

## 항공기 디스플레이용 LED 백라이트의 광대역 휘도 제어기 개발

林洙法<sup>\*</sup>, 林廷圭<sup>\*\*</sup>, 鄭世教<sup>†</sup>, 愼輝範<sup>\*\*\*</sup>, 愼民宰<sup>§</sup>, 孫承杰<sup>§</sup>

### Development of Wide-Range Brightness Controller of LED Backlight for Avionic Displays

Soo-Hyun Lim, Jeong-Gyu Lim, Se-Kyo Chung, Hwi-Beom Shin,  
Min-Jae Shin and Seung-Gul Sohn

#### 요 약

본 논문은 통제 시현 장치(Control data unit ; CDU), 다기능시현장치(Multi Function Display ; MFD)와 같은 항공기 디스플레이용 LED 백라이트의 광대역 휘도 제어기의 개발에 대해 기술하였다. 항공기 디스플레이 장치는 주간 태양광 아래서 수백 fL 이상의 고 휘도에서부터 야간에 야시경(Night Vision Goggle) 착용 시 0.05fL의 최저 휘도까지 광대역의 범위에서 디스플레이가 가능해야 한다. 따라서 본 논문에서는 광대역의 조광 제어 범위 내에서의 정확한 휘도 제어를 하기 위해 광센서를 사용한 궤환 휘도 제어기를 제안하였다. 제안된 휘도 제어기는 주위 온도변화에 대해서 0.05fL에서 150fL까지 1:3000의 광대역의 조광 제어 범위에서 향상된 제어성능을 보인다. 제안된 제어 시스템의 성능은 본 논문의 실험 결과들을 통해서 검증하였다.

#### ABSTRACT

This paper describes an implementation of a wide-range dimming controller of a LED backlight for Avionics applications such as a control display unit(CDU) and multi-function display(MFD). The digital dimming controller employing a current controlled buck converter and light sensor feedback is proposed. The proposed system provides a wide dimming control range of from 150fL to 0.05fL(3000:1) required for avionic displays. The experimental results are provided to show the control performance.

**Key Words :** Avionic displays, Backlight, white LED, Dimming controller

### 1. 서 론

최근 항공전자 기술의 급속한 발전에 따라 항공기

조종석에 표시되는 다양한 정보들이 몇 개의 대형 디스플레이 장치에 통합되는 추세이다. 현재 개발되고 있는 최신형 항공기 조종석에 적용되는 통제시현장치(Control Display Unit; CDU)와 다기능시현장치(Multi-function Display; MFD) 등의 디스플레이 장치에는 대부분 LCD가 적용되고 있다. LCD는 기존의 CRT에 비해 명암 비(Contrast ratio)가 크고, 크기, 무게, 전력소모, 방열 등에 큰 장점을 가지고 있어 CRT를 대체하고 있다.<sup>[1]</sup> 그림 1은 LCD가 장착된 첨단 항공기 조종석의 예를 나타내고 있으며 4대의 MFD와 2

<sup>†</sup>교신저자 : 정희원, 경상대 전기전자공학부 교수

E-mail : skchung@gnu.ac.kr

<sup>\*\*</sup>학생회원, 경상대 제어계측공학과 석사과정

<sup>\*\*\*</sup>학생회원, 경상대 제어계측공학과 박사과정

<sup>§</sup>정희원, 경상대 전기전자공학부 교수

<sup>§</sup>정희원, 국방과학연구소 책임연구원

접수일자 : 2008. 3. 31

1차 심사 : 2008. 5. 6

심사완료 : 2008. 6. 11

대의 CDU가 장착되어 있다.

항공기 디스플레이 장치는 외부의 자연광에 노출되어 사용되기 때문에, 주간에 태양광 아래에서는 150fL 이상의 고 휘도로 디스플레이가 가능해야 하고 야간에 야시경 (Night vision goggle) 착용 시에는 0.05fL 정도의 저 휘도로 디스플레이가 가능해야 한다. 따라서 이러한 조건의 만족을 위해서는 3000:1 이상의 광대역 휘도 제어가 필요하다. 표 1에는 항공기 CDU의 사양을 예로 나타내었다.

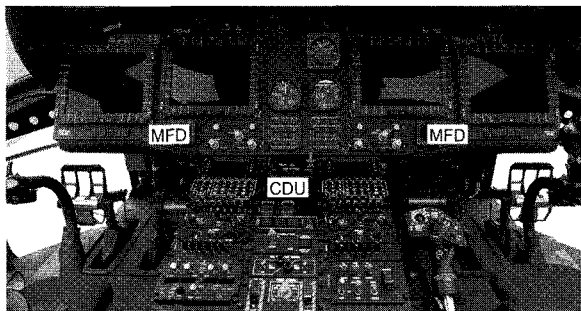


그림 1 LCD가 장착된 첨단 항공기의 조종석  
Fig. 1 Advanced aircraft cockpit with LCD

표 1 항공기 CDU의 사양 예  
Table 1 Specification example of aircraft CDU

항 목	사 양
디스플레이 타입	Ruggidized AMLCD
디스플레이 크기	4" x 5"
최대 휘도	150fL (514 cd/m <sup>2</sup> )
조광제어 범위	0.05fL ~ 150fL

