 동작을 수행함을 확인 할 수 있었다.

4.2 실차실험 및 결과

앞서 소개한 시뮬레이션에 이어서, 제한한 알고리즘을 레벨링 제어용 ECU(Electronic Control Unit)로 실시간 구현하고 이를 실차에 장착하여 성능을 검증하였다. 먼저 Photo. 1과 같은 실험환경을 구축하고, 앞 뒷 축의 높이 변화 및 공차 상태에서의 센서출력 값 등 실차 데이터를 수집하였다. 수집된 실차 데이터를 기반으로 임의의 하중을 적용하여 실험을 수행하여 Fig. 12와 같은 결과를 확인하였다. 센서의 기울기가 50~60을 나타내는 F1R0, F2R0의 조건에서는 차량이 앞으로 기울어지는 현상을 보이므로 전조등을 올려주는 출력 결과를 보인다.

반면에 센서의 기울기가 95~100 정도를 나타내는 FP, FP+FL과 같은 하중조건에는 차량이 뒤쪽으로



Photo. 1 Test on the real vehicle

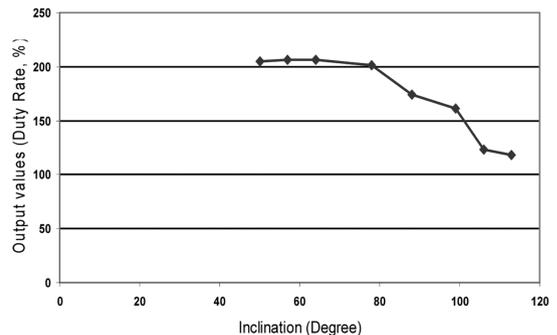


Fig. 12 Actuator output on vehicle inclination

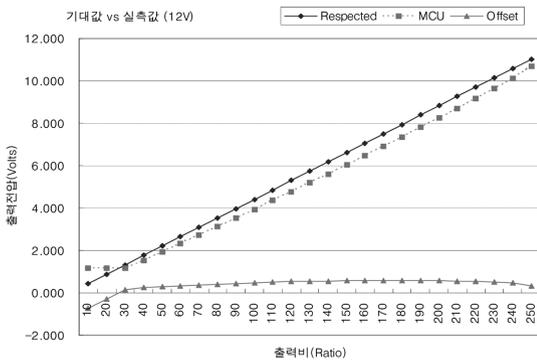


Fig. 13 Comparison between expected and real output

로 기우는 현상을 보이므로 전조등을 내려주는 출력결과를 얻음으로써 제안한 보상기법에 의해서 하중변동에 따른 컷오프라인 보상이 적절히 이루어짐을 확인 할 수 있다. 그러나 실험 결과에서 액츄에이터 제어값에 해당하는 실제 출력전압이 0.49V~0.6V 정도의 근소한 오차를 보였다(Fig. 13). 이러한 현상은, MCU를 통해 출력된 액츄에이터 출력값이 실제 액츄에이터 구동을 위한 신호 생성을 위해 digital to analog 변환과정을 수행하면서 발생하는 전압강하에 따른 것으로, 향후 보다 정밀한 제어를 위해서는 이에 대한 보상이 이루어져야 될 것으로 보인다.

5. 결론

본 논문에서는 차량의 하중변동에 따른 전조등의 컷오프라인 변화를 보상함으로써 대향차 및 보행자의 눈부심을 방지할 수 있는 장치를 제안하고, 실차 실험을 통해서 성능을 평가하였다.

먼저, 다양한 하중조건 하에서 컷오프라인의 변화경향을 실험적으로 분석하였으며, 이를 토대로 차량의 뒷바퀴 축에 홀센서를 장착하여 기울기 변화를 효과적으로 인식할 수 있도록 하였다. 이어서

차량의 기울기 정보와 차량속도를 고려하여 컷오프라인 변화각을 보상할 수 있는 제어장치를 제시하였다. 제안된 시스템에 대하여 다양한 시뮬레이션과 실차 실험을 수행한 결과, 차량하중 조건의 변화시에도 전조등의 컷오프라인이 일정하게 유지될 수 있음을 확인하였다. 향후 연구과제로는 차량의 급격한 속도변화에 따른 컷오프라인 변화를 보상할 수 있는 기법에 대한 연구가 진행될 예정이다.

References

- 1) 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," KSAE07-S0343, pp.2176-2181, 2007.
- 2) B. D. Kang, H. S. Lee, K. S. Park, K. K. Cho and S. J. Hong, "Evaluation of Eye Recovery Time After Glare Exposure to Oncoming Headlight," KSAE07-S0337, pp.2136-2144, 2007.
- 3) J. D. Bullough, "Discomfort and Disability Glare from Halogen and HID Headlamp System," SAE Technical Paper Series, 2002.
- 4) B. Siruru, Do Collision Warning Systems Reduces Accidents, Daimler-Benz Investigation, UTS, 1998.
- 5) ECE-R 48, Lighting Installation on the Vehicle.
- 6) T. W. Kim, "Automotive Headlight Control System Using Tilt and Photo Sensors," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.18, No.6, pp.14-21, 2004.
- 7) K. I. Choe and G. H. Han, "A Double Resolution Pixel Array for the Optical Angle Sensor," Transaction of IEEK, Vol.44, SD, No.2, pp.56-60, 2007.