

## 위상각 제어에 의한 DALI 프로토콜 기반의 LED조명 제어방법

(The LED Lighting Control Method Base on DALI Protocol by the Phase Angle Control)

최영민\* · 박준석 · 박종연\*\*

(Young-Min Choi · Jun-Seok Park · Chong-Yeun Park)

### Abstract

Generally, the phase control dimmer has been widely used due to simple interface and easy handling. However, the electrical characteristics are not good for the method in which the phase control dimmer cuts the input voltage. This paper has researched about DALI(Digital Addressable Lighting Interface) controller, that is the digital lighting control method, and implemented DALI protocol satisfied with the IEC-62386 standard. In addition, the existing phase control dimmer was used as the controller of DALI and not only individual control but also group control was possible. And the performance was proved to be good by applying our theory to 30[W] LED lighting control system.

Key Words : DALI(Digital Addressable Lighting Interface), Phase Control Dimmer, Group Control

### 1. 서 론

사회가 점점 발달됨에 따라 조명산업에서도 개별 및 그룹 제어와 같은 다양한 기능을 요구하고 있을뿐만 아니라 환경 문제가 심각해지면서 에너지 절약이 가능한 조명들을 요청하고 있다[1-2]. 따라서 친환경적이고 높은 광효율을 갖는 LED 조명을 선호하며 지속적으로 바뀌고 있는 추세이다. 그러나 실내조명에서는 아직까지 백열등이 많은 비중을 차지하고 있으며, 이를 제어하기 위해 위상각 디머가 사용되고 있다. 따라서 LED 조명을 위상각 디머에 부착하여 디밍하는

기술 또한 요청되고 있지만 위상각 디머는 백열전구와 같은 저항성 부하에 대해서만 선형적인 조광제어가 가능하기 때문에 LED 컨버터와 같은 비선형 소자가 들어간 부하를 구동할 경우 낮은 도통 각에서 LED가 깜빡이는 현상이 발생된다. 따라서 damper와 bleeder회로를 추가하여 보상을 해주어야 한다. 또한 위상 제어기는 입력 전압을 잘라서 제어하는 형태이기 때문에 입력 전류가 왜곡되어 THD, PF 측면에서 특성이 좋지 않다. 그리고 개별 제어는 가능하나 그룹 제어가 불가능하여 세미나실, 사무실과 같은 룸 공간의 부분 제어가 필요할 경우 별도로 전원선을 묶어 ON/OFF만을 그룹제어를 하고 있다. 이러한 방법은 초기 설비한 그룹제어 외에는 제어가 불가하여 조명 제어의 융통성이 부족하다. 따라서 IEC(International Electro-technical Commission)에서는 이러한 요구사항을 충족시키기 위해 DALI(Digital Addressable

\* 주저자 : 강원대학교 대학원 전기공학과 석사과정

\*\* 교신저자 : 강원대학교 전기전자전공 교수, 공학박사

Tel : 033-250-6292, Fax : 033-241-3775

E-mail : cypark@kangwon.ac.kr

접수일자 : 2012년 4월 5일

1차심사 : 2012년 4월 13일

심사완료 : 2012년 5월 23일

Lighting Interface)라는 명칭으로 표준을 만들었다. DALI는 두 라인의 통신 선로에 디지털 제어 신호를 전송하여 조명을 제어할 수 있는 조명제어 프로토콜이다. 현재 표준으로는 “IEC-62386”로 고시되어 있으며 유럽에서는 BMS(Building Management Systems)에 DALI 프로토콜을 연동하여 사용하고 있다[2-3].

본 논문에서는 DALI표준에 대해 검토하고 Atmega8을 이용하여 IEC-62386에 만족하는 DALI 프로토콜을 구현하였다. 또한 이를 제어하기 위한 컨트롤러로 기존에 사용하고 있는 위상각 디머를 이용하여 LED 조명을 개별/그룹제어 하였으며, 위상각 디머가 갖는 전기적 특성을 개선하기 위해 위상각 신호를 제어 신호용으로만 사용하여 30[W] LED조명에 적용하여 성능을 입증하였다.

## 2. DALI 표준

### 2.1 DALI의 특징

DALI의 통신 속도는 1,200[bps]로 비교적 낮은 속도의 통신이며 최대 통신거리는 master에서 slave까지 300[m]로 2[V]의 전압 드롭까지 허용한다. 또한 DALI는 반양방향(Half-Duplex)의 비동기 통신을 사용하여 lamp의 상태, 안정기의 상태, 디밍 레벨 등을 쿼리 신호로 받아 master에서 모니터링이 가능하다[4].

