

<기술논문>

Head-Up Display 장치의 자동차 적용을 위한 연구

양인범¹⁾ · 이혁기¹⁾ · 김병우²⁾

자동차부품연구원¹⁾ · 울산대학교²⁾

A Study of Head-Up Display System for Automotive Application

Inbeom Yang^{*1)} · Hyuckkee Lee¹⁾ · Beongwoo Kim²⁾

¹⁾Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjung-ri, Pungse-myeon, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea

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

(Received 14 August 2006 / Accepted 29 December 2006)

Abstract : Head-Up Display system makes it possible for the driver to be informed of important vehicle data such as vehicle speed, engine RPM or navigation data without taking the driver's eyes off the road. Long focal length optics, LCD with bright illumination, image generator and vehicle interface controllers are key parts of head-up display system. All these parts have been designed, developed and applied to the test vehicle. Virtual images are located about 2m ahead of the driver's eye by projecting it onto the windshield just below the driver's line of sight. Developed head-up display system shows satisfactory results for future commercialization.

Key words : Head-up display(헤드업디스플레이), Automotive display(자동차 디스플레이), Hologram effect(홀로그램 효과), Driver interface(운전자 인터페이스), Virtual image(가상 이미지)

1. 서론

주행 중인 운전자는 많은 정보를 시각을 통하여 받아들이고 이를 바탕으로 안전 운전에는 필요한 최종 판단을 하게 된다. 이러한 시각 정보는 주변 교통 상황 등 인위적으로 가공할 수 없는 정보뿐만 아니라 차량이 제공하는 주행 정보도 포함한다. 따라서 충돌예방 등 지능형 시스템과 텔레매틱스 등 정보 시스템이 제공하는 여러 시각 정보를 운전자¹⁾의 시각적 간섭을 최소화하면서 효율적으로 전달할 수 있는 새로운 인터페이스 설계는 지능형 고안전 차량의 실용화에 있어서 매우 중요한 문제이다.^{1,5)}

현재 차량에 적용되고 있는 액정 디스플레이 장치는 많은 정보를 보여줄 수 있지만, 주행 중인 운전자의 시선을 분산시킬 수 있어 이로 인하여 복잡한

교통 상황에서는 도리어 사고를 유발할 수 있다는 단점이 있다.¹⁾ 이는 디스플레이 되는 위치가 운전자의 주행 시선에서 벗어나 하향되어 있고, 거리가 가까워 초점 조절이 급격하게 이루어지기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 전투기 등에 적용하고 있는 Head-Up Display(이하 HUD) 장치를 자동차에 적용하고자 하는 노력이 계속되고 있다.^{6,7)}

본 연구는 다양한 환경에서 주행하는 자동차에 HUD 시스템을 적용하여 그 실용화 가능성을 검증하는 것에 중점을 두었다. 이를 위하여 긴 초점 거리를 갖는 광학계와 고휘도 조명계, 차량 인터페이스 및 LCD 제어를 포함한 HUD 제어를 제작하고 실차 주행 시험을 수행하였다. 주행 시험을 통하여 HUD 시스템의 차량 적용 및 실용화 가능성을 검증하고 HUD 이미지 자체가 운전자에게 간섭^{3,4)}이 되는지 여부를 정성적으로 예측하였다.

*Corresponding author, E-mail: ibyang@katech.re.kr

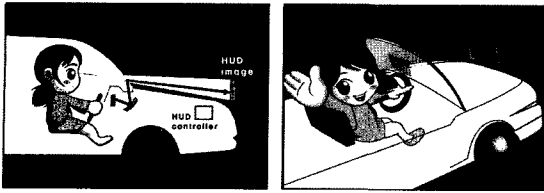


Fig. 1 HUD system for automotive

2. HUD 시스템 설계

HUD를 자동차에 적용하기 위해서는 고려해야 할 설계 요소들이 몇 가지 있다.²⁾ 전투기 등 특수한 목적으로 사용되는 HUD와는 다른 점들이 있기 때문이다. 설계에 반영되어야 하는 특이 요소는 다음과 같다.