LED는 형광램프에 비해 저 전압으로 구동되고 고효율이며, 색 표현 범위가 넓고 수명이 길어 LCD 백라이트에 적용하기 위해 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[2]</sup>

이러한 추세에 따라 항공기용 LCD에도 LED 백라이트가 적용되고 있으며, 항공기 디스플레이에 적용하기 위해서는 최대 150fL에서 최저 0.05fL까지 3,000:1 이상의 광대역 조광제어가 필요하다. 그러나 LED는 휘도 특성이 LED의 접합 온도 (Junction temperature)에 따라 크게 변하며, 특히 항공기 디스플레이와 같이 광대역의 휘도제어가 필요한 경우 온도 변화의 영향으로 정밀한 휘도제어가 어렵다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 LCD 백라이트의 휘도를 궤환하여 제어하는 휘도

제어시스템을 제안하였다. 먼저 전류 모드 제어 벡 컨버터를 이용하여 구동회로를 구성하였고 광센서와 DSP를 이용한 디지털 휘도 제어기를 설계 및 구현하였다. 구현된 LED 휘도제어 시스템을 항공기 CDU용 백라이트에 적용하였으며 실험을 통하여 150fL~0.05fL의 광대역 휘도제어가 이루어짐을 입증하였다.

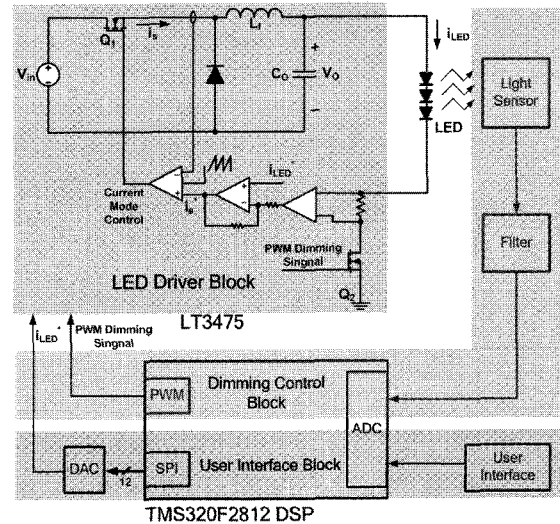


그림 2 시스템 구성도  
Fig. 2 System configuration

## 2. LED 백라이트의 구현

### 2.1 시스템 구성

그림 2는 제안된 LED 백라이트 휘도 제어 시스템의 구성을 나타낸 것이다. 휘도 제어를 위한 디지털 제어기로 TMS320F2812 DSP를 사용하였다. LED 구동회로는 벡 컨버터 타입으로 전류모드 제어가 가능한 Linear Technology 사의 LT3475 칩을 사용하였다. 본 논문에서는 LED의 전류변화 특성에 따른 휘도와 색도 변화를 감소시키기 위해 LED 구동회로의 전류제어를 통해 LED에 정 전류를 입력하도록 구현했다. LED 구동회로의 정 전류 제어가 가능하도록 기준 전류값 ( $I_{LED}^*$ )은 DSP의 SPI 통신과 D/A 변환기를 이용해 입력하였다. LED 구동회로의 출력 단에는 LED 부하와 조광 제어 스위치( $Q_2$ )를 연결하였다. 그리고 DSP의 PWM 신호로 이 스위치를 on/off 시켜 LED를 조광 제어 하여 LED 백라이트의 빛의 세기를 조절하였다. 휘도 제어기를 구현하기 위해 광센서를 사용하여 LED에서 방사되는 휘도를 측정한다. 이 값을 A/D 변환기에 입력하여 궤환 제어기를 구현했다.

2.2 LED 구동회로

그림 3은 본 논문에서 사용한 벡 컨버터 타입의 LED 구동회로를 나타내고 있다. 이 회로는 구동스위치(Q<sub>1</sub>)의 스위칭에 의해 구동된다. 그리고 LED의 전류변화에 따른 휘도 및 색도 변화 문제를 해결하기 위해 전류제어를 통해 LED 전류를 일정하게 제어한다. 기준전류와 측정전류를 오차 증폭기에서 비교하여 전류명령 i<sub>s</sub><sup>\*</sup>를 출력 하게 되고, 이를 톱니파와 입력전류와 비교하여 스위치 Q<sub>1</sub>을 제어한다. 또한 벡 컨버터의 출력 단에는 LED의 빛의 세기를 조광 제어하기 위한 스위치(Q<sub>2</sub>)가 있다. 이 스위치를 on/off하여 PWM 조광 제어를 하게 된다.