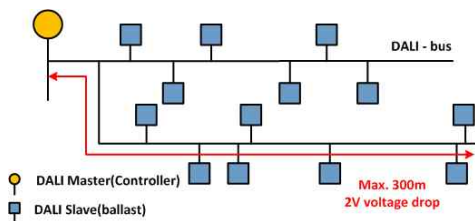


그림 1. DALI 통신의 구성  
Fig. 1. The configuration of the DALI communication

### 2.2 DALI의 데이터 신호의 규격

DALI 규약에서 stop bit를 제외한 데이터의 start bit와 information bit를 맨체스터 코딩을 하도록 명시

하고 있다. 맨체스터 코딩은 ‘1’이라는 데이터를 ‘01’로 ‘0’이라는 데이터를 ‘10’으로 비트를 늘리는 변조방식을 말한다. 따라서 원 신호는 1,200[bit/s]이지만 맨체스터 엔코딩을 하면 2,400[bit/s]로 통신을 해야 한다.

그림 2는 맨체스터 엔코딩 된 ‘1’이라는 신호를 이용하여 데이터의 timing, high, low 인식레벨을 표현하고 있다. 데이터가 ‘1’로 인식하는 것은 9.5[V]에서 22.5[V]까지로 ‘0’으로 인식하는 것은 -6.5[V]에서 6.5[V]까지로 정하고 있으며 일반적으로는 16[V], 0[V]를 high, low 판별 레벨로 사용한다[5].

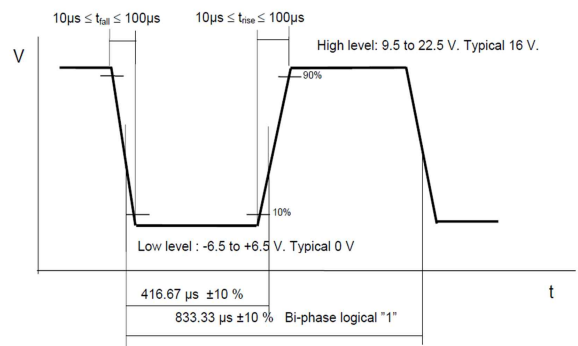


그림 2. DALI-bus 신호의 전압레벨  
Fig. 2. The voltage level of DALI-bus signal

### 2.3 DALI의 데이터 프레임

forward frame은 master 에서 slave로 데이터를 전송할 때의 frame을 말한다. 기본 구성은 start bit 1[bit], address 1[byte], command 1[byte], stop 2[bit] 총 19[bit]로 구성되어 있다.

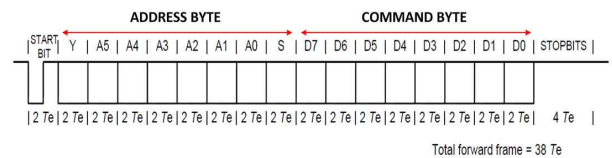


그림 3. DALI의 forward frame  
Fig. 3. The forward frame of the DALI

backward frame은 slave에서 master로 데이터를 전송할 때의 frame으로 응답으로는 ‘Yes’, ‘No’ 또는 8bit-information으로 응답한다. 이 응답은 램프의 상

태 판별과 같은 명령에만 응답하도록 되어 있다.

‘Yes’ = 1111 1111

‘No’ = idle line(high로 유지)

8-bit information : XXXX XXXX

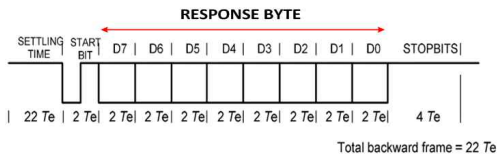


그림 4. DALI의 backward frame  
Fig. 4. The backward frame of the DALI

master는 같은 DALI-bus에 연결된 slave에 대해서 어드레스 할당을 통해 개별 및 그룹, broadcast 제어가 가능하며, 표 1에 제시된 어드레스를 통해 개별 제어의 경우 최대 64개, 그룹제어의 경우 16개 가능하다[6].

