

집단 형광등의 조광제어기 구현

(Implementation of Control System for multiple dimmable ballasts)

최원호* · 박중연** · 김남태***

(Won-ho Choi · Chong-yeon Park · Nam-tae Kim)

Abstract

This paper shows the structure of a control System for Fluorescent lamp Dimming Ballasts. The control system is composed of phase angle controller, a transducer, many dimmable ballasts. For the implementation of the control system, We made a controller and the transducer that transform the phase angle controlled signal into the DC level. we used the conventional dimmable ballast. In this ballast, dimming control is achieved by varying the switching frequency that is controlled by the external DC level. This has non-linear illumination characteristics as the dimming control. Therefore we compensate characteristics using the transducer proposed in this paper. We measured the illumination of two FL-28 lamps with dimming controller.

1. 서 론

건축물이 점차 대형화하여 감에 따라 건축물에서 사용하는 전기용량도 증가하고 있으며, 생산성을 고려한 조명환경의 개선에따른 조명용 전력이 크게 증가하는 추세에 있다. 특히 업무용 빌딩의 경우는 조명용 전력의 비중이 대단히 높게 나타나고 있으며, 형광등이 대부분 사용되고 있다[1].

이러한 이유로 조명용 전력의 절전과 인터리어적 측면에서 조광제어가 가능한 형광램프용 전자식 안정기에 대한 요구가 점점 늘어나고 있다. 또한 이러한 안정기를 집단으로 제어가 가능한 제어기가 요구되는 실정이다. 현재, 국내에서는 이러한 집단 조명 제어를 위한 컨트롤러를 업체마다 각기 다른 방식으로 사용하고 있으며 각 방식의 장,단점이 있으나 대부분 경제성이나 신뢰성의 문제로 널리 보급되지 못하는 실정이다. 이러한 배경에서 비교적 신뢰적이고 소형의 제어기를 이용하여 벽면 스위치박스에 내장가능한 조광제어기와 이를 이용한 간략한 통신을 통해 조광제어용 전자식 안정기를 제어하는 방식을 제안하고 안정기로 밝기제어에 해당하는 신호를 출력할수 있는 제어기를 제작하였다.

2. 본 론

2.1. 조광제어 방식의 비교

* 강원대학교 전기공학과 대학원

** 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수

*** (주)별처럼 대표이사

국내에서 사용되는 조광제어 방식은 크게 2가지 계열로 나눌수가 있다.

한가지는 조광용 전력 자체를 위상제어나 초퍼등을 이용하여 제어하는 것이고 다른 한가지는 입력전력은 그대로 유지한채 안정기 내부의 인버터 공진특성을 이용하여 주파수를 변화시키거나 안정기 내부의 컨버터를 이용하여 DC 링크 전압을 조절함으로써 조광제어를 하는 방식이다.

조광용 전력 자체를 변화시키는 방법은 백열등과 같은 저항성 램프와 동시에 기존의 안정기를 그대로 사용할수 있으며 설치가 비교적 단순하다는 장점이 있으나 안정기를 비정상상태로 동작시키는 상황이 되어 램프의 수명을 떨어뜨리는 결과를 얻을수 있으며 최저 불밝기에서 점등시키기 어렵다, 또한 비선형적으로 밝기가 변화하여 미세한 밝기제어가 비교적 어렵고 능동 Boost형 PFC의 구조를 가지는 안정기에서는 조광제어 효과를 얻을수 없다는 단점이 있다.

조광제어용 전자식 안정기를 사용하면 비교적 램프의 수명을 유지할 수 있으며 최소 불밝기에서 점등이 가능하고 제어의 단계를 세분화 할 수 있다. 또한 불밝기의 선형적인 제어가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 전력 선을 이중으로 배선하여야 함으로 설비 비용이 많이 든다는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 램프의 수명과 최소 불밝기에서의 점등, 선형적 밝기 제어가 조광제어에서 더욱 중요한 사항으로 판단되어 조광제어용 전자식 안정기를 사용하는 구조에 초점을 두었다. 이때 조광제어용 전자식 안정기는 인버터의 스위칭 주파수를 변화시킴으로써 밝기를 변화

하는 구조의 안정기를 사용하였다.