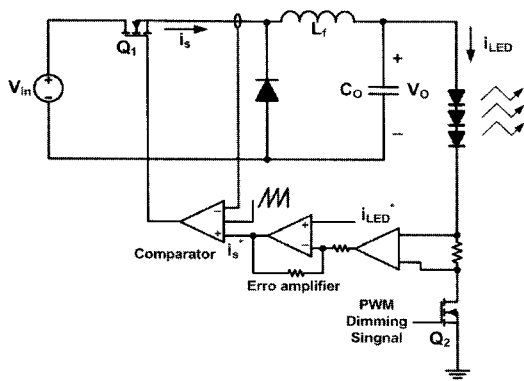


그림 3 구현된 LED 구동회로  
Fig. 3 Implemented LED drive circuit

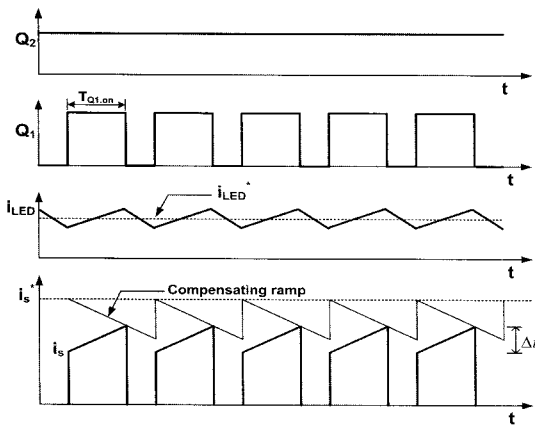


그림 4 LED 구동회로 파형  
Fig. 4 Waveforms of LED drive circuit

그림 4는 LED 구동회로의 동작 파형을 나타낸 것이다. 스위치 Q<sub>2</sub>가 on 상태에 있을 때 LED 구동회로는 정상상태에서 제어된다. 이때 Q<sub>1</sub>의 스위칭에 따라 기준 전류 값 i<sub>LED</sub><sup>\*</sup>에 의해 출력 전류 i<sub>LED</sub>를 출력 한다.

그림 3의 마지막 파형은 LED 구동회로의 출력 전류를 측정하여 보상된 값 i<sub>s</sub><sup>\*</sup>, 톱니파, 입력전류 i<sub>s</sub>가 비교기를 통해 Q<sub>1</sub>의 스위칭 on시간 T<sub>Q1,on</sub>을 제어하는 동작 파형이다.

150fL에서 0.05fL까지 3000:1의 광대역 휘도 제어를 위해서는 최저휘도 0.05fL에서 안정된 조광 제어가 이루어져야 한다. 먼저 조광 제어 주파수를 100Hz로 선정하면, 10ms 주기에서 최고 조광 제어 범위가 3000:1 이므로 Q<sub>2</sub>의 최소 스위치 on 시간은 3.3μs이다. LED 구동회로의 스위칭 주기는 이 시간 보다 더 빨라야 안정하게 제어할 수 있다. 따라서 LED 구동회로는 300kHz 이상의 빠른 스위칭 주파수가 필요하고 본 논문에서는 1MHz를 선정했다. LED 구동회로의 설계 식은 다음과 같다.

$$V_{o,min} = V_{f,min} \cdot n_L \tag{1}$$

$$T_{on} = \frac{V_{o,min}}{V_i} \cdot \frac{1}{f_{sw}} \tag{2}$$

$$L_f = \frac{(V_i - V_{o,min})}{\Delta I} \cdot T_{on} \tag{3}$$

$$C_{out} = \frac{\Delta I}{8 \cdot \Delta V} \cdot T_{on} \tag{4}$$

여기서, V<sub>o,min</sub> = 최소 출력전압, V<sub>f,min</sub> = LED 최소 순방향 전압, n<sub>L</sub> = 직렬LED수, f<sub>sw</sub> = 스위칭 주파수, T<sub>on</sub> = 스위치 on 시간, L<sub>f</sub> = 필터 인덕터, ΔI = 허용 가능한 LED의 리플 전류, ΔV = 허용 가능한 LED의 리플 전압, C<sub>out</sub> = 출력 콘덴서이다.

2.3 검출 회로

검출회로는 LED 백라이트의 휘도 제어기의 구현에서 매우 중요하다. 이 회로의 정확도에 따라 LED 백라이트 휘도 제어 시스템의 성능이 결정된다.

