creative commons

COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000263914

2013년 8월
석사학위 논문

MCU를 이용한 POWER LED의 효과적인 Dimming 제어

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

김 두 현

MCU를 이용한 POWER LED의 효과적인 Dimming 제어

Effective Dimming Control of the POWER LED
Using the MCU

2013년 8월 23일

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

김 두 현

MCU를 이용한 POWER LED의 효과적인 Dimming 제어

지도교수 조 범 준

이 논문을 컴퓨터공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2013년 4월

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

김 두 현

김두현의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 교수 이 정아 인

심사위원 조선대학교 교수 문 인규 인

심사위원 조선대학교 교수 조 범준 인

2013년 5월

조선대학교 대학원

ABSTRACT vi

제1장. 서 론 1

제2장. 관련 연구 5

제1절. PWM Dimming 5

1. PWM Dimming 원리 5

2. PWM Dimming 장・단점 7

제2절. Frequency Modulation Dimming 9

1. Frequency Modulation Dimming 원리 9

2. Frequency Modulation Dimming 장・단점 11

제3절. Analog Dimming 15

1. Analog Dimming 원리 15

2. Analog Dimming 장・단점 16

제3장. MCU를 이용한 Dimming 제어 19

제1절. Power LED Dimming 제어 방법 19

제2절. Power LED Dimming 회로 설계 22

1. LED 리플 전류에 따른 광 출력 상태 22

2. LED 리플 전류에 따른 접합 온도 상태 24

3. LED 순방향 전류와 광 출력의 특성 25

제3절. MCU를 이용한 Dimming 제어 회로 설계 34

제4절. MCU를 이용한 Dimming 제어 장・단점 분석 38

제4장. 실험 결과 및 특성 검토 40

제1절. PWM Dimming 제어 실험 결과 및 특성 43

제2절. Frequency Modulation Dimming 제어 실험 결과 및 특성 45
제3절. Analog Dimming 제어 실험 결과 및 특성 47
제4절. MCU를 이용한 Dimming 제어 실험 결과 및 특성 49
제5장. 결 론 52

참고 문헌 53

그 림 목 차

그림 1. PWM(Pulse Width Modulation) 제어 기본 원리 ····· 6
그림 2. PWM Dimming 제어 스위치 ····· 7
그림 3. PWM Dimming 제어시 전류에 따른 녹색 LED의 파장 변화 ····· 8
그림 4. PWM Dimming 제어 시 Power LED 전압, 전류 파형 ····· 9
그림 5. Frequency Modulation Dimming 제어 기본 원리 ····· 10
그림 6. 랜덤 코드 발생 원리(3bit random conde generator) ····· 12
그림 7. Frequency Modulation Dimming 제어시 플리커링 발생 원인 ····· 14
그림 8. Analog Dimming 제어 기본 원리 ····· 15
그림 9. Analog Dimming 제어 회로 ····· 16
그림 10. Analog Dimming 제어시 전류에 따른 녹색 Power LED 파장 변화 ··· 17
그림 11. LED 구동 방법 ····· 19
그림 12. LED 리플 전류에 따른 광 출력 그래프 ····· 23
그림 13. LED 접합 온도에 따른 수명 ····· 24
그림 14. LED 순방향 전압 대 순방향 전류 ····· 25
그림 15. LED 순방향 전류 대 상대적 광속 ····· 26
그림 16. 벅 컨버터의 동작 원리 ····· 28
그림 17. AP1051 내부 블록도 ····· 30
그림 18. 피드백 전압에 따른 스위치 게이트 전압 출력 ····· 31
그림 19. 전류 피드백 회로 ····· 32
그림 20. 전류 피드백 회로의 주파수 응답 ····· 33
그림 21. MCU 및 AP1501을 이용한 Dimming Control 회로 ····· 34
그림 22. 제안한 회로의 동작 원리 ····· 35
그림 23. 제안한 조도 제어 방법의 프로그램 순서도 및 알고리즘 ····· 35
그림 24. Random Code Generator가 추가된 조도 제어 알고리즘 ····· 36
그림 25. Random Code Generator가 추가된 조도 제어 회로도 ····· 37
그림 26. 제안한 방법의 Dimming 제어 시 전류에 따른 녹색 Power LED의 파장 변화 ····· 38

그림 27. 실험에 쓰인 회로 블록도 ····· 40
그림 28. 조도 및 파장 측정 방법 ····· 42
그림 29. PWM Dimming 제어 시 Power LED 전압, 전류 파형 ····· 43
그림 30. PWM Dimming 제어시 Power LED 전류에 따른 상대적 조도 ····· 44
그림 31. Frequency Modulation Dimming 제어시 Power LED 전압, 전류 파형 ····· 45
그림 32. Frequency Modulation Dimming 제어 시 Power LED 전류에 따른 상대적 조도 ····· 46
그림 33. Analog Dimming 제어시 Power LED 전압, 전류 파형 ····· 47
그림 34. Analog Dimming 제어 시Power LED 전류에 따른 상대적 조도 ····· 48
그림 35. 제안한 방법의 10% 이하 Dimming 제어시 Power LED 전압, 전류 파형 ····· 49
그림 36. 제안한 방법의 Dimming 제어시 Power LED 전류에 따른 상대적 조도 ····· 50
그림 37. Random Code Generator 적용 전/후 EMI Test 비교 ····· 51

표 목 차

표 1. 정격 전력 및 전류에 따른 LED 분류 ····· 2
표 2. 0~50W Power LED 구동 회로 ····· 20
표 3. 60~200W Power LED 구동 회로 ····· 21
표 4. 정 전류 Buck converter 사양 ····· 27
표 5. 실험에 사용된 측정 장비 ····· 40

A B S T R A C T

Effective Dimming Control of the POWER LED Using the MCU

Kim Doo-Hyun
Advisor : Prof. Beom-Joon Cho Ph. D.
Department of Computer Engineering
Graduate School of Chosun University

Analog, PWM(Pulse Width Modulation) and FM(Frequency Modulation) control have included the dimming methods for POWER LED. Analog dimming is achieved by adjusting forward current of POWER LED. Although it is possible to adjust linearly brightness levels between 0 % and 100% by analog dimming, it makes a variation of wavelength by changing the POWER LED's forward current.

PWM dimming is achieved by applying full current to the POWER LED at a reduced duty cycle. Generally, it is known that PWM dimming doesn't make variation of wavelength. However, it makes difficult to adjust linearly bright level between 0 % and 10%.

Frequency Modulation Dimming method that maintains the average duty cycle in a specified time period can be used to dim POWER LED. Although Frequency Modulation dimming method is same to dimming result by PWM in aspect of wavelength, this method has problem of flickering at low level dimming.

In order to complement disadvantages of existing dimming methods, an optimal dimming method was proposed in this paper. Proposed Dimming method uses PWM Dimming method at Dimming Range Between 10% and 100% and it uses the Analog dimming method changing the amplitude of PWM waves below 10%.

Experimentally, proposed Dimming method was shown to be possible to adjust linearly brightness levels between 0 % and 100% and represented a constant wavelength output in various Dimming levels between 10% and 100%.

제1장 서 론

LED(Light Emitting Diode)에 관한 연구는 1960년대 초부터 시작 되었지만, 수십 년이 지난 현재에도 LED 연구는 계속되고 있으며 다양한 산업분야와 실생활에 활용되고 있다. LED가 반도체 공정 기술의 발전으로 인해서 좀 더 뛰어난 성능의 개발이 가능하고, 초기 GaP(인화 갈륨), GaAsP(갈륨 비소 인), SiC(탄화 규소)와 같은 저 발광 효율의 반도체 재료부터 AlGaAs(알루미늄 갈륨 비소), InGaP(인듐 인화 갈륨), A1InGaN(알루미늄 인듐 질화 갈륨)와 같은 고발광 효율을 낼 수 있는 재료의 도입 등 광범위한 LED 재료의 사용이 가능하다. 또한 에피택시 기술의 발달은 고품위 화합물반도체의 성장을 가져와 원하는 에너지 밴드 갭, 불순물의 도핑 정도를 정확하게 조절하여 복잡한 구조를 구현 가능하게 함으로써 LED 발전을 가져왔다.

1990년 중반까지 AlGaAs 적색 LED의 조명 효율은 백열전구 수준을 넘지 못하였지만 2000년도에는 미국의 에질린트사에서 개발한 절두형 역피라미드 구조의 AlGaInP LED가 형광등 수준을 넘어서게 되었다. 그 후로 빛의 삼원색을 구현 할 수 있는 청색, 녹색 LED의 조명 효율이 차례로 높아짐에 따라 그 성능이 크게 향상되었다[1][2]. 그리고 전 세계의 친 환경 제약에 따른 제도적 측면으로서 LED가 부각되고, RoHS(Restriction of Hazardous Substances)와 WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) 등 국제표준이 제정됨에 따라 전기 전자제품의 폐기물 처리에 관한 환경 제약이 본격화 되었으며[3], 친 환경 제약에 맞추어 주광원의 교체가 형광등과 메탈 등에서 차세대 광원인 LED로의 전환이 활발히 이루어지고 있다. 또한 LED는 기존 광원인 형광등의 70%, 백열등의 20% 정도의 전력만 사용하는 초절전 조명기구이며 수명은 8만 ~ 10만 시간(일반전구의 10배)으로 반영구적인 특성을 갖고, 빛의 3원색을 이용하여 백색을 비롯한 총 천연 색을 만들 수 있는 다양성이 존재한다. 3원색을 표현하기 위한 방법으로 RGB 3개 칩을 조합하여 제작하는 방법(COB, Chip On Board)과 R색, G색, B색에 대해 각각의 회로구성을 하는 방법(SMD, Surface Mount Device)으로 나눌 수 있다.

COB 방식은 칩마다의 동작 전압의 불균일성과 주변 온도에 따라 각 칩의 출력이 변해 색이 달라지는 문제점이 존재하므로 다양한 색의 조합 및 밝기 조절에 어

려움이 있으며, SMD 방식은 RGB 각각의 색에 대해 회로를 구성하므로 정교한 LED 밝기 제어 및 다양한 색상 연출이 가능해, 일반 조명 및 특수 조명용으로 각광받고 있다.

이러한 LED는 정격 전력 및 전류에 따라 세 가지로 분류가 되는데 일반 LED, Power LED, High Power LED로 구분되어진다. 다음은 정격 전력 및 전류에 따라 LED를 세 가지로 분류한 표이다.

표 1. 정격 전력 및 전류에 따른 LED 분류

	일반 LED	Power LED	High Power LED
정격 전력 및 전류	1W미만, 10~20mA	1W이상, 30~700mA	3W이상, 350mA~1A

일반 LED를 시작으로 High Power LED까지 정격 전력과 전류를 높이는 형태로 기술이 발전하고 있으며, 용도에 따라 제각각 활용되고 있다. 최근에는 LCD monitor의 BLU(Back Light Unit) 광원을 포함하여 Power LED 개념이 도입되면서 백색 광원 및 그에 따른 조명용으로의 적용이 향후 기대되고 있어 그 사용 범위는 기하급수적으로 늘어날 것으로 예견되고 있다.

미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서는 에너지 절약과 친환경성 등을 바탕으로 전체 조명기구의 50%에서 80%를 향후 LED가 대체 할 것으로 예측하고 있고, 국가 지원과제로 LED를 선정하여 활발한 연구 개발에 나서고 있다. 뿐만 아니라 본 LED를 집적하여 전광판이나 sign board 등의 대 면적 광원 군을 형성하는 Display용으로도 일부 사용이 되고 있어 이에 대한 수요 또한 기대 되고 있다[4].

일반 조명 및 특수 조명으로 활용하기 위해 도입된 Power LED는 일반 다이오드 수준의 정격 전류(20mA) 보다 더 높은 전류(700mA 이하)를 요한다. 이로 인한 LED의 방열 문제는 현재 가장 우선적으로 해결해야 할 부분으로 연구가 활발히 진행 되고 있다.

Power LED 조명의 응용에는 특수 조명과 일반 조명 두 가지로 나뉠 수 있다. 특수 조명 분야는 Architectural lighting, Display lighting, Sign lighting, Emergency lighting 등으로 나눌 수 있고, 일반 조명은 Indoor lighting 정도로 나

타 낼 수 있다. Display lighting의 경우에는 박물관, 미술관, 상점의 Display 부분에서 열로 인한 대상물의 손상을 최소화하고 다양한 연출이 가능한 LED Lighting이 주목 받고 있다.

Architectural lighting은 건물 내·외관 조명을 화려한 LED로 표현하기 위한 분야이며, Sign lighting의 경우에는 네온사인을 LED로 바꾸려는 시도가 활발하게 일어나고 있다. Emergency lighting은 일반 형광등 사용 혹은 CCFL(냉음 극관형광등)과 도광 판을 이용한 제품이 국내 소방법을 통과하여 사용 중이며 에너지 절약과 시인성을 고려한 LED제품이 점차 주목을 받고 있다. 일반 조명의 응용에서는 과거 주거지 혹은 건물 내부의 조명인 백열등이나 형광등을 백색 LED로 대체하려는 노력이 활발한데, 결국 LED의 높은 성능지수(lm/w)와 가격 경쟁력을 충분히 갖추는 것이 중요하다.

본 연구는 특수 조명 중에서 Display와 Architectural lighting용으로 활용되는 Power LED의 Dimming 제어 방법에 관하여 언급하였다. Display와 Architectural lighting 로 활용되는 Power LED는 RGB(Red, Green, Blue)와 White 색으로 구성되어 있으며 Dimming을 조절을 통한 다양한 색상의 연출이 가능하다. 기존의 Dimming 제어 방법 중 대표적인 방법은 Analog 제어와 PWM(Pulse Width Modulation) 제어 방법이 있다[5][6][7].

이와 더불어 최근 Frequency Modulation(주파수 변조)방법을 이용한 Dimming 제어 방법이 발표되어 사용되고 있다[8]. 하지만, 위 세 가지 Dimming 제어 방법은 LED 소자가 가지는 근본적인 문제점을 포함하고 있어 Power LED Dimming 제어 시스템 개발에 어려움이 뒤따른다.

문제점의 정확한 검증을 위해 기존의 Dimming 제어 방법들을 Power LED에 적용하여 장. 단점을 분석 하였다.

Analog Dimming 제어 방법은 0~100%까지 전체 영역에서 Dimming 제어가 선형적으로 가능하나 빛의 고유색을 표현하는 파장(wavelength)이변화하는 문제점이 발생 했다.

PWM Dimming 제어 방법은 Dimming 제어 실행 시 파장이 일정한 반면 0~10% duty의 Dimming 제어 영역에서는 선형 제어에 대한 문제점이 나타났다.

Frequency Modulation Dimming 제어 방법은 PWM Dimming 제어 방법과 마찬가지로 Dimming 제어 실행 시 파장(wavelength)은 일정하지만, 제어 시스템 문제

로 인한 0~30% duty에서 불안정한 Dimming 제어 특성이 나타났다.

이러한 결과를 바탕으로 Analog 와 PWM Dimming 제어 방법의 장점만을 취합하여 최적의 Dimming 제어 방법을 제안하였다. 제안한 Dimming 제어 방법의 실현을 위해 전류 피드백 형 벅 컨버터와 Dimming 제어 회로를 설계하였다.

완성된 회로를 각각 10개의 RGBW(Red, Green, Blue, White) Power LED로 직렬 구성하여 적용하였고, 그 결과 0~100% Dimming 제어 영역에서 조도의 변화가 선형적인 특성을 나타냈으며, 10~100% Dimming 제어 영역에서 파장이 일정한 특성을 나타내었다.

제2장 관련 연구

LED의 밝기는 순방향 전류에 비례한다. 순 방향 전류를 제어하는 기본적인 방법에는 세 가지 방법이 있다. ①DC 전류의 값을 변화 시키는 Analog 제어 방법과 ②전류를 펄스 형태로 공급하며 펄스의 듀티를 조절하는 PWM 제어 방법이다. 그리고 최근에는 ③여러 주파수의 형태를 혼합하여 전류를 제어하는 Frequency Modulation(주파수 변조)방법도 제안되었다.

