

디지털 디머 시스템 개발 연구

(Development of the Digital Dimmer System)

정승환* · 최 익** · 최주엽

(Seung-Hwan Jung · Ick Choy · Ju-Yeop Choi)

요 약

최근, 디지털 디머 시스템의 수요는 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 하지만, 국내 연구는 그에 비하여 미비한 실정이다. 본 논문에서는 디지털 디머 장치들을 설계, 제작하고, 시스템을 구성하는 방법을 제안한다. 디지털 디머 장치들은 크게 콘솔과 디머 랙으로 나눌 수 있으며, 콘솔은 GUI환경의 사용자 인터페이스를 제공하여 손쉽게 각 조명기기를 제어하는 패턴을 구현하며, 디머 랙은 콘솔로부터 전송받은 각 조명 레벨을 위상각 제어 방식으로 조명기기의 밝기를 제어한다.

Abstract

Recently, a demand of the digital dimmer system is increasing steadily, but domestic research is not sufficient to the expectation. In this paper, a digital dimmer equipment is developed and presented to compose a system. Digital dimmer system compose console and dimmer rack. Console controls of user interface and a total system, and dimmer rack controls brightness of lighting equipment by a way of phase angle control with each illumination level to get from console.

Key Words : Digital dimmer system, Dimmer console, Dimmer rack, Dimmer of phase angle control

1. 서 론

디머(Dimmer)는 최근 생활수준의 향상에 따라 고급 주택 및 대형 사무실에서는 각 구성원들의 시력 보호, 능률향상, 실내 분위기 조성을 위하여 적절한 조명시스템을 설치하는 것이 매우 중요시 여겨지고

있으며, 특히 24시간 점등이 필요로 하는 백화점, 주차장, 주유소, 상가, 대형 빌딩, 건설현장에서는 최상의 조명 환경 제공과 건물 관리의 효율화 제공을 위하여 디머 시스템의 설치가 절실히 요구되고 있다.

종래에 금속저항을 전기회로에 삽입하는 저항기식과, 변압기로 전압을 변화시키는 변압기식이 많이 사용되었으나, 반도체가 개발됨에 따라 반도체 조광 방식이 일반적으로 채택되고 있다.

반도체 조광 방식 디머는 위상각 제어 방식의 디머 또는 SCR(Silicon Control Rectifier) 디머라고도 한다.

* 주저자 : 광운대학교 제어계측공학과 박사과정

** 교신저자 : 광운대학교 제어계측공학과 교수

Tel : 02-940-5157

E-mail : seungwhan1@hotmail.com

접수일자 : 2008년 3월 24일

1차심사 : 2008년 3월 27일

심사완료 : 2008년 5월 7일

그림 1은 반도체 조광 방식 디머를 나타낸 것으로, 펄라먼트 램프류의 디밍을 보여주고 있다. 이 방식은 SCR의 게이트에 미약한 신호전압을 가하는 것으로 대전력의 제어가 이루어지므로, 조광 조작 기능이 매우 소형화되고 능률화되었다[1-3].

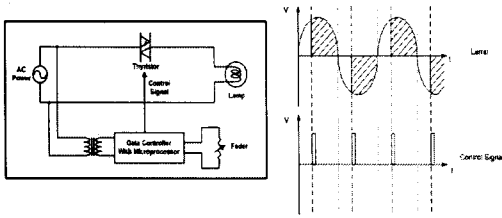


그림 1. 위상각 제어 방식의 디머
Fig. 1. Dimmer of controlling phase angle

본 논문에서는 디지털 디머 장치들을 설계 및 개발하고, 시스템을 구성하는 방법을 제시한다. 디지털 디머 시스템은 개개의 조명기기들의 효과와 동작을 제어하기 위한 디머 모듈 컨트롤러(Dimmer module Controller)와 디머 모듈들을 원활하게 제어하기 위한 랙 컨트롤러(Rack Controller), 그리고 사용자 인터페이스를 위한 콘솔(Console)로 구성하였다. 각각의 디머 장치들은 기능을 먼저 정의하고 하드웨어를 설계하여, 시험 소프트웨어를 작성하였으며, 많은 수의 조명기기들이 사용자의 명령에 따른 동작을 원활히 수행할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

2. 디지털 디머 시스템의 구성

디지털 디머 시스템은 사용자 인터페이스를 제공하고, 조명 패턴을 저장할 수 있는 디머 콘솔(Dimmer Console)과 실제로 조명기기를 연결하고, 제어하는 디머 랙(Dimmer Rack)으로 크게 나눌 수 있다. 다음 그림 2는 실제 극장에서 운용되고 있는 디지털 디머 시스템을 나타낸 것이다. 디지털 부분과 아날로그 부분은 조명기기의 조명 레벨 값이 어떠한 형태(Analog or Digital)로 전송되는 것을 구분한다[7].