표 1. DALI Address의 종류  
Table 1. A kinds of DALI Address

| Address 종류          | Address byte       |
|---------------------|--------------------|
| 64 Short addresses  | 0AAA AAAS (0 - 63) |
| 16 Group addresses  | 100A AAAS (0 - 15) |
| Broadcast addresses | 1111 111S          |

address byte에 S bit는 command의 종류를 결정하는 비트로 ‘1’로 선택할 경우 indirect arc power level 모드로 선택되어 규약 집에 정해 놓은 command에 따라 slave를 제어할 수 있다. 또한 S [bit]를 ‘0’으로 사용하면 direct arc power level로 선택되며 이 방법을 사용할 경우 command 8[bit]를 정해진 logarithmic dimming curve를 이용하여 디밍을 할 수 있다. logarithmic dimming curve는 다음 수식에 의해 정의되며, 디밍 레벨은 8-bit command 값(1-254)에 의해 0.1[%]에서 100[%]까지 가능하다[7].

$$X(n) = 10^{\frac{n-1}{253/3}-1}$$

이러한 디밍 커브는 사람 눈의 민감도를 고려한 것

으로 아래 수식에서 볼 수 있듯이 2.8[%]의 간격으로 조도가 제어되기 때문에 선형 커브로 제어할 때 보다 밝아지고 어두워지는 감도를 높일 수 있어 fade 효과를 필요로 하는 조명에 적합한 디밍 방법이다.

$$\left| \frac{X(n) - X(n+1)}{X(n)} \right| = const. = 2.8\%$$

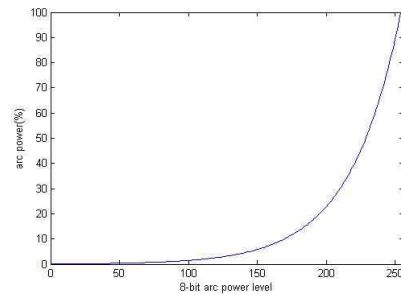


그림 5. Logarithmic 디밍 커브  
Fig. 5. The logarithmic dimming curve

## 2.4 DALI의 프레임 타이밍

DALI-bus에 master가 데이터를 전송할 경우 램프의 상태와 같은 특정 명령에 대해 slave가 응답을 해야 할 경우가 있다. 이러한 응답을 쿼리라고 부르고 있으며 master가 명령을 연속으로 보내기 위해서는 쿼리 응답을 일정시간 기다린 이후부터 가능하다.

그림 6은 연속적으로 데이터가 전송될 경우 각 프레임마다 최소한 지켜야 할 시간들을 나타내었다. master에서 데이터를 연속적으로 보내기 위해서는 22TE(9.17[m]) 이후부터 전송 가능하고 쿼리 응답의 경우 forward frame 이후 7TE(2.92[m])에서 22TE(9.17[m]) 사이에 전송되어야 한다.

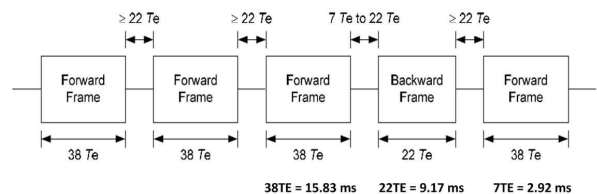


그림 6. 프레임 반복 시간의 예  
Fig. 6. The example of frame repetition time

### 3. 시스템의 구현

현재 실내 조명으로 많은 비중을 차지하고 있는 백열등 대신에 LED로 바뀌고 있는 상황에서 기존의 위상각 디머는 사용자가 그대로 사용하기를 원하고 있다. 따라서 위상각 디머에서도 LED 구동회로가 정상적으로 동작할 수 있도록 별도의 회로를 부착한 제품들이 출시되고 있다. 그러나 이러한 제품은 LED 제품의 특성이 아무리 좋다 하더라도 위상각 디머에 의해 공급되는 입력전압이 제어되기 때문에 위상각 제어 시점에서 펄스성 입력전류는 물론 THD나 PF 특성이 나쁜 단점이 있으며, 위상각 디머에 연결된 개별 조명에 대해서만 제어가 가능하다.

#### 3.1 제안된 시스템

본 논문에서는 DALI 프로토콜을 이용하여 어드레스 설정에 따라 그룹/개별 제어는 물론 기존 위상각 디머를 사용하여 전기적 특성이 개선된 형태의 디밍 시스템을 제안했다.