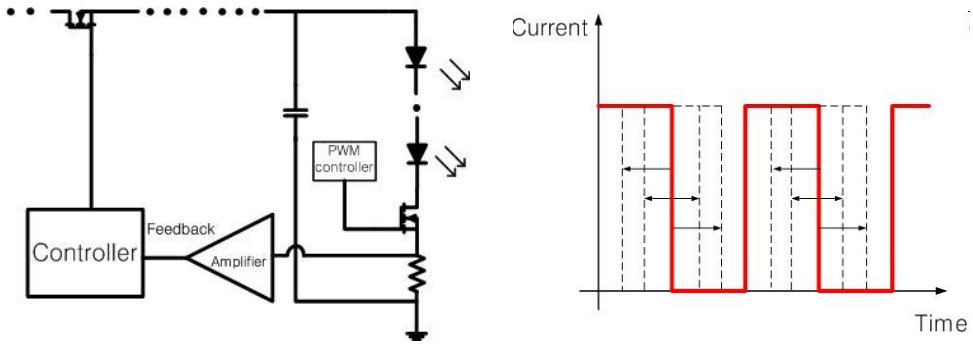
각각의 제어 방법을 적용하여 장. 단점을 검토하기 위해 각각의 제어 회로를 설계 하였다. 위 세 가지 제어 방법에 대한 회로 구성과 실험은 각기 실행 하였으며 실험에 사용된 Power LED는 LUXEON_DS6X 계열의 녹색 Power LED 로 10개 직렬로 구성 하였다.

각각의 Dimming 제어 실험은 가장 문제가 되고 있는 ① 색 파장 변화 ② 선형적인 Dimming 제어 가능 여부를 기준으로 진행 되었다. Dimming 제어 시 나타나는 색 파장 변화는 원색의 변화를 일으킨다. 또한 선형적인 Dimming 제어가 불가능하게 되면 RGB color를 활용하는 분야에서 원하는 색과 조도의 정확한 표현이 불가능하다. 따라서 세 가지 Dimming 제어 방법이 위의 문제에 있어서 어떠한 결과를 나타내는 지를 알아내는 것이 매우 중요하다.

제1절 PWM(Pulse Width Modulation) Dimming

1. PWM Dimming 원리

PWM Dimming제어는 Power LED에 흐르는 구형파 형태의 전류의 듀티를 가변하여 조도를 제어하는 방식을 말한다. Power LED Dimming 제어 시 인간의 눈이 감지하는 Flickering이 발생하지 않게 하기 위해 PWM 주파수는 300Hz이상을 사용한다[9].



(a) PWM Dimming Control 블록도

(b) PWM 조도 제어에 따른 Power LED 전류 파형

그림 1. PWM(Pulse Width Modulation) 제어 기본 원리

위 그림 1의 (a)은 PWM Dimming 제어의 기본 원리를 나타낸다. Power LED 구동을 위한 기본 정 전류 제어 회로에 스위치와 PWM controller가 추가된다. Power LED에 흐르는 전류를 센싱 받아 증폭기를 거쳐 controller의 피드백 전압으로 인가된다.

PWM controller는 Microcontroller로 구성하여 PWM 파형을 만들었다. 이 PWM 파형은 Power LED와 직렬로 연결된 스위치를 ON/OFF 함으로써 Power LED에 흐르는 전류를 제어한다. PWM 파형에 의해 Power LED에 흐르는 전류의 파형은 그림 1의(b)와 같이 나타난다.

Micro controller가 인가해주는 PWM 파형에 따라 Power LED에 흐르는 전류 모양이 같으며, PWM 파형의 듀티에 따라 출력되는 Power LED 전류의 RMS값이 변하게 된다.

2. PWM Dimming 장.단점

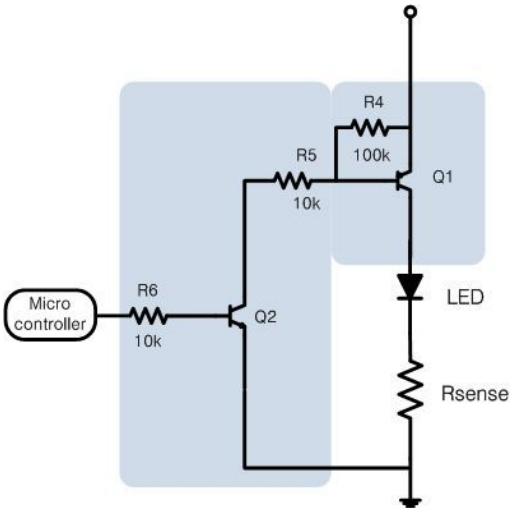


그림 2. PWM Dimming 제어 스위치

그림 2은 AP1501을 이용하여 POWER LED의 조도를 PWM 제어하기 위해 구성된 회로이다. LED에 흐르는 전류를 PWM 제어하기 위해 Micro controller와 트랜지스터 2개를 이용한 비 접지 스위치를 추가 하였다. PWM 제어하기 위한 기존의 회로는 LED와 직렬로 FET를 연결하여 사용한다. 하지만, FET의 단가가 높고 게이트 구동 회로를 구성해야 하는 단점이 있어 본 연구에서는 비 접지 스위치를 만들어 사용 하였다.

그림 2의 블록으로 나타낸 부분이 구현한 비 접지 스위치이다. PNP, NPN 트랜지스터를 연결하고 R4 값과 R5 값을 적절히 조절하여 회로를 구성한다. 물론 두 개의 트랜지스터는 스위치로 동작하기 위해 포화 영역에서 ON 되어야 한다. R4는 NPN 트랜지스터의 바이어스를 위한 저항이고, R5는 PNP 트랜지스터의 베이스 전류를 결정하는 역할을 하며 각각 100k , 10k 으로 설계되었다. PNP 트랜지스터는 베이스의 전압이 이미터 측보다 낮으면 ON이 되므로 PNP 트랜지스터의 베이스와 NPN 트랜지스터의 컬렉터를 연결하여 비 접지 스위칭이 가능하게 한다. PWM 파형으로 High가 인가되었을 경우 Q2가 ON 되고 Q1의 베이스에 전압이 인가되어 Q1의 이미터와 컬렉터 단이 도통된다. PWM 파형으로 Low가 인가되었을 경우 Q2

가 OFF 되어 Q1의 베이스 단이 개방된다. 이것에 의해 PNP 트랜지스터의 이미터와 베이스의 전위차가 없어지며 Q1의 이미터와 콜렉터 단은 OFF 상태가 되어 부하로 흐르는 전류가 차단된다.

이와 같이 Micro controller가 출력한 PWM 파형은 트랜지스터 2개로 구성된 스위치를 ON / OFF 제어하여 Power LED에 흐르는 전류를 조절하게 된다.

① 색 파장.

구성한 회로를 바탕으로 PWM Dimming 제어 시 나타나는 색의 파장 변화를 녹색의 Power LED 10개를 직렬로 연결 하여 측정하였다.

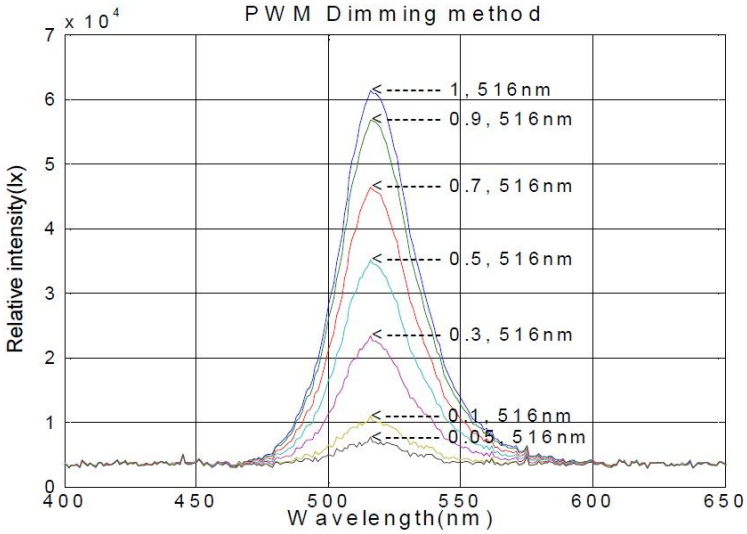


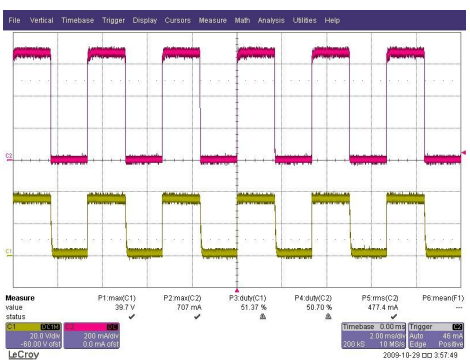
그림 3. PWM Dimming 제어시 전류에 따른 녹색 LED의 파장 변화

그림 3은 PWM Dimming 제어를 실행 했을 경우 PWM신호의 듀티에 따른 녹색의 Power LED에 파장 변화를 나타낸다. PWM신호의 듀티에 따라 파장의 첨두치 변화가 거의 없고 똑같은 것을 볼 수 있다. 이유는 PWM에 의한 Power LED 전류는 최대치 전류와 '0'값의 전류를 반복 하게 되는데 이때 Power LED는 최대치

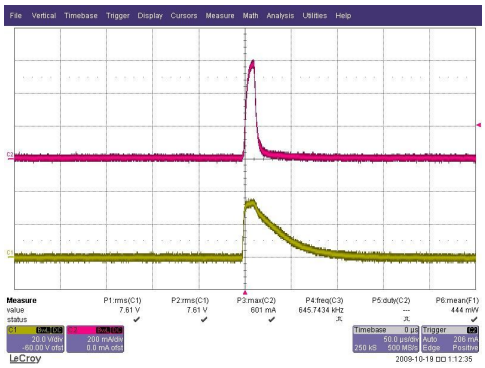
의 전류 파장만을 출력함으로 듀티가 변화하여 도 일정한 파장을 낼 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 대부분의 LED를 전력 제어 할 때 PWM 방법을 주로 활용하고 있다.

② 선형적인 Dimming 제어

PWM을 이용한 Dimming 제어는 펄스의 듀티를 조절함으로써 이루어진다. 따라서 듀티 0에서 1까지의 제어는 조도의 0에서 100%를 의미한다. 하지만 PWM 제어를 실행 할 경우 저 레벨(약 10%미만)의 제어는 그림 7과 같은 문제점을 가지고 있다. 그림 7의 (a)는 듀티 0.5 일 때 Power LED 전류 전압 파형으로 PWM 제어에 의해 적절히 동작하고 있다는 것을 나타내만, (b)는 듀티 0.1 미만 일 때 전류 전압 파형으로 듀티가 짧기 때문에 전압 전류가 설정한 값까지 도달하지 못한 채 OFF되어 적절한 PWM 제어가 이루어지지 않는다는 것을 보여 준다.



(a) 50% duty의 Power LED
전압, 전류 파형 (20V, 200mA)



(b) 10% duty미만 Power LED
전압, 전류 파형(20V, 200mA)

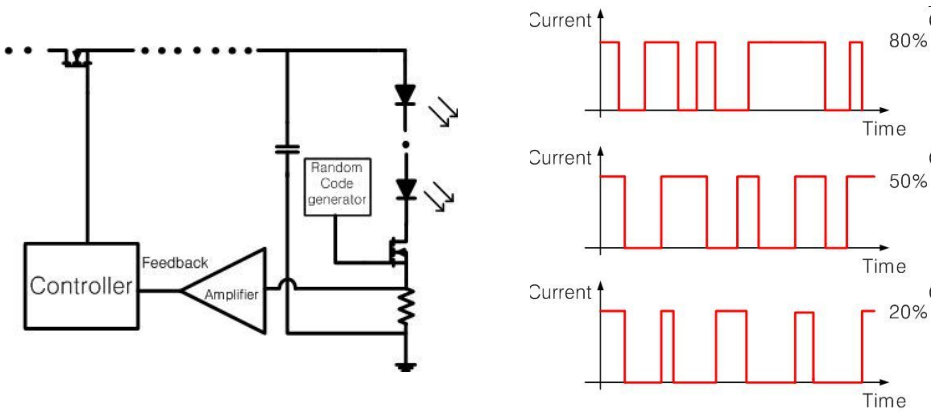
그림 4. PWM Dimming 제어 시 Power LED 전압, 전류 파형

이러한 PWM 제어 방법이 선형적인 제어에 부적합한 이유는 다음과 같다. 만약 저 레벨 제어를 위해 펄스의 ON 시간이 작게 할 경우 수십 us의 ON 시간을 갖는 큰 주파수의 펄스 전류가 만들어진다. LED의 정 전류 구동을 위한 대부분의 회로

가 벅 혹은 부스트 컨버터의 구성이기 때문에 큰값의 L과 C가 연결 되어 있고 이로 인해 큰 주파수의 펄스 전류가 정류되어 버리는 결과가 발생한다. 따라서 LED에 원하는 최대치의 전류를 전달하지 못하고 다시 OFF되는 현상이 발생해 플리커링이 발생 할 수 있으며, 대략 0~10%의 Dimming 제어 영역에서 선형적인 제어가 불가능하게 된다.

제2절 Frequency Modulation Dimming

1. Frequency Modulation Dimming 원리



(a) Frequency Modulation Dimming Control 블록도

(b) Frequency Modulation Dimming Control에 따른 Power LED 전류 파형

그림 5. Frequency Modulation Dimming 제어 기본 원리

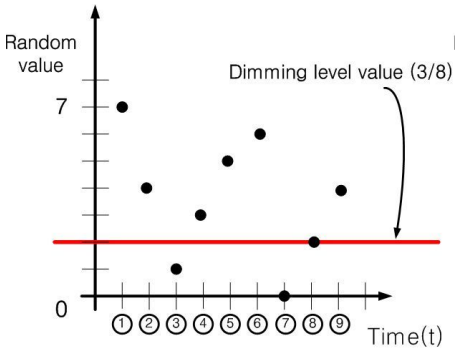
그림 5은 Power LED의 Frequency Modulation Dimming 제어 방법의 기본 원리를 나타낸다. PWM Dimming 제어를 위한 구동 회로에 Random code generator가 추가 된다. 기본 구성회로는 PWM 제어를 하기 위한 회로와 같지만 주파수 변조를

적용하기위해 랜덤 코드 발생기를 이용하였다. 랜덤 코드 발생기는 하드웨어 혹은 Micro controller의 소프트웨어로 구성 할 수 있지만, 연구에서는 편의를 위해 Micro controller의 소프트웨어를 사용하였다. 랜덤 코드 발생기는 랜덤 값을 출력하며 Dimming 제어 레벨에 따라 그림 5의 (b)와 같은 파형을 출력 한다. 20%, 50%, 80% 에 따라 LOW와 High의 비율이 다른 것을 볼 수 있다.

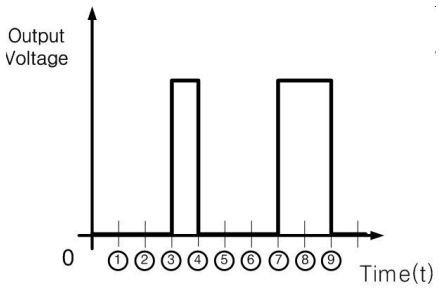
2. Frequency Modulation Dimming 장.단점

Frequency Modulation 방법은 EMI Noise개선을 위해 고안 된 방법이다[10]. 기존 PWM Dimming 제어와 같이 단일 주파수에 의한 것이 아니라 여러 주파수의 펄스 파형이 혼합된 형태로 특정 주파수의 EMI Noise를 완화하기 위해 사용되어 왔다.

PWM Dimming 제어 방법은 단일 주파수를 사용하기 때문에 주파수 스펙트럼에서 기본 주파수의 홀수 배 주파수에서 높은 진폭의 스펙트럼을 나타낸다. 하지만, 주파수 변조에 의해 여러 주파수가 혼합된 파형의 주파수 스펙트럼은 각각의 주파수 영역에서 진폭이 고르게 분포하게 되는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 주파수 변조 방법을 실현하기 위해 스펙트럼이 각각의 주파수 영역에서 가장 균등하게 분포하는 Random sequence에 의한 주파수 변조를 실행하였다[11][12]. Random sequence구현은 Micro controller를 이용하였다.