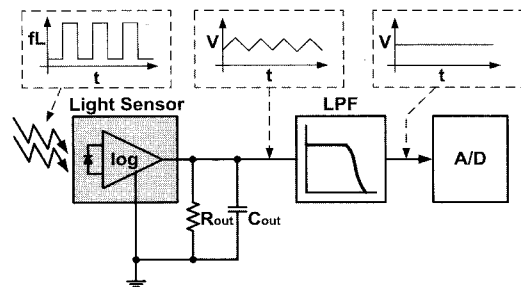


그림 5 광 센싱 회로  
Fig. 5 Light sensing circuit

그림 5는 광 검출 회로를 나타낸 그림이다. 광 검출을 위해 사용된 광센서는 Osram사의 SFH5711이다. 광센서의 응답 속도는 매우 빠르므로 PWM 조광제어 신호에 따라 구형파 형태의 전압이 측정된다. 광센서는 LED 백라이트에서의 발생된 빛을 입력받아 log 스케일의 전류를 출력하며 출력 측의 부하저항  $R_{out}$ 을 통해 전압 값으로 변환된다. 여기에 출력 콘덴서  $C_{out}$ 을 구성하여 평활화된 센서 출력전압을 얻고 저역통과 필터로 DC 성분만 필터링 한다. 이러한 회로 측정값이 A/D 변환기를 통해 DSP에 입력되도록 그림 5와 같이 전체적인 검출 회로를 구성하였다.

그림 6은 Sallen-key 방식의 2차 저역통과 필터이다. 이 방식은 각각 2개의 저항과 콘덴서를 사용하여 다른 방식보다 간단히 구현 할 수 있는 장점이 있다.<sup>[5]</sup>

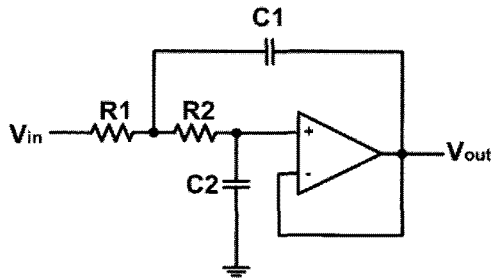


그림 6 2차 저역통과필터  
Fig. 6 2-order low-pass filter

$$H(s) = \frac{1/R_1R_2C_1C_2}{s^2 + (1/R_2C_1 + 1/R_1C_1)s + 1/R_1R_2C_1C_2} \quad (5)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \quad (6)$$

식 (5)는 2차 저역통과필터의 전달함수를 나타낸 식이다. 그리고 식 (6)은 2차 저역통과 필터의 차단주파수를 나타낸 것이다. 일반적인 DC/DC 컨버터는 빠른 동특성을 요구한다. 하지만 백라이트용 LED 구동회로는 LED의 빛을 사람의 눈으로 인식하여 그 성능을 평가하므로 빠른 동특성이 필요하지 않다. 또한 DSP의 A/D 변환기는 사람의 눈이 인식하는 것과 같은 평균화된 값을 받아야 정확한 빛의 크기를 측정할 수 있다. 따라서 본 논문에서 차단주파수는 10Hz로 선정하여 저역통과필터를 설계했다.

### 2.4 휘도 제어기의 구현

그림 7은 휘도 제어기의 블록선도를 나타내고 있다.

그림에서  $G_c(z)$ 는 디지털 PI 제어기,  $G_d(s)$ 는 LED 구동회로,  $G_L(s)$ 는 LED,  $G_{LS}(s)$ 는 광센서,  $G_{LP}(s)$ 는 2차 저역통과필터의 전달함수이고  $T_s$ 는 샘플링 주기이다.

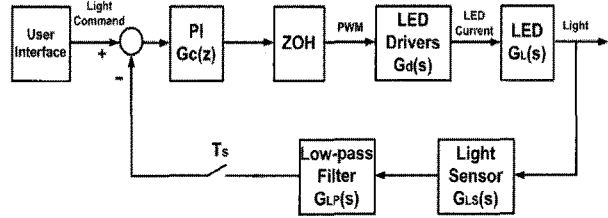


그림 7 휘도 제어기 블록도  
Fig. 7 Block diagram of Brightness controller

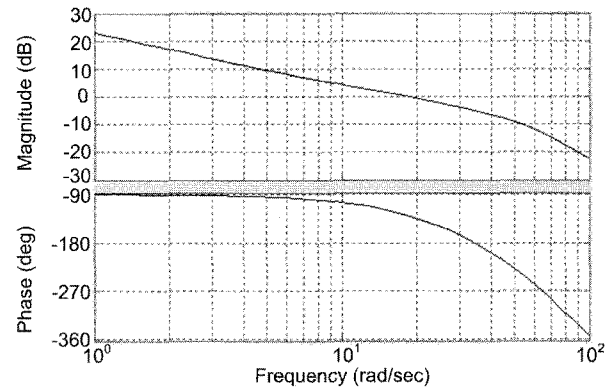


그림 8 설계된 제어 시스템의 페루프 특성 (이득여유 =5.09dB, 위상여유=49.9°)  
Fig. 8 Closed loop characteristics of the designed control system (Gain margin=5.09dB, Phase margin=49.9°)