2.2. 조광제어 안정기

앞에서 언급했던 바와 같이 조광제어용 전자식 안정기를 사용하면 입력전력을 제어할 필요가 없으나 대신에 전자식 안정기에 밝기제어에 해당하는 또다른 신호를 입력해야 한다.

대부분의 조광제어용 전자식 안정기에서 밝기제어신호는 DC전압이다. 예를들면, 0V~10V의 DC레벨 범위에서 0V일때 최소 밝기로 램프를 제어하며 10V일때 최고 밝기로 램프를 제어하게 된다. 이때 조광제어용 전자식 안정기에서 입력받는 DC레벨에 대한 램프의 밝기는 비선형적 관계를 가진다. 즉, DC입력의 레벨로 인하여 안정기 내부의 인버터 스위칭주파수가 변화하게 되는데, 이때 내부의 병렬공진으로 나타나는 공진회로의 비선형 커브로 인하여 램프에 공급되는 전력이 주파수 변화에 대한 비선형 특성을 가지므로 DC입력과 램프에 공급되는 전력의 관계는 비선형으로 나타나게 된다.[2] 그림 1에 전자식 안정기 내부의 공진필터의 주파수 특성을 나타내었다.

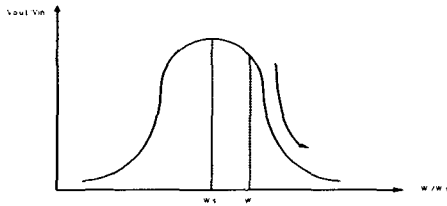


그림 1. 전자식 안정기 내부의 공진필터 주파수 특성
Fig.1.A Characteristic of resonant filter in electronic Ballast.

또한 램프의 소비전력과 조도와의 관계 또한 비선형 관계로 나타난다.[3] 이러한 비선형관계를 선형으로 보상해주는 부분은 대부분의 조광제어용 안정기에 구현되어 있지 않다. 때문에 본 논문에서는 조광제어용 전자식안정기에 입력되는 DC전압 레벨의 변화폭을 조절함으로써 선형적인 밝기변화를 전자식 안정기 외부의 조광제어기를 통하여 구현하였다.

2.3. 조광제어 시스템의 구조

본 논문에서 제안하는 시스템의 구조는 그림 2와 같다. 그림 2에서 알수 있듯이 이러한 방식을 구현하기 위해서는 램프전력을 공급하는 전력선과 조광제어용 전력선으로 2가지의 전력선을 설치하여야 한다.

즉, Line-A에 백열등이나 할로겐과 같은 저항성램프를 연결하고 Line-B에는 안정기를 필요로 하는 형광등과 같은 램프를 연결한다는 것이다. Line-B에 연결된 조

광제어용 전자식 안정기에 Line-A의 위상제어신호를 받아 DC전압 레벨로 변환하는 간단한 제어기를 통해서 제어신호를 인가해 주는 방식이다. 또한, 이러한 제어기는 안정기로의 입력전원을 on/off할 수 있도록 릴레이를 가지고 있다.

이러한 방식이 설비비 측면에서는 비용을 증대시키는 단점이 있으나 설치후에는 한가지 제어기로서 동일한 방식으로 저항성 램프와 형광등과 같은 방전등의 조광제어를 동시에 가능하게 한다는 점에서 이점이 있다. 또한 리모콘을 이용하여 제어 하는 방식이 안정기에 리모콘 수신부가 부착되어야 하기 때문에 램프에서 방사되는 적외선으로 인한 오동작의 가능성이 있다는 점과 램프가 개별적으로 제어된다는 점을 감안할 때, 이보다 신뢰적이며 집단적 제어가 가능하다는 이점도 존재한다.