다음 그림 3은 디지털 디머 시스템을 좀 더 세부적으로 나타낸 것으로, 디머 랙의 내부를 주요 블록으로

로 나타내었다. 디머 랙은 랙 컨트롤러, 디머 모듈 컨트롤러 그리고 디머 모듈로 크게 3부분으로 나눌 수 있다.

디머 랙은 랙 컨트롤러-디머 모듈 컨트롤러-디머 모듈 이렇게 피라미드형의 계층 구조를 가진다. 랙 컨트롤러는 가장 상위로서 1대가 있으며, 디머 모듈 컨트롤러 24대가 제어가능하다. 디머 모듈 컨트롤러는 2대의 디머모듈을 제어한다. 디머 모듈은 2개의 디머 회로를 포함하는데, 디머 회로 1개는 조명기기 1개의 조명 밝기를 조절할 수 있다. 이렇게 랙 컨트롤러는 최대 96개의 조명기기의 조명을 제어할 수 있으며, 디머 랙을 분리하여 계층적으로 구성을 만든

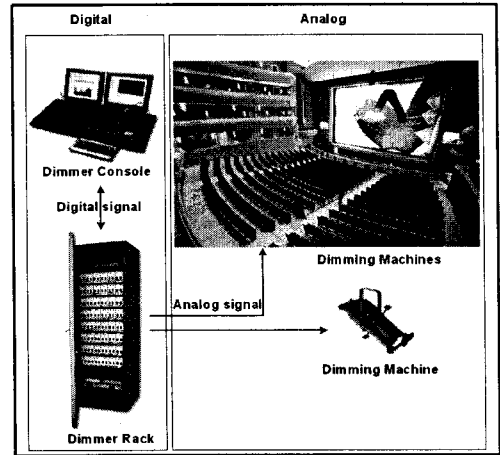


그림 2. 극장에서의 디지털 디머 시스템
Fig. 2. Digital dimmer system in the Theater

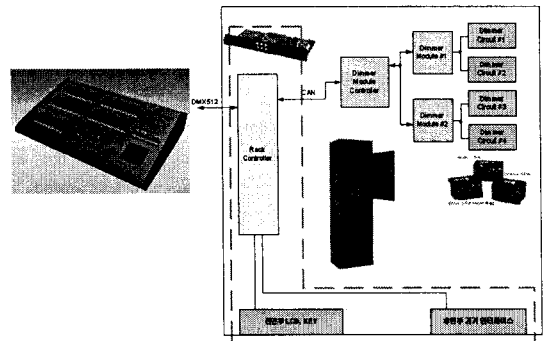


그림 3. 디지털 디머 시스템의 세부 장치 구성도
Fig. 3. Detailed block diagram of digital dimmer system

것은 랙 컨트롤러 1대로 전체를 제어하는 것보다 효율적으로 조명기기를 제어할 수 있기 때문이다. 하지만 각 장치들을 연결하는 통신선으로 디머 랙 내부가 혼잡해질 단점이 있다. 이는 각 장치들 간에 연결이 쉽고, 다중통신에 강점을 가지는 CAN통신을 사용하여 해결하였다[6].

3. 콘솔의 구성

콘솔은 그림 4와 같이 크게 일반 PC와 콘솔 전용 키보드로 이루어져 있다. PC의 윈도우 환경에서 어플리케이션 프로그램을 실행함으로써, 사용자가 조명기기의 상태와 조명레벨을 쉽게 확인할 수 있게 하였다. 콘솔 전용 키보드는 조명기기의 레벨 값을 제어하기 위한 페이더와 버튼을 위하여, 하드웨어를 따로 구성하고 제작하였다. 각 하드웨어들 간의 통신은 탈착이 간단하고, 데이터 전송률 1Mbps로 빠른 장점의 USB를 기반으로 하였다. 디머 랙과의 통신은 조명 관련 국제 통신규격인 DMX512통신을 사용하며, PC에 포트가 장착되어 있지 않은 이유로 변환기를 사용하였다[4, 7].