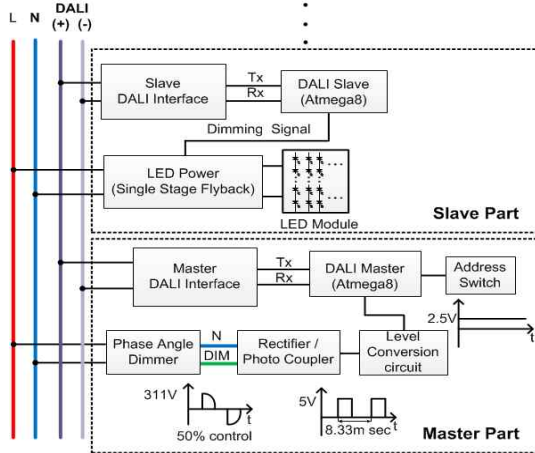


그림 7. 제안된 시스템의 블록도  
Fig. 7. The block diagram of the proposed system

그림 7은 제안된 시스템의 블록도를 나타내었으며, 사용된 위상각 디머는 디밍 레벨을 판단하기 위한 제어신호로만 사용하였다. 이 신호는 MCU(Micro Controller Unit)에 의해 위상각을 판별하고 수치에 따

라 MCU에 입력된 logarithmic dimming curve를 적용하여 DALI-bus로 디밍 신호를 송신하도록 되어 있다. 따라서 fade효과를 갖는 디밍이 가능하고 외부의 어드레스 스위치를 이용하여 개별/그룹제어가 가능할 뿐만 아니라 THD나 PF측면에서도 기존 방식에 비해 우수하다.

#### 3.2 조광제어의 원리

그림 8은 LED 파워로 전류 피드백을 적용한 single stage flyback 컨버터를 나타내었다. 회로의 구성은 과도 구간이나 비정상일 경우에 회로를 보호하기 위한 과전압 보호회로와 정상상태에서 동작하는 정전류 회로가 있다.

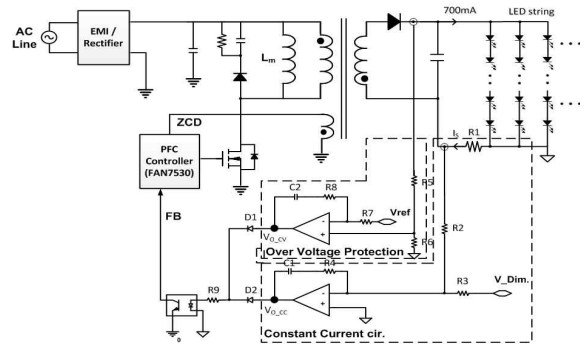


그림 8. 정전류/과전압 보호의 피드백 회로  
Fig. 8. The feedback circuit of constant current and over voltage protection

디밍 원리는  $V_{Dim}$ 의 전압을 가변하여 driver ic의 스위칭 주파수를 제어하도록 하였으며 스위칭 주파수가 가변되면 트랜스포머의 임피던스가 조절되어 부하 측에 흐르는 전류가 제한되는 원리를 이용하였다.

피드백 회로의 출력전압은 가상 접지를 이용하여 op-amp 출력에 흐르는 피드백 전류를 구해 다음 수식으로 정의할 수 있다.

$$V_{O.cr} = \left( \frac{R6}{R5 + R6} \right) V_o + \frac{R8}{R7} \left[ \left( \frac{R6}{R5 + R6} \right) V_o - V_{ref} \right] + \frac{1}{C2} \frac{1}{R7} \int \left( \frac{R6}{R5 + R6} V_o - V_{ref} \right) dt$$

$$V_{O.ac} = R4 \left( \frac{V_{R1}}{R2} - \frac{V_{-Dim}}{R3} \right) + \frac{1}{C1} \int \left( \frac{V_{R1}}{R2} - \frac{V_{-Dim}}{R3} \right) dt$$

그림 9는 디밍 신호인 MCU의 PWM 신호를 DC 레벨의 신호로 변환 해주는 회로를 나타내었으며 이 회로의 Vref 전압이 출력전류의 제한 값을 나타내므로 이득이 1인 감산기를 이용하여 디밍 제어 신호 (=V\_Dim)가 제한 전류 범위 내에서 출력 되도록 설계하였다.