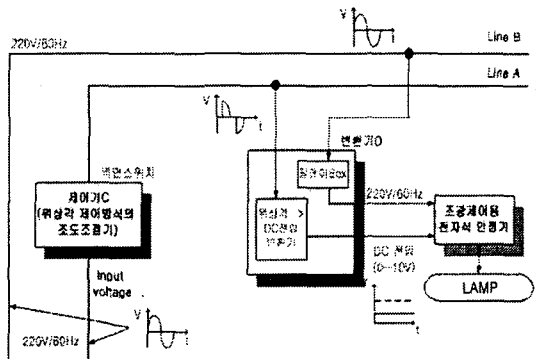


그림 2. 제안된 조광제어 시스템의 구조
Fig. 2. The Structure of proposed dimming control system.

Line-A는 벽면 스위치박스 즉, 위상각제어기를 통한 라인이다. 위상각제어기인 그림2에서의 제어기C를 통하여 위상각이 제어되는 전원임을 의미한다. Line-A의 전압이 제어기 C에 의해 제어되는 것을 그림 3에 나타내었다.

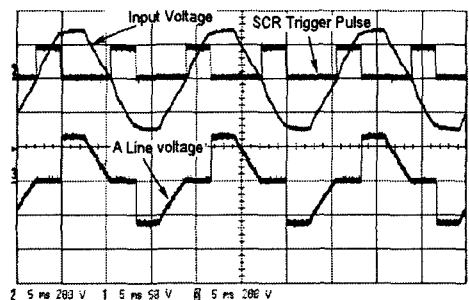


그림 3. 컨트롤러 C에 의해 제어된 A line 전압
Fig. 3. line-A voltage by controller-C

그림에서 알 수 있듯이 이 전원은 기존의 위상각 제어기를 통한 전원과 같다. 즉, 현재 널리 사용되고 있는 백열램프를 조광제어하기 위해 설계된 조광제어기를 그대로 사용할 수 있음을 의미한다.

2.4. 위상-DC전압레벨 변환기

이 변환기는 앞서 설명한 그림 2에서의 Line-A의 위상각 제어된 전압을 검출하여 제어된 위상각에 해당하는 DC 레벨을 발생시키는 장치이다. 본 논문에서는 이 변환기를 구현하는 것이 주된 내용이라 하겠다.

그림 4에 위상-DC전압레벨 변환기의 구조를 나타내었다.

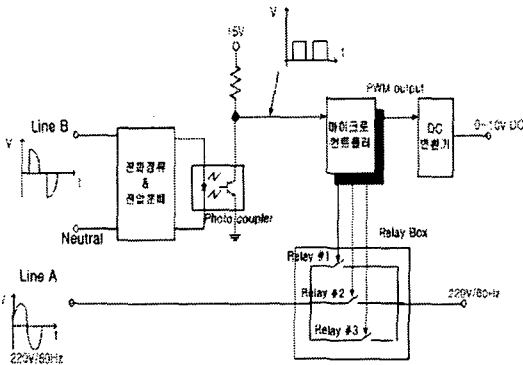


그림 4. 위상-DC 전압레벨 변환기의 구조(제어기 D)
Fig.4. The Structure of Phase controlled wave to DC voltage level Transducer

그림 4의 입력에 그림 3의 전압이 인가되면 그림 4의 포토커플러를 통하여 구형파가 출력되는데 입력 전원의 제어된 위상각에 따라 이 구형파의 듀티가 변화하게 된다. 이 구형파를 마이크로 컨트롤러를 이용하여 입력 받은 후 마이크로 컨트롤러는 그림 4에 표시한 DC변환기의 입력으로 PWM 파형을 출력하게 된다.

마이크로 컨트롤러에서 출력되는 PWM출력의 주파수는 약 250Hz이며 듀티의 변화폭을 1%~99%로 64단계 조절하였다. 또한 이때 마이크로 컨트롤러에서는 2.2절에서 언급하였던 비선형특성을 보완할 수 있도록 프로그램 하였다. 즉, 각 단계가 의미하는 듀티는 실험에 의해 측정된 비선형 특성을 보완할 수 있도록 비선형적으로 증가한다. 이러한 동작을 저가의 마이크로 컨트롤러에서 구현하기 위해서는 프로그램의 시간적인 관계와 외부 동작상황을 정확히 인지하여야 한다.

