

헤드업디스플레이용 레이저 광원

유난이

(광주과학기술원 고등광기술연구소, 광주과학기술원 광과학기술 연구센터)

1. 서 론: 차량용 HUD 소개

본 원고에서 HUD로 약칭하는 헤드업디스플레이 (HUD: head up display)는 주로 자동차에 이용되는 내용을 기반으로 한정하여 소개하고자 한다. 우선 HUD는 차량 주행 중 운전자 정면, 즉 운전자의 주 시야선을 벗어나지 않는 범위에서 차량주행 정보인 속도, 주행거리, RPM 등을 비롯하여 전방지형 지물이나 도로의 노면 상태 등의 다양한 정보를 제공해 주는 HUD 시스템을 의미한다. 오늘날 HUD는 차량 내에서 운전자의 휴대용 전화기 및 외부 입력된 음향기기, 정보통신 기기의 효율적인 사용을 가능하게 하

는 차량용 디스플레이의 총칭으로 급격히 발전하고 있다. 기존의 차량 내부에 설치된 네비게이션 시스템과는 달리 운전 중 운전자의 주 시야선을 벗어나지 않도록 전면 유리창 (Windshield) 너머 전방에 제공되는 정보통신 (ICT) 융합 기기이다.

그림1에 보여준 개념도에서처럼 HUD의 목적은 운전 중 운전자의 시각적 간접 최소화로 운전자에게 안전 제공과 함께 차량 정보와 주변상황 정보를 효과적으로 전달하고자 네비게이션, trip-computer, ADAS (advanced driver assistance systems) 등 다양한 정보를 시선의 분산없이 제공하는 것이 주 목적이다. 차량용 HUD 시스템의 전체 구성은 광원 모듈과 디스플레이 소자를 포함하는 PGU (picture generation unit)과 생성된 정보 이미지를 유리창 너머로 전달할 수 있는 반사 비구면 미러와 컴바이너 등이 포함된 광학계, PGU 구동회로 및 차량 내부 정보와의 인터페이스 회로가 포함된 하드웨어 부분들이다. 또한 이런 하드웨어 파트를 처리하기 위한 소프트웨어 파트가 있다. 본 원고에서 주 관심으로 논의 할 광원 모듈은 어떤 형태의 광원 소스를 이용하느냐에 따라서 크게 3가지 형태인 LASER, LED, Back-light으로 대별하여 살펴볼 수 있다. 자율주행 자동차로 발전해 갈수록 차 내부에서의 디스플레이는 엔터테인먼트나 이동하는 오피스를 겸하는 기능을 추가해 가면서 HUD에서 보내는 정보의 디스플레이는 큰 화면