(a) 난수 발생값과
Dimming 제어값의 비교



(b) (a)에 따른 출력 전압

```
While
    Set Dimming level(Input brightness)
    nand value <- nand(2^3)
    if nand value is Under Set Dimming level
        'High' Output
    else if nand value is Over Set Dimming level
        'Low' Output
End while
```

(c) Frequency Modualtion Dimming Control 알고리즘

그림 6. 랜덤 코드 발생 원리(3bit random conde generator)

그림 6의 (a)와 (b)는 Micro controller가 프로그램 상으로 Random code를 발생시키는 원리를 나타내고, 그림 6의 (c) 발생 원리를 바탕으로 한 Micro controller 프로그램 알고리즘을 나타낸다. 만약 Micro controller가 랜덤 값을 저장하기 위해 n비트 레지스터를 사용한다면 2^n의 값을 생성 해낼 수 있다. 내부적으로 발생 된 랜덤 값은 Dimming level register에 저장된 조도 제어 값과 비교 된다. 이 Dimming level register는 조도 제어 값을 저장하기 위한 레지스터로써 2^n 개의 값들 중 하나가 저장된다.

난수 발생 함수에서 발생 시킨 랜덤 값은 미리 정해진 Dimming level register의

값과 비교하여 랜덤 값이 크면 LOW, 작으면 High를 출력 한다. 그림 6의 (a), (b)에서 Time 축에 나타낸 순번은 그림 9의 (c)에 while 문이 반복하는 횟수를 나타낸다. 3비트 레지스터를 사용하여 2^3 = 8 개의 값을 생성 할 수 있는 랜덤 코드 발생기를 가정 해 보자. 그림 6의 (a)의 첫 번째 번호에서는 난수 발생 함수에서 7의 값을 발생하고 Dimming level register값이 3에 위치해 있기 때문에 출력은 그림 6의 (b)와 같이 Low를 출력한다.

실험에 적용하기 위해 실제 작성한 프로그램은 12비트 레지스터를 사용하여 2^12 = 4096개의 값을 생성 할 수 있게 하였다. 비트 수의 증가는 좀 더 이상적인 랜덤 값을 출력하여 주파수 측면에서 White noise 특성에 가깝게 하기 위함이다. 그림 6의 (c)의 while 문 한 번의 반복으로 그림 6의 (b)에서 한 비트의 출력을 내는 시간은 100us로 정하였다.

난수 발생 함수에서 발생시키는 랜덤 값이 이상적이라면 Dimming level register에 저장 된 값이 50%를 기준으로 이 보다 작으면 Low를 출력하는 횟수가 많아지고 크면 High를 출력하는 횟수는 많아진다. 출력된 전압 파형을 정해진 시간으로 놓고 봤을 때 총 Low의 시간과 High의 시간의 비율에 따라 Dimming 제어가 되는 것이다.

① 색 파장.

구성한 회로를 바탕으로 Frequency Modulation Dimming 제어 시 나타나는 색의 파장 변화를 Green 색의 Power LED 10개를 직렬로 연결 하여 측정하였다. 주파수 변조에 의한 Dimming 제어는 PWM Dimming 제어와 같은 방법을 사용하기 때문에 Power LED의 파장변화 특성은 그림 3과 같다. PWM Dimming 제어와 마찬가지로 Power LED에 전류가 최대 값과 0의 값을 반복하기 때문에 최대 값에 대한 파장만을 출력하기 때문에 파장의 첨두치 값이 동일하다.

② 선형적인 Dimming 제어.

주파수 변조에 의한 Dimming 제어 방법은 적정 시간을 두고 합산한 High 와 Low의 총 비율에 의해 이루어진다. 만약 저 레벨의 Dimming 제어를 실행 할 경우 Dimming 제어 값이 감소하여, 출력되는 스위치 파형의 Low값이 더 많아지게 된다. 매 시간 랜덤 한 값을 발생 시킬 지라도 Low값이 지속되는 시간이 길어 질 경우 사람의 눈이 감지 할 정도의 시간이 될 수가 있다.

그림 7은 저 레벨 Dimming 제어 시 Low 값의 시간 지속으로 인해 Flickering의 발생 할 수 있다는 것을 보여준다. 이와 같은 문제로 인해 PWM Dimming 제어와 마찬가지로 선형적인 Dimming 제어가 불가능하게 된다.

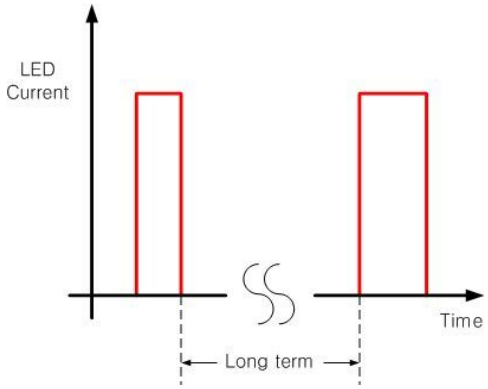
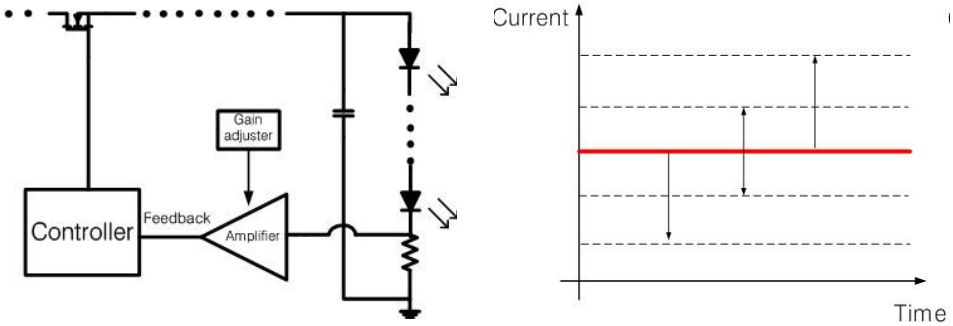


그림 7. Frequency Modulation Dimming 제어시 플리커링 발생 원인

제3절 Analog Dimming

1. Analog Dimming 원리

Analog Dimming 제어는 Power LED에 흐르는 전류 값의 레벨을 가변하여 조도를 조절하는 방식을 말한다[13].



(a) Analog Dimming Control 블록도

(b) Analog Dimming Control에 따른 Power LED 전류 파형

그림 8. Analog Dimming 제어 기본 원리

Power LED를 정 전류 구동시키기 위한 기본 회로는 벅, 부스트 혹은 벅/부스트 컨버터 타입에 전류 피드백 회로가 추가 된다. 그림 8의 (a)는 Analog Dimming 제어의 기본 블록 도로써 Power LED에 흐르는 전류를 센싱 받은 후 증폭기를 거쳐 controller에 피드백 전압을 인가 해준다. 여기에 이득 조정기를 인위적으로 조정하여 피드백 전압을 조절한다.

피드백 전압에 따라 스위치의 ON/OFF 듀티를 조절하여 출력으로 전달되는 전류를 제어하는 원리이다. 출력 전류에 영향을 주는 피드백 DC 전압의 조절은 Power LED에 흐르는 전류를 그림 8의 (b)와 같이 조정한다.

2. Analog Dimming 장.단점

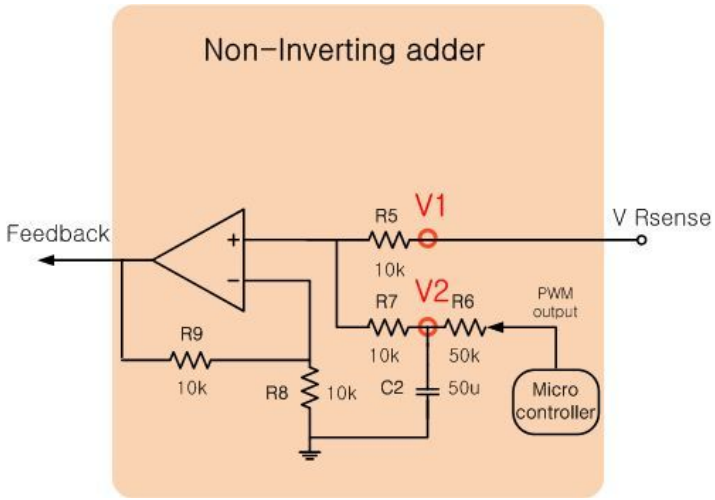


그림 9. Analog Dimming 제어 회로

기본 Power LED구동회로의 controller는 AP1501 IC를 이용하여 벅 컨버터 형태로 구성하였다. 그림 2는 Power LED의 조도를 Analog 제어하기 위해 구성 된 회로이다. Power LED에 흐르는 전류를 Analog 제어하기 위해 비 반전 가산기와 PWM 출력을 위한 Micro controller가 추가되었다. Micro controller에서 출력 되는 PWM 파형은 R, C Low pass filter를 거쳐 DC의 형태로 가산된다.

$$V_{feedback} = (1+\frac{R9}{R8})\frac{(R5//R7)}{R9}[V1\frac{R9}{R5}+V2\frac{R9}{R7}] \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot \text{식}(1)$$

비 반전 가산기의 입출력 관계식은 밀만의 정리를 이용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 이 수식에 각각의 소자 값을 대입하면 $V_{feedback} = V_1 + V_2$ 으로 요약할 수 있는데, 인가하는 V2 전압 값에 따라 피드백 전압이 변동 한다. V1의 전압 값을 기준으로 인가 해주는 V2의 전압이 증가함에 따라 피드백 전압이 증가 하게 되고 이 피드백 전압의 증가는 Power LED에 흐르는 전류를 감소시킨다. 따라서 Micro controller의 출력으로 AP1501의 피드백 전압을 인위적으로 조절함으로써 Power LED 에 흐르는 전류의 Analog 제어가 가능해 지는 것이다.

① 색 파장.

구성한 회로를 바탕으로 Analog Dimming 제어 시 나타나는 색의 파장 변화를 녹색의 Power LED 10개를 직렬로 연결 하여 측정하였다.

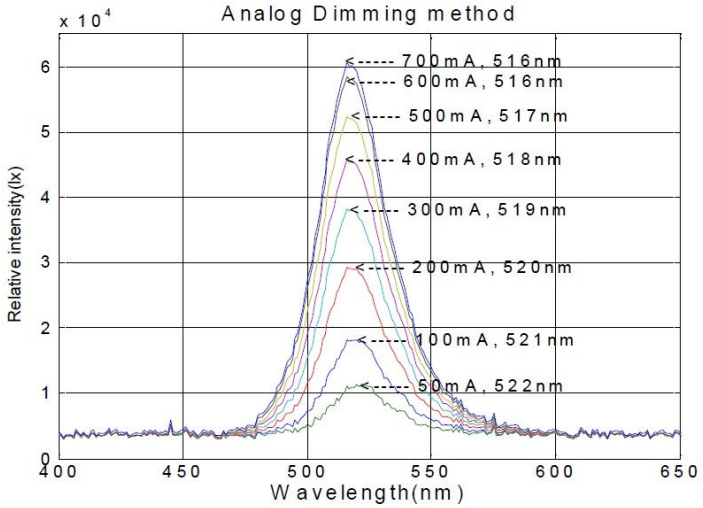


그림 10. Analog Dimming 제어시 전류에 따른 녹색 Power LED 파장 변화

그림 10을 보면 Analog Dimming 제어를 실행함으로써 Power LED에 흐르는 전류의 변화에 따라 파장의 첨두치 변화가 있는 것을 알 수 있다. 이는 Power LED가 원하는 색을 적절히 표현하지 못하는 결과를 초래하기 때문에 빛의 표현이 중요한 Display 혹은 경관 조명용 Power LED를 Dimming 제어함에 있어서 적합하지 못하다. 특히 RGB (Red, Green, Blue)와 Whjte LED를 혼합하여 활용 되는 경우에는 색의 표현에 있어서 어려움이 뒤따른다.

② 선형적인 Dimming 제어

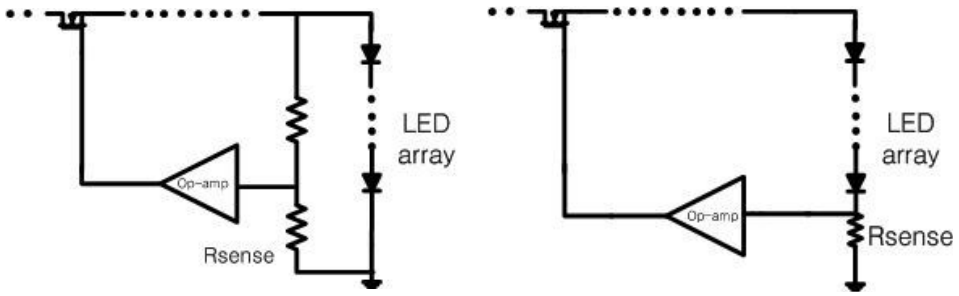
Analog Dimming 제어를 실행 할 경우 Power LED의 조도 10~100%에 해당하는 제어는 물론 10%이하에 해당하는 저 레벨의 제어를 할 수 있다. Analog Dimming 제어 방법은 피드백으로 인가되는 DC 전압을 인위적으로 조작하여 Power LED에 흐르는 DC 전류의 값을 제어하기 때문에 0~100%의 Dimming 제어가 가능하다.

제3장 MCU를 이용한 Dimming 제어

제1절 POWER LED Dimming 제어 방법

부하 특성의 변화 혹은 입력 전압의 변화 등 주변 변수의 다양한 변화들은 LED에 일정 전압과 전류를 공급함에 있어서 장애 요소가 된다. 따라서 LED에 일정 전압 또는 일정 전류를 공급하기 위해서는 그에 상응하는 전압 또는 전류 제어가 필요하다[14].

앞서 설명 하였듯이 LED를 동작시키기 위한 구동 방법은 크게 전압 제어 방식과 전류 제어 방식이 있다. 이 두 방식은 부하 특성의 변화 혹은 입력 전압의 변화에 상관없이 LED 광 출력을 일정하게 유지 시켜 주는데 기본 제어 원리는 다음과 같다.



(a) LED 정전압 제어 블록도 (b) LED 정전류 제어 블록도

그림 11. LED 구동 방법

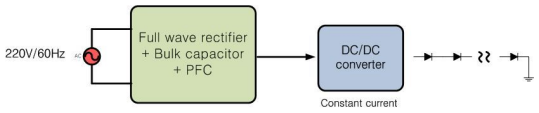
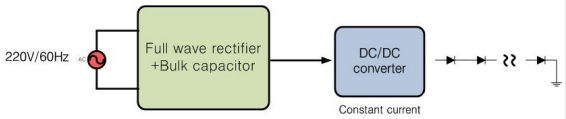
그림 11의 (a)는 부하에 전압을 일정하게 유지시키기 위한 회로이고, (b)는 부하의 전류를 일정하게 유지시키기 위한 회로이다. (a) LED 양단전압을 전압 분배로 센싱 받아 스위칭 함으로써 정전압을 실현하고 (b)는 LED에 흐르는 전류를 센싱 받아 스위칭 함으로써 정 전류를 실현한다.

최근 고 출력 LED가 개발됨에 따라 전류 제어 기술이 많이 활용되고 있다.

High Power LED로 갈수록 LED 온도와 주변 환경에 영향을 많이 받기 때문에 정전류를 제어 하는 기술이 요구된다. 전압 제어 방식은 LED에 인가하는 전압을 일정하게 유지 시킬 수 있으나 제품이 서로 다른 순방향 전압 특성을 가지고 있고 주변 온도 혹은 LED 특성에 따라 순방향 전류에 영향을 줄 수 있다. 하지만 전류 제어 방식은 전류를 우선적으로 제어하기 때문에 앞선 조건에서도 순 방향 전류에 영향을 주지 않는다.[15]

일반 조명용 Power LED 구동회로의 종류는 여러 가지가 있지만, Power LED의 구동 전력에 따라 0~50W 급과 60~200W 급으로 나눌 수 있다. 각각은 회로구성 형태에 따라 몇 가지로 분류 된다.

표 2. 0~50W Power LED 구동 회로

구 분	0~50W Power LED 구동 회로
1. Full Wave rectifier(PFC유) +Bulk capacitor +Constant current converter	
2. Full wave rectifier(PFC무) +Bulk capacitor +Constant current converter	

위 표 2 는 0~50W의 Power LED array를 구동시키기 위한 회로들로 PFC(역률 보상 회로)의 유·무에 따라 분류하였다. 회로는 기본적으로 AC 입력 전압을 받아 전파 정류 후 Bulk capacitor로 DC전압을 만든다. 그리고 정 전류 제어를 위한 컨버터 형태로 Power LED 구동에 적합한 전압, 전류를 생성한다. 구동 회로에 사용되는 IC에 따라 PFC(역률 보상 회로)를 추가 할 수 있고, 하지 않을 수 있다.

