

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제21권 제5호, 2016년 9월 (JBE Vol. 21, No. 5, September 2016)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2016.21.5.816>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

헤드업 디스플레이 휘도 증가를 위한 LED 합성비율과 영상잡음에 대한 연구

지 용 석^{a)†}

A Synthesis Ratio of Light Emitting Diodes and Quantization Noise for Increasing Brightness of Head-up Displays

Yongseok Chi^{a)†}

요 약

본 논문은 디스플레이 휘도를 증가시키기 위하여 적색, 녹색, 청색 고휘도 Light Emitting Diode(LED)를 광원으로 사용하고, Digital Micro Device(DMD) 패널을 적용한 헤드업 디스플레이에서 세 개의 LED 광원 합성 비율과 합성에 따른 양자화 노이즈를 최소화시키는 LED 합성 비율을 연구하였고, 밝기에 영향을 미치는 녹색 LED 구동 비율과 접합 온도에 대하여 분석하였다. 이를 통하여 39%의 LED 중첩 방법을 통하여 황색과 청록색의 2차원 색을 합성하여 33.3%의 휘도 증대 효과를 얻을 수 있었다. 또한 양자화 노이즈를 억제하고 영상 화질 측면에서 우수한 색정밀도를 얻을 수 있었다.

Abstract

This paper studies a light emitting diode(LED) overlapping method of a head-up display that consists of a digital micro device(DMD) panel and a red, green, blue LED in order to increase the brightness of display system and optical output power. This optimization overlapping method removes a quantization noise which occur due to LED overlapping too excessive and stabilizes the junction temperature of LED. In order to reduce junction temperature of LED, the a correlation between a green duty and LED overlapping ratio is studied. Throughout this study, the brightness of head-up display exhibited high increasement ratio of luminance around 33.3 percent at 39 percent overlapping method.

Keyword : Head-up Display, LED, Junction temperature, Quantization noise

a) 동서대학교 메카트로닉스 융합공학부(Division of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan, Republic of Korea)

† Corresponding Author : 지용석(Yongseok Chi)

E-mail: ys.chi@gdsu.dongseo.ac.kr

Tel: +82-51-320-1769

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4564-4868>

※ 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. NRF-2015R1C1A1A01053249).

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (No. NRF-2015R1C1A1A01053249).

Manuscript received August 4, 2016; Revised September 23, 2016;

Accepted September 23, 2016.

1. 서론

대각(diagonal) 크기 2inch 이하의 초소형 패널을 적용한 헤드업 디스플레이의 휘도(luminance) 특성은 고속의 자동차를 운전하는 운전자에게 매우 중요한 요소이며, 운전자에게 다양한 정보를 제공하기 위하여 외적 조도(illumination) 환경 속에서 디스플레이 되는 영상 휘도는 겨울철 햇볕이 드는 눈(sunlit snow) 환경에서 최대 34000 cd/m²

이상이 되어야 한다^[1]. 이러한 디스플레이 휘도 특성을 만족시키기 위하여 광 출력 효율이 우수한 DMD 패널과 수명 특성이 우수한 LED 광원을 헤드업 디스플레이의 부품으로 사용한다. 또한 자동차의 고온 특성으로 인하여 차량에 적용되는 모든 부품은 온도에 의한 영향을 받아 부품 수명 감소를 발생시킨다.

헤드업 디스플레이의 광원인 LED에 사용되는 실리콘, 에폭시 봉지재(encapsulant)는 고분자 물질로 되어있고 LED로부터 발생하는 파장의 빛과 고온에 의해 열화 되는 현상을 가진다. LED 칩을 둘러싸고 있는 봉지재의 온도는 그림 1과 같이 LED의 접합온도(junction temperature)와 유사한 온도 상태로 증가되고 이러한 상태가 지속되면 열화의 한 형태인 변색과 투과도가 떨어지게 되어 LED의 수명을 저하시킨다^[2].