- 불특정 일반인이 사용 : 넓은 FOV
- 도로 위의 다양한 주행환경 : 시인성 확보
- 여러 기후 환경에서의 시인성
- 제품 장착 공간의 제약 : 경박단소 설계

이러한 요소들을 고려한 광학계 설계를 위하여 운전자의 시야각을 측정하였다. Fig. 2는 일반적인 Motion Tracking 장비를 이용하여 주행 중 운전자의 시야 거동을 측정된 결과를 보여준다. 운전자의 시야각 범위는 광학계가 가져야 할 최소 FOV(Field of View)를 의미한다.

결과에서 알 수 있듯이 주행 중 운전자의 주시야는 상하 10°에서 -10°, 좌우 20°에서 -20° 사이에 주로 분포하고 있음을 알 수 있다. 이러한 시야각은 운전자의 신장과 주행 차량의 종류에 따라 다양하게 분포되지만, 운전자의 전방 주시선을 기준으로 생각한다면 큰 차이를 보이지 않을 것으로 판단된다. 실험에서 얻은 운전자 시야각은 운전자 전방 가상 이미지의 위치와 크기를 결정하기 때문에 광학계 설

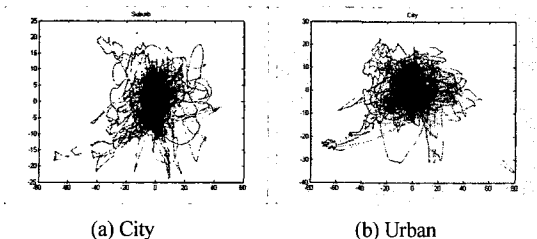
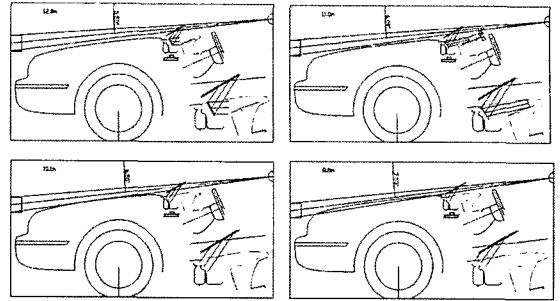


Fig. 2 Driver's field of view



(좌상부터 -5.5°, -6.0°, -6.5°, -7.5°)

Fig. 3 Down angle of HUD image

계 값을 결정하는 가장 중요한 요소이다.

위의 Fig. 3은 위의 결과를 바탕으로 운전자 상하 시야각을 다양하게 설정하여 광학계의 구조 특성과 차량과의 간섭을 검토한 결과를 보여준다. 전방 차량의 위치에 따른 영상 간섭, 대쉬보드(Dash Board) 상단으로 영상 투사, 표준 신체 사이즈 등 여러 인자들을 고려하여 6.0°하향 각을 영상 투사 위치로 정하였다.

운전자 전방 가상의 공간에 투영되는 HUD 이미지는 여러 빛 환경에 노출되기 때문에 이미지의 시인성이 매우 중요하다. 특히 자동차의 경우는 전방의 풍경, 사물, 태양의 위치 등에 영향을 받을 뿐만 아니라 주야간, 우천, 안개 등 다양한 환경 조건을 만족할 수 있는 이미지 색상을 선정해야 하는 어려운 문제를 안고 있다.⁸⁾

이러한 문제를 해결하기 위하여 실제 주행 환경을 촬영하여 영상을 분석함으로써 최적의 색상을 얻고자 하였다. 여러 기후 조건 하에서 시간대별 전방 영상을 촬영하여 Histogram 분석을 실시하였다. Fig. 4는 전방 영상에 대한 RGB Histogram과 보색 결정 과정의 예를 보여준다. 결정된 보색은 검증 S/W를 이용하여 실제 주행 상황에서 시인성 향상 효과가 있는지 검증하였다(Fig. 5).