표 3. 60~200W Power LED 구동 회로

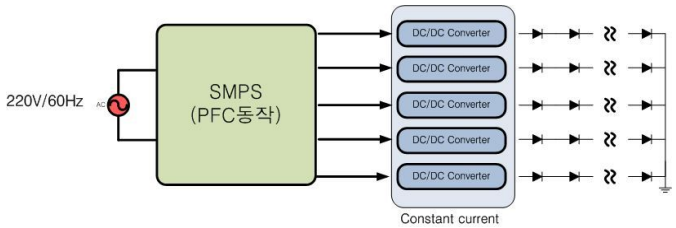
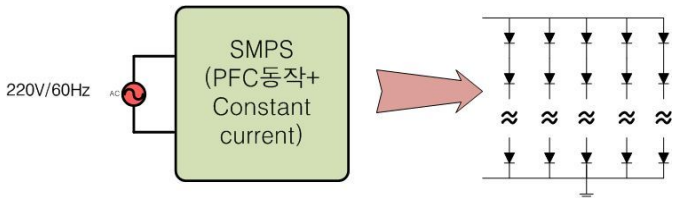
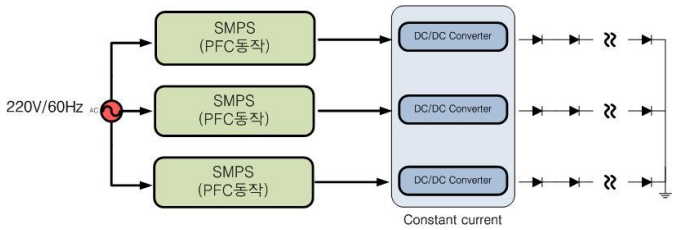
구 분	60~200W Power LED 구동 회로
1. SMPS(PFC 가능) +Constant current converter	
2. SMPS(PFC 가능)	
3. SMPS(PFC 가능) +Constant current converter	

표 3은 60~200W 급의 Power LED를 구동시키기 위해 SMPS(Switching mode power supply), 컨버터 유무에 따라 분류한 회로를 나타낸다. 50~200W급으로 전력을 많이 소비하기 때문에 PFC(역률 보상 회로)의 추가는 필수이며, 0~50W급 구동 회로에는 없는 SMPS가 추가되었다. SMPS는 Power LED가 필요로 하는 전력을 공급해 주고 정 전류를 제어하기 위해 구성된 컨버터에 적당한 입력 전압을 제공해 주기 위해 사용된다. SMPS는 절연 형태의 Flyback 구조가 주로 쓰인다.

첫 번째 회로는 PFC(역률 보상) 기능을 하는 하나의 SMPS에 몇 개의 정 전류 제어 형 컨버터가 연결 된 형태이다. 정 전류 제어 형 컨버터는 Power LED를 정

전류 제어하고 Power LED가 적절히 동작하기 위한 전압을 제공해 주기 위해 사용 된다. 이것의 장점은 Power LED 고장으로 인한 컨버터 고장 시 단일 교체가 가능하다는 점이다. 단점은 SMPS 고장시 여러 개의 컨버터와 Power LED에 영향을 줄 수 있다는 것이다.

두 번째 회로는 최근 학계에 발표된 형태의 구조로 PFC 기능을 하는 SMPS 하나로 정 전류 제어가 가능하다. 기존 2-stage에서 하나의 stage로 줄어든 장점을 가지고 있으나 Power LED를 병렬로 구성해야 하는 단점을 가지고 있다. 또한 2번과 같이 회로를 구성 할 경우 Power LED 병렬 구성은 Power LED 하나가 고장이 발생 했을 때 정 전류 제어하기 위해 다른 Power LED에 더 많은 전류를 흘려주어 문제를 일으킬 수 있다.

세 번째 회로는 SMPS와 컨버터가 몇 개의 모듈로 형성되어 50~200W의 전력을 분담한다. SMPS는 PFC 기능을 수행하고 모듈로써 사용 가능하기 때문에 고장 시 즉각 교체가 가능하며, 한 개 혹은 두 개의 모듈로 고 전력 급에 다양하게 적용 가능하다.

제2절 POWER LED Dimming 회로 설계

LED의 구동은 일반적으로 정 전류로 구동 되어야 한다. 이유는 다음과 같다 [16][17].

1. LED 리플 전류에 따른 광 출력 감소

LED는 스위칭 전원 공급 장치로부터 전력을 공급받는다. 일반적으로 상용전원과 절연을 목적으로 한 컨버터와 이를 각 LED 모듈에 맞도록 바꾸어주는 DC / DC 컨버터로 2 stage를 구성하여 LED를 구동한다. 기존에 있는 스위칭 기법으로 LED를 구동한다면 LED에 상당한 양의 리플전류를 가할 수도 있다. 리플 전류가 많을수록 전원 공급 장치의 비용은 더욱 적게 들지만, 조명 출력을 감소시킬 수 있다.

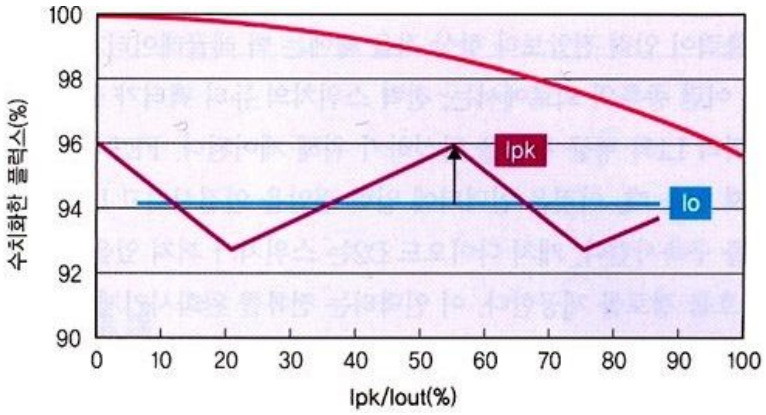


그림 12. LED 리플 전류에 따른 광 출력 그래프

그림 12는 DC 출력 전류에서 보충된 삼각 리플 전류로 인한 조명 출력 감소를 수치화 한 것이다. 이 그래프에서 추가 된 리플 전류는 스위칭 레귤레이터에 의하여 발생되어질 수 있다. 수 십 kHz의 스위칭 주파수는 리플 전류를 발생시키며, 이 리플 전류 주파수는 가시주파수인 100Hz를 훨씬 초과하기 때문에 인간의 눈으로 감지를 할 수 없다.

LED에 상당한 리플 전류가 있다고 해도, 조명을 이용하는 사람의 눈으로 인지할 수 없기 때문에 리플 전류에 따른 광 출력 감소라는 문제점은 외부적으로 판단하기 매우 까다롭다. 이러한 광 출력의 감소는 정밀한 기계의 작동이 필요한 곳이나, 일정한 조도가 반드시 유지되어야 하는 경우에는 리플 전류가 최소화 되도록 회로를 구성하여야 한다.

2. LED 리플 전류에 따른 접합 온도 상승

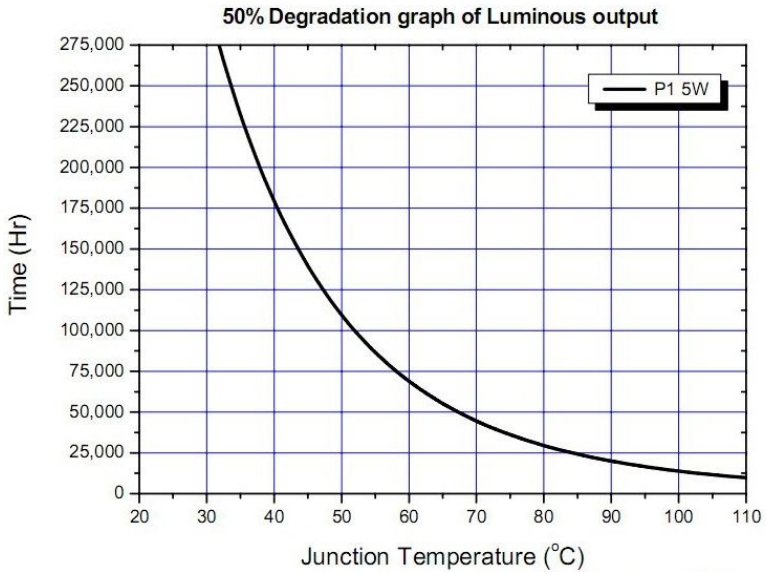


그림 13. LED 접합 온도에 따른 수명

리플 전류는 접합 온도의 상승을 초래할 수 있는 전력 소비를 증가시킴으로써 LED에 영향을 미친다. 리플 전류에 의해서 상승된 접합 온도는 주로 LED 수명을 감소시킨다.

그림 13은 서울반도체社의 Z-Power LED의 접합 온도에 따른 수명을 나타낸다. 예를 들어 LED의 사용 수명을 조명 출력이 80%로 떨어질 때까지로 정의한다면, 접합온도가 85℃일 때 2만 5천 시간의 수명을 갖고, 53℃일 때 10만 시간을 갖게 된다. 이는 접합 온도가 낮게 구동 할수록 LED의 수명이 연장된다는 것을 의미한다. 따라서 리플 전류를 최소화 하여 구동해야 접합 온도 상승을 최소한으로 유지하여 수명을 보장 할 수 있다.

3. LED의 순방향 전류와 광 출력의 선형적 특성

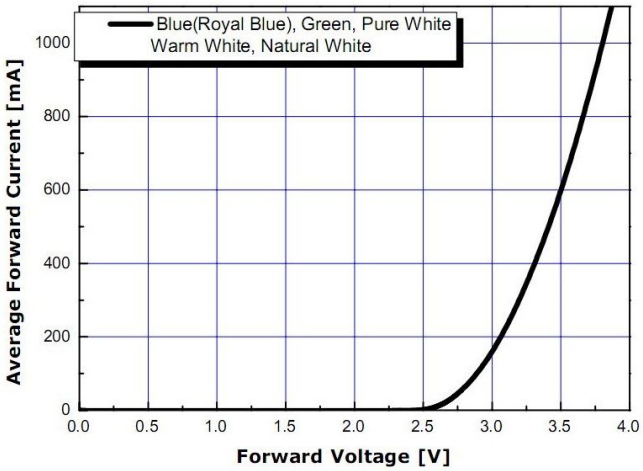


그림 14. LED 순방향 전압 대 순방향 전류

이상적인 다이오드의 경우, 일정 전압(문턱전압) 이상이면 다이오드의 양단은 단락 상태가 되며, 전류는 도통하게 된다. LED도 마찬가지로 문턱 전압 이상의 전압을 걸어주면, 전류는 급격히 상승한다. 그림 14는 Z-Power LED의 순방향 전압에 따른 전류를 그래프로 나타낸 것이다.

미세한 전압 리플의 발생은 상당량의 전류 변화로 나타날 수 있다는 것을 보여준다. 이러한 전압 변화율에 대한 전류 변화율의 민감도가 크기 때문에 LED 순방향 전류에 선형적인 광 출력을 제어하기 어렵다.

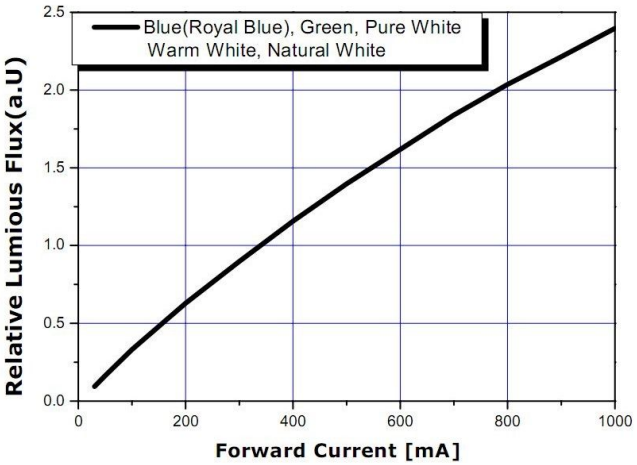


그림 15. LED 순방향 전류 대 상대적 광속

그림 15는 Z-Power LED 순방향 전류에 따른 상대적인 광속을 나타내는 그래프로 전류에 따른 광속의 변화가 거의 선형적으로 나타난다.

이러한 LED의 특성으로 인해 정 전류로 구동하는 방법이 유리하다. 현재 부하를 정 전류로 구동하기 위하여 여러 방법들이 제시되어 있다. 보편적으로 LED 조명을 구동하기 위해서 벅, 부스트 DC / DC 컨버터의 동작을 전류 궤환 하여 사용한다. 출력전압이 입력전압보다 적을 때는 벅 컨버터를 사용하며, 그 반대일 경우에는 부스트 컨버터를 사용한다. 이러한 컨버터는 전압을 궤환하여 출력 전압이 레귤레이션 되어 정 전압을 유지 시켜주지만, 정 전류로 구동하기 위해서는 전류를 궤환하여 컨버터의 스위칭 듀티를 조절하여 출력 전류가 레귤레이션 되게 하여야 한다.

따라서 정 전류 구동을 위한 컨버터는 그림 11의 (b)와 같은 형태로 구성할 수 있다.

본 연구에서는 Power LED에 일정한 정 전류를 공급하기 위해서 전류 궤환 형태의 벅 컨버터를 사용한다[18]. 컨버터의 스위칭 제어 방식을 전류 제어 방식으로 사용한다. 전류제어 방식은 전력용 스위치 소자를 일정한 스위칭 주파수를 갖으며, 스위칭 전류 또는 인덕터 전류를 감지하여 전류 값이 설정 값에 도달하는 순간에

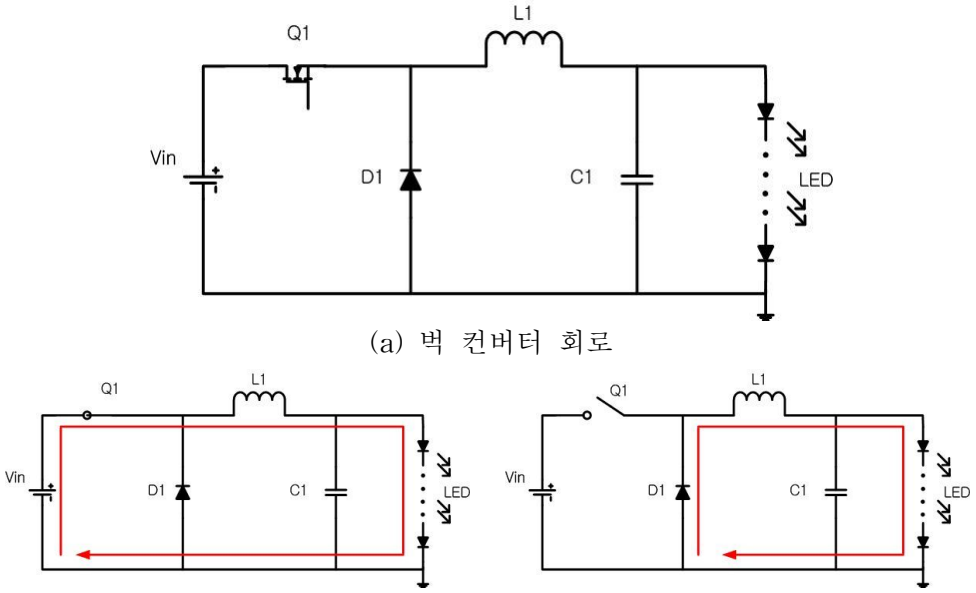
스위치를 차단시키는 제어 방법으로 스위칭 듀티를 출력전류에 의해 조절한다. 이 방식은 최대 출력전류가 제어 전류에 의해 직접 결정되므로 제어 전류의 최대값을 제어함으로써 스위치 소자의 최대 전류를 직접 제어 할 수 있으므로 과전류 보호 및 전류에 대한 응답 속도가 빠르다.

Buck converter의 사양은 다음과 같다.

표 4. 정 전류 Buck converter 사양

종 류	사 양
입력전압(V_I)	40V
출력전압(Vo)	34V
출력전류(Io)	0mA ~ 700mA
스위칭 주파수(Vs)	150khz

출력전류의 범위는 향후 조도 제어를 위해 0mA ~ 700mA로 결정하였다.