그림 1. 차량용 HUD 개념도

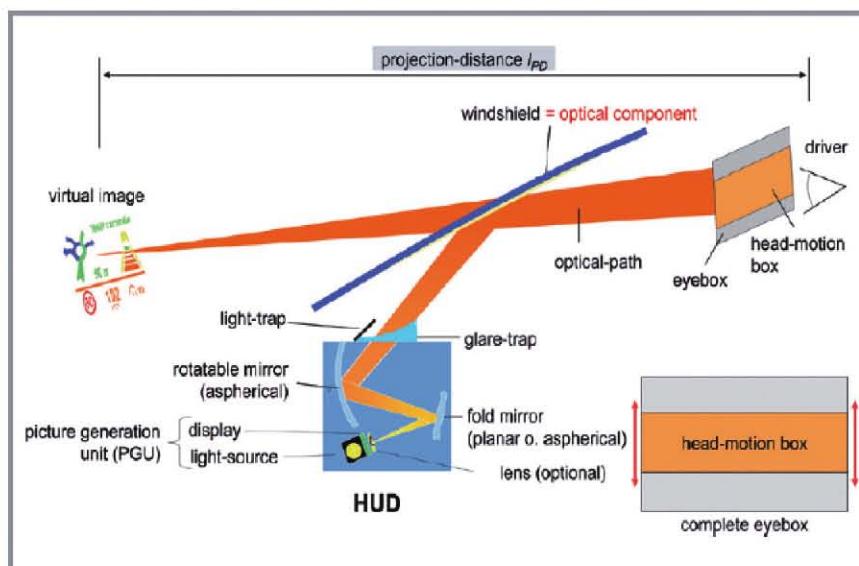


그림 2. 차량용 HUD 광학계 구성도

과 높은 화질의 실시간 영상 정보를 제공하는 방향으로 소비자의 요구가 증대되고 있다. 이러한 환경에서 기존의 LED 광원이나 Back-light 광원이 갖는 한계인 단색성과 저출력의 문제등이 제고되었고 이런 문제의 대안을 색 순도가 높고 선명한 고화질을 낼 수 있는 레이저 광원으로 대체하는 개발이 진행되고 있다.

2. HUD용 레이저 광원

2.1. HUD용 레이저 광원의 장점

레이저는 단색성으로 인하여 색 순도가 높으므로 디스플레이 구현 시 색감 구현이 뛰어나고 색 재현 범위가 넓어서 자연에 가장 가까운 색 표현이 가능하다. 레이저는 특정방향으로 편광된 광원으로 편광에 영향을 받는 디스플레이 소자인 LCD나 LCoS 사용시 상대적으로 LED나 Back-light 광원에 비해 효율이 높다. 또한 레이저는 광전변환 효율이 우수하여 동일전력으로 높은 밝기 구현이 가능하여 에너지 절감에도 도움된다.

2.2. 차량용 HUD 광학계

실제 차량에 장착되는 HUD를 살펴보자 한다. 그림 2는 차량용 HUD 광학계를 구성하고 있는 각 부

분에 대한 내용이다. PGU에 레이저 광원을 이용하게 되면 아래와 같은 빛의 삼원색인 적색, 녹색, 청색의 가시광대역의 레이저 소스가 필요하게 된다. 각각의 기본적인 특징을 표 1에서 살펴볼 수 있다.

표 1. 디스플레이용 레이저 삼원색 특징

	Red	Green	Blue
Wavelength (nm)	750–610	570–500	500–450
LD	Single chip/ Array 모두 가능		
* ¹ DPSSL		W급 이상 가능 * ² SHG/SFG 방법 이용 가능	

*1 DPSSL: Diode pumped solid state laser

*2 SHG: Second harmonic generation, SFG: Sum frequency generation

2.3. LD를 이용한 백색광 생성 방식

일반적인 방법으로는 그림 3과 같이 개별의 LD를 dichroic filter 와 mirror를 이용하여 광을 합친다.

이 경우 차량의 진동에 취약하다는 단점을 가지고 있으나 손쉽게 정렬이 가능한 장점으로 널리 쓰이고 있다. 빔 결합을 위한 렌즈, 필터, 미러 등의 조합으로 광원 모듈의 크기가 비교적 크다. 차량에 이용되는 HUD 시스템은 대부분 운전자의 옆쪽인 보조석 아래쪽인 흔히 말하는 “데시보드” 아래에 장착하게 되는데 이때 가장 중요한 요소 중 하나가 공간의 문제로

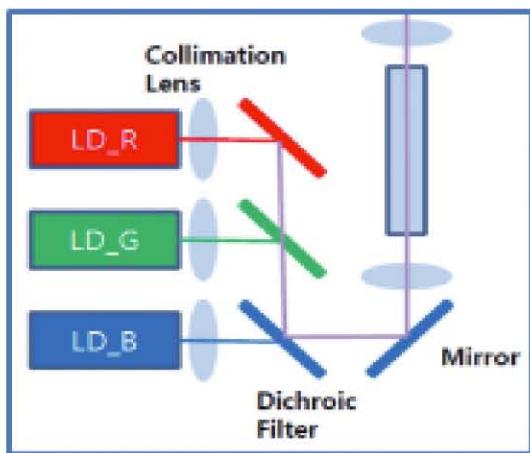


그림 3. LD 정렬에 의한 백색광 생성

HUD 시스템의 크기이다. 기존의 차량에 장착하는 외장형 HUD와 달리 차량 내부에 장착할 목적으로는 외부 충격에 대한 안정성과 시스템의 크기도 매우 중요한 개발 이슈다.