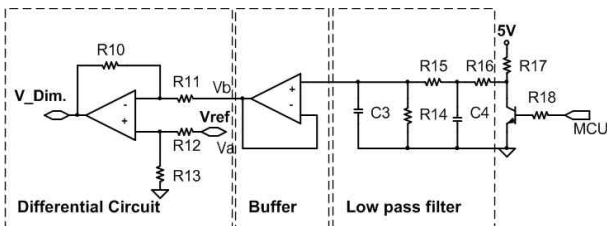


그림 9. 레벨 변환회로  
Fig. 9. The level conversion circuit

### 3.3 위상각 디머

시중에서 판매되고 있는 위상각 디머는 0~360[°]의 전 구간에서 위상각을 제어하기 위해 diac과 triac을 이용한 조광회로를 사용한다. 이 회로의 동작은 내부의 저항 값을 가변함으로써 triac의 트리거 신호를 조절하며 부하 측에는 triac이 도통된 구간의 전압만 인가 되도록 구성되어 있다.

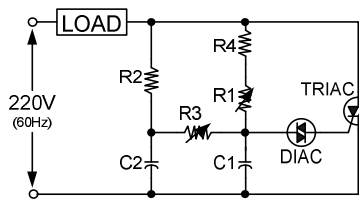


그림 10. 넓은 제어 범위를 갖는 위상 제어 회로  
Fig. 10. The phase control circuit with the wide control range

### 3.4 DALI 인터페이스

DALI 인터페이스는 MCU에서 출력되는 5[V] 레벨의 신호를 규약에서 제시하고 있는 레벨로 변환하기

위한 레벨 변환회로이다.

그림 11은 DALI master의 인터페이스로 DALI-bus로 전송되는 high, low 신호는 DALI master의 TR1에 의해서 출력되며 TR1의 스위칭은 TR2와 TR3에 의해 제어된다. TR2는 TR2에 연결된 R6에 과전류가 흐를 경우 턴온되도록 구성되어 있으며, TR3는 MCU에 연결되어 있어 MCU에 데이터 값에 따라 스위칭 하도록 되어 있다. 또한 DALI 규약에는 backward 데이터 수신시 최대 전류 제한치를 250[mA] 이하로 정하고 있으며 R6저항을 통해 250[mA] 이상의 전류가 흐를 경우 TR2를 턴온시켜 DALI-bus에 high를 출력함으로써 과전류가 더 이상 흐르는 것을 막도록 구성되어 있다[8].

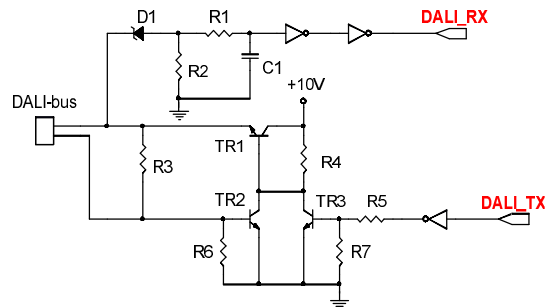


그림 11. DALI Master의 송·수신 회로  
Fig. 11. The transmitter-receiver circuits of DALI Master

그림 12는 DALI의 slave 인터페이스로 안정기와 통신 선로간의 절연을 위해 포토커플러를 통해 신호를 전달한다. 또한 전과정류 회로를 사용하여 DALI-bus를 시공할 때 극성을 고려하지 않도록 구성되어 있다.

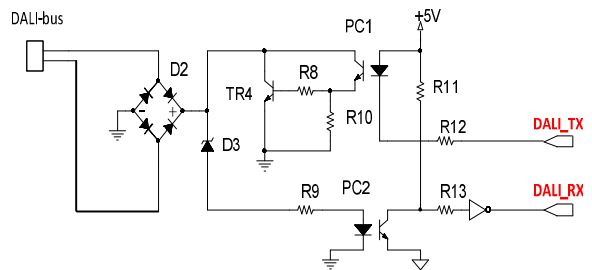


그림 12. DALI Slave의 송·수신 회로  
Fig. 12. The transmitter-receiver circuits of DALI Slave



### 3.5 프로그램의 구현

본 논문은 DALI 프로토콜을 구현하기 위해 8비트의 MCU Atmega8을 사용하였다. 보통 DMX512와 같은 조명 제어 프로토콜의 경우 MCU에서 제공하는 UART 기능을 사용하면 간단하게 구현이 가능하다. 그러나 DALI의 경우 데이터를 맨체스터 코딩을 해야 하기 때문에 데이터의 길이가 길어져 UART 기능을 이용할 수 없다. 따라서 별도로 데이터 송수신과 맨체스터 변/복조가 가능하도록 프로그램을 코딩해야 한다.