(a) 벅 컨버터 회로

(b) 스위치 Q1 ON

(c) 스위치 Q1 OFF

그림 16. 벅 컨버터의 동작 원리

그림 16의 (a)는 벅 컨버터의 기본 회로를 나타낸 것이고 그림 16의 (a),(b)는 스위치 Q1의 ON/OFF에 따른 전류 루프를 설명하기 위해 나타낸 그림이다. 스위치 Q1이 On일 경우 그림 16의 (b)와 같은 루프로 전류 가 흐르고 스위치 Q1이 OFF일 경우 그림 16의 (c)와 같이 L1과 C1에 축적 된 에너지가 환류 다이오드 D1을 통해 전류가 흐르게 된다. 벅 컨버터의 입·출력 관계식은 식 (2)로 표현 할 수 있다.

$$V_{OUT} = DV_{IN} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 식(2)$$

여기서 D는 통류율로 스위치 Q1의 스위칭 한 주기에 대한 ON 시간의 비율이다.(D′ = 1 - D) D는 항상 1보다 작은 값이므로 출력전압은 항상 입력전압보다 작다.

일반적인 벅 컨버터에서 인덕터 전류가 Critical mode로 흐를 때 인덕터 전류의 평균치는 식(3)과 같다.

$$I_o = \frac{D^{'} T_s V_o}{2L_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 식(3)$$

본 연구에서 사용된 벅 컨버터는 CCM(Continuous current mode)로 동작되기 때문에 인덕터 L1 값은 식(3)을 이용하여 식(4)와 같은 조건을 갖는다.

$$L_1 > \frac{D^{'} T_s V_o}{2I_{omin}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 식(4)$$

벅 컨버터의 커패시턴스의 설계 식은 식(5)와 같다.

$$C_1 = \frac{V_o D^{'} T_s^2}{8L \triangle V_o} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 식(5)$$

설계하고자 하는 벅 컨버터의 인덕터 L1과 커패시터 C1의 값은 식(2),(4),(5)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_{\min} = \frac{V_o}{V_{imax}} = \frac{33}{40} = 0.83$$

$$L_1 \geq \frac{0.17 \times 1/150kHz \times 33V}{2 \times 7mA} = 000267H$$

$$C_1 \geq \frac{33 \times 0.85 \times (1/150kHz)^2}{8L_1 \times 0.1mV} = 114uF$$

실상 벅 컨버터가 CCM(Continuos Current Mode)으로 동작하기 위해서는 큰 값의 L1과 C1을 필요로 한다. L1의 값은 2.67mH 이상의 값으로 2.7mH 인덕터를 사용하였고, C1의 값은 출력 전압 리플을 최소화하기 위해 식(4)를 계산하는 과정에

서 전압 리플을 0.1mV로 하여 계산 하였다. 또한 ESR(Equivalent Series Resistance)과 리플을 가능한 작게 하기 위하여 220uF과 10uF를 병렬을 사용하였다. 스위칭 및 제어 IC는 AP1501(ADJ)를 사용한다[19]. 이 소자는 150Khz의 스위칭 주파수를 갖고, Shut Down과 Feedback, Vin, Vout, GND의 총 다섯 개의 단자를 갖는다. 벅 컨버터는 스위칭 듀티에 의해서 출력 전압이 결정된다. 이를 조절하기 위한 회로는 AP1501 내부에 포함 되어 있다. 입력전압의 정격은 45V이고, 3A의 출력전류를 갖으며, 125℃의 온도 내에서 안정된 동작을 보장한다.

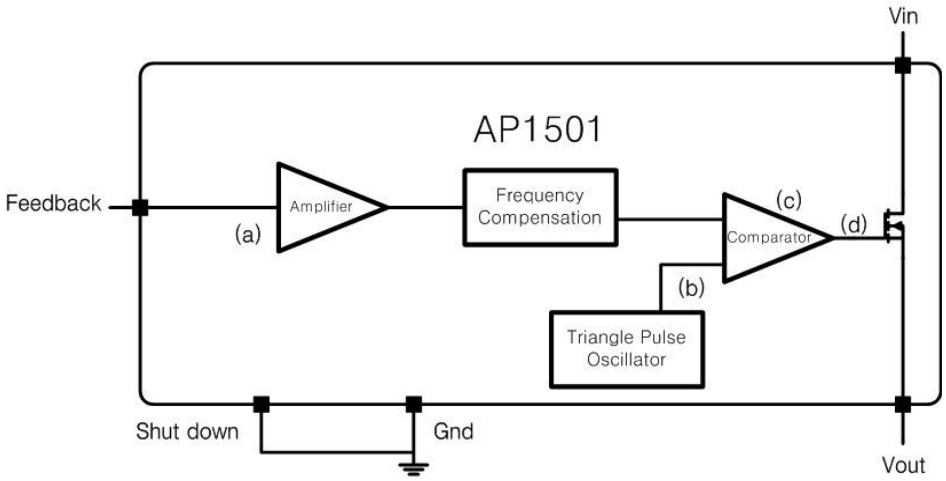
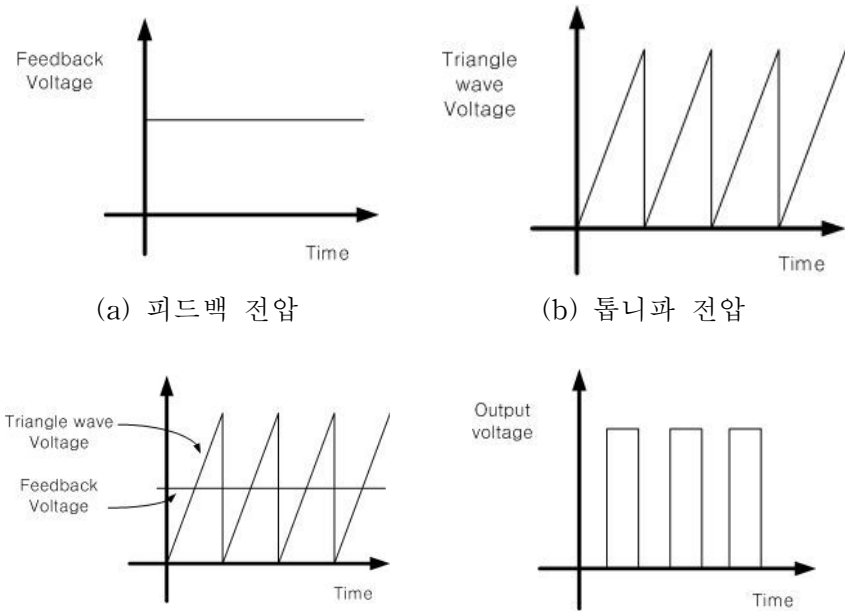


그림 17. AP1051 내부 블록도

AP1501의 내부 블록도는 그림 17과 같다. 센싱 받은 전압은 피드백 단자로 인가된다. 인가 된 전압은 증폭기를 거쳐 출력 되고, 이 전압은 주파수 보상 과정을 거친다. 주파수 보상 과정은 스위칭 과정으로 생기는 전류의 변동 즉 센싱 받은 전압이 피드백 단자로 들어 올 때 생기는 리플의 주파수에 대해 gain을 일정하게 해주는 역할을 한다. 리플의 주파수가 변동될 수 있으므로 모든 주파수에 대해 이득을 일정하게 해주어야 한다. 주파수 보상을 거친 전압은 AP1501 내부 톱니파 발진기에 의해 발생된 삼각파와 비교된다. 비교된 전압은 스위치 게이트 파형으로 출력되며, 이 과정을 통해 벅 컨버터의 스위칭 동작이 이루어진다.

다음 그림은 피드백으로 들어오는 센싱 전압에 따라 스위칭 듀티가 어떻게 변화하는지를 보여준다.



(a) 피드백 전압 (b) 톱니파 전압

(c) (a)와 (b)의 비교 (d) 스위치 게이트 전압

그림 18. 피드백 전압에 따른 스위치 게이트 전압 출력

그림 18은 AP1501의 내부 블록도를 나타낸 그림 17의 각 부분의 파형을 나타낸다. 그림 18의 (a)는 센싱 후 피드백으로 인가되는 전압이다. 1.235V를 기준으로 ±0.05V 범위로 변동된다. (b)는 AP1501자체 내부의 발진기에 의해 발생한 5V peak의 톱니파를 나타낸다. (c)는 비교기의 동작 원리를 설명하기 위한 파형으로 두 전압의 비교 과정을 통해 (d)를 출력한다. (d)는 (c)과정을 통해 출력되는 스위치 게이트 파형이다. 주파수 보상을 거친 피드백 전압이 톱니파 전압 보다 작으면, Low전압을 출력하고 피드백 전압이 톱니파 전압 보다 크면 High를 출력 한다. 이 출력 전압은 AP1501로 구성된 회로 전체를 동작 시킨다. Power LED에 흐르는 전류를 센싱 한 전압은 피드백으로 인가 되는데 피드백 전압이 작으면 듀티가 커지고, 피드백 전압이 크면 듀티는 감소한다.

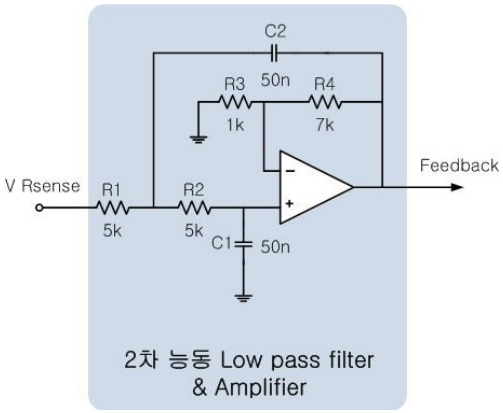


그림 19. 전류 피드백 회로

결국 Power LED(부하)측에 직렬 저항 Rsense에 걸리는 전압을 피드백 하는 것은 저항에 흐르는 전류에 의해 스위칭 소자의 Duty를 결정하는 것이며, 이 Duty에 의해 벅 컨버터의 출력이 결정된다. Rsense에서 걸린 전압을 피드백에 적정한 수준으로 변환하기 위해서 그림19와 같은 전류 피드백 회로를 설계 하였다. 전류를 피드백하기 위해서 출력 측 Power LED와 직렬로 0.2Ω을 연결하여 저항에 걸리는 전압을 증폭하였다. 예를 들어 Power LED를 700mA로 구동시키려 한다면, Rsense의 양단전압 140mV를 스위칭 소자의 피드백 단자에 적합한 1.235V가 걸리게 증폭을 하는 것이다.

전류 피드백 회로는 노이즈 제거를 위한 2차 능동 LPF(Low Pass Filter)와 센싱 전압 증폭을 위한 비 반전 증폭기가 함께 존재 한다. 이 회로의 전달 함수는 밀만의 정리를 이용하여 다음 수식 (6)와 같이 표현 할 수 있다.

$$H(S)=\frac{V_{Feedback}(S)}{V_{Rsense}(S)}=\frac{\frac{k}{R1R2C1C2}}{S^2+(\frac{1}{R2C2}+\frac{1}{R1C1}+\frac{1}{R2C1}-\frac{k}{R2C2})s+\frac{1}{R1R2C1C2}}$$

$$,k=(1+\frac{R4}{R3}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 식(6)$$

식 (6)에 각각의 값을 대입하여 정리 하면 다음과 같이 요약 된다.

$$H(S) = \frac{V_{feedback}(S)}{V_{Rsense}(S)} = \frac{16 \times 10^6 \times 8}{s^2 - 20000s + 16 \times 10^6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{식(7)}$$

그림 19의 회로에서 피드백 되어 나오는 전압은 노이즈가 제거 된 DC 전압이므로 원하는 출력 할 수 있다. 이 회로에 대한 주파수 특성을 P-spice simulation으로 실행한 결과 그림 20과 같은 주파수 특성을 나타 냈다.

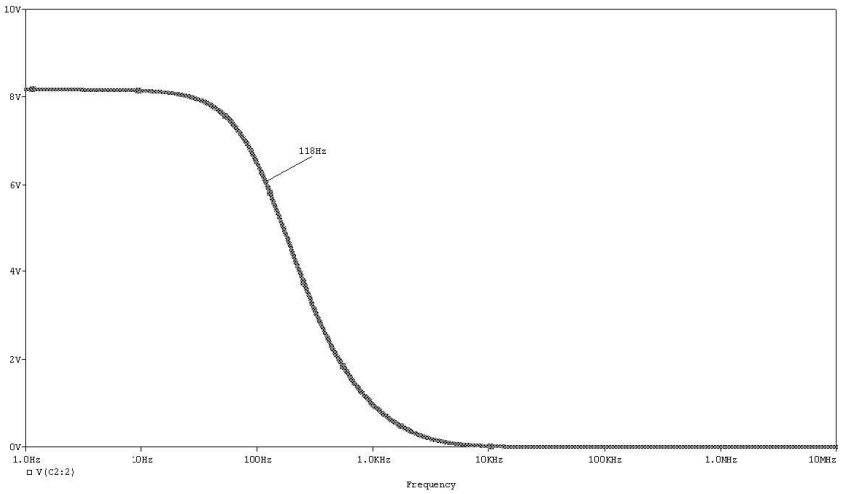


그림 20. 전류 피드백 회로의 주파수 응답

차단 주파수는 약 118Hz이며 입력을 1V로 했을 때 8V정도의 값이 나온다. 따라서 식(7)과 비교 했을 때 적절한 값이 나온 것을 확인 할 수 있다.

제3절 MCU를 이용한 Dimming 제어 회로 설계

지금까지 살펴 본 Analog와 PWM Dimming 제어의 장·단점을 고려하여 최적의 Dimming 제어 방법을 제안한다.

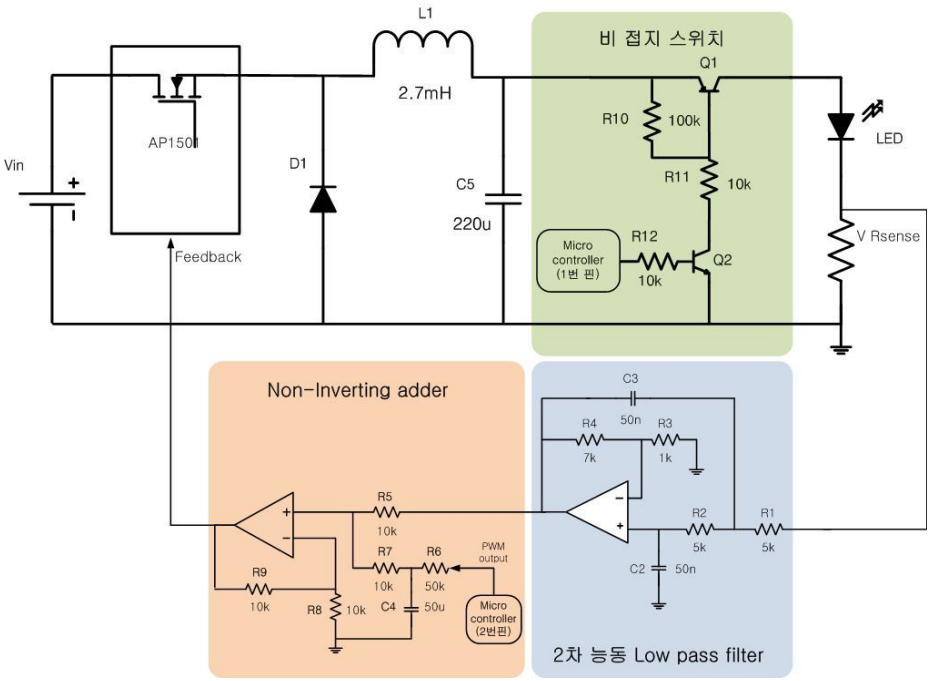
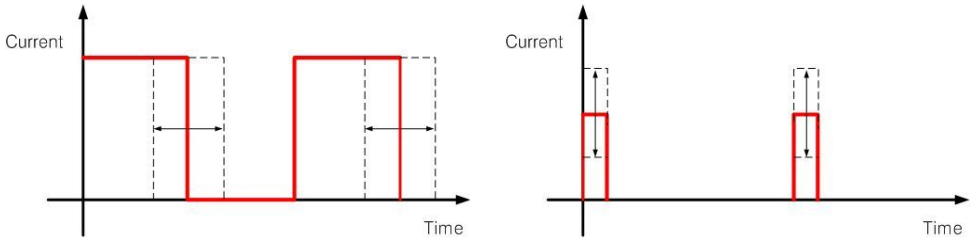


그림 21. MCU 및 AP1501을 이용한 Dimming Control 회로

그림 21은 Analog Dimming 제어와 PWM Dimming 제어를 동시에 수행 할 수 있도록 제안된 회로이다. 회로는 Analog Dimming 제어 회로와 PWM Dimming 제어 회로를 혼합한 형태로 10% 레벨 즉 Duty 10%을 기준으로 이상 일 때 는 PWM Dimming 제어를 실행 하며, 이하 일 때는 Analog와 PWM 방식을 함께 사용한다.