LED 구동회로의 LT3475칩은 내부적으로 비례 제어를 통해 전류 모드 페 루프 제어를 하므로 2차식으로 나타낼 수 있으며, 전달함수는 다음과 같다.

$$G_d(s) = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0s + \omega_0^2} \quad (7)$$

여기서,  $K$ 는 LED 구동회로의 이득이고  $\omega_0$ 는 LED 구동회로의 고유주파수이다. 2차 저역통과 필터의 전달함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_{LP}(s) = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 1.414\omega_c s + \omega_c^2} \quad (8)$$

여기서,  $\omega_c$ 는 2차 저역통과필터의 차단 주파수이다. LED 구동회로는 1MHz의 높은 스위칭 주파수로 전류 제어를 한다. 하지만 조광제어 주파수는 100Hz로 구동되고, 2차 저역통과 필터의  $\omega_c$ 는 수십 Hz로 구동회로의 동특성에 비해 매우 느리므로 구동회로의 전달함수는 무시할 수 있다. 따라서 전체 제어시스템의 동특성은 저역통과 필터의 특성에 가장 큰 영향을 받는다. 이러한 시스템의 제어를 위해 PI 제어기를 사용하였으며 디지털 PI 제어기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_c(z) = \frac{K_p z - (K_p - K_i T_s)}{z - 1} \quad (7)$$

실험에서는  $K_p=10$ ,  $K_i=100$ 로 설정하였으며, 디지털 제어기는 DSP 소프트웨어로 구현하였다. 그림 8은 설계된 제어기의 페루프 이득을 나타내는 보드선도이다. 여기서 이득여유는 5.09dB이고 위상여유는 49.9°이다.

### 3. 실험 결과

그림 9은 구현된 실험시스템이며 제안된 LED 구동 및 제어회로, 항공기용 LCD 모듈, 외부 빛을 차단하는 빛 가리개, 그리고 LED 구동회로의 전류, 전압, 온도 측정 장비들로 구성되어 있다. LCD 모듈 내부에는 LED 백라이트가 장착되어 있다. LED는 백라이트 측면에 장착되어 있으며, 가로축 LED는 3개 직렬, 48개의 병렬로 구성되어 있고 세로축 LED는 3개의 직렬과 33개의 병렬로 구성되어 있다. 휘도의 측정은 휘도/색도계 MINOLTA CS-100A를 사용하였다.

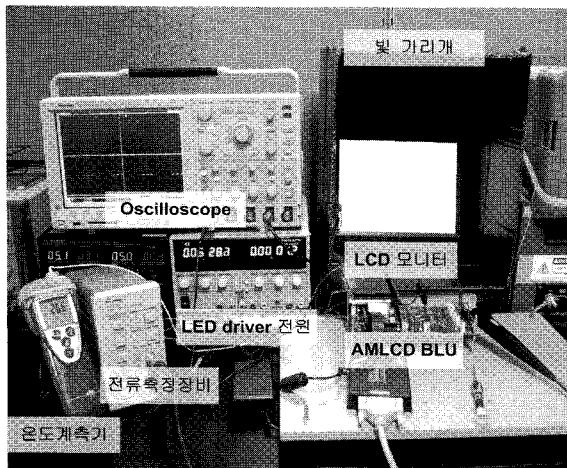


그림 9 실험 시스템  
Fig. 9 Experimental system

그림 10은 구현된 LED 구동회로를 나타낸 그림이다. 왼쪽은 DSP 모듈, 검출회로, 사용자 인터페이스이다 오른쪽은 LED 구동회로 부분으로 2개의 전류모드 제어 벡 컨버터로 구성되어 있고 노이즈 저감을 위해 왼쪽 DSP부분과 전원을 분리하여 설계하였다.

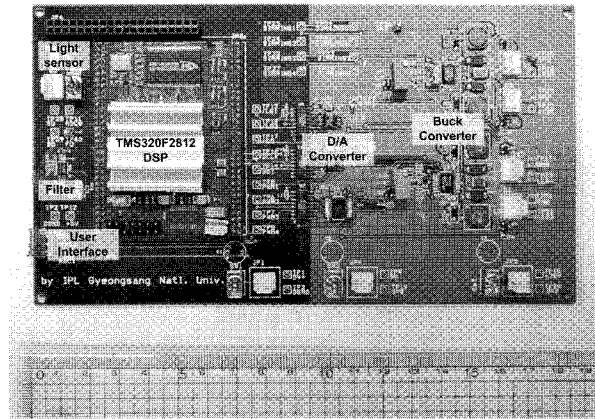


그림 10 구현된 LED 구동회로  
Fig. 10 Implemented LED Driver Circuit

표 2는 실험 시스템의 파라미터이다. 입력전압은 28V, 출력 전압은 9V, 스위칭 주파수는 1MHz를 선정했다. 그리고 조광 제어를 위한 PWM 주파수는 100Hz로 설정하였다.