마이크로 컨트롤러는 위에서 설명한 동작 이외에 그림 2에서 나타내었던 연결된 안정기에 전원을 공급하거나 제거할 수 있는 릴레이를 동작하여야 한다. 변환기 1

대당 다수의 안정기를 설치하여 동시에 제어하고자 할 경우, 초기 점동시 순간적으로 안정기에 큰 전류가 유입됨에 의하여 릴레이가 오동작하는 것을 방지하고자 각기 다른 종류의 정격을 가지는 릴레이를 병렬로 하나씩 연결하는 방법을 사용하여야 한다.

이러한 동작을 Microchip사의 PIC16F84로 구현하기 위해 작성한 프로그램의 순서도는 그림 5와 같다.

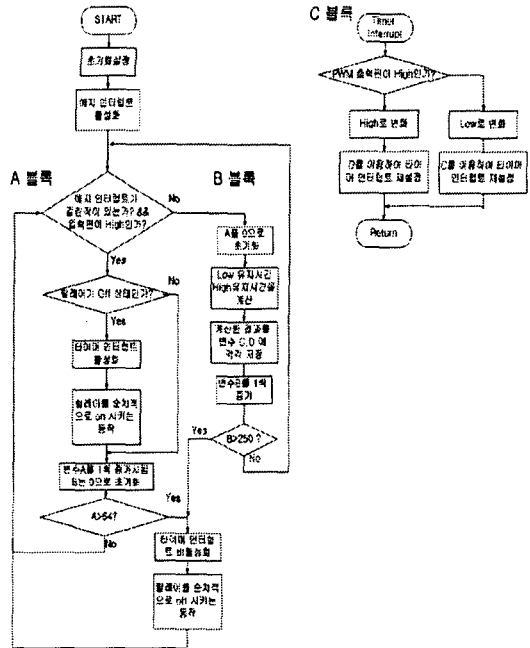


그림 5. 제어 프로그램의 순서도
Fig. 5. The flowchart of control program

16F84를 사용한 이유는 Microchip사의 PIC16계열 중 Flash Type으로는 가장 간단하고 저가의 마이크로 컨트롤러이며 이 컨트롤러에서 동작하는 프로그램 소스를 16C계열의 양산용 컨트롤러에서 거의 그대로 사용할 수 있기 때문이다. 그림 5의 프로그램을 설명하자면 다음과 같다.

A블록으로 묶여진 부분의 프로그램은 입력으로 오는 120Hz의 구형파 듀티를 검출하는 부분이다. 듀티를 검출하는 것은 입력 구형파가 120Hz임을 이미 알고 있으므로 high레벨 유지시간을 검출함으로써 알 수 있다. 때문에 low-to-high의 에지인터럽트로 high의 시작시점을 검출하고 내부적인 루프를 통하여 시간에 해당하는 상수를 얻는다. 입력 파형이 low로 전환되면 이 루프를 탈출하게 된다. 이때 단계는 64단계의 시간 분해능을 가지도록 프로그램 하였다. 이로서 이 상수는 1/64 사이의 값을 가지게 되며 이는 메모리에 저장된다.

만약 입력 구형파가 들어오지 않고 low로 일정시간 유지되거나 High 상태로 너무 길게 입력 된다면 램프를 소등하라는 명령으로 인식하도록 특정 플래그를 셋(set)시키게 된다. 결국, 이 플래그로서 그림 4의 릴레이를 open 혹은 short 상태로 만들기 위한 프로그램 블록이 수행되게 된다. 이 프로그램은 3가지 릴레이를 조합하여 on/off 동작을 구현하기 위한 프로그램이다. 본 논문에서 사용한 전자식 안정기의 점등 특성에 맞추어 가장 크게 전류가 흐르는 구간에서 3가지 릴레이가 모두 on상태가 되도록 프로그램 하였다. 이 릴레이의 동작 시퀀스는 릴레이 동작시 발생할수 있는 서지를 최소화하기 위해서 트라이악, 중급 정격의 릴레이, 최고 정격의 릴레이 순으로 하나씩 순차적으로 on시키게 되며 off동작은 on동작을 위한 순서의 역으로 동작하게 된다. 이러한 릴레이 출력을 그림 6에 나타내었다.