(a) 10% 이상 Dimming Control시 Power LED에 흐르는 전류

(b) 10% 이하 Dimming Control시 Power LED에 흐르는 전류

그림 22. 제안한 회로의 동작 원리

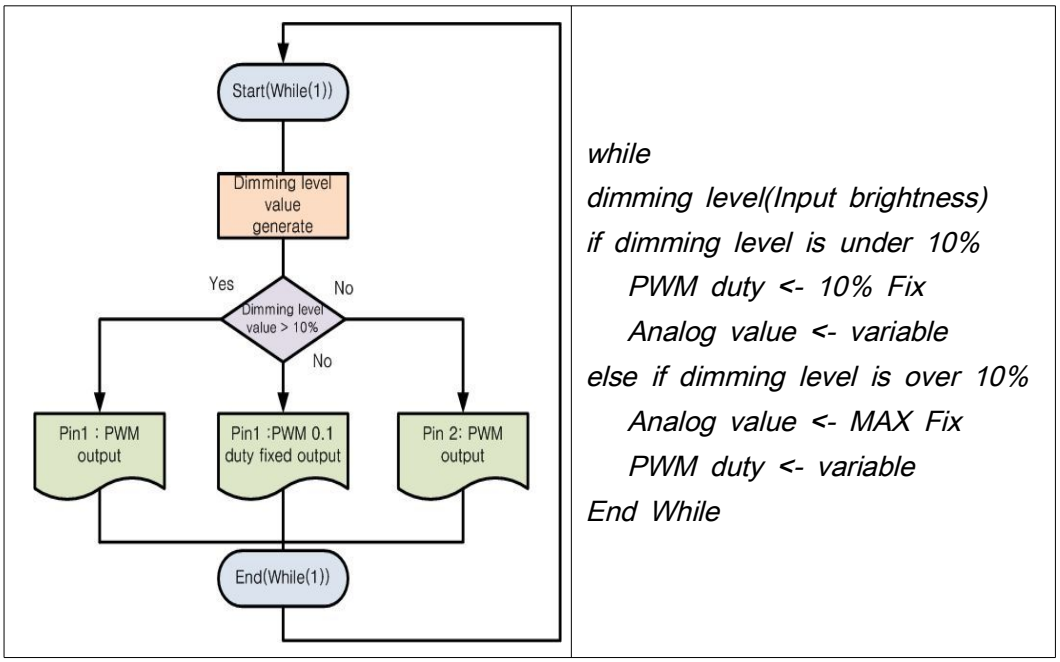


그림 23. 제안한 조도 제어 방법의 프로그램 순서도 및 알고리즘

그림 22은 제안한 Dimming 제어 회로의 동작 원리를 나타내며, 그림 23은 회로를 동작시키기 위한 Micro controller 프로그램의 순서도 및 알고리즘이다.

Duty 10% 이상 Dimming 제어 시 시스템은 Micro controller의 1번 핀을 이용한 비 접지 스위치만을 이용하여 동작한다. 이때 Analog Dimming 제어를 담당하는

Micro controller의 2번 핀은 동작 하지 않는다.

그림 22의 (a)는 10% 이상 조도 제어 시 Power LED에 흐르는 전류를 나타낸다. 그림 22의 (b)는 10% 이하 조도 제어 시 Power LED에 흐르는 전류를 나타내는 것으로 Micro controller의 1번 핀을 Duty 10%로 고정시킨 후 PWM 파형을 출력하여 비 접지 스위치를 동작 시킨다. 그리고 Micro controller의 2번 핀을 이용하여 Analog Dimming 제어를 수행하는데, Duty 10%로 Power LED에 흐르는 전류의 최대치를 제어하는 원리이다.

Micro controller는 while 문을 한번 반복 할 때 마다 Dimming level 값을 읽어 회로를 동작 시킨다. 제안한 방법은 Analog Dimming 제어 방법과 PWM Dimming 제어 방법을 혼합한 형태로 두 제어 방법의 장점을 결합한 시스템이다. 이러한 제어 회로 동작원리에 Frequency Modulation 방법의 2us/bit의 Random Code Generator을 그림 24 및 그림 25와 같이 적용하여 EMI Pass 및 Flickering 제거가 가능하도록 설계하였다.

```
While
    Set Dimming level(Input brightness)
    nand value <- nand(2^12)
    if dimming level is under 10%
      Analog value <- variable
      PWM duty <- nand value
          if nand value is Under Set Dimming level
              'High' Output
          else if nand value is Over Set Dimming level
              'Low' Output
    else if dimming level is over 10%
        Analog value <- MAX Fix
        PWM duty <- nand value
            If nand value is Under Set Dimming level
                'High' Output
            else if nand value is Over Set Dimming level
                'Low' Output
End while
```

그림 24. Random Code Generator 가 추가된 조도 제어 알고리즘

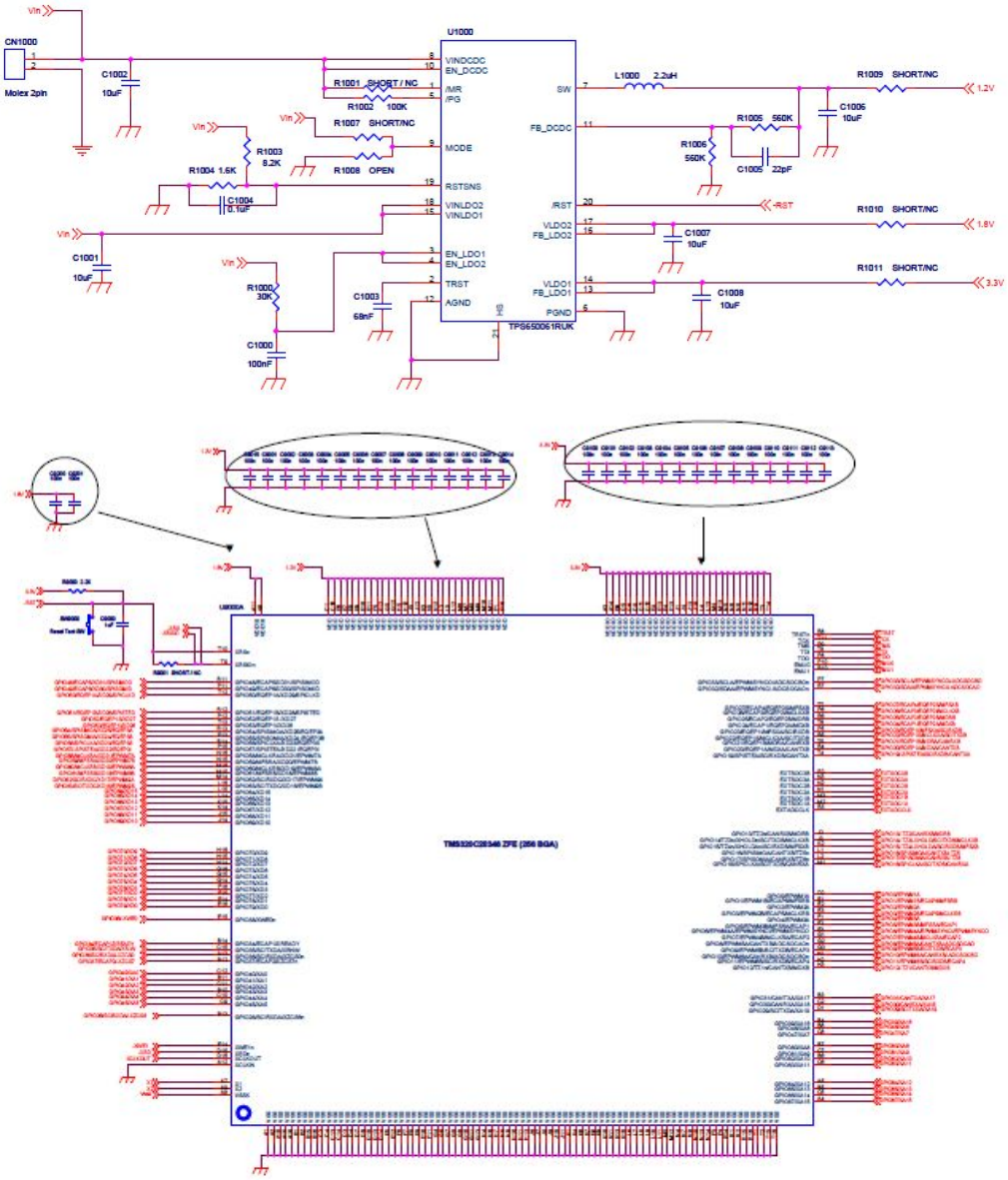


그림 25. Random Code Generator 가 추가된 회로도

제4절 MCU를 이용한 Dimming 제어 장.단점 분석

①색 파장.

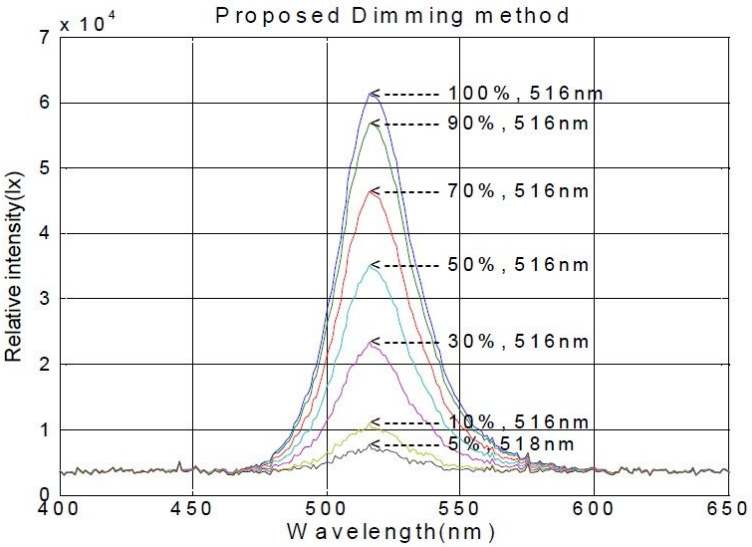


그림 26. 제안한 방법의 Dimming 제어 시 전류에 따른 녹색 Power LED의 파장 변화

그림 26는 최적 Dimming 제어 회로를 적용하여 Power LED 전류를 제어 했을 때 파장 변화를 나타낸다. Duty 10~100%의 Dimming 제어 시 파장의 첨두치 변화는 나타나지 않았으나, Duty 0~10%의 Dimming 제어 시 2nm의 파장 변화가 일어나는 것을 확인 할 수 있다.

② 선형적인 Dimming 제어

PWM Dimming 제어방법 으로는 저 레벨 조도 제어가 불가능 하다는 것을 본문 2.2에서 확인하였다. 제안한 회로는 저 레벨(10%이하)에서 PWM 방식과 Analog 방식을 실행함으로써 좀 더 넓은 범위의 전력 제어를 가능하게 한다. 특히 RGB 컨트롤을 하는 조명으로 사용 될 경우 파장의 변화없이 빛의 세기를 조절 할 수 있으므로 더욱 다양한 색의 표현이 가능해 진다.

제4장 실험 결과 및 특성 검토

Power LED의 조도 특성을 파악하기 위해 기존의 3가지 Dimming 제어 방법과 제안한 방법의 Dimming 제어 방법을 회로에 적용하여 실험하였다.

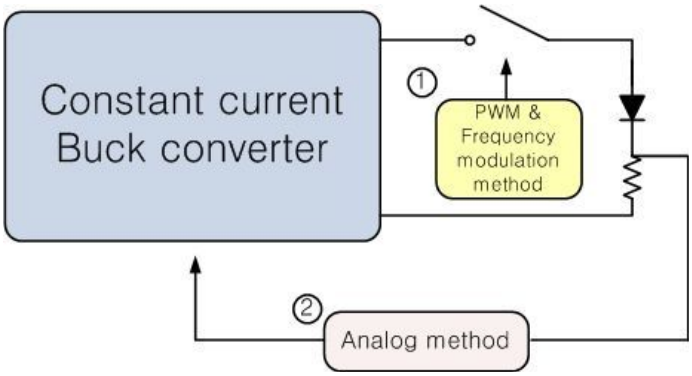


그림 27. 실험에 쓰인 회로 블록도

그림 27는 기존의 3가지 Dimming 제어 방법(Analog, PWM, Frequency Modualtion 방법)과 제안한 방법의 Dimming 제어를 실행하기 위해 실험에 사용된 회로의 블록도를 나타낸다. 벅 컨버터의 기본회로에 Dimming제어를 위한 회로들이 추가되어 활용 되었다. 특히 PWM과 Frequency Modualtion Dimming 제어는 1번 블럭을 사용하여 실험하였고, Analog Dimming 제어는 2번 블록을 사용하여 실험하였다. 그리고 제안한 Analog와 PWM가 혼합된 방법의 Dimming제어는 1번과 2번 블록을 동시에 활용하여 실험하였다.

표 5. 실험에 사용된 측정 장비

항 목	제조사	모 델	용 도
전압 프로브	Tektronix	P2220	Power LED 전압 측정
전류 프로브	Lecroy	AP015A	전류 측정
오실로 스코프	LeCroy	Wave Runner 6030	파형 측정
서플라이	nF	ES 2000S	주 입력 전원
	Digital Electronics	DRP-9303	개별 전원

표 5은 실험에 사용된 회로와 측정 장비들의 사진을 나타낸다. Power LED의 양단 전압을 측정하기 위해 Tektronix社의 P2220 전압 프로브를 사용하였고, 전류 측정을 위해 Lecroy社의 AP015A 전류 프로브를 사용하였다. 파형 측정 및 저장을 위한 장비로는 Lecroy社의 Wave Runner 6030 오실로스코프를 이용하였고, 주 입력 전원은 nF社의 ES 2000S AC/DC Power supply, 개별 전원은 Digital Electronics DRP-9303 DC power supply를 이용하였다.

실험에 사용 된 Power LED는 LUXEON_DS6X 계열의 제품을 활용하였다. RGB(Red, Green, Blue)와 White색의 Power LED 각각 10개의 직렬 조합으로 이용 하였다.

