

# AC Chopper를 이용한 다등용 조광제어 시스템에 관한 연구

論 文
52B-4-5

## Dimming Control System for Multi-Fluorescent Lamp Using AC Chopper Technique

鄭 東 列\* · 朴 鍾 演\*\*  
(Dong-Youl Jung · Chong-Yeon Park)

**Abstract** - We have proposed the dimming controller using the AC chopper technique. The AC chopper changes the amplitude of the input source voltage with the same frequency. The conventional dimming controller is operated by controlling voltage phase with the triac. It has bad characteristics of the input current THD and the input power factor. But the dimming controller using the ac chopper technique has a low current THD and a good power factor. The developed dimming controller is consist of the IGBT and the low pass filter. The system is operated by the variation circuit of the input source voltage and the microprocessor.

**Key Words** : AC chopper, 전압위상제어, Dimming, 역률, THD

### 1. 서 론

현재는 빌딩의 지능(Intelligent)화에 대응하여 쾌적한 조명환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 시환경에 대응한 조명계획과 에너지 절약적 측면을 고려한 가변 조명시스템, 조명 제어 시스템 등이 개발되고 있으며, 건물관리의 효율화와 쾌적성을 향상시키기 위하여 조명의 집중관리, 세부적인 조명점멸, 조광제어가 필요하게 되어 건물 실내 배치의 변경하기 쉬운 고기능 조광 제어시스템이 필요로 하게 되었다.

기존의 형광등 조광제어는 전자식 안정기 자체에 Dimming 제어 기능을 첨가하여 이루어지고 있다. 현재로는 인버터부의 구동 주파수를 변화시키는 Dimming 제어와 램프에 인가하는 전압의 크기를 가감하여 Dimming을 실현시키는 방법 등이 있다.<sup>[1-3]</sup> 그러나 이러한 방법은 전자식 안정기 내의 회로를 수정해야하며 기존의 형광등 전자식 안정기를 교체해야하는 번거로움이 있다. 이에 기존에 설치되어 있는 형광등용 자기식과 전자식 안정기의 교체 및 개발되어야 할 안정기의 회로 수정을 필요 없게하는 조광제어기의 개발이 요구되는 실정이다.

기존의 조광제어기는 triac 소자를 이용한 전압위상제어 방식을 채택하고 있다. 이 방식의 문제점은 입력 역률의 및 입력 전류의 THD가 좋지않게 되어 본래의 전자식 안정기가 가지고 있던 역률 및 전류의 THD보다 더욱 나쁘게 만들어 버린다는 것이다.<sup>[4-6]</sup> 위상제어 방식은 단상 AC 전원 입력라인을 triac으로 차단 또는 부하로 연결하여 부하에 전달되는 전력의 양을 조절한다. 따라서 형광등용 전자식 안

정기의 입력 전력량이 가감이 되어 형광등의 조광을 제어할 수 있게 된다. 그러나 이 방법은 AC 입력 전원의 한주기내에서 triac이 도통되는 구간에서만 전류가 흐르기 때문에 전류가 입력 전원과 비교 했을 때 한쪽으로 불리게 되고 그 결과 위상차가 발생하여 역률이 나빠지게 된다. 전류의 THD 또한 커지게 된다. Triac과 같은 스위칭 소자를 사용할 경우 스위칭시 고조파 성분이 발생하고 이 성분은 시스템의 손실유발 및 역률 저하의 원인이 된다.

본 논문에서는 AC Chopper 방식을 이용하여 조광제어기를 제안하였으며, 이 방법은 안정기의 입력전압 크기만을 가감해주어 dimming을 하게 하였다. AC chopper를 사용한 경우에는 역률 및 전류의 THD가 기존의 전압위상제어 방식보다 개선되었으며 조광제어의 폭이 넓어지게 되었다. AC chopper의 기본 구성은 IGBT와 Diode로 이루어지고 입력단과 출력단의 필터를 연결하여 전류의 파형을 개선시키도록 하였다. 또한 입력 전압의 양과 음을 판별하는 회로에 의해 스위칭 제어를 하도록 하였다.<sup>[7]</sup>

### 2. 제안한 조광제어 시스템

#### 2.1 조광제어 시스템의 원리

본 논문에서 제안한 조광제어 시스템은 AC chopper 기술을 도입하여 실현하였다. AC chopper는 임의의 교류 입력 전원의 크기를 변환하여 부하에 공급할 수 있는 전력 변환기로써 출력 주파수는 입력 주파수와 동일한 특징을 갖는다. AC chopper는 스위치, 커패시터, 인덕터로 구성된다. 그림 1 (a)에서 보면 스위치 S1이 on이면 S2는 off 상태이고 스위치 S2가 on이면 스위치 S1이 off된다. AC chopper에서 스위치 S1을 입력측에서 출력측으로 전달되는 에너지를 제