이러한 분석을 통하여 Magenta 계열의 색과 밝은 Green 계열의 색이 일반적인 주행환경에서 가장 시

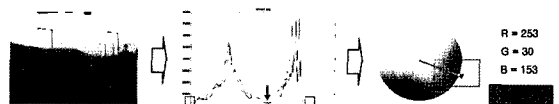


Fig. 4 Color select using histogram of real world

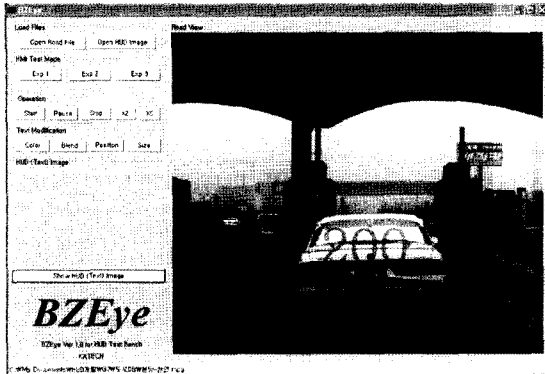


Fig. 5 Analysis S/W named BZEYE

인성이 뛰어남을 확인 하였다.

여러 요소를 고려하여 결정된 HUD 시스템 사양은 다음과 같다.

Table 1 Specifications of HUD system

항목	결정 사양
Optics	굴절-반사 복합식
FOV	↓ 100mm, ← 80mm
Down angle	6 degree
Image size	190 × 120
Distance	2m ahead
LCD	2" TFT LCD
Brightness	≥ 5,000cd/m ²
Main color	Magenta, Green

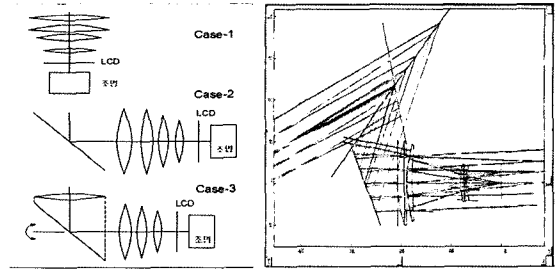
3. 광학계 설계 제작

광학계는 조명, LCD, 렌즈군 및 Mirror의 조합으로 구성된다. 조명은 LCD 영상에 적절한 밝기를 제공하고 렌즈군은 이 영상을 정해진 초점거리에 위치하게 한다. Mirror는 최종 이미지를 Windshield 상의 특정 위치에 반사시키고, 곡면 보상을 통하여 상의 왜곡을 보정한다.

광학계는 Fig. 6과 같이 여러 구성이 가능하다. 본 연구에서는 협소한 차량 공간 내의 장착성과 Mirror를 통한 상하 각도 조절을 고려하여 case-2 조합을 선택하였다. 광학계의 차량 장착 위치는 Fig. 7과 같이 정하였다.

결정된 광학계의 사양은 Table 2와 같다.

Windshield 곡면에 의한 상의 일그러짐을 보정하기 위하여 곡면 보상 Mirror를 광 경로의 마지막에



(a) 다양한 광학계 검토 (b) 최종 광학계
Fig. 6 Structure of HUD optics

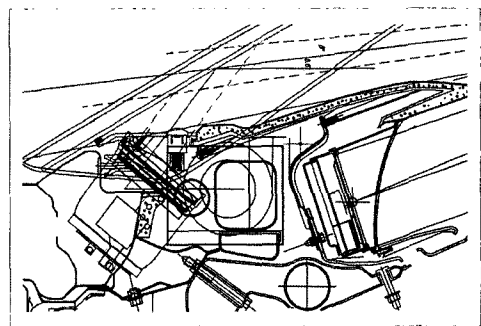


Fig. 7 Layout of HUD system in test vehicle

Table 2 Specifications of HUD optics

초점거리	626.1 mm
대물렌즈 구경	96 mm
F-No.	6.5
왜곡율	-5% 이하
시야범위	상하 254.5 mm
	좌우 366.1 mm
LCD 유효 크기	27 × 37 mm
투영영상의 크기	120.8 × 160 mm
배율	4.38
파장	486 ~ 656 nm
주 광학계 길이	166.4 mm
총 길이	1398 mm

배치하였다.

전체 광 경로는 조명 - 확산판 - LCD - 편광필름 - 렌즈1 - 렌즈2 - Mirror - 렌즈3 - 렌즈4 - Final Mirror - Dust Cover - Windshield 순으로 구성된다.

자동차용 HUD에서 요구되는 최대 밝기는 운전자 시각을 기준으로 약 5,000cd/m²로 추정된다. 각 광학 요소들의 투과율을 고려하여 계산하면 요구되는 조명 밝기는 216,742cd/m²으로 최소 220,000 cd/m² 이상의 밝기가 필요함을 알 수 있다. 좁은 장

작 공간과 발열 문제를 해결하기 위하여 고휘도 LED를 사용하여 조명 모듈을 제작하였다.