LED의 광 효율과 수명은 LED의 접합 온도와 직접적인 상관관계가 있으며, LED의 접합 온도의 증가에 따라 광 출

력과 수명은 급격히 감소한다. 그림 2는 LED의 접합 온도에 따른 LED의 광 출력과 수명을 나타내었다. 적색 LED의 접합 온도 70도와 90도를 비교하였을 때, LED의 접합 온도가 낮을수록 평균 광 출력이 높게 나타나며, 90도의 경우에는 수명 곡선의 20,000시간이 지나는 시점부터 광 출력이 급격히 감소하는 경향을 나타낸다. 즉 LED 접합 온도가 증가할수록 LED의 광 출력은 급격히 감소한다^[3]. LED의 고장(Failure)이라고 판단할 때까지의 시간을 수명으로 정의할 때, 수명을 판단하는 기준은 LED 광 출력이 50%로 감소할 때까지의 수명을 의미하는 TTF(The Time to Failure) 50%와 LED 광 출력이 10% 수준을 의미하는 TTF 10%으로 구분한다. TTF 50% 곡선의 경우, LED 접합 온도가 80도 이상의 영역에서 수명이 급감함을 알 수 있으며, 반대로 LED 접합 온도를 70도 이하로 관리할 때 수명은 떨어지지 않고 안정적인 상태를 유지한다. TTF 10% 곡선의 경우, 온도 증가에 따라 수명의 급감함을 알 수 있으며, LED 접합