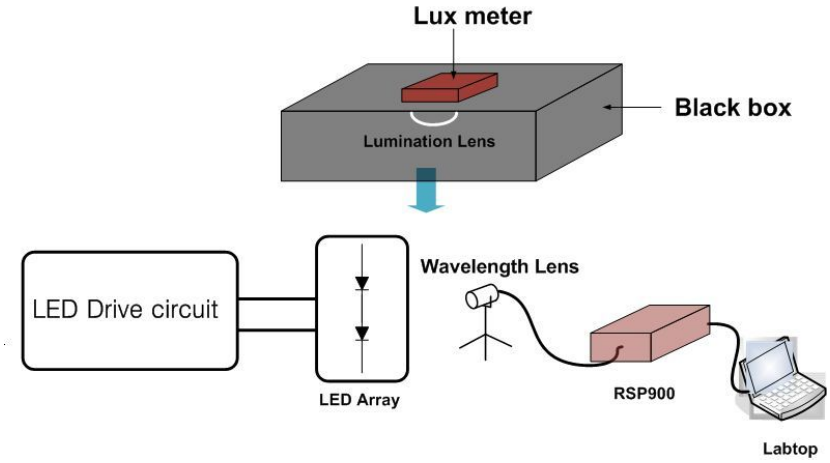
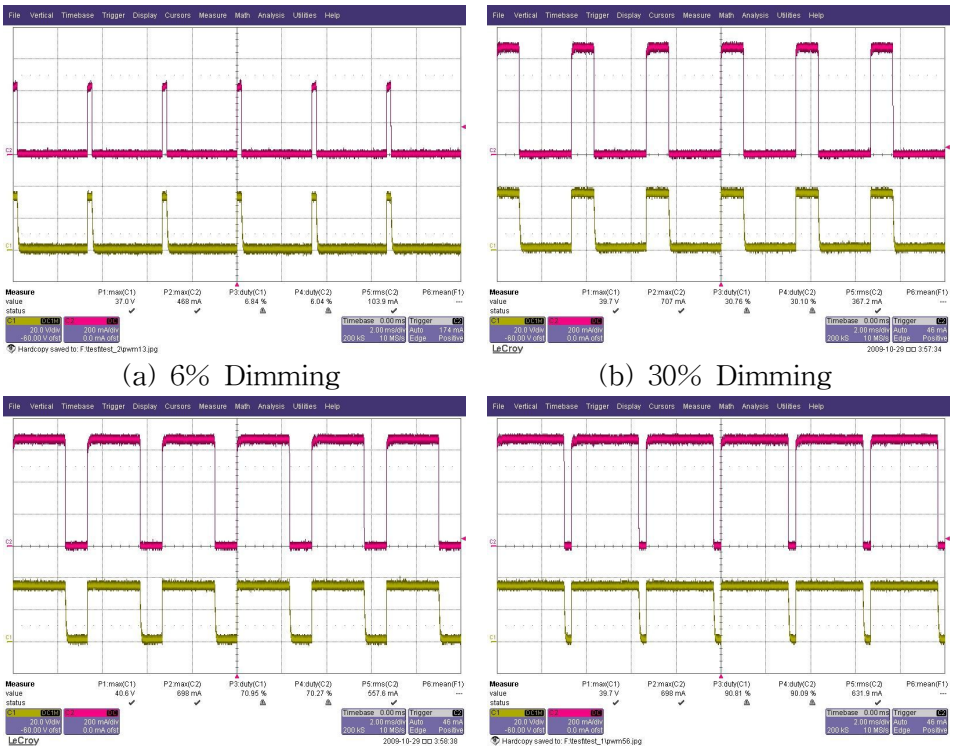


그림 28. 조도 및 파장 측정 방법

그림 28은 빛의 파장과 조도의 측정 방법을 나타낸다. 빛의 파장 측정은 International Light社의 RPS900-R 장비와 외부를 차단하는 암실박스를 사용 하였다. TES社의 TES-2331A digital Lux meter 조도계를 사용하여 Power LED의 조도 특성을 파악하였다. 조도 측정은 외부에서 들어오는 빛을 차단한 암실박스 내에 LED를 설치하였으며, LED와 조도계간 50cm의 거리를 고정한 환경에서 수행되었다.

제1절 PWM Dimming 제어 실험 결과 및 특성



(a) 6% Dimming (b) 30% Dimming

(c) 70% Dimming (d) 90% Dimming

그림 29. PWM Dimming 제어 시 Power LED 전압, 전류 파형

PWM Dimming 제어 회로를 구동하여 Power LED(White * 직렬 10개)에 르는 전류와 양단에 걸리는 전압을 측정하였다. PWM 주파수는 인간의 육안으로 인식이 불가능한 300Hz로 설정하였다. 그림 29의 (a), (b), (c), (d)는 PWM pulse Duty 10%, 30%, 70%, 90% 에 따른 Power LED 전압 전류를 측정한 그림이다. 700mA의 Peak 전류를 기본으로 펄스의 Duty에 따라 제어 되는 것을 알 수 있다. 하지만, 그림 29의 (a)에서 보는 바와 같이 저 레벨(6%)의 PWM Dimming 제어 시 Power LED에 흐르는 전류는 700mA의 Peak 치를 유지 하지 못 한다. 2.1절에서 설명 하였듯이 이는 PWM Dimming 제어의 저 레벨 사용이 어려운 주요 원인이 된다.

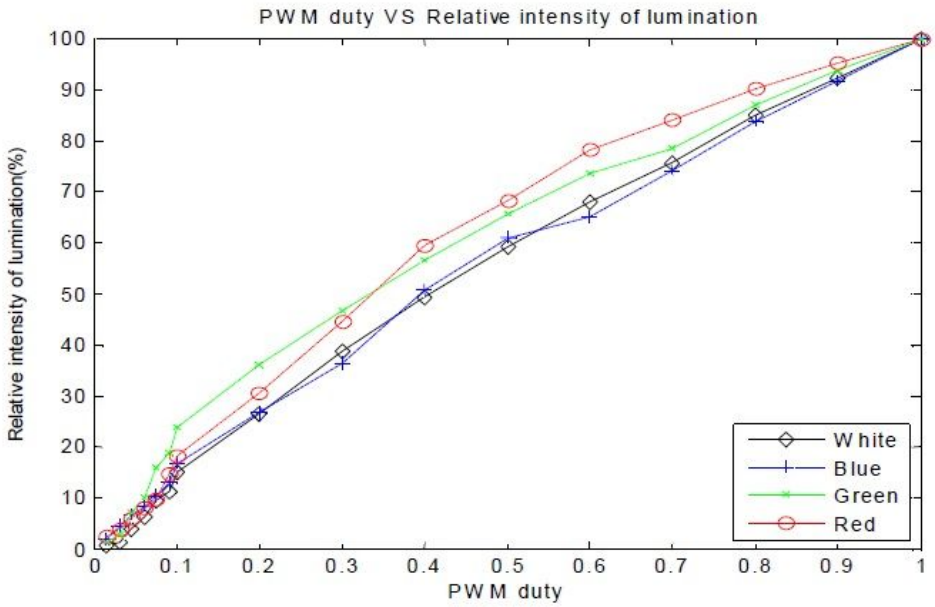
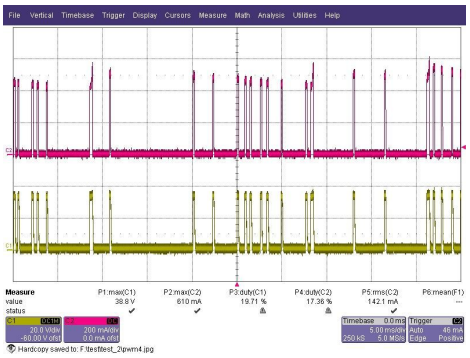


그림 30. PWM Dimming 제어시 Power LED 전류에 따른 상대적 조도

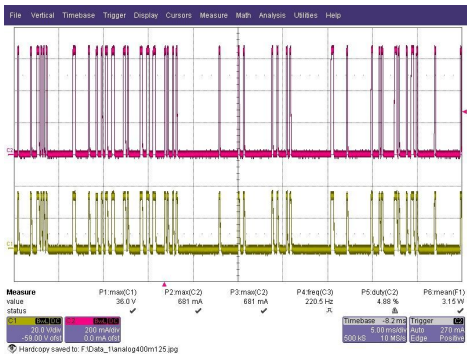
그림 30은 PWM Dimming 제어 시 RGB(Red,Green,Blue)와 White 색의 빛을 내는 Power LED의 상대적 조도를 나타낸다. 구성된 회로를 RGB(Red, Green, Blue)와 White 색의 빛을 내는 Power LED에 적용 하였다. 700mA를 최대 전류로 정하여 조도를 측정 하고, Power LED에 흐르는 전류에 따른 상대적인 조도 값을 (측정 조도 값/700mA *100%)의 계산을 통하여 세로축에 도시 하였다.

펄스의 Duty에 따라 상대적인 조도 값이 달라지며 펄스의 10% 이상 Duty에서는 비교적 선형적인 형태의 조도를 유지하지만, 10% 이하에서는 아날로그 조도 제어와 비교하여 급격하게 조도가 감소하는 형태의 조도 특성을 나타낸다. 이는 10% 이하에서 듀티와 진폭이 동시에 감소하기 때문이다.

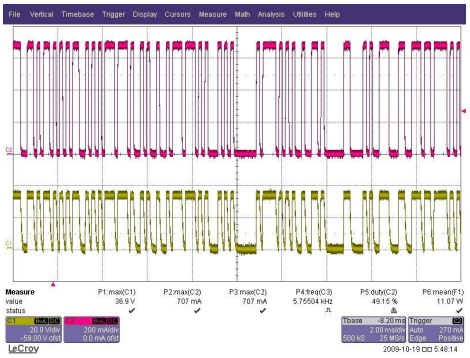
제2절 Frequency Modulation Dimming 제어 실험 결과 및 특성



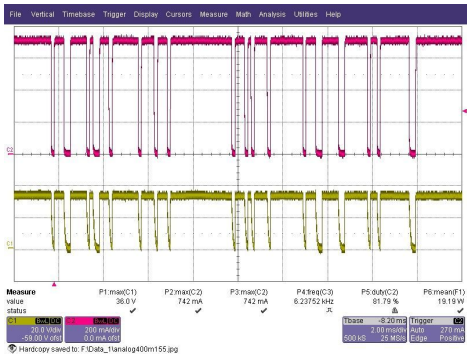
(a) 6% Dimming



(b) 30% Dimming



(c) 70% Dimming



(d) 90% Dimming

그림 31. Frequency Modulation Dimming 제어시
Power LED 전압, 전류 파형

Frequency Modualtion Dimming 제어 시 Power LED(White LED*10개)에 흐르는 전류와 양단의 전압을 측정한 파형을 그림 30에 나타냈다. 그림 31의 (a), (b), (c), (d)는 주파수 변조된 파형의 'High' 비율 6%, 30%, 70%, 90% 에 따른 Power LED 전압 전류를 측정한 그림이다. PWM과 마찬가지로 700mA의 Peak치 값을 가지고 제어 하였다. 하지만 그림 31의 (a)에서 보는바와 같이 저 레벨 Dimming 제어 시 불규칙한 형태를 나타냄으로 저 레벨 Dimming 제어가 불가능 한 것으로 간주 하였다.

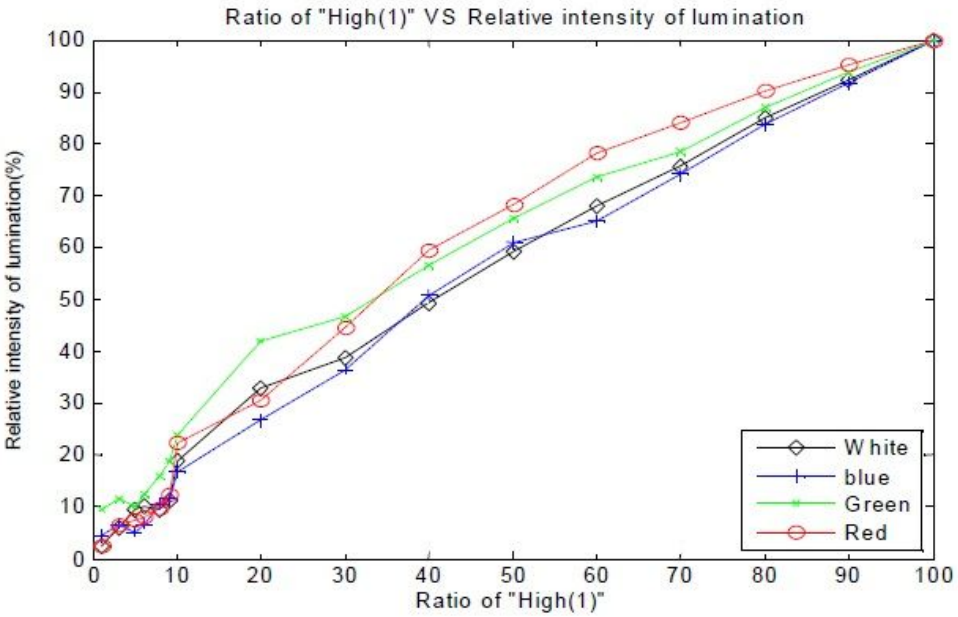
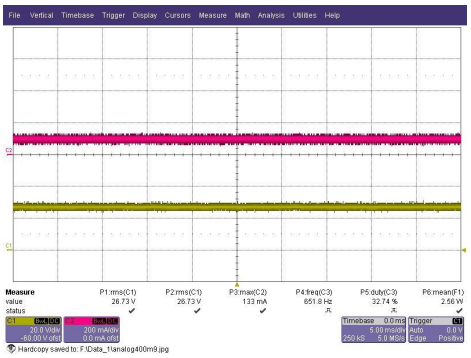


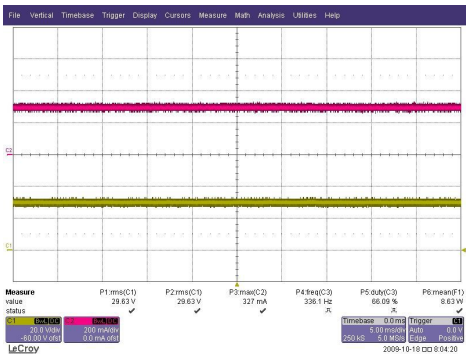
그림 32. Frequency Modulation Dimming 제어 시
Power LED 전류에 따른 상대적 조도

그림 32은 주파수 변조 조도 제어 시 RGB(Red,Green,Blue)와 White 색의 빛을 내는 Power LED의 상대적 조도를 나타낸다. 변조된 파형의 'High' 의 비율에 따라 상대적인 조도 값이 달라지며 'High' 비율 30%이상 에서는 비교적 선형적인 형태의 조도를 유지하지만, 30% 이하에서는 비선형적인 조도 특성을 나타낸다. 측정된 값은 4.1절에서 설명한 상대적인 조도 값이다.

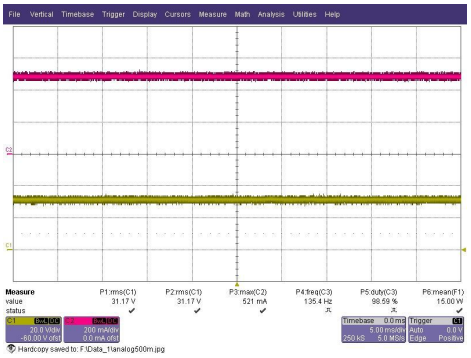
제3절 Analog Dimming 제어 실험 결과 및 특성



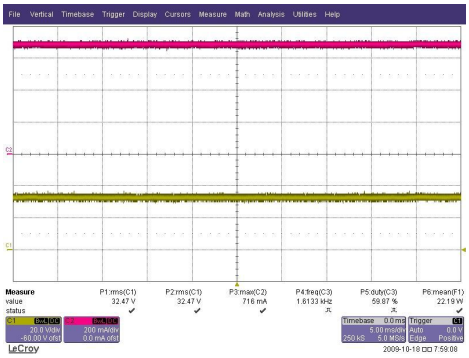
(a) 10% Dimming



(b) 30% Dimming



(c) 70% Dimming



(d) 100% Dimming

그림 33. Analog Dimming 제어시 Power LED 전압, 전류 파형

Analog Dimming 제어 시 Power LED(White LED * 직렬 10개)에 흐르는 전류와 양단의 전압을 측정한 파형을 그림 33에 나타냈다. Power LED에 흐르는 전류가 700mA일 때를 100% 로 정하고 그림 33의 (a), (b), (c), (d)처럼 각각 10%, 30%, 70%, 100% Dimming 제어 시 파형을 측정 하였다. 정 전류 제어에 의해 Power LED에 흐르는 전류와 양단의 전압이 리플이 없는 깨끗한 형태로 나타났다.