방사각 140°인 고휘도 LED 12개를 조합하여 제작한 조명 모듈은 최대 출력의 70%에서 300,000 cd/m²의 밝기를 보장한다(Fig. 8).

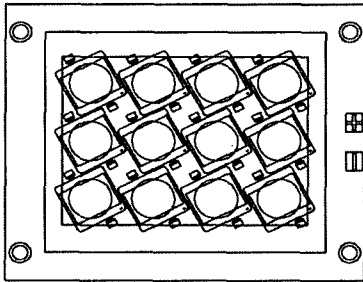


Fig. 8 LED array for illumination

최종 제작된 광학계 그림은 다음과 같다.

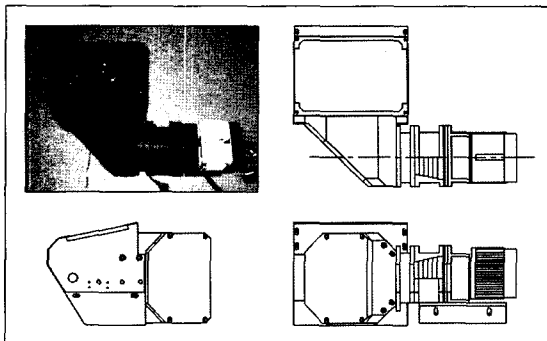


Fig. 9 Developed HUD optics

운전자의 신체크기에 따른 영상위치 조정은 Mirror의 각도를 소형 모터로 조절하여 맞추는 구조로 설계 하였다. Windshield에는 별도의 Combiner를 장착하지 않고 반사 효과만을 이용하여 영상이 운전자의 시야에 전달되도록 하였다.

4. 제어기 설계 제작

HUD 제어기는 차량 ECU로부터 여러 정보를 받아서 영상신호를 만드는 차량 인터페이스 모듈과 영상신호를 출력하는 LCD Controller로 구성된다. HUD 제어기와 차량간의 인터페이스 방식은 CAN을 사용하였고, LCD 제어기는 별도로 분리하여 광

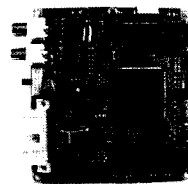
학 모듈에 장착되도록 하였다. 제어기 분리는 향후 상용화를 위하여 확장성과 유연성을 갖도록 하기 위함이다.

2" 980X240 해상도를 갖는 LCD를 사용하였으며, 나이트 비전 영상처리를 고려하여 NTSC 방식의 영상을 사용하였다. 제어기 사양은 다음의 표와 같다.

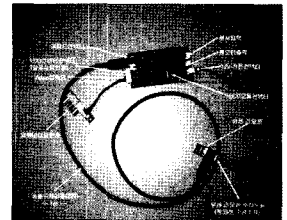
Table 3 Specifications of HUD controllers

항목	규격
공급 전원	DC 9V - 40V
소모 전류	600mA(at 12V)
입력 신호	CAN Signal
출력 신호	NTSC
CAN controller	MCP2515
Video Processor	VISA3000
NTSC Encoder	KA2198D

개발된 차량 인터페이스 모듈과 LCD 제어기는 다음과 같다.



(a) I/F 모듈



(b) LCD 제어기

Photo. 1 Developed HUD controllers

5. 차량 장착 및 평가

개발된 시제품은 간섭 문제를 해결하기 위하여 공조용 덕트를 적절하게 개조한 NF소나타에 장착되었다. 다음의 사진은 실차 장착 과정과 결과를 보여준다.

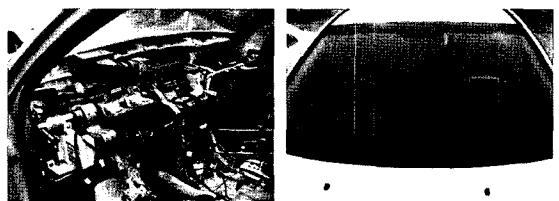


Photo. 2 Installation to test vehicle

실장 후 성능 평가는 여러 도로 환경 조건에서 실제 주행을 통하여 실시하였다. 가장 중점적으로 평가한 부분은 여러 기후 환경에서의 간섭 문제와 밝은 태양광에서의 시인성 확보 부분이다.