3. 광섬유 기반의 광원 모듈화

3.1. LD-광섬유-빔컴바이너 결합 기술

고출력 광섬유 레이저를 만들기 위해서 필요한 핵심 기술 중 하나가 LD에서 나오는 고출력 광을 광섬유로 입사 시켜 결합하는 것이다.

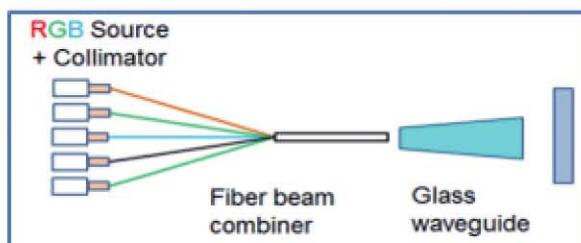


그림 4. LD - 광섬유-광섬유 결합기를 이용한 HUD용 백색광 생성 모식도

그림 4에서 보인 모식도와 같이 몇 개의 RGB-LD를 효율이 높은 광섬유 커플링을 하여 여러 가닥의 광섬유에서 나온 출력을 광섬유 빔컴바이너에 집속하여 높은 출력의 백색 광원을 만들 수 있다. 기존의 알려진 단일모드 결합기 기술은 저출력의 광통신용 소자 기술로 사용되고 있으며 광섬유 코어의 크기가 작아서

고출력 LD광을 전달받아 전송할 수 없는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 코어와 클래드 직경이 105 μm 와 125 μm 인 대구경 광섬유로 여러 채널의 펌프 광들을 전송할 수 있는 기술이 국내의 회사에서도 활발히 연구되고 있다.^[1-2]

3.2. LD- 광섬유-빔컴바이너 기반 W급 백색광원

Red, Green, Blue LD는 개별 LD 특성에 따라서 얻을 수 있는 광 출력이 다르므로 본 연구에서는 최대 백색광 출력을 와트급을 얻기 위해서 총 13개의 LD를 이용하였다. 이중 Red는 7개이고, Blue와 Green는 동일한 3개씩을 이용하여 색별로 광출력이 최대 500 mW 이상이 되도록 하여 빔 컴바이너와 결합 후 최대 출력을 1W 이상 얻고자 진행하였다. 각 기본 컬러에서 500 mW정도의 출력은 디스플레이 구현 시 약 20,000 cd/m²의 밝기를 구현하기에 충분한 광 출력이다. 이정도의 휘도는 차량용 HUD에서 매우 높은 값으로 기존의 LED 광원 기반보다 훨씬 면적이 넓고 해상도가 우수한 디스플레이를 구현할 수 있다. 디스플레이에는 컬러의 균형도 매우 중요하기 때문에 광의 spectral power density도 각 중심 파장에서 측정하고 분석하여야 하며 이는 CIE1931 color space 기준을 채택하였다.^[3-4] LD에서 나온 광을 개발된 마이크로 렌즈^[5]를 이용하여 코어와 클래드의 지름이 105/125 μm 인 광섬유에 입사시켰다. 이 때 대구경 광섬유는 silica재질로 만들어졌고 numerical aperture (NA)가 0.22 이다. 13개의 LD를 하나의 출사구를 갖는 형태로 완성하기 위해서는 광섬유 13 x 1 빔컴바이너를 이용했다. Micro gas torch를 이용한 tapered fusion machine을 활용한 빔 컴바이너는 (주) 이상테크^[6]에서 함께 개발하여 본 연구에 이용하였다. 출사구 면을 점진적으로 확대하여 마지막 단의 광출력은 코어와 클래드의 지름이 400/440 μm 갖는 광섬유에 결합하였다. 이러한 제작을 위해서는 낮은 굴절률을 갖는 폴리머가 코팅된 silica fiber가 이용되었고 그때 fiber가 갖는 NA 값은 0.46 이다. 표2에 제작된 광원 모듈의 특징과 크기에 대해서 요약하였다.