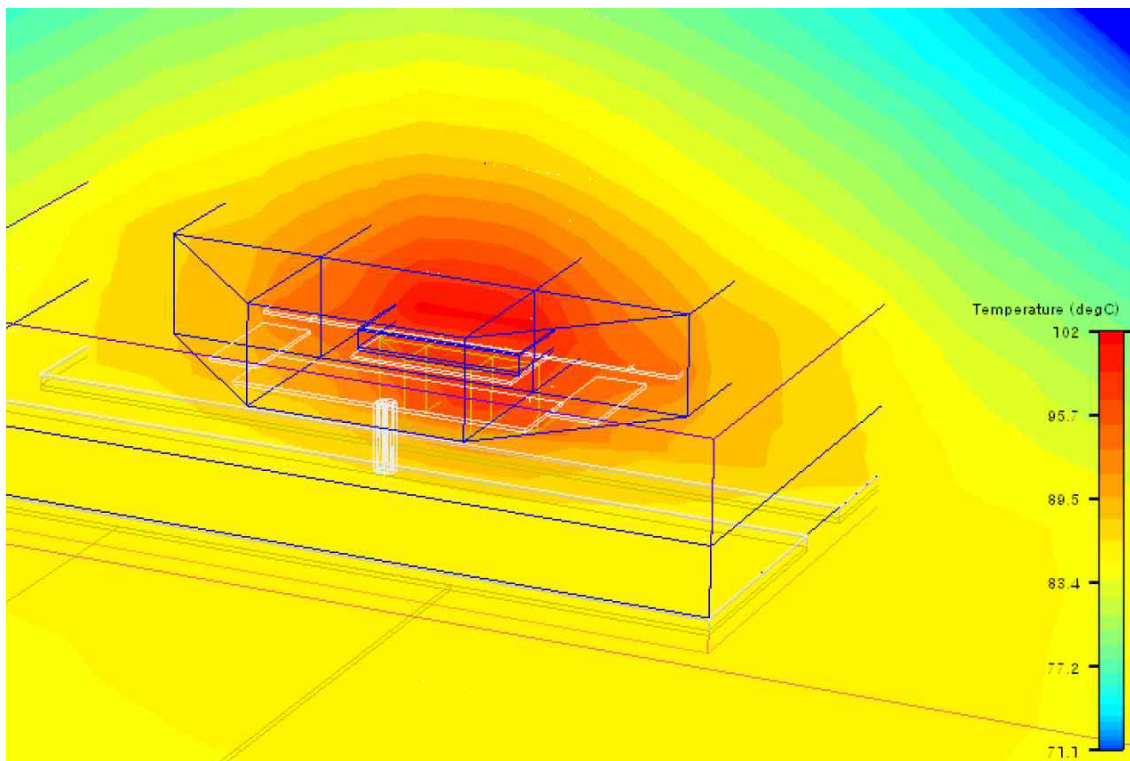


그림 1. LED 칩 주변의 열화 현상
Fig. 1. The thermal distribution around the LED chip

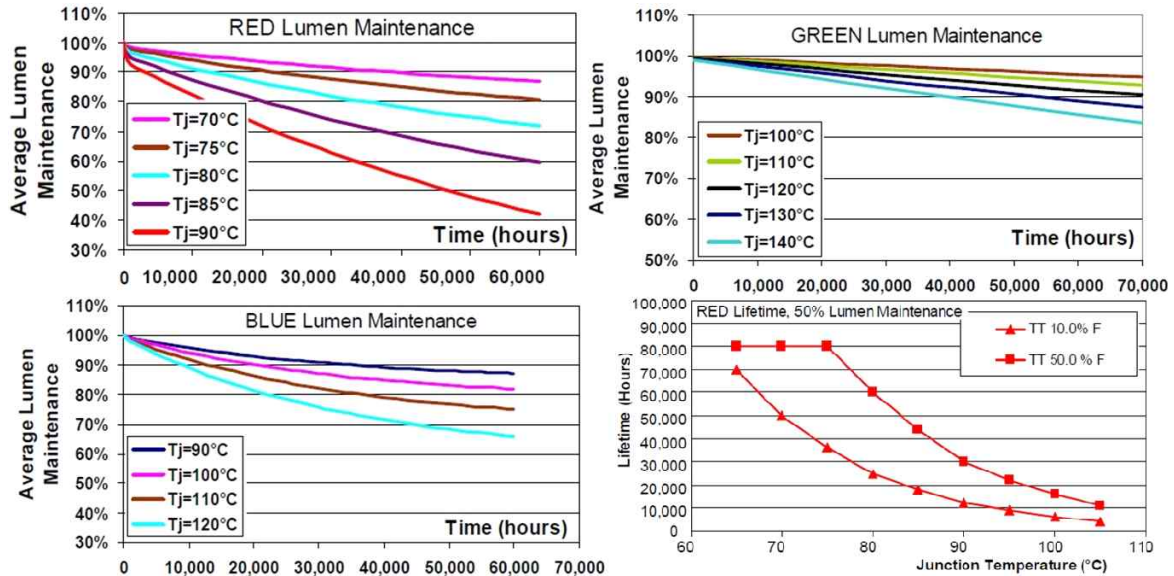


그림 2. 접합온도에 따른 LED 수명과 휘도 상관관계
 Fig. 2. The junction temperature, life time, and luminance of LEDs

온도가 90도 넘어갈 경우 수명은 1/8로 감소한다. 그렇기 때문에 접합 온도 40도 이하에서 구동되는 것이 광 효율을 증대시키기 위해 가장 좋은 조건임을 알 수 있다. LED의 수명과 온도 상관관계에서 알 수 있듯이, LED를 광원으로 적용하는 헤드업 디스플레이에서 가장 중요한 요소는 LED 냉각을 통하여 LED 광 출력 효율을 증가시키는 것이며 또한 안정적인 수명을 유지하는데 있다. 그리고 LED에 인가하는 전류와 구동 방법에 따라서 변화하는 냉각 조건 및 광 효율을 최적화하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 허상디스플레이의 휘도 증가를 위하여 LED 색 합성의 최적화와 이로 인해 발생하는 DMD 패널의 영상 양자화 노이즈에 대한 상관관계 및 휘도에 영향을 미치는 녹색 LED 합성 비율과 광효율 최적화에 대한 방법에 대하여 기술하였다. II 장에서는 디스플레이 휘도 증대를 위한 방법으로 LED 색 합성 알고리즘과 색 합성 비율에 따른 DMD 패널의 양자화 노이즈를 억제시키기 위한 색 합성 비율의 최적화에 대해 기술하였고 III 장에서는 LED 색 합성과 녹색 LED 합성 비율과의 상관관계에 대하여 분석하여 광 효율 증대와 접합온도 안정화를 위한 녹색 LED의 합성 범위 최적화에 대하여 기술하였고 마지

막으로 IV 장에서는 제안된 양자화 노이즈 억제와 광효율 증대를 위한 논문의 실험 결과를 색 정밀도 측면과 광효율 증대 측면에서 정리하였고 제안된 논문의 효과에 대하여 기술하였다.