개발자들을 제외한 여러 운전자를 대상으로 정성적 평가를 요청하여 시인성, 영상 간섭, 이질감 등에 대한 평가를 수행하였다. 그 결과로써 모든 평가자에게서 시인성과 영상 간섭에 대해서는 문제없다는 결과를 얻었으나 일부 평가자에게서는 외란에 의한 빛의 반사 현상이 매우 거슬린다는 평가를 받았다.

아래 사진은 일반 도로 조건에서 Windshield에 투영된 HUD 영상을 보여주고 있다.



Photo. 3 In-vehicle test

6. 결론

차량 주행정보 및 부가정보를 안전하고 효율적으로 제공할 수 있는 HUD 시스템을 고안하고 시제품을 개발하여 차량에 장착하였다. 제작된 HUD 모듈은 운전자 전방 2m에 가상의 이미지를 만들어 내고, 운전자 직선 시야 대비하여 6의 하향 각을 갖는다. 실차 장착 및 주행 시험을 통하여 차량 적용성 및 실용화 가능성에 대한 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 운전자 시각을 기준으로 $5,000\text{cd/m}^2$ 의 광량은 밝은 주행 환경에서도 충분히 선명한 영상을 제공하였다.
- 2) 터널 진입, 소나기 등 순간 어두워지는 환경에서는 짧은 순간 지나치게 밝은 영상을 제공하여 이에 대한 적절한 자동제어 기능이 요구되었다.
- 3) 전방 2m 앞에 투사된 영상에 대한 운전자들의 시인성과 간섭 문제는 전혀 없으며 영상 인지에 대한 적용 시간도 매우 짧았다. 다만 터널 내의 조명과 도로 상의 가로등과 같은 외란에 의한 반사

가 있어 이를 막기 위한 적절한 기구 변경이 요구되었다.

- 4) 현재 시제품은 차량 속도, RPM, 변속 정보 등 필수 기본 정보를 가공된 그래픽 이미지로 제공하고 있으며, 이중상(Ghost)이 특별히 드러나지 않았다.
- 5) 해외 S사에서 제작된 HUD와 비교한 결과 Full Color 사용, 허상의 크기, 밝기 등 모든 면에서 우수하였으나, Windshield 곡률보정 결과가 다소 부족하여 상의 왜곡이 존재함을 알 수 있었다. 본 연구에서 개발된 HUD 시제품은 차량 적용 및 상용화 가능성이 충분히 있음을 검증하였다. 본격적인 상용화를 위해서는 나이트비전 등 필수 기능 추가, 정확한 곡률보정, 이중상(Ghost) 제거 방안 연구 등이 추가로 필요할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 자동차기반기술개발사업의 지원을 받아 현대오토넷과 웨이텍이 참여하여 공동으로 수행하였습니다.

References

- 1) R. L. Newman, "A Head-Up Display for General Aviation," SAE 2000-01-1697, 2000.
- 2) K. Morita, "Influence of Double Image on the Troublesomeness of a Head-Up Display for Use in Motor Vehicles," SAE 1999-01-0254, 1999.
- 3) D. R. Tufano, "Automotive HUDs : The Overlooked Safety Issues," Human Factors, Vol.39, No.2, pp.303-311, 1997.
- 4) K. Morita, "Considerations on a Feeling of Troublesomeness Regarding Automotive Head-Up Displays During Driving," SAE 970299, 1997.
- 5) J. K. Caird and J. Chugh, "The Time Cost of Head-Up Displays for Older Drivers : Critical Event Onset, Task Location, and Display Type," Proceedings of the Human Factors 41st Annual Meeting, pp.1008-1012, 1997.
- 6) J. Fukano, "Automotive Head-Up Displays for Navigation Use," SAE 94-S2-O-02, 1994.

- 7) D. G. Beyerlein and W. C. Fahling, "Head Up Displays - Current and Future Applications," SAE 95A2005, 1995.
- 8) Y. Inuzuka, "Visibility of Head Up Display (HUD) for Automobiles," Proceedings of the Human Factors Society 35th Annual Meeting, pp.1574-1578, 1991.