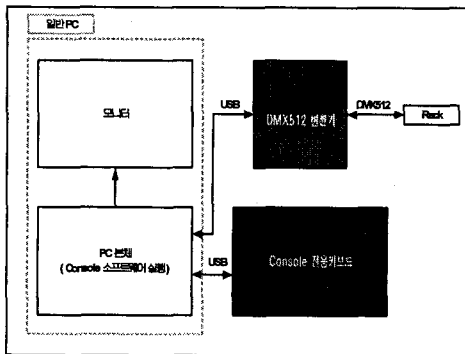


그림 4. 콘솔의 구성도
Fig. 4. Block diagram of console

3.1 콘솔 키보드의 기능

콘솔은 사용자가 조명기기의 제어를 보다 쉽게 하기 위한 유저 인터페이스가 목적이다. 그러나 일반 키보드로 조명기기의 조명레벨을 제어하는 것은 매우 불편하므로, 콘솔을 위한 전용 키보드를 설계하

고, 제작하였다. 조명기기의 레벨조정을 쉽게 하기 위한 페이더(Fader)와 특수 버튼을 배치하였으며, 200MB USB통신으로 PC의 어플리케이션 프로그램이 최적으로 동작할 수 있게 하였다.

3.2 콘솔 키보드 하드웨어 설계

콘솔 키보드 하드웨어의 구성도는 위의 그림 5와 같다. 콘솔 키보드는 사용자의 입력을 받는 것이 주목적으로서 많은 수의 버튼과 페이더의 입력을 효율적으로 처리하기 위하여 어드레스와 데이터 버스를 사용하여 회로를 구성하였으며, 이에 요구되는 Chip Select 신호는 간단하게 GAL을 사용하여 로직을 꾸몄다. 프로그램과 데이터 메모리는 CPU 내부의 플래시를 사용하였으며, 외부메모리를 장착하지 않았다.

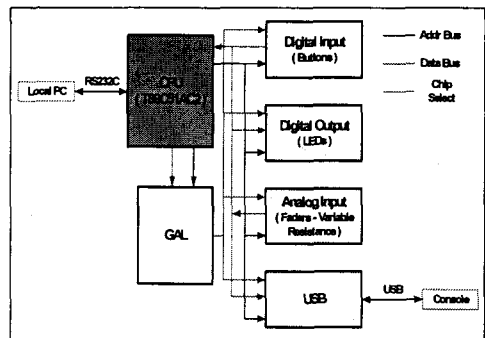


그림 5. 콘솔 키보드 하드웨어 구성도
Fig. 5. Block diagram of hardware in console keyboard

3.2.1 아날로그 입력부 (Analog Input)

아날로그 입력부는 페이더의 입력을 받는 부분을 말하는 것으로서, T89C51AC2 내부의 자체 ADC 모듈을 최대한 활용하도록 설계되었다. 콘솔 키보드의 아날로그 입력은 총 62개이지만 T89C51AC2에서 지원하는 ADC채널의 값은 8개 이므로 아날로그 멀티플렉서를 사용한 추가 회로를 설계하였다. 각각의 아날로그 멀티플렉서의 컨트롤 신호는 GAL의 로직을 통하여 접근이 가능하다.

아날로그 입력의 시작단인 페이더(Fader)는 10K의 슬라이드 형 가변저항이며, 페이더의 저항값으로

인한 입력 임피던스를 낮추고, 최대 전압 레벨을 3V로 조정하기 위하여 Op-Amp를 사용한 비반전 회로를 구성하였다.

3.2.2 디지털 입력부 (Digital Input)

디지털 입력부는 버튼의 클릭을 입력받는 부분을 말하는 것으로서, 어드레스디코더 IC를 사용한 키스캔 회로를 설계하여 많은 수의 버튼을 스캔할 수 있게 하였다. 하지만 3개 이상의 버튼이 동시에 눌러질 경우에 오류가 날 가능성이 높아 2개의 입력을 동시에 받을 수 있도록 설계하였다.