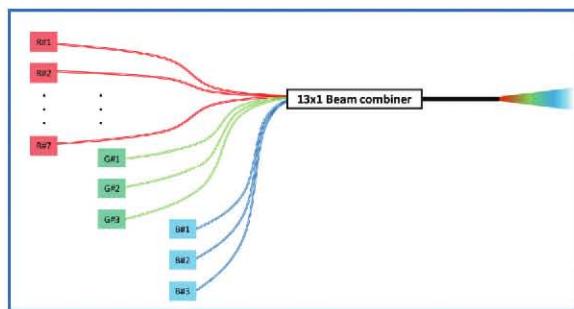


그림 5. 여러 개의 LD-광섬유- 빔결합기 모식도^[7]
Reprinted from ©Copyright 2022, with permission of OSK

표 2. 제작된 광원 모듈의 광학적 특징

	Red	Green	Blue
Wavelength (nm)	638	519	459
Power (mW)	≥ 500		
Fiber	Input Core diameter: 105 μm NA: 0.22 Multi-mode	Output Core diameter: 400 μm NA: 0.46 Multi-mode	
Size (mm)	가로 200, 세로 120, 두께 60		

3.3. 제작된 백색광의 디스플레이용 광원으로 빔 품질 분석

제작된 광원 모듈은 HUD 기기에 장착하기 이전에 개별 출력의 공간적 특징과 스펙트럼을 확인하였다. 각 컬러에서의 500 mW정도의 출력은 341.5 lumens정도에 해당한다. 만약 HUD 기기를 통해서 차량에서 운전자의 정면 쪽 유리창 너머 4 m 정도의 떨어진 거리에서 디스플레이를 구현할 경우에 45인치 정도의 스크린 사이즈에 대략적으로 23,717 cd/m²에 해당하는 밝기를 구현할 수 있다. 개발된 레이저 광의 color balance를 위해서 스펙트럼을 분석하고 측정하였다. R, G, B삼색을 합쳤을 때 만들 수 있는 순수한 백색광을 위해서는 밝기나 휘도 이외에도 color 균형이 매우 중요하다.

개발된 개별 광원을 R, G, B 의 광 출력 비율을 1.00:0.57:0.41로 혼합하여 백색광을 만든 경우의 스펙트럼을 측정한 결과를 그림 7에 보이고 있다. 그림 7의 맨 마지막 그레이 스펙트럼과 같이 삼색을 CIE 1931 기준으로 합성하여 균형이 맞는 백색광을

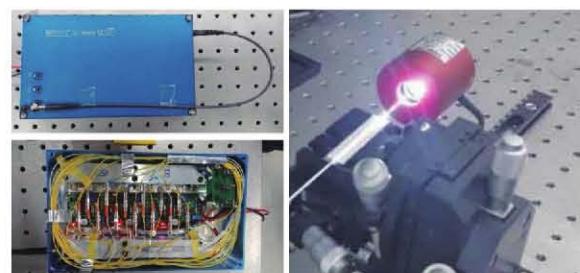


그림 6. 제작된 광원 모듈의 내부와 외부 사진^[7]
Reprinted from ©Copyright 2022, with permission of OSK