표 2 실험 시스템 파라미터  
Table 2 Parameters of Experimental System

Item	Symbol	Value	Unit
Input voltage	$V_{in}$	28	V
Output voltage	$V_o$	9	V
Switching frequency	$f_s$	1	MHz
Filter inductor	$L_f$	15	$\mu$ H
Output capacitor	$C_{out}$	2.2	$\mu$ F
Dimming frequency	$f_d$	100	Hz
Dimming control range		0.05~150 (1:3000)	fL

그림 11은 LED 구동회로의 출력전압( $V_o$ ), 출력전류( $i_{LED}$ ),  $V_{sw}$ 는 필터인덕터( $L_f$ ) 앞단의 전압 파형으로 스위칭 주파수( $f_s$ )를 알 수 있다. 스위칭 주파수는 1MHz이고 출력전류는 약 500mA, 전류리플은 약 10mA로

제어되고 있음을 볼 수 있다. 그림 12는 조광 제어시의 LED 구동회로의 동작 파형을 나타낸 그림이다. 조광 제어 PWM 신호가 on 되면 출력전류( $i_{LED}$ )는 정 전류 제어되어 출력됨을 확인 할 수 있다.

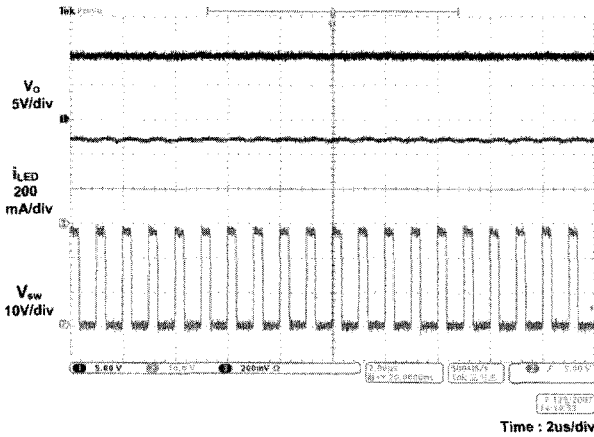


그림 11 LED 구동회로 파형  
Fig. 11 Waveform of LED drive circuit

서 10ms의 조광 제어 PWM 주기에서 PWM 입력의 on 시간은 약 3.3 $\mu$ s이다. 그리고 LED에 입력되는 출력 전류( $i_{LED}$ )가 약 2 $\mu$ s가 지난 후에 정상상태에 도달함을 확인 할 수 있다.

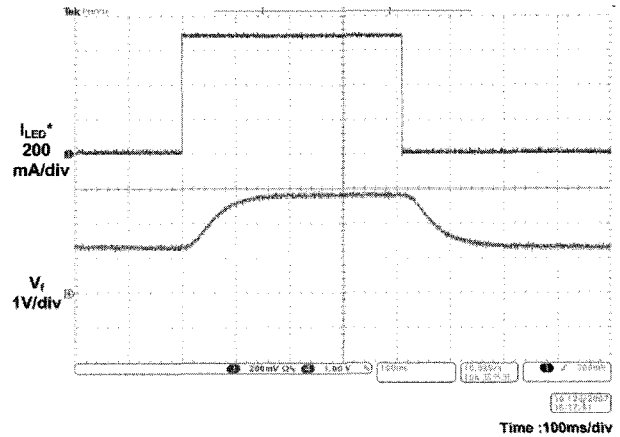


그림 13 LED 휘도제어 시스템 응답 특성  
Fig. 13 Dynamic Response of LED Brightness Control System

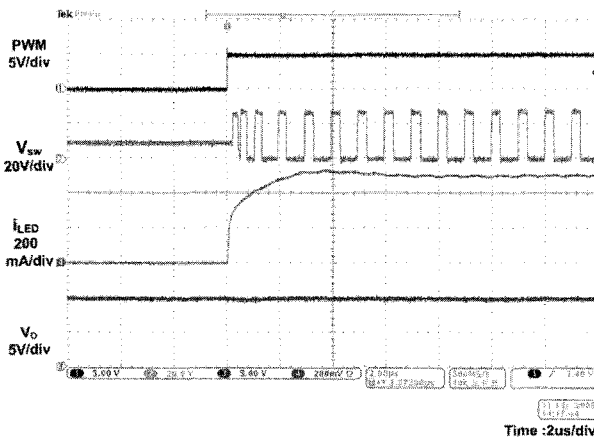


그림 12 조광 제어시의 LED 구동회로 동작 파형  
Fig. 12 Waveforms of LED Driver for Brightness Control