3.2.3 디지털 출력부 (Digital Output)

디지털 출력부는 표시 LED의 출력을 말한다. 각각의 LED는 래치(Latch)에 연결하고, 컨트롤 신호는 GAL의 로직을 통하여 제어하였다. 이 방법을 통하여 60개 이상의 LED를 어드레스/데이터 버스를 사용하여 구동할 수 있게 하여, 적은 CPU 포트가 구동이 가능하며, 사용이 간편한 장점이 있다.

3.2.4 USB 통신부

콘솔 키보드에서는 버튼과 페이더의 입력을 이벤트 형식으로 감지하여, PC의 콘솔 어플리케이션 프로그램에 USB 통신으로 전송하게 된다. 이벤트 형식으로 입력을 감지함으로써 모든 페이더와 버튼의 입력을 전송하는 것을 막을 수 있으며, 입력에 대한 전송률을 높일 수 있다. T89C51AC2에서는 USB 통신을 지원하지 않기 때문에, USB IC(FT245BM)를 따로 장착하여 하드웨어를 구성하였고, 어드레스/데이터버스를 이용하여 접속이 가능하다.

4. 디머 랙의 구성

다음 그림 6은 디머 랙의 구성도이다. 랙 컨트롤러는 콘솔과 DMX512 통신으로 연결되어 각 조명기기의 조명레벨(0~100[%])을 순차적으로 받아들여진다. 각 조명레벨을 조명기기가 실제로 제어될 위상각으로 변환하여 신호를 발생하고, SCR은 Zero-Crossing 신호에 동기하여 입력받은 위상각 신호에 따라 조명기기의 밝기를 제어한다.

1대의 디머 랙은 총 96개의 조명기기를 제어할 수 있다. 하지만, 더 많은 조명기기를 제어하기 위해서 DMX512통신 포트를 병렬로 2포트씩 구성을 하였다. 또한 여러 대의 디머 콘솔의 입력을 받을 수 있게 하기 위하여, DMX512의 채널을 2개로 하였다[4].

REPORT 기능은 에러 로그와 디머 랙의 내부 상태를 사용자가 저장하거나, 파악할 수 있도록 한 것이다. Local PC와 RS232C통신으로 연결하면, 각 정보를 확인할 수 있도록 하였다.

또한, OUTLOOK은 콘솔과 달리 아날로그 입력을 받는데, 사용자가 직접 페이더를 조정할 수 있게끔 하여 콘솔의 설정을 바꾸지 않으면서, 조명기기의 조명을 조절할 수 있도록 한 것이다.

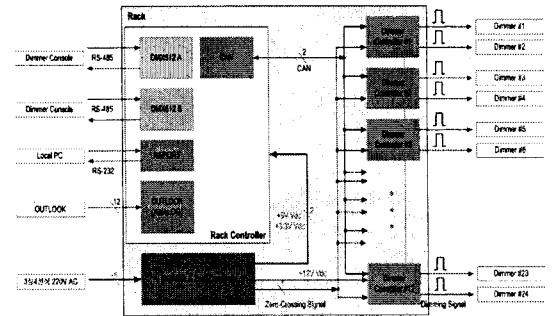


그림 6. 디머 랙의 구성도
Fig. 6. Block diagram of dimmer rack

4.1 랙 컨트롤러의 기능

4.1.1 조명 레벨 값의 송수신

랙 컨트롤러의 가장 중요한 기능으로는 콘솔로부터 조명 레벨을 전달받아 디머 컨트롤러로 분배하는 것이다. 콘솔과 랙 컨트롤러는 DMX512 통신으로 연결 되어있으며, 랙 컨트롤러는 DMX512 통신을 통해 전송받은 조명 레벨을 CAN 통신을 통해 각 디머 컨트롤러로 재전송한다.

4.1.2 Zero-Crossing 신호 발생

Zero-crossing 신호란 교류 파형이 0값을 통과할 때의 발생하는 신호를 뜻하며, 이는 회로적으로나 소프트웨어적으로나 쉽게 검출이 가능하다. 하지만 Zero-Crossing 신호는 디머의 위상각 제어 방식의

디지털 디머 시스템 개발 연구

핵심적인 요소로서, 실제 조명 레벨을 조정하는 위상의 잣대 역할을 하기 때문에 정확한 타이밍에 신호를 발생해 줄 수 있어야 한다.