그림 13은 MCU의 timer/counter와 input capture 기능을 이용하여 DALI프로토콜을 구현하고 forward frame에 임의의 값을 넣어 측정된 파형을 나타내었다. 측정된 파형의 time division은 2[ms]이며, 그림 2와 그림 3에 제시된 규약의 내용대로 forward frame의 데이터 전송시간인 15.83[m sec](= 38 TE \* 416u)와 데이터의 레벨이 규약에 만족하는 것을 확인 하였다.

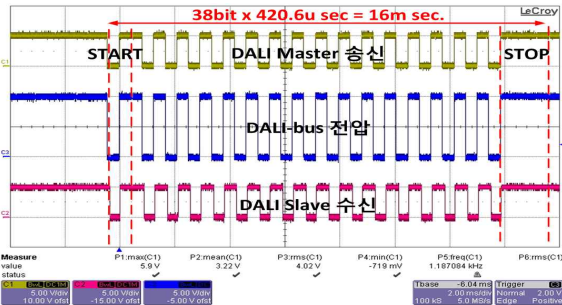


그림 13. DALI의 송·수신 파형  
Fig. 13. The transmitter-receiver waveform of DALI

그림 14는 제안한 시스템을 구현하기 위한 흐름도를 나타내었다. DALI master는 master회로에 부착된 디머의 위상각 변화에 따라 디밍 레벨을 판단하고 MCU에 저장된 logarithmic dimming curve에 매칭시켜 데이터를 결정한다. 또한 스위치에 의해 개별/그룹 어드레스를 할당해 송신 프레임의 만든다.

위상각 제어신호가 연속으로 변화는 경우 제어 명령을 DALI-bus에 연속으로 전송해야 하기 때문에 그림 6에 제시된 규약을 참고하여 22TE(9.72[m sec])에 여유를 주어 100[m sec]마다 데이터를 전송하도록 하였

다. 전송된 데이터는 DALI-bus에 연결된 모든 DALI slave에 전달되며 slave는 데이터를 분석하여 자신의 주소일 경우에만 명령을 수행하도록 하였다.

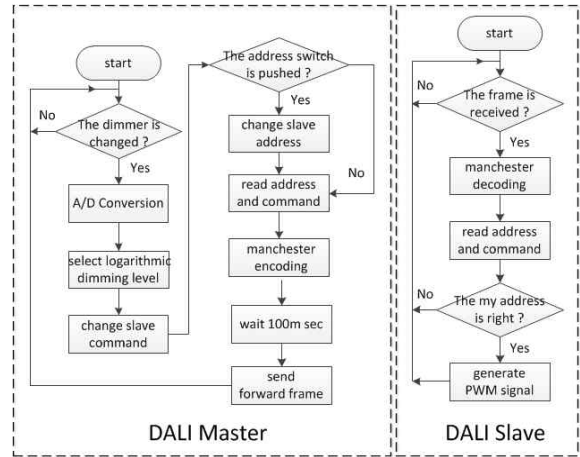


그림 14. DALI Master와 Slave의 흐름도  
Fig. 14. The flowchart of the DALI Master and Slave

### 3.6 실험결과

기존의 위상각 디머의 역할은 입력전압을 제어하여 전력 공급을 조절하여 디밍하는 방식을 사용하였다. 이로 인해 전기적 특성이 낮아지는 단점이 있었다. 그러나 제안된 시스템은 위상각 디머를 전력공급 조절용이 아닌 제어 신호 발생용으로 사용하여 이 신호에 따라 driver ic의 스위칭 주파수를 가변함으로써 디밍을 가능하도록 하였다. 그 결과 디밍시 전기적 특성이 기존 방식에 비해 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 DALI 프로토콜을 적용함으로써 기존의 개별 제어뿐만 아니라 어드레스 설정에 따라 그룹제어도 가능하도록 하였다. 이를 이용하면 DALI 프로토콜이 적용된 타회사의 DALI 제품과 같이 사용할 수 있으며 DALI master를 BMS에 연동시켜 조명 제어 서버에서 원격으로도 조절이 가능한 장점이 있다.