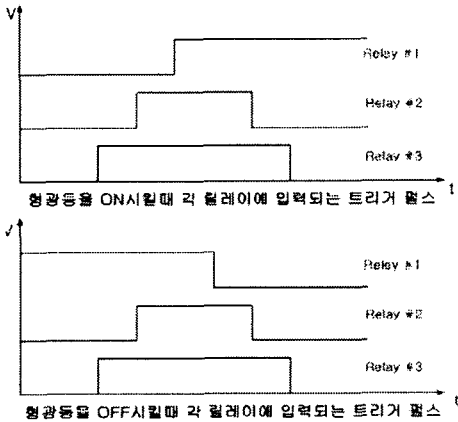


그림 6. 릴레이 트리거 파형
Fig. 6. Trigger pulses for Relays

그림 5에서 B블럭으로 묶여진 부분은 A블럭에서 구해진 듀티에 대한 단계를 의미하는 상수를 이용하여 출력 high유지시간과 low유지시간을 구하는 부분이다.

이것은 출력 PWM펄스를 위해 필요한 데이터이다. 최종적으로 밝기를 의미하는 PWM출력은 어떠한 순간에서도 시간이 어긋나거나 오동작이 일어나서는 안되기 때문에 마이크로 컨트롤러내부의 타이머 인터럽트를 사용하였다. 타이머 인터럽트를 사용하면 주 프로그램과는 상관없이 정확한 시간을 측정하고 사용할 수 있다.

출력해야 하는 PWM파형의 듀티비를 계산하는 수식은 램프 밝기의 비선형적인 부분을 보상할수 있도록 그림 7에 나타난 조도와 안정기로 입력되는 DC전압 레벨과의 관계 커브를 수식화 하여 사용하였다. 그림 7은 암실에서의 실험을 통하여 측정된 값을 바탕으로 한 것이다.

그림 7에서의 측정된 커브는 본 논문에서 사용한 조광제어용 전자식 안정기에서 나타난 비선형 특성을 의미하기 때문에 다른 조광제어용 전자식 안정기에 적용하기 위해서는 수식의 상수를 조정하여야 한다. 때문에 외부의 push버튼으로 이 모드를 변화시킬수 있도록 추가적으로 프로그램 해주었으며 단, 이 모드변환은 안정기가 동작하지 않을때만 이루어 질 수 있도록 설정하였다.

C블럭은 타이머 인터럽트 서브루틴을 의미한다. 즉, 설정한 시간 이후에 인터럽트로서 수행되는 부분이다. B블럭으로부터 계산된 시간은 타이머 인터럽트가 발생되기까지의 시간을 설정하게 되고 동시에 타이머 인터럽트를 활성화 시킨다. 이로서 마이크로 컨트롤러는 설정된 시간 이후에 C블럭을 수행하게 되는데 C블럭은 수행될때 마다 PWM출력 핀을 high에서 low로 혹은 그 반대로 토글시키는 동작을 하며 동시에 다음 타이머 인터럽트까지의 시간을 설정한다.

2.6. 실험결과

위에서 작성한 프로그램으로 그림 4의 제어를 동작시켜 조광제어를 실행하였다. 실험결과로서 그림 4의 조광제어를 통해 출력된 전압의 위상각에 따라 변환된 DC레벨과 그에 따라 제어된 조도의 양을 측정하여 그림 7에 나타내었다. 측정에 사용한 안정기는 28W의 PL램프 2등용을 사용하였다.