랙 컨트롤러의 제로 크로스 회로는 디머 랙으로 들어오는 교류전원(3상 4선식)을 입력받아 3상의 제로크로스 시점을 구형파로 정형하여 디머 컨트롤러로 전송하게 된다. 구형파로 정형하는 과정으로 먼저, 델타-와이 결선의 변압기를 통과하고, 적분기 회로와 원샷(One-Shot) 회로를 구성하였다. 이런 일련의 과정을 거치게 된 것은 적분기가 신호의 고조파 성분과 글리치를 상쇄시켜주기 때문에 단상을 변압하여 만들어 낸 Zero-Cross 신호보다 정밀한 신호를 발생시킬 수 있기 때문이다.

4.1.3 조광 특성 곡선의 분석

콘솔로부터 전송받은 조명기기의 조명레벨은 실제 우리가 디머 모듈로 출력하고자 하는 위상값과는 차이가 있다. 이것은 조명기기들이 AC전원에 의해 제어되기 때문이며, 랙 컨트롤러에서는 콘솔로부터 받은 레벨값을 해당하는 위상값으로 변환해주는 연산 프로그램이 필요하다. 이를 위하여 조광 특성 곡선을 분석하여, 랙 컨트롤러 프로그램에 레벨값-위상값 변환 테이블을 작성하였다.

조광 특성 곡선은 조광 제어입력에 대한 조광 출력의 광속비를 나타낸 것으로서, 자극에 대한 감각의 일반적인 법칙(Weber-Fechner's Law)를 따르고 있다. 다음 그림 4.3은 각종 조광 특성 곡선을 나타낸 것이다[1-2].

$$\Delta S = K \cdot \frac{\Delta R}{R} \text{ or } S = K \cdot \log R$$

S: 감각, ΔS: 감각의 변화, R: 자극, ΔR: 자극의 변화, K: 상수

실제로 입력받은 조명값을 위상값으로 주었을 때, S자형특성이 나오게 되며, 선형적으로 보이지 않는다. 그러므로 실제 조광 제어 입력에 대하여 조명출력이 직선적으로 변화하도록 하는 1승 곡선과 사람의 눈에 선형적으로 조명의 변화가 보이는 2승 곡선에 대하여 분석하고, 변환이 용이하도록 테이블화하였다.

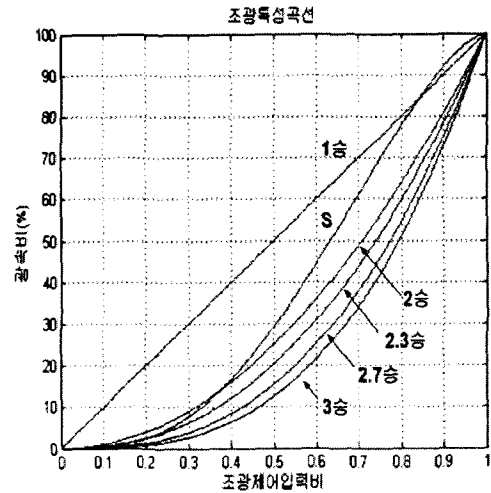


그림 7. 조광 특성 곡선

Fig. 7. Curve of dimming character

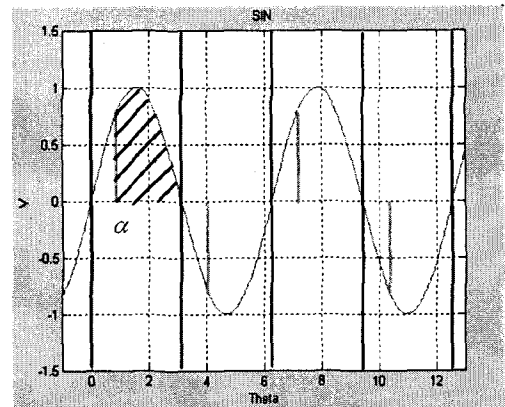


그림 8. 필라멘트 램프류 조명기기의 전압 파형도

Fig. 8. Voltage waveform of dimmer in filament lamp

위의 그림 8은 필라멘트 램프류의 조명기기에 걸리는 AC 전압 파형을 나타낸 그림이며, 알파로 표시된 위상값에 의해 조명의 밝기가 제어 되는 모습을 나타내었다. Theta가 0이며, 전압이 0인부분을 지나가는 선은 Zero-crossing 점을 나타내며, 정현파의 반주기마다 나타난다. 정현파의 중간에 그려진 검은 선은 알파(위상값)에 의하여 SCR이 실제로 동작되는 시점을 나타낸다. 조명의 밝기는 조명기기에 가해지는 전압의 실효치에 비례하며, 연산과 변환과

정에 걸리는 시간을 줄이고자 테이블 화하였다[3].