II. LED 색 합성 비율과 영상 양자화 노이즈

3종의 LED 광원을 사용한 헤드업 디스플레이 광학 구성을 그림 3과 같이 나타내었으며, 이때 휘도 강조 효과(Broca-Sulzer Effect)와 그리고 인지 밝기와 주파수의 관계를 정의한 Talbor-Plateau 효과를 위하여 LED에 인가되는 전류를 PWM(Pulse Width Modulation) 구동 방식으로 제어하였다. 휘도 강조 효과란 단계적으로 변화하는 백색광을 사람의 눈으로 볼 때 휘도가 높을수록 감각(인지)되는 밝기의 입상 시간이 짧기 때문에 휘도 강조 효과를 얻을 수 있음을 가리킨다^[4]. Talbor-Plateau 효과란 임계 주파수 이상의 빛에 대해서 느끼는 밝기는 평균 휘도에 의해 느껴지는 밝기 감각과 같음을 나타낸다^[5]. 사람의 색 인지 정도는 녹색에서 가장 우수하며 청색과 적색 순서로 밝게 인지

되는 특성을 가지고 있다. PWM 구동 특성은 LED를 광원으로 사용하는 DMD 프로젝터에서 청색, 적색, 녹색 3개의 LED를 각각 50% 이하의 비율을 가지고 구동하였을 때 가장 높은 밝기를 얻을 수 있는 방법을 제시하였고, 더불어 LED 구동 효율을 높이며 LED 접합 온도를 낮추는 효과를 얻게 하였다.

본 논문에서는 백색을 합성하는 색의 재료 구성비를 적색, 녹색, 청색의 기본 색 외에 PWM 구동을 통하여 황색, 청록색, 심홍색을 추가하였으며, 이는 색 중첩 알고리즘을 통하여 구현하였다. 적색과 녹색 LED를 PWM으로 구동시킬 때 정격 전류 13A의 2개 LED 구동 구간을 중첩하여 황색을 생성하였고 녹색과 청색 LED의 PWM 구동 구간을 중첩시켜 청록색을 생성하였다. 마찬가지로 청색과 적색 LED의 PWM 구동 구간을 중첩시켜 심홍색을 생성하였다.

색의 생성 순서를 60Hz 주기에서 적색 - 황색 - 녹색 - 청록색 - 청색 - 심홍색 배열(R-Y-G-C-B-M sequence)을 생성하였고 이를 DMD의 색 배열(color sequence)이라 정의하였다^[6-7].

그림 4와 같이 합성으로 생성된 황색, 청록색, 심홍색은 순수 적색, 녹색, 청색으로 구성된 DMD 광학 시스템보다 밝기를 증가할 수 있는 장점을 가지고 있으나 색 범위(color gamut)가 축소되는 단점을 지니고 있다. 즉 황색, 청록색을 합성하는 시간으로 인하여, 정해진 시간 16.67msec (영상 1프레임)내에 순수 적색, 녹색, 청색에 할당되는 비트 수가 감소하여 표현할 수 있는 색의 제약 현상을 발생시킨다. 이 같은 비트 수 감소는 1차원 색(primary color)을 표현하는 계조 표현력을 떨어뜨리는 현상을 초래하는 단점을 지니고 있으며, 그림 5의 왼쪽 영상과 같이 색 계조의 최대

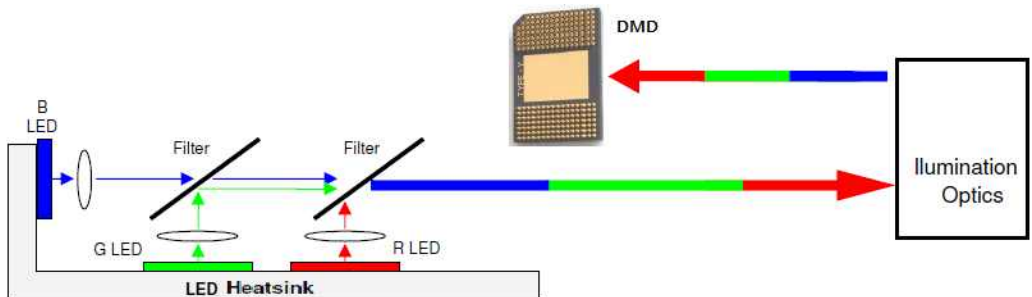


그림 3. LED 광원을 사용한 DMD 패널의 광학 구성도
 Fig. 3. The optical light system of DMD panel using LEDs