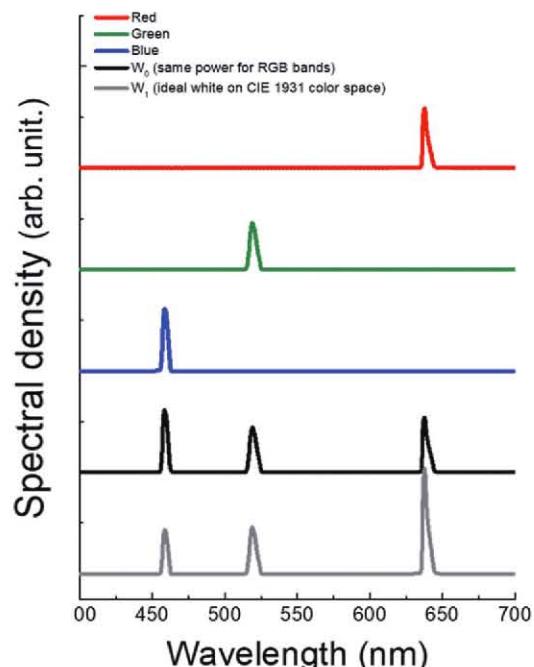


그림 7. 개별 R, G, B 출력광 및 백색광 스펙트럼^[7]
Reprinted from ©Copyright 2022, with permission of OSK

만들 수 있다. CIE 1931 색 공간은 출력 빛의 색 균형을 정량적으로 평가하는데 사용된다. CIE 1931에 따라서 출력된 조명 $L(\lambda)$ (mW/nm)의 밀도 스펙트럼에 무차원 색상 일치 함수 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ and $\bar{z}(\lambda)$ 를 곱하고 가시 범위 $\lambda \in [380, 780]$ 를 사용하여 삼자극 값 X, Y 및 Z^[8-10]를 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= \int_{\text{visible}} L(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= \int_{\text{visible}} L(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int_{\text{visible}} L(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

그런 다음 색 공간의 색 좌표 (x, y)는 이러한 매개 변수를 이용해서 쉽게 얻을 수 있고 다음과 같이 정의가 된다.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (2)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

표 3에 R, G, B 출력 스펙트럼에 해당하는 색상 좌표를 정리하였다.

표 3. 제작된 광원 모듈의 CIE 1931 기반 색상 좌표

Color	x	y
Red	0.7048	0.2934
Green	0.1277	0.8272
Blue	0.1380	0.0616
W0	0.2318	0.2876
W1	0.3127	0.3291

그림 8에서 볼 수 있듯이 각각의 R, G, B 단색 출력은 가시광 영역의 가장 자리에 위치하므로 전통적

인 램프나 LED와 같은 광원에 비해 훨씬 더 넓은 영역에서 색 표현이 가능함을 알 수 있다. 동일한 출력으로 합성한 W0로 표현한 경우는 색좌표에서 원하는 백색광 점에서 살짝 벗어나 있다는 것을 살펴볼 수 있다. CIE 1931를 기반으로 W1으로 표시되는 이상적인 백색광을 생성하기 위해서 각 색별의 최적화된 출력 비율을 계산한 결과 광 출력의 비율은 R, G, B = 1.00:0.57:0.41이다. 백색광 균형을 맞추어 얻어진 광 출력은 장시간 안정성 테스트에서 우수한 결과를 선보였으며, 실험실에서 160시간 이상 연속 측정 시 출력의 변화는 0.27% 이내로 매우 안정적이었다.

4. 맷음말

본 기고에서는 차량용 HUD 기기에 이용될 수 있도록 가시광 대역의 R, G, B 레이저광원 모듈을 개발하고 이를 디스플레이용 광원의 관점에서 특성을 분석하고 살펴보았다. 여러 개의 LD를 이용하여 1.5W 이상의 출력을 얻고 이는 45인치 이상의 유리창 너머 가상의 스크린에 20k cd/m² 이상의 밝기를 구현 할 수 있는 결과이다. 전통적인 다층 미러들을 이용하여 백색광을 합성한 방법과 달리 광섬유와 고효율의 빔 커버이너를 개발하여 차량의 진동이나 외부 충격에 매우 우수한 모듈을 부피를 줄여서 제작할 수 있는 것이 본 개발에서의 주요 특징이라고 볼 수 있다. 이는 향후 자율주행차에 채용될 경우에 보다 더 높은 출력이 필요한 상황에서는 개별 LD의 증가를 통해서 쉽게 대응이 가능한 장점도 갖고 있다. 또한 Red 컬러를 기준으로 이상적인 색 좌표의 백색광 균형을 위해서 삼색의 비율을 고려하여 R: G: B = 1.00:0.57:0.41의 결과를 실험과 계산을 통해서 얻을 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to acknowledge our colleagues at MPNICS Co. and LS Tech. Co. in Gwangju, Korea for their efforts on development and cooperation. This research is also supported