다음 그림 9는 Visual C++을 사용하여, 레벨값을 위상값으로 변환시킨 출력을 보여주고 있으며, 그것을 가지고 그래프로 그렸을 때의 그림이다. 각 그래프는 1승, 2승, 2.3승에 대하여 나타낸 것이다. k(Duty)는 사용자의 입력값으로 0~1까지 256등분을 한 것이며, 알파는 그에 따른 조명기기의 위상값이다. rms는 전압의 실효치로서 실제 조명기기의 밝기로 간주할 수 있다.

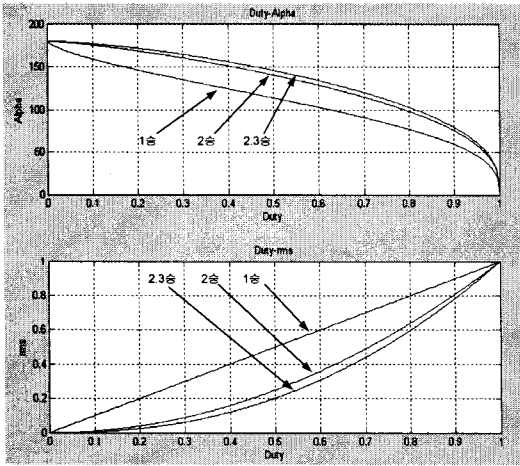


그림 9. 입력 레벨값-위상값 & 출력 전압(rms) 관계
Fig. 9. Relation of Input Level-phase angle & Output Voltage(rms)

4.1.4 패닉(PANIC)

패닉이란, 디머 랙 또는 콘솔의 기능적인 오류나 탈착으로 인해 조명기기의 제어가 불가능할 때 사용되는 기능으로서, 조명기기들은 미리 설정된 값인 100[%] 또는 0[%]로 켜지거나 꺼지게 된다. 설정 값은 랙 컨트롤러 내에 Dip 스위치로 On/Off를 설정할 수 있게끔 되어 있다. 패닉은 디머 랙에 부착되어 있는 버튼을 눌러 수동으로 작동할 수 있으며, 또는 랙 컨트롤러가 탈착되었을 경우에 자동으로 작동한다. 극장에서 연극을 상영하다가 랙 컨트롤러가 고장을 일으켰을 경우, 극장 내부가 어두워 자칫 사고가 날 수 있다. 하지만 패닉기능을 이용한다면 사고를 사전에 예방할 수 있는 장점이 있다.

4.1.5 LCD와 LED로 오류와 상태 표시 기능

디머 랙의 상태를 파악한다는 것은 교류 전원, 디머 모듈, 외부 기기들과의 접속 상황 등을 통칭하는 것이다. 교류 전원은 조명기기의 전원을 공급하게 된다. 이 교류 전원의 전력이 크고, 디머 랙을 장시간 운전할 경우가 많기 때문에 자칫 화재를 불러올 수 있는 등 위험요소가 크다. 사용자는 가용 전압과 전류를 수시로 확인할 수 있으며, 디머 랙은 일정 용량을 초과하게 될 시에 경고등이 점멸하게 되고, 전력이 차단되게 된다. 또한 디머 모듈의 종류를 파악하고, 디머 모듈로부터 내부의 온도와 사용전류를 전송받게 된다. 발열이 심한 경우 디머 랙에 장착된 팬을 고속으로 기동시켜 온도를 낮추게 된다. 이는 디머 모듈에 사용된 SCR의 스위칭으로 발생한 높은 열로 인한 내부 IC의 고장을 막고, (특히 SCR) 디머 랙을 장기적으로 사용할 수 있도록 한다. 사용자는 랙 컨트롤러의 LCD창을 통하여 디머 랙의 상태를 확인할 수 있으며, 교류 전원의 최대 전압, 전류 등의 최고 수위를 정함으로서, 경고 LED를 통하여 확인할 수 있게 하였다.