그림 15는 위상각 디머를 돌려 DALI에 의해 LED 조명이 디밍 제어되는 파형을 나타내었다. 위상각 디머가 서서히 돌려지면서 위상각이 조절되면 DALI-bus에는 약 100[m sec]마다 해당되는 디밍 명

령이 맨체스터 코딩되어 전송된다. 또한, 이 신호에 의해 slave에 부착된 LED 파워가 제어되어 디밍 동작을 하게 된다.

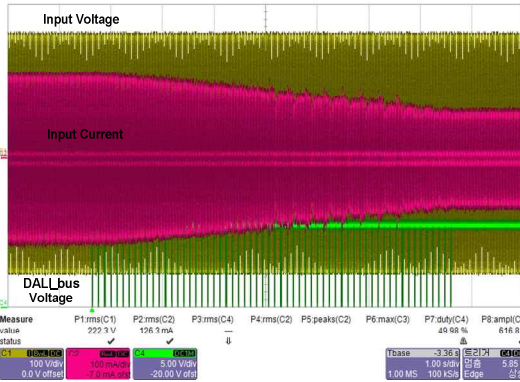


그림 15. 프레임 연속 전송 시 디밍 제어 파형  
Fig. 15. The dimming control waveform in the frame continuous transmission

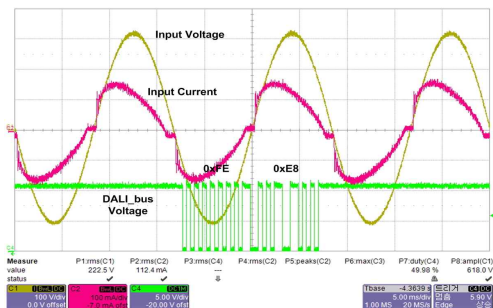


그림 16. 그림 15의 확대 파형  
Fig. 16. The expansion waveform in figure 14

그림 16은 그림 15의 확대 파형으로 DALI-bus의 데이터 프레임들을 보였다. 측정된 데이터 프레임의 구성은 표 1을 참고하여 broadcast address와 direct arc commend를 나타내는 0xFE로 선택함으로써 모든 slave를 그룹제어 하였다. 또한 커맨드는 위상각 센싱 값에 의해 0xE8로 할당되었으며 그림 5를 참고하여 logarithmic dimming curve에 적용했을 때 약 50[%]로 디밍을 하도록 명령하고 있다.

그림 17은 30[W]급 LED 조명과 백열등의 디밍시 전기적 특성을 나타내었다. LED 조명의 경우 위에서 제시한 주파수 가변 방법과 위상각 디머를 이용한 방법으로 백열등과 동일하게 디밍을 하였다. 그 결과 정

출력을 할 때에는 완전한 저항으로 증가 되는 백열등이 THD(Total Harmonic Distortion)나 PF(Power Factor)측면에서 제안된 방법보다 우수한 특성을 갖는 것을 확인하였지만 디밍을 할 경우 약 85[%] 이하의 출력에서 제안된 방법이 입력전압을 자르는 위상각 디머의 디밍 방법보다 전기적으로 특성이 더 우수하다는 것을 확인했다.

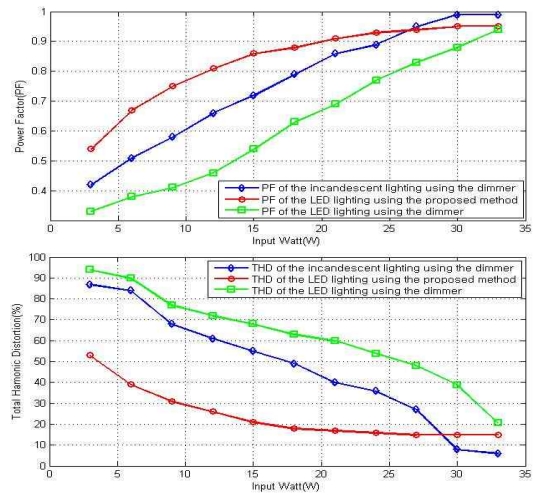


그림 17. 디밍시 LED 조명과 백열등의 전기적 특성  
Fig. 17. The LED lighting and incandescent lamp electrical characteristic at dimming

그림 18, 19는 제안된 시스템을 제작한 시제품을 나타내었다. DALI master에 부착된 스위치들은 주소 / 명령 값 할당이 가능하며, 세그먼트는 주소 / 명령 값을 각각 16진수의 값으로 확인하기 위해서 구성하였다.