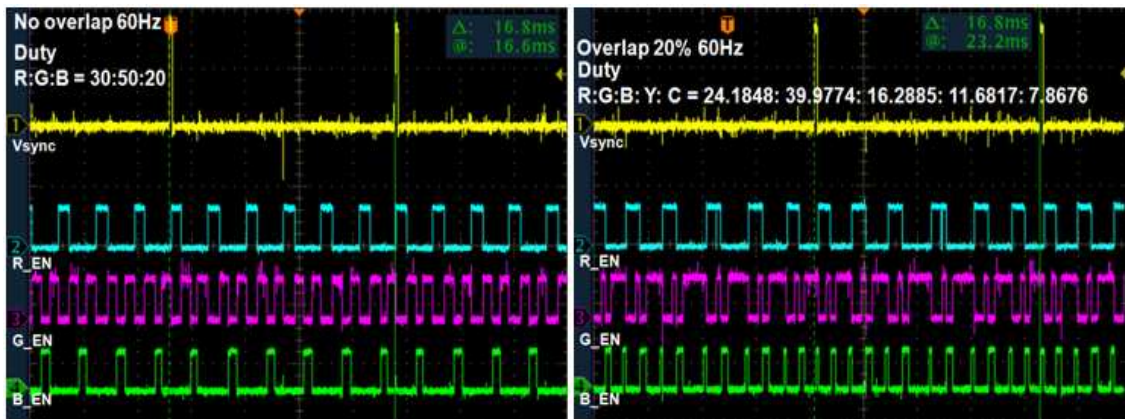


그림 4. DMD 패널을 사용한 LED PWM 구동(좌측 영상)과 색 합성 알고리즘(우측 영상) 구동 파형
 Fig. 4. The PWM driving(left image) and color synthesis method(right image) of LEDs using DMD panel

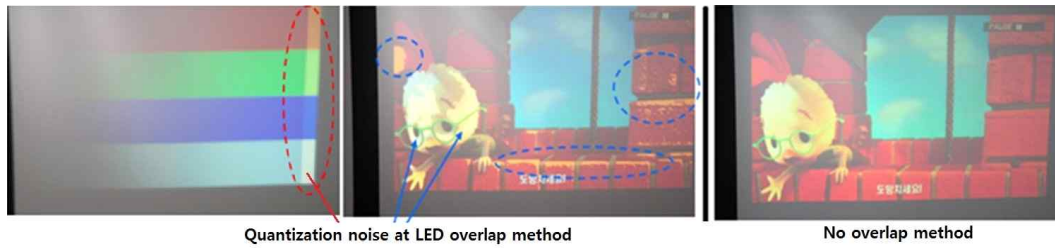


그림 5. LED 합성에 의한 양자화 노이즈(좌측 영상) 현상과 일반적인 디스플레이 화면(우측 영상)
 Fig. 5. The quantization noise of color synthesis method(left image) and normal image(right image) of DMD panel

를 표현함에 있어서 양자화 노이즈(Quantization noise)를 발생시킨다. 양자화 노이즈는 색 합성 비율의 증가에 따라 더욱 두드러지게 나타나고, 밝은 영상이 많은 화면에서 밝은 부분을 표현함에 있어서 화질에 치명적인 문제를 수반한다. 이는 1차원 색으로부터 생성된 2차원 색(secondary color) 황색과 하늘색 등의 휘도 비율을 8bits 혹은 10bits 계조 표현함에 있어서 발생하는 양자화 노이즈가 원인이 되기 때문이다. 색 합성으로 생성된 2차원색의 비율이 증가할수록 황색 비율이 증가하므로 디스플레이 휘도를 나타내는 백색의 휘도 값은 헤드업 디스플레이에서 요구하는 수준까지 증가할 수 있다. 그러나 영상의 양자화 노이즈를 제거하는 동시에 휘도를 증가시키는 색 합성의 최적화 비율을 구현하는 것이 헤드업 디스플레이에서 매우 중요한 요소가 된다.

표 1은 양자화 노이즈를 제거시키는 동시에 밝기를 증가시킬 수 있는 LED 중첩을 통한 색 합성 비율의 최적화 DMD 색 배열을 실험을 통해 나타내었다. 이때 LED에 인가되는 전류를 PWM(Pulse Width Modulation) 구동 방식으로 제어하였다.