4.2 디머 모듈 컨트롤러의 기능

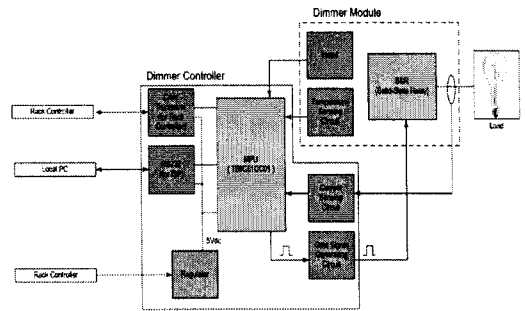


그림 10. 디머 모듈 컨트롤러와 디머 모듈의 구성도
Fig. 10. Block diagram of dimmer module and controller

디머 모듈 컨트롤러는 랙 컨트롤러와 디머 모듈의 연결고리 역할을 하게 된다. 기본적으로 1개의 디머 모듈 컨트롤러는 2개의 디머 모듈을 제어하게 되며, 이는 조명기기를 동작시키기 위한 4개의 게이트 신호를 발생시켜야 함을 뜻한다. 랙 컨트롤러에서

CAN 통신으로 수신되는 데이터는 4개 조명기기에 대한 위상값이며, 디머 모듈 컨트롤러는 디머 모듈 내부의 상태(전류, 내부 온도)를 센싱하여 랙 컨트롤러로 송신하게 된다[3-4].

4.2.1 위상각 발생

디머 모듈 컨트롤러는 랙 컨트롤러에서 CAN통신을 통하여 4개 채널에 대한 위상값을 전송받아 저장한다. 그리고 받은 위상값을 디머 모듈 SCR의 게이트 신호(Gate Pulse)로 만들어 주게 된다. 랙 컨트롤러에서 전달된 Zero-Cross 신호를 시작 신호로 하여, 게이트 신호가 발생해야 할 시간을 측정하게 된다. CPU는 측정된 시간에 도달하게 되면 게이트 신호를 발생하여 디머모듈로 전송하게 된다.

4.2.2 디머 모듈 센싱

디머 시스템의 제어 대상인 조명기기는 최종적으로 디머 모듈에 의하여 동작하게 된다. 디머 모듈 컨트롤러는 디머 모듈의 상태를 센싱하여, 각 조명기기를 제어함에 있어 문제가 발생하는지를 모니터링 할 수 있다. 조명기기에 흐르는 전류, 디머 모듈 내부의 온도, 또한 디머 모듈이 랙에 장착이 되어있는지에 대한 유무를 파악할 수 있으며, 이 정보는 CAN통신으로 랙 컨트롤러로 전송한다.

4.2.3 Install 기능

Install은 디머 모듈이 랙에 장착이 되어있는지의 유무와 장착 시에 디머 모듈의 용량을 알려주는 기능이다. 이는 디머 모듈에 삽입한 특정 저항의 값을 다르게 하고, 이를 CPU의 ADC 기능을 이용하여 전압을 측정하여 디머 모듈의 용량을 알아낼 수 있게 하였다. 장착되지 않은 경우에 측정된 ADC값이 0이나 나올 수 있게 회로를 설계하여, 모듈의 용량 및 장착 여부를 파악할 수 있다.

5. 결 론

디지털 디머 시스템을 구성하고 있는 디머 장치들(랙 컨트롤러, 콘솔 키보드, 디머 모듈 컨트롤러)의 기능을 정의하고, 설계하였다. 설계된 하드웨어들은

테스트 프로그램을 통하여 각각의 기능을 확인하였으며, 검증된 사항은 다음과 같다.

먼저, 콘솔 키보드를 제작하여, Fader/Button으로 사용자의 조명 입력값을 받아 콘솔 PC의 어플리케이션 프로그램에 전송하고, LED 출력값을 수신하여 표시해준다. PC와의 통신은 USB로 지원한다.

두 번째로 랙 컨트롤러는 다음과 같은 기능을 가진다. 디머 콘솔과 DMX512통신을 통하여, 조명 입력값을 받아 저장하고, 해당 디머 모듈 컨트롤러에 대한 조명 입력값을 분배하여 CAN통신을 통해 전송한다. 또한 제로 크로싱 신호를 발생시키는 회로를 구성하여 디머 모듈로 전송할 수 있게 하였다. 사용자 조명 입력에 대하여 조광특성곡선을 테이블화하여 사용자가 원하는 조명 출력으로 변형할 수 있게 하였다. 그리고 LED/LCD/BUTTON을 이용한 유저 인터페이스를 제공할 수 있다.