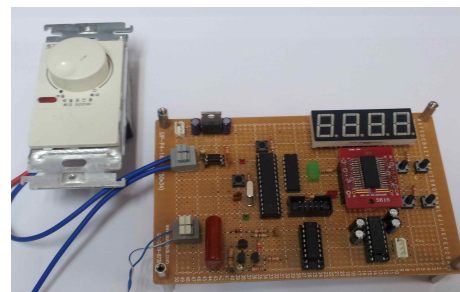


그림 18. 제안된 위상각 제어기와 DALI Master  
Fig. 18. The proposed phase control dimmer and DALI Master

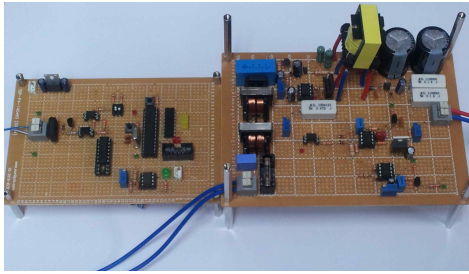


그림 19. 제안된 DALI Slave와 Single Stage Flyback  
Fig. 19. The proposed DALI Slave and Single Stage Flyback

#### 4. 결 론

본 논문에서는 Atmega8을 이용하여 IEC-62386 표준에 만족하는 DALI 프로토콜을 구현하였고 DALI를 제어하기 위한 컨트롤러로 기존의 위상각 디머와 스위치를 이용하여 조명들을 개별 및 그룹제어는 물론 동시에 디밍도 가능하도록 하였다. 또한 디밍시 기존의 위상각 디머가 갖는 전기적 특성을 개선하기 위해 위상각 디머를 전력공급을 제어하기 위한 용도가 아닌 디밍제어 신호를 발생하기 위한 용도로 사용하여 위상 제어 신호에 따라 driver ic의 스위칭 주파수가 가변되도록 하였다. 그 결과 85[%] 이하로 디밍할 경우 기존의 위상각 디머의 디밍 방법보다 전기적으로 우수하다는 것을 확인하였으며 비교대상이 완전한 저항으로 등가 되는 백열등이라는 점을 고려해 볼 때 제안된 시스템이 합당하다는 것을 입증하였다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음.  
(NIPA-2012-H0401-12-1002)

#### References

[1] Yuejun Zhang, Ping Zhou and Mingguang Wu, "Research on DALI and Development of Master-Slave module," Networking, Sensing and Control, 2006. ICNSC '06. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference, pp. 1106- 1110, 23-25 April 2006.

[2] DALI Manual, DALI AG of ZME, Division Luminaire, 2001.  
[3] Dali-ag, "DALI user organization", [http:// www.dali-ag.org/](http://www.dali-ag.org/)  
[4] Hein, P.F, "DALI—a digital addressable lighting interface for lighting electronics," 2001 Thirty-Sixth IAS Annual Meeting, Conference Record of the 2001 IEEE. vol. 2, pp. 901 - 905, 30 September-4 October 2001.  
[5] C. Contenti, "Digitally addressable DALI dimming ballast," Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, 10-14 March 2002, pp. 936-942.  
[6] Huadong Li, Mingguang Wu, Yufang Zhong, "Development and Research of Lighting System Based on DALI," IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICEA 2008, pp. 1302 -1307, June 2008.  
[7] Wei Wu, Mingguang Wu and Yanpeng Liu, "A Design of Embedded DALI Controller," Industrial Informatics, 2006 IEEE International Conference, pp. 1237 -1240, August 2006.  
[8] MC68HC908KX8, MC68HC908KX2 HCMOS Microcontroller Unit Technical Data, Motorola order number MC68HC908KX8/D.

#### ◇ 저자소개 ◇



**최영민 (崔榮敏)**

1986년 6월 7일생. 2011년 강원대 전기 전자전공 졸업. 2011년~현재 동 대학원 전기전자공학과 석사과정.



**박준석 (朴準碩)**

1988년 6월 22일생. 2007년~현재 강원대 전기전자공학 학사과정.



**박종연 (朴鐘演)**

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전자 공학과 졸업. 1980년 경북대 대학원 졸업 (석사). 1984년 경북대 대학원 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산대 공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대 전기전자공학 교수.