적색, 청색, 녹색의 비율을 각각 31%, 50%, 19% PWM 구동을 통하여 LED에 각각 10A의 전류를 인가하여 180lm의 디스플레이 밝기를 구현하였고, 여기에 전류를 13.5A(정격 LED 순방향 전압 3.7V, 전체 소비 전류는 5.03A, 19.4V)로 증가시켰을 때, 3.89%의 밝기 증가율을 얻었다. 일정 범위 안에서, LED의 인가 전류 대비 광 효율의 비율은 비례하여 증가하지만, 전류가 높아질수록 광 효율은 포화되고 오히려 전류 인가량이 높을수록 LED 접합 온도의 상승으로 인하여 광 효율이 감소하는 현상을 갖기 때문에 인가 전류 대비 밝기 증가율이 낮은 수치로 증가하였다. 그러나 LED를 중첩하는 색 합성 방법을 통해 황색과 청록색을 39.7% 비율로 생성하였고 LED에 인가된 전류는 10A(정격 순방향 전압 3.3V, 전체 소비 전류는 5.06A, 19.4V)로 전류만 증가시킨 방법과 동일한 에너지를 공급하였다. 결과적으로 단순히 LED에 13.5A를 인가한 방법보다도 높은 밝기 증가율 33.3%를 얻을 수 있었다.

이 같은 차이의 가장 큰 이유는 황색과 청록색을 추가하여 백색의 밝기를 증가시켰기 때문이다. 또한 생성된 황색과 하늘색으로 인한 양자화 노이즈를 억제시키는 40% 이

표 1. LED 중첩에 따른 밝기 증가 비교
 Table 1. The increasing rate of brightness at LEDs overlap

	No overlap (red-green-blue sequence)		LEDs overlap (red-yellow-green-cyan-blue sequence)
LED overlap rate	-	-	39.7%
Forward input current	10[A]	13.5[A]	10[A]
Power consumption	3.31[A], 64.25[W]	5.03[A], 97.58[W]	5.06[A], 98.16[W]
x, y coordinates	0.296, 0.312	0.294, 0.2918	0.287, 0.286
luminance	180[lm]	187[lm]	243[lm]
increasing rate of brightness	-	3.89%	33.3%

내의 LED 합성 범위에서 밝기를 증대하였다.

III. LED 색 합성 비율과 녹색 비율의 상관관계

PWM 구동을 통하여 적색, 녹색, 청색 LED에 순방향 전류(forward current)를 각각의 색 듀티(duty) 비율에 따라 인가할 때, 생성할 2차원 색에 따른 DMD 색 배열은 다양한 방법으로 구성할 수 있다. 황색을 생성할 경우 적색과 녹색 LED를 중첩하여 R-Y-G-B의 DMD 색 배열 순서를, 청록색(하늘색)을 생성할 경우 녹색과 청색의 LED를 중첩하여 R-G-C-B의 DMD 색 배열 순서를 생성하였다. 색 중첩 방법을 통하여 황색과 청록색을 동시에 생성할 경우에는 R-Y-G-C-B의 DMD 색 배열 순서를 생성 하였다. 1차원 색과 생성된 2차원 색으로 구성된 색 배열을 통하여 헤드업 디스플레이의 휘도를 증가시키는 동시에 광원의 접합온도를 안정화시키고 고휘도 LED의 수명과 광 효율을 증대시키는 효과를 얻을 수 있었다. 그림 6은 LED 합성을 통하여 생성된 2차원 색의 듀티 비율의 증가에 따른 녹색 LED의 듀티 비율을 분석하였다.

PWM 전류 제어를 통해, LED를 중첩하여 2차원 색을

합성하고 그 비율을 증가시킴에 따라 헤드업 디스플레이의 밝기를 증가시켰다. LED 합성(overlap) 비율이 5%에서 40%로 증가함에 따라 디스플레이 밝기는 5%에서 35%의 증가율을 나타내었다. 그림 6에서 LED 합성 비율에 따라 녹색 LED의 듀티 비율이 53%에서 73%까지 증가하였고, 이것은 녹색 LED의 구동 듀티 비율 증가가 광원 출력 효율 증가의 가장 중요 요소임을 실험을 통하여 증명하였다. 이것은 한정된 광 출력에서 헤드업 디스플레이의 밝기를 증가시키기 위하여 광원 효율을 증대시키고, 디스플레이의 백색 구성을 2차원 색 합성을 통하여 획기적으로 증가시킬 수 있었다. 그러나 LED 합성 비율을 지속적으로 증가시킨다면, LED 접합 온도의 증가로 휘도는 포화되어 감소할 것이며 양자화 노이즈로 인한 화질 열화 현상이 발생할 것이다. 그렇기 때문에 녹색 LED의 구동 듀티의 최적화 범위 73%에서, 즉 2차원 색 합성 비율을 최대 39.7%에서 LED 광 출력 효율을 극대화 하였다.