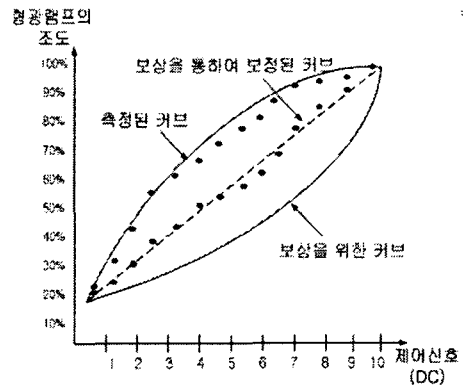


그림 7. 제어신호에 따른 램프 조도의 변화
Fig. 7. The Characteristic of illumination vs DC level for dimming control.

그림 7에서 조도는 최소 약 3200, 최대 약 33500(lux)이다. 거의 선형적으로 조도가 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 8에는 그림 4의 릴레이가 off상태일때 즉, 위상각 제어된 전력이 그림 2의 라인A로 공급되지 않았던 상태에서 on상태로 변환될 때 릴레이의 동작을 확인하

기 위해서 안정기의 입력전원을 측정된 결과를 나타내었다. 그림 8의 파형B는 파형A의 시작시점을 확대한 것이다. 이로서 릴레이의 on/off 동작이 올바르게 수행 됨을 알 수 있다.

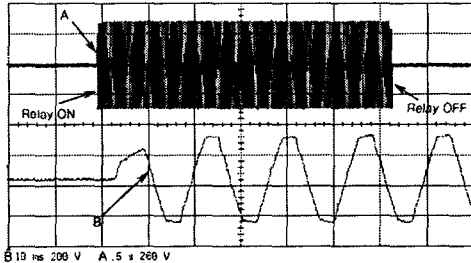


그림 8 Relay의 ON/OFF 동작에 따른 안정기 입력 전압
Fig. 8. Input voltage of Dimmable Ballast as on/off operation

3. 결 론

본 논문에서는 조광제어방식중 조광제어용 전자식안정기를 사용하는 방식에서 벽면 스위치에 기존의 위상제어방식의 백열등 조도조절기를 설치함으로써 이 출력으로서 형광등용 전자식 안정기에 램프 밝기를 조절하기 위한 DC전압레벨을 공급할수 있는 구조를 제안하고 이를 가능하게 하는 제어를 구현하였다. 이로서 간단한 회로를 사용하여 형광등의 조도제어를 하는 동시에 백열등과 같은 저항성 램프의 조도조절도 가능하며 적외선 리모컨을 이용한 형광등 조도제어 방식에 비하여 비교적 신뢰도가 높은 조광제어시스템을 구현할수 있었다. 또한, 구현한 제어기에 밝기와 제어전압에 대한 비선형적인 관계를 보상하는 부분을 삽입함으로써 선형적인 밝기제어를 가능하게 하였다.

본 논문에서 제안한 구조는 위상각 제어로 인한 전원선에 흐르는 전류의 고조파를 최소화 하면서 조광제어를 실현할 수 있는 방식이라는 점에서 전력선 통신방식을 적용하여 건물내 모든 조광제어를 실현하는데 가장 적합한 구조이다. 때문에 차후에 벽면 스위치박스에 전력선모뎀을 삽입하여 어느 곳에서든 전력선모뎀만 연결함으로써 원격제어가 가능하도록 설계할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 광희로, 이진우, 김문덕, 강원구, "일반용 및 산업용 조명기구 보급실태조사", 조명전기설비학회지, vol.9, No.3, p.67, 1995, 6.
[2] Tsai-Fu Wu, Yuan-Chyuan Liu, Yong-jing Wu, "High -Efficiency Low-Stress Electronic Dimming

Ballast for Multiple Fluorescent Lamps", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 14, No. 1, January 1999.
[3] WH Ki, J. Shi, E. Yau, P. Mok and J. Sin, "Phase-controlled dimmable electronic ballast for fluorescent lamps", IEEE Power Elec. Specialists Conf., p.1121-1125, June, 1999.

본 논문은 산업자원부 전력기술기초연구사업 (기초전력연구소 주관)의 지역거점 핵심과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음.