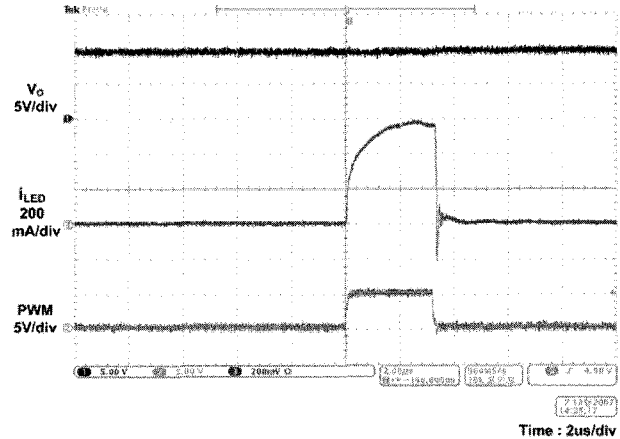


그림 14 0.05fL 휘도 제어 파형  
Fig. 14 Waveform of 0.05fL brightness control

그림 13은 LED 휘도제어 시스템의 응답특성을 나타낸 그림이다. 휘도제어 시스템의 출력은 빛이며 이를 직접 측정하기는 어려우므로 그림 7의 블록선도에서 저역통과 필터  $G_{LP}(s)$ 의 출력을 측정하였다. 즉, LED 구동회로의 기준 전류  $i_{LED}^*$ 의 값을 구형파로 인가하였을 때 DSP의 A/D 변환기에 입력되는 2차 저역통과 필터의 출력의 응답을 측정하여 특성을 분석하였다.

그림 14는 최저 휘도 0.05fL에서 조광 제어된 LED 구동회로의 출력파형이다. 최저 휘도를 구현하기 위해

본 논문에서 적용하는 항공기용 LCD는 주간에는 150fL의 고 휘도로, 야간에는 0.05fL의 저 휘도로 제어가 가능해야 한다. 따라서 제어 정밀도를 높이기 위해 주간과 야간 모드로 나누어 주간에는 150fL(100%)에서 7.5fL(5%)까지, 야간에는 5fL(3.33%)에서 0.05fL(0.033%)까지로 구분하였으며 각 모드에서 미세하게 휘도제어를 하였다. 그림 15는 주간모드, 그림 16은 야간모드에서의 조광제어 PWM duty에 따른 LCD의 휘도를 나타낸 그림이다.

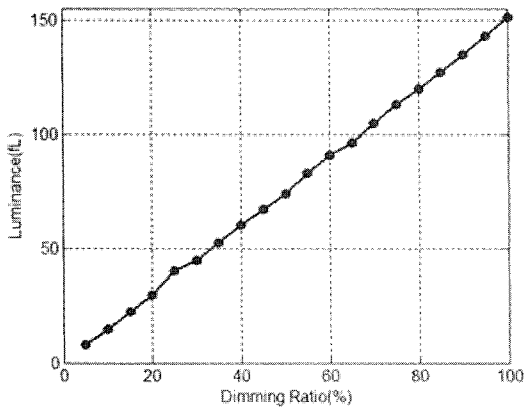


그림 15 주간 모드에서 Dimming 율에 따른 LCD의 휘도  
Fig. 15 Brightness of LCD for various dimming ratio in day mode

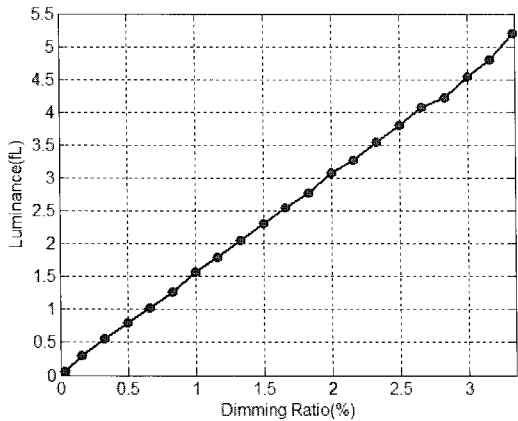


그림 16 야간 모드에서의 Dimming 율에 따른 LCD의 휘도  
Fig. 16 Brightness of LCD for various dimming ratio in night mode

그림 17은 LED 백라이트의 개 루프 제어 시와 폐 루프 제어시의 성능을 비교하여 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 개 루프 제어 시는 시간이 지남에 따라 온도가 상승하여 휘도의 오차가 매우 커짐을 볼 수 있다. 반면 폐 루프 제어 시는 시간이 지나 온도가 상승하더라도 약 97%이상의 휘도를 유지하면서 안정된 상태에 도달한다. 약 3%의 오차는 광센서의 온도에 대한 비선형성에 의해 발생하는 오차로 추정되며 이를 적절히 보상하면 오차를 더 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 항공기용 디스플레이 장치의 특성에

맞는 LED 백라이트를 구현하였다. 조광제어기는 주간 모드와 야간 모드로 구현하였다. 주간에는 150fL의 고 휘도 디스플레이가 가능하고 야간 시에는 0.05fL의 저 휘도에서 디스플레이가 가능하도록 구현하여 3000:1의 광대역에서 조광 제어가 가능함을 보였다. 그리고 개 루프 제어에서의 LED 백라이트의 성능과 비교 분석을 통하여 LED의 특성 변화에 따른 휘도 제어 정확성이 제안된 폐 루프 제어에서 더 우수함을 보였다.