IV. 평가 및 결론

표 2에서 측정된 색 좌표 값과 같이 LED 색 중첩 방법을 적용한 헤드업 디스플레이의 색 정밀도는 매우 우수하게 나타났다. 적색, 녹색, 청색의 1차원 색과 황색, 청록색, 심

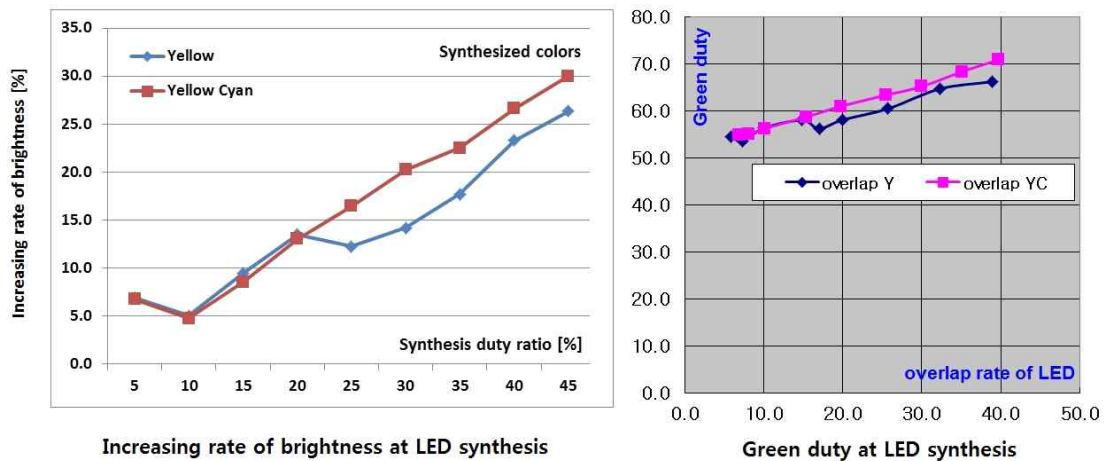


그림 6. LED 합성 비율에 따른 밝기 증가율(좌측 영상)과 녹색 LED 듀티 비의 증가 관계(우측 영상)
 Fig. 6. The increasing rate of brightness(left image) and green duty of LED(right image) at LED synthesis

표 2. LED 중첩 방법의 색 정밀도
Table 2. The hue accuracy at LEDs overlap

39% LEDs overlap	Red	Green	Blue	Yellow	Cyan	Magenta
x-coordinates	0.6401	0.3021	0.1496	0.419	0.23	0.321
y-coordinates	0.3259	0.5958	0.0554	0.511	0.33	0.156
Hue accuracy	96%	98%	98%	99%	86.6%	99%

홍색의 2차원 색은 각각 96%, 98%, 98%, 99%, 76.6%, 99%의 높은 색 정밀도를 나타내었다.

결과적으로 LED 광원과 DMD 패널을 사용하는 헤드업 디스플레이의 색 정밀도는 표준 좌표계 Rec.709를 만족하며, 우수한 색 재현성을 구현하였다. 색 재현성(color reproduction)은 구현된 색이 표준 좌표계에 얼마나 가깝게 혹은 일치하느냐에 대한 정량적 평가이며, 색 재현성은 CIE(the international Commission on Illumination) color space를 기반으로 정량화 하였다⁸⁾. 특히 색이 가진 고유의 특성을 가리키는 정밀도(Hue accuracy)는 6500K 백색의 색온도 점(point)과 각 색의 기준 좌표를 잇는 선에서 측정하고자 하는 좌표까지의 최단 거리로 그림 7과 같이 계산하였다⁹⁾.