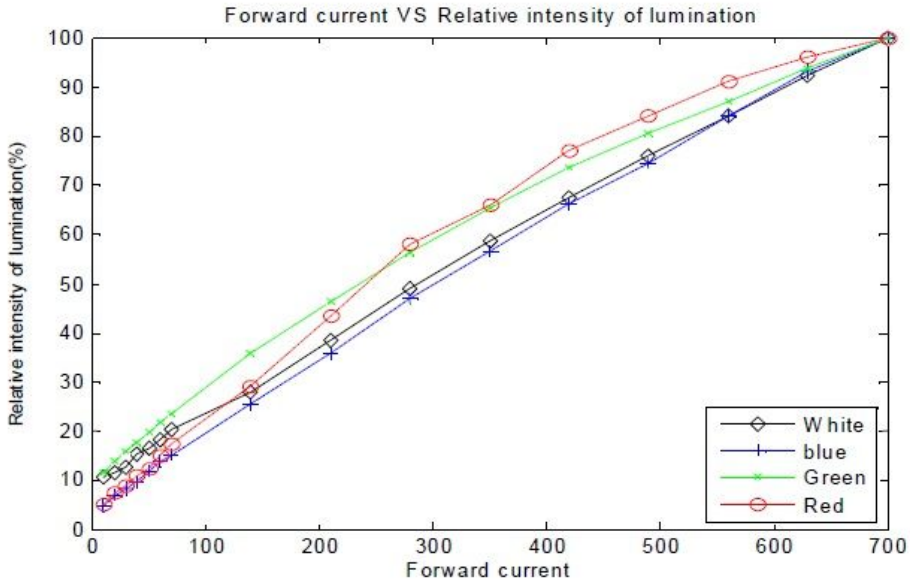
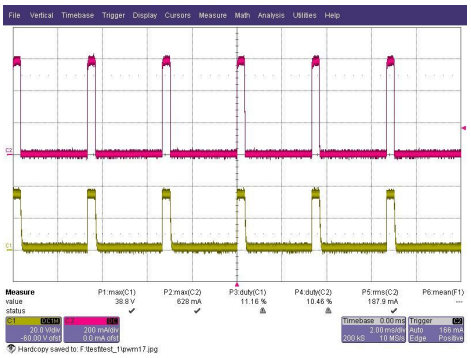


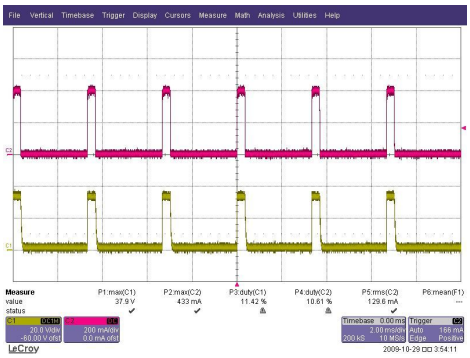
그림 34. Analog Dimming 제어 시Power LED 전류에 따른 상대적 조도

그림 34은 Analog Dimming 제어 시 Power LED에 흐르는 전류에 따라 조도 특성이 어떻게 변화하는지를 나타내는 그래프이다. 측정결과 RGB(Red,Green,Blue)와 White색의 Power LED모두 선형적인 Dimming 특성을 나타낸다. 또한 문제가 되고 있는 저 레벨 Dimming 제어 시에도 선형적인 Dimming 특성을 갖는다. 측정된 값은 4.1절에서 설명한 상대적인 조도 값이다.

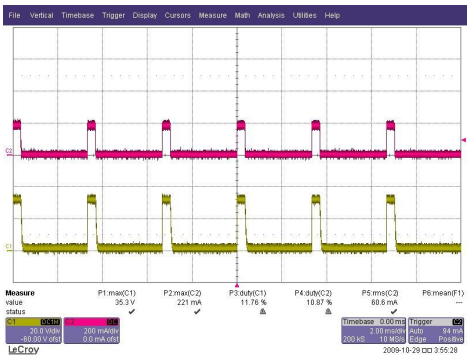
제4절 MCU를 이용한 Dimming 제어 실험 결과 및 특성



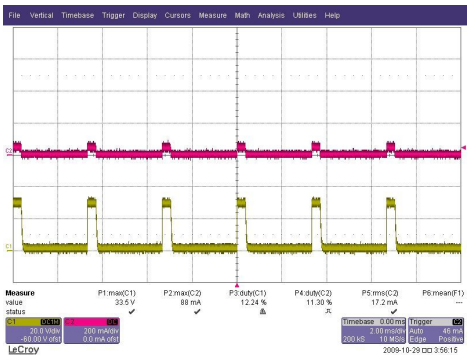
(a) 8% Dimming



(b) 6% Dimming



(c) 4% Dimming



(d) 1% Dimming

그림 35. 제안한 방법의 10% 이하 Dimming 제어시
Power LED 전압, 전류 파형

문제점을 보완하기 위해 제안한 방법으로 Dimming 제어 회로를 구성하여 Power LED(White LED*10개)에 흐르는 전류와 양단의 전압을 측정한 파형을 그림 35에 나타냈다. 그림 35에 나타낸 파형은 10% 이하 Dimming 제어 시 Power LED 전압 전류를 나타낸 것으로 10% 이상에서는 4.2절에 나타낸 것과 같이 Frequency Dimming 제어 시 측정한 파형과 동일하다. 그림 35의 (a), (b), (c), (d)는 8%, 6%, 4%, 1%의 Dimming 제어 결과를 나타며 측정 된 파형은 Duty 10%을 유지 한 채 진폭을 조절하여 제어 한 것이다.

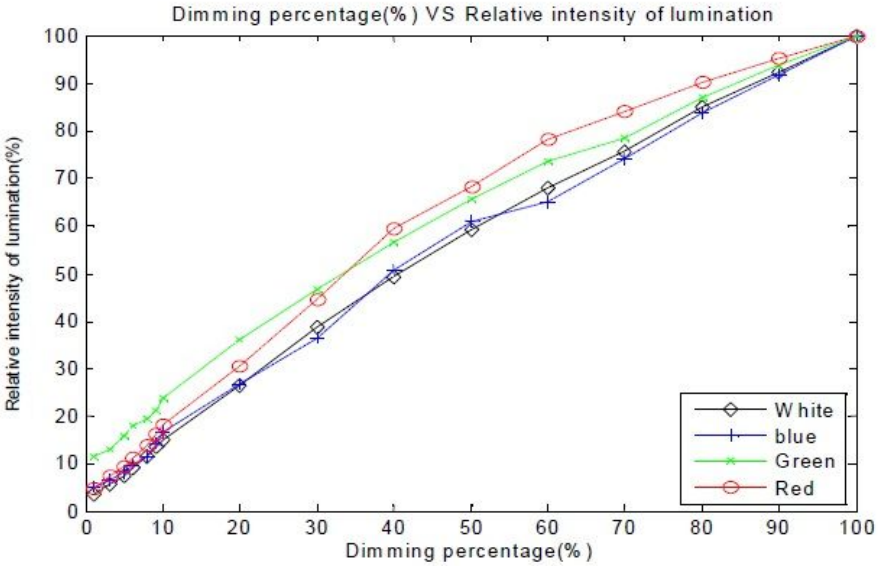
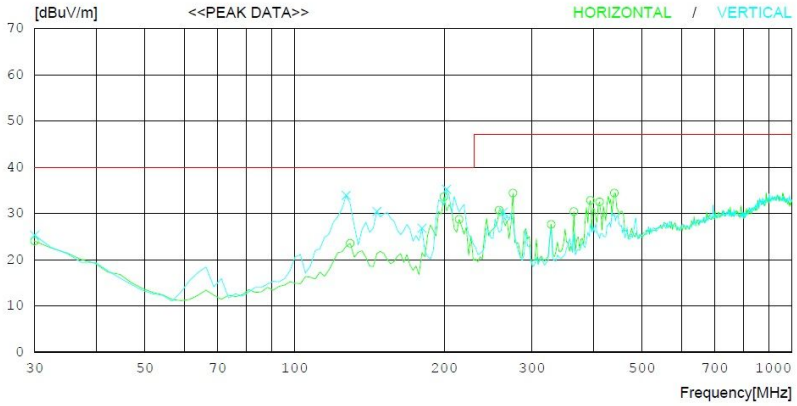


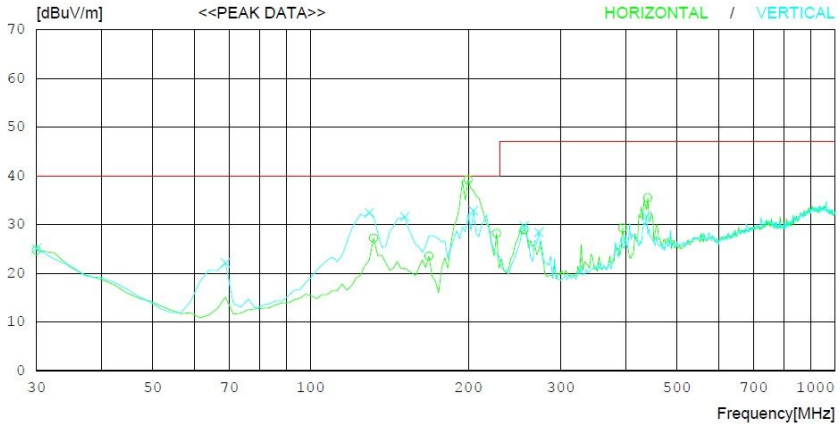
그림 36. 제안한 방법의 Dimming 제어시 Power LED 전류에 따른 상대적 조도

제안한 방법의 Dimming 제어 실행 시 RGB(Red, Green, Blue)와 White 색의 빛을 내는 Power LED에 흐르는 전류에 따른 상대적인 조도 값을 측정하였다. 그림 36에서 보는 바와 같이 0~100% 전체 동작 범위 내에서 선형적인 Dimming 특성을 나타내고 있는 것으로 보아 Power LED Dimming 제어를 위해 제안한 방법이 타당하다는 것으로 입증되었다. 마찬가지로 측정 된 조도 값은 4.1절에서 설명한 상대적인 조도 값이다.

그림 37는 Random Code Generator 적용 전,후 EMI test 측정 결과이다. 그림 37의 (b)는 PWM + Analog을 적용한 회로의 측정 그래프이고 그림 37의 (a)는 이 회로에 Random Code Generator을 적용한 측정 그래프이다. 측정은 EMI 인증기관 중 한국 디지털 EMC 에서 실행하였으며, 실제 CE 인증 시 수행하는 EMI 검사와 동일하게 진행하였다. 그림 37의 (b)를 보면 특정 주파수 대역에서 주파수 스펙트럼이 허용 범위에서 벗어나는 것을 볼 수 있는 반면, Random Code Generator가 적용된 회로인 그림 37의 (a) 는 전체 영역에서 주파수 스펙트럼이 허용 범위 이내인 것을 확인 할 수 있다.



(a) EMI Pass(Random Code Generator 적용)



(b) EMI Fail(Random Code Generator 미적용)

그림 37. Random Code Generator 적용 전,후 EMI TEST 비교

제5장 결 론

RGB(Red,Green,Blue) 및 백색의 Power LED는 다양한 색의 효과와 연출을 위해 활용 되지만 Dimming 제어 시 두 가지 문제점을 가지고 있다. 첫 째는 Power LED Dimming 제어 시 생기는 파장 변화로 인한 색상의 변질이며 둘째로 저 레벨(10%)이하 Dimming 제어 시 나타나는 비선형 Dimming 특성으로 Power LED 구동회로를 구성하는데 어려움이 있다.

Analog Dimming 제어 방법은 선형적인 Dimming 제어가 가능하나, 파장 변화의 문제를 가지고 있으며, PWM Dimming 제어 방법은 파장 변화 의 문제는 없으나 선형적인 Dimming 제어가 불가능하였다. 또한 Frequency Modulation Dimming 제어 방법은 PWM Dimming 제어와 마찬가지로 파장 변화는 없고 선형적인 Dimming 제어를 할 수 없었다.

본 연구에서는 Analog와 PWM Dimming 제어 방법의 장점을 혼합하여 Power LED의 전류를 제어하는 방법을 제안하여 Power LED Dimming 제어 방법으로 널리 쓰이고 있는 Analog와 PWM 방법을 Power LED에 적용하여, Power LED 정 전류 구동을 위한 벅 컨버터와 Micro Controller를 이용한 제어회로를 설계하였다. 그리고 위에서 언급한 두 가지 관점에서 각각의 Dimming 제어 방법의 장. 단점 파악을 목표로 실험하였다.

저 레벨(10%) 이상의 Dimming 제어 시 PWM 방법을 활용하고 그 이하 레벨에서는 Analog 제어를 혼합하는 방법으로 실험한 결과, 저 레벨(10%) 이상 Dimming 제어 시 파장의 변화가 일정하였고, 저 레벨(10%) 이하 Dimming 제어 시에도 선형적인 Dimming 특성을 갖도록 전체 범위에서 Dimming 제어가 가능함을 알 수 있었다. 또한 12bit의 2us/bit Random Code Generator을 적용하여 EMI(Electro Magnetic Interference) 인증 통과 및 Flickering 제거가 가능 한 장점이 있다, 향후 저 주파수 대역을 이용하여, H/W resource를 최소화 하면서 Flickering 제거 및 EMI 통과가 가능하도록 방안을 마련하는 것이 향후 과제라 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 양배덕, “백색 LED의 최신 개발 동향과 금후의 전망”, 한국 과학 기술 정보 연구원.

[2] Rong-Ting Huang.; Holm, P.; Wright, P.D., "Design and fabrication of AlGalnP LED array with integrated GaAs decode circuit“, Electron Devices, IEEE Transactions on. vol. 45, pp. 2283-2290, NOV, 1998

[3] 황명근, 장우진, 양승용“환경 규제에 따른 조명 산업 발전 방안 연구” 한국조명・전기설비학회 2007춘계학술대회 논문집, pp. 160p, 2007

[4] 한수빈,“고출력 Power LED 드라이브 기술 현황”, 한국 조명.전기설비 학회 학술 저널, pp.53-59, 12, 2008

[5] Prathyusha Narra; Zinger, D.S., "An effective LED dimming approach Industry Applications Conference", 2004.39th IAS Annual Meeting Conference Record of the 2004 IEEE

[6] J, Semicond., "Design and implementation of a high dimming ratio LED drive controller", 30 025010 IOP science, 2009

[7] 김두현, 조범준, “LED Dimming 제어 방법 연구”, 한국멀티미디어학회 2013년도춘계학술발표대회 논문집, pp.357-358, 2013년 5월

[8] Anshul Gulati , "Modulation Techniques for LED Dimming, Cypress"

[9] L, Svilainis., “LED PWM dimming Linearity investigation Display”, pp. 243-249, 2008

[10] Taekhyun Kim, Matthew Rylander, Edward J. Powers, W. Mack Grady, and Ari Arapostathis, "LED Lamp Flicker Caused by Interharmonics" IEEE International Instrument and Measurement Technology Conference ,Victoria, Vancouver Island, Canada, May, 2008

[11] 명지대학교 산업 기술 연구소, "CDMA의 PN code특성에 관한 연구", 한국 전자 통신 연구소

[12] A, Polydoros and C. L. Weber, "A inified approach to serial search spread-spectrum code acquistion - PART I : General theory", IEEE Trans.

Comm., vol. COM-32, PP 542-549, 184
[13] 김인범, 박규민, 한상규, 홍성수, 김현정, 이상훈, 이효범, 이광일, 노정욱, "Analog Dimming을 이용한 Single-stage LED 구동 회로", 전력전자학회 학술대회 논문 집, pp.541-543, 2008
[14] 이상훈, "LED 조명 시스템을 위한 LED 및 직류전원 기술", pp.29-35
[15] 김두현, 최석원, 조범준, "자동차 점화 코일 충전 전류제어 장치 개발", 한국멀티미디어학회 2012년도 춘계학술발표대회논문집, pp.156-157, 2012년 5월
[16] 김희승, 조상호, 이상현, 한상규, 노정욱, 홍성수, 이효범 "Dual-Channel LED 백라이트를 위한 새로운 전류평형 구동 회로에 관한 연구", 전력전자 학술대회 논문집, pp.444-446, 2009
[17] Chang-Hua Lin, Tsung-You Hung, Chien-Ming Wang and Kai-Jun Pai, " A Balancing Strategy and Implementation of Current Equalizer for High Power LED Backlighting", PEDS'07,pp.1613-1617, Nov.27-30, 2007
[18] 정우주, 박정의, 최정수, 이준상, 이석,윤자양, 천정인, 공정철, 최중호 " 조명용 LED를 구동하기 위한 고효율 전류 모드 DC-DC 변환기의 설계에 관한 연구", 대한 전자 공학회 2009 학술대회 논문집, pp.73-77,2009

저작물 이용 허락서

학과	컴퓨터공학과	학번	20087108	과 정	석사
성명	한글 김 두 현 한문 金 杜 炫 영문 Kim Doo-hyun				
주소	광주광역시 북구 오치동 공간 아파트 101-1504				
연락처	E-mail : ashleaf@naver.com				
논문 제목	한글 MCU를 이용한 POWER LED의 효과적인 Dimming 제어				
	영문 Effective Dimming Control of the POWER LED Using the MCU				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함.

동의여부 : 동의(0) 반대( )

2013년 5월

저작자: 김 두 현 (인)

조선대학교 총장 귀하