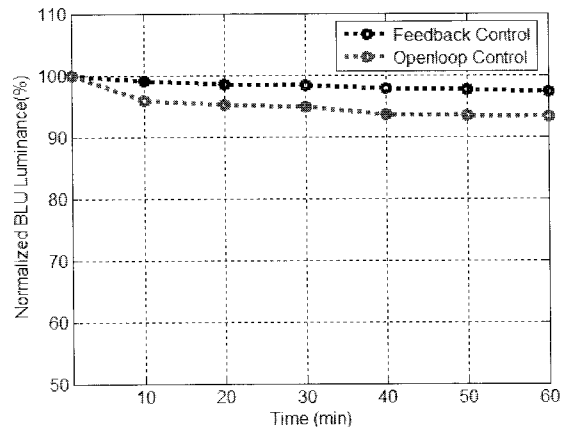


그림 17 LED 백라이트의 제어성능 비교  
Fig. 17 Performance Comparison of LED Backlight

본 논문은 국방과학연구소의 연구비 지원에 의하여 수행된 연구 결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] D. G. Hopper, "Digital flat panel cockpit displays and specifications", *AIAA/IEEE 12th Digital Avionics System Conference*, pp. 306-311, 1993.
- [2] 임수현, 임정규, 신휘범, 정세교, 신민재, 손승걸, "RGB형 LED Backlight의 전류 및 온도 변화에 따른 특성 분석", *2007년 전력전자학술대회 논문집*, pp. 244-246, 2007. 7.
- [3] A. Stich, "LEDs, New Light Sources for Display Backlighting", See [www.osram-os.com](http://www.osram-os.com).
- [4] S.Y. Lee et al, "New Design and Application of High Efficiency LED Driving System for RGB-LED Backlight in LCD Display", *PESC'06 37th IEEE*, pp. 1-5, 2006.
- [5] Les Thede, "Practical analog and digital filter design",

Boston : Artech House, 2005.

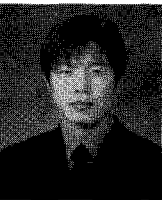
- [6] Heinz van der Broeck, Georg Sauerlander, Matthias Wendt, "Power driver topologies and control schemes for LEDs", *IEEE APEC 2007*, pp.1319-1325, Feb. 2007
- [7] Nishikawa M., Ishizuka Y., Matsuo H., Shigematsu K., "An LED Drive Circuit with Constant-Output-Current Control and Constant-Luminance Control", *INTELEC '06. 28th Annual International*, pp.1-6, 2006
- [8] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science*. NewYork: Wiley, 1982.
- [9] D. G. Hopper, "Digital flat panel cockpit displays and specifications", *AIAA/IEEE 12th Digital Avionics System Conference*, pp. 306-311, 1993.
- [10] M. H. Kalmanash, "High performance projection displays for avionics cockpit", *AIAA/IEEE 19th Digital Avionics Conference*, pp. 2.A.3.1-7, 2000.
- [11] 김차연, "Back light unit (BLU) 기술 동향", *한국정보디스플레이학회지*, 제2권 1호, pp. 45-51.

**저 자 소 개**



**임수현(林洙洵)**

1980년 6월 2일생. 2006년 경상대 공대 전기전자공학부 졸업. 2008년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사).



**임정규(林廷圭)**

1977년 6월 4일생. 2003년 경상대 공대 전기전자공학부 졸업. 2005년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2005년~현재 동 대학원 제어계측공학과 박사과정.



**정세교(鄭世敎)**

1966년 11월 26일생. 1989년 경북대 전자공학과 졸업. 1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 1997년~현재 경상대 전기전자공학부 교수 및 공학연구원 연구원. 1999년 2월~2000년 3월 일본 큐슈공업대 객원교수. 2002년 2월~2003년 2월 미국 Texas A&M University Visiting Scholar.



**신휘범(愼輝範)**

1982년 서울대 전기공학과 졸업. 1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 1990년~1993년 현대전자(주) 선임연구원. 2000년~2002년 미국 University of Wisconsin Madison 방문교수. 1993년~현재 경상대 전기전자공학부 교수.



**신민재(愼民宰)**

1956년 6월 12일생. 1980년 한양대 정밀기계공학과 졸업. 1982년 한국과학기술원 기계생산공학과 졸업(석사). 1992년 University of Missouri-Columbia 기계공학과 졸업(공학박). 1982년~현재 국방과학연구소 책임연구원.



**손승걸(孫承杰)**

1956년 4월 13일생. 1983년 경북대 전자공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1987년~현재 국방과학연구소 책임연구원.