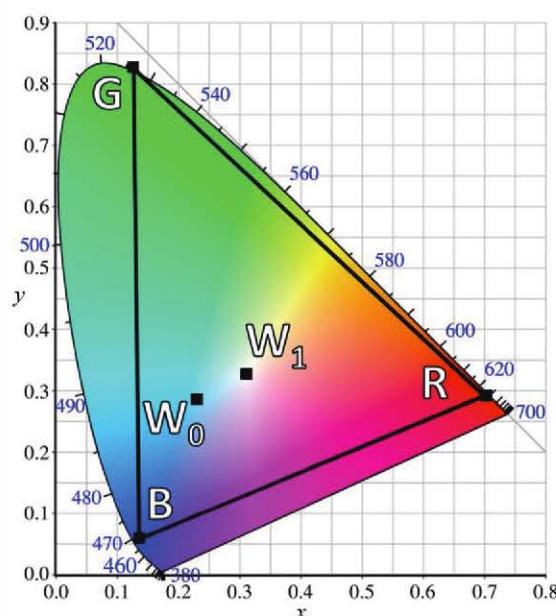


그림 8. CIE 1931 색 공간에 표시되는 5가지 출력 조명의 색 좌표^[8]
Reprinted from ©Copyright 2022, with permission of OSK

by the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE) under the “Public Institution Linked Regional Industry Development Program”, and “Global professional technology development (No. 20003777),” South Korea. Gratefully acknowledge support by vehicle AI Convergence R& D Program through the National IT Industry Promotion Agency of Korea (NIPA) funded by the Ministry of Science and ICT(S0315-21-1001-C01).

참고문헌

- [1] Sung Hun Lee, K. H. Kim, Hwanseok Yang, Seung-Yong Cho, S. Kim, M. Park and J. H. Lee, *Korean Journal of Optics and Photonics* **30**, 187 (2019).
- [2] In Seok Choi, Jongseon Park, Hoon Jeong, Ji Won Kim, M. Jeon and H. Seo, *Optics express*, **26**, 344316 (2018).
- [3] K. Bengler, K. Dietmayer, B. Farber, M. Maurer, C. Stiller, and H. Winner, *EEE Intell. Transp. Syst. Mag.* **6**, 6 (2014).
- [4] C. M. Bigler, P.-A. Blanche, and K. Sarma, *Appl. Opt.* **57**, 2007 (2018).
- [5] M. K. Hedili, M. O. Freeman, and H. Urey, *Appl. Opt.* **52**, 1351 (2013).
- [6] http://lstechnology.kr/?page_id=666
- [7] Jonggwan Lee, Kyungwon Kim, Seong-Jin Son, Bok Hyun Kim, and Nan Ei Yu, *Current Optics and Photonics* **4** 221 (2020).
- [8] T. Smith and J. Guild, *Trans. Opt. Soc.* **33**, 73 (1931).
- [9] K. Hieda, T. Maruyama, T. Takesako, and F. Narusawa, *Opt. Rev.* **25**, 175 (2018).
- [10] W. D. Wright, *Trans. Opt. Soc.* **30**, 141 (1929).

저자약력

유 난 이



- 2002년 : 부산대학교 자연과학대학 물리학과 이학박사
- 2002년 ~ 2005년 : 일본 국립물질과학연구소 박사후 연구원 (NIMS, Tsukuba)
- 2005년 ~ 현재 : 광주과학기술원 고등광기술연구소 수석연구원
- 2014년 ~ 2017년 : 광주과학기술원 고등광기술연구소 분광센서연구실 실장

• 관심분야: 레이저 디스플레이용 광원 개발, 자율주행차동차용 전자식 스캐너 개발, 준위상정합 광소자를 이용한 주파수 변환, 이차비 선형광학 기반의 테라헤르츠파 발생 연구