세 번째로 디머 모듈 컨트롤러는 랙 컨트롤러로부터 받은 제로 크로스 신호와 제어 입력값을 조합하여 디머 모듈의 SCR에 트리거 신호를 발생시킨다. 그리고 디머 모듈에 부착한 센서(전류/온도/Install)을 통하여 상태를 파악하고, 랙 컨트롤러로 전송한다.

다음 그림 11은 설계 제작한 디머 랙의 모습과 그 내부에 장착되는 디머모듈의 사진이며, 그림 12는 콘솔 키보드의 사진이다.

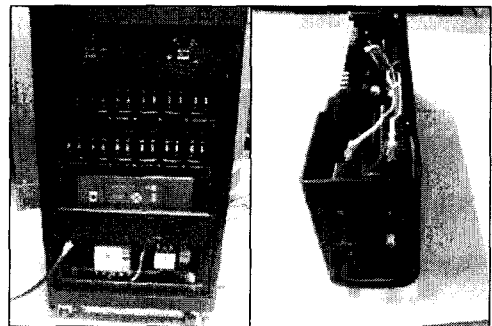


그림 11. 설계 제작한 디머 랙의 모습(왼쪽)과 디머 모듈(오른쪽)

Fig. 11. Designed dimmer rack (left) and dimmer module (right)

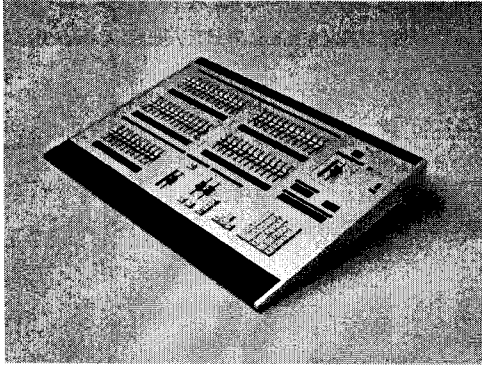


그림 12. 설계 제작한 콘솔 키보드
Fig. 12. Designed console keyboard

이와 같이 구현된 기능의 하드웨어들로 다수의 조명기기의 조명레벨을 조절하고, 장치들의 동작 상태를 확인할 수 있다. 하지만 추후에 장기간 운전시의 과열 문제와 안정성 등에 대한 실험과 조광특성곡선으로 변환한 조명 출력값이 실제로 일치하는지에 대한 검증이 이루어져야 할 것이며, 현재 실험 중에 있다.

이 논문은 2006년도 광운대학교 교내 학술연구 지원에 의해 연구되었음.

References

- (1) 양운식, “조광기의 고찰”, 한국조명·전기설비학회, 추계 학술발표회논문집, pp41~49, 1989, 7.
- (2) 한수빈, “무전극 등의 조광기술 현황”, 한국조명·전기설비학회, 2004 춘계 학술발표회논문집, pp127~130, 2004, 5.

- (3) Dustin Rand, “Issues, models and solutions for triac modulated phase angle dimming of led lamps”, FESC 2007 IEEE, 2007, 6.
- (4) United States Institute for Theatre Technology, Inc., “USITT DMX512-A Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories”, 2000, 10.
- (5) BOSCH, “CAN Specification version 2.0”, 1991.
- (6) Strand Lighting, “Operator’s Guide SLD Series Dimmer Rack”, 2003, 10.
- (7) <http://www.dmx512.co.kr/>

◇ 저자소개 ◇

정승환 (鄭丞桓)

1981년 10월 1일생. 2006년 광운대 정보제어공학과 졸업. 2008년 동 제어계측공학과 졸업(석사). 현재 동 제어계측공학과 박사과정.

최 익 (崔翼)

1956년 6월 5일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1982~2003년 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 책임연구원. 2003년~현재 광운대 정보제어공학과 교수.

최주엽 (崔宙燁)

1961년 2월 11일생. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 Univ. of Texas at Arlington 전기공학과 졸업(석사). 1994년 Virginia Tech 전기공학과 졸업(박사). 1995~2000년 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 선임연구원. 2000년~현재 광운대 전기공학과 교수.