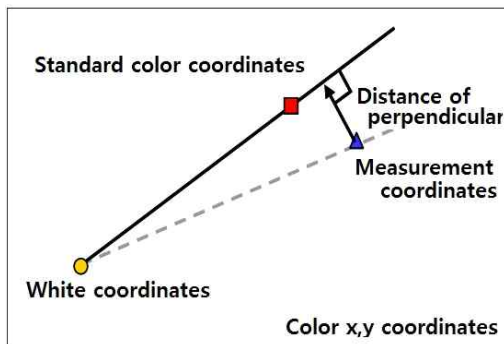


그림 7. 색 정밀도
Fig. 7. The hue accuracy

본 연구를 통하여 DMD 패널을 사용한 헤드업 디스플레이에서 색 중첩을 적용할 수 있는 최소 듀티 비율은 5%~14% 이내이며, 최대 듀티 비율은 40% 이내라는 결론을 얻었다. 또한 색 중첩을 통하여 생성된 2차원의 색 가운데 프로젝터의 밝기를 가장 높게 증가시킬 수 있는 색은 황색과 청록색이며 이것은 녹색 LED로부터 합성된 황색과 청록색

이 밝기에 미치는 영향이 가장 크기 때문이다. 밝기를 증가시키기 위하여 전류를 더 인가하는 기존 방법은 소비전력을 증가시켜 광원은 온도를 상승시켰으며 이것은 광 효율을 저하시키는 결과를 만들었다. 본 연구에서는 밝기에 영향 미치는 녹색 인자와 접합 온도 분석을 통해서 광원의 온도 상승을 억제시키면서 밝기는 증가시키는 결과를 얻을 수 있었다.

밝기를 증가시킬 수 있는 가장 중요한 요소는 LED의 광 출력 효율을 향상시키는 것이며, 본 연구의 색 중첩 구동 방법을 통해 LED의 접합 온도를 감소시켜 광 효율을 향상시켰고, 이는 광원의 수명을 증대시키기 효과를 가져왔다. 또한 생성된 황색과 청록색은 동영상 표현을 쉽고 자연스럽게 만들었으며, 이는 하늘색과 사람의 피부를 나타내는 황색의 계조 표현력을 높이는 효과를 얻게 하였다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration, "Human Factors Aspects of Using Head Up Displays in Automobiles: A Review of the Literature", pp 8, August 1995.
- [2] Displaybank's LED Division, "Analysis of LED and LED applied product's radiation technology", pp 17, May 2010.
- [3] Luminus Devices, "Reliability of LED", PhlatLight LED Report, pp. 6-12, 2008.
- [4] Pinneo LR, Heath RG, "Human visual system activity and perception of intermittent light stimuli", Neurological Sciences 5, pp 303 - 314, 1967.
- [5] A. Stockman, "Color from invisible flicker: a failure of the Talbot-Plateau law caused by an early 'hard' saturating non-linearity used to partition the human short-wave cone pathway" Vision research 38, Pergamon, pp. 3-21, 1998.
- [6] David C. Hutchison, "Introducing Brilliant Color Technology", Texas Instruments Report, pp. 2-5, 2005.
- [7] Texas Instruments Report, "Moving to higher brightness & LED Projection based 0.55inch DMD & ddp2230", pp. 13-16, 2008.

[8] Hunter Lab, "CIE 1976 L*a*b* color scale", pp. 1-4, 2007.

[9] Symon D'O. Cotton, "Colour, colour spaces and the human visual sys-

tem", School of Computer Science, University of Birmingham, Technical Report, May 1996.

저 자 소 개



지 용 석

- 1996년 2월 : 홍익대학교 전기공학과 (학사)
- 2008년 2월 : 단국대학교 전기전자컴퓨터공학과 (석사)
- 2014년 8월 : 단국대학교 전기전자공학과 (박사)
- 1998년 1월 ~ 2000년 11월 : LG산전 엘리베이터 연구소
- 2000년 12월 ~ 2004년 4월 : 삼성SDI PDP 연구소
- 2004년 5월 ~ 2012년 4월 : LG전자 소재부품연구소
- 2015년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 메카트로닉스 융합공학부 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-4564-4868>
- 관심분야 : Virtual Display, Head Up Display, Head Mounted Display, Wearable Display, Projector, IP-CCTV, LED and Laser.