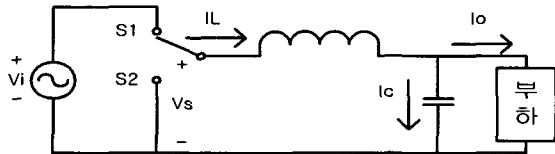
\* 正 會 員 : 江 原 大 工 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

\*\* 正 會 員 : 江 原 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授

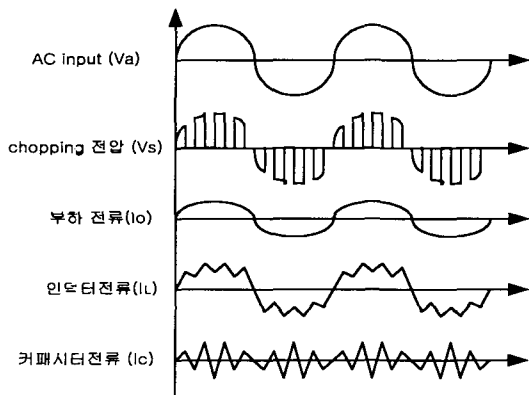
接 受 日 字 : 2002年 9月 25日

最 終 完 了 : 2003年 3月 12日

어하는 기능을 하며 스위치 S2는 스위치 S1이 off되어 있을 때 출력측의 전류를 연속적으로 만들어 주기위한 free-wheeling 역할을 한다. 그림 1 (b)는 AC chopper 등가회로도 및 각부의 전압전류 파형이다. LC 필터 전단의 전압  $V_s$ 는 스위치 S1이 on 상태이면 입력전압  $V_i$ 와 같고 스위치 S2가 on 상태이면 0V가 된다. 스위칭 주기 T에 대하여 스위치 S1이 on 되는 구간을 DT라고 하면 D는 S1의 시비율이고 출력전압  $V_o$ 는  $DV_i$ 가 된다.



(a) 등가 회로도  
(a) equivalent circuit



(b) 각 부 파형  
(b) waveforms

그림 1 AC chopper의 회로도 및 각 부 파형  
Fig. 1 The equivalent circuit and the waveform

## 2.2 회로해석

제안한 시스템의 블록다이어그램은 그림2와 같으며 그림3은 본 연구에서 제안한 AC chopper의 회로도이다.

4개의 스위칭 소자로 구성되어 있으며 전원선에 직렬로 연결된 Q1과 Q2는 주기적으로 on, off를 반복하여 전원과 부하를 연결하거나 끊어주는 역할을 한다. 전원선에 병렬로 연결된 스위치 Q3와 Q4는 부하에 저장된 에너지를 free-wheeling시키는 역할을 한다. 스위칭의 형태는 전원 전압의 극성과 microprocessor의 PWM 출력에 의해 제어가 된다.

IGBT 및 Ultra Fast Recovery Diode로 구성하였으며 직렬 IGBT는 Emitter측을 전원측으로 연결하였고, Collector측을 부하측으로 연결하였다.

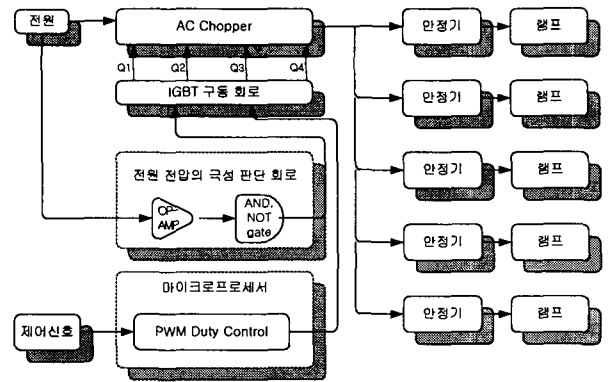


그림 2 시스템의 블록다이어그램  
Fig. 2 The block diagram of the system

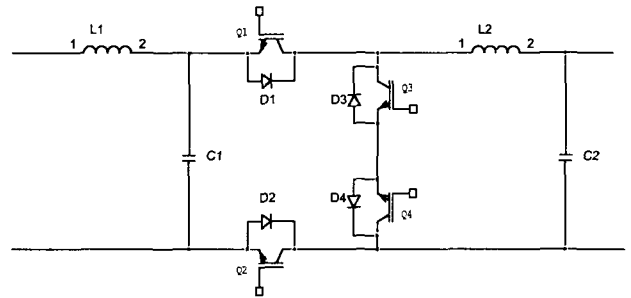


그림 3 AC Chopper 회로도  
Fig. 3 The circuit of the ac chopper

## 2.3 동작원리

그림 4는 동작 설명을 위한 스위칭 구간별 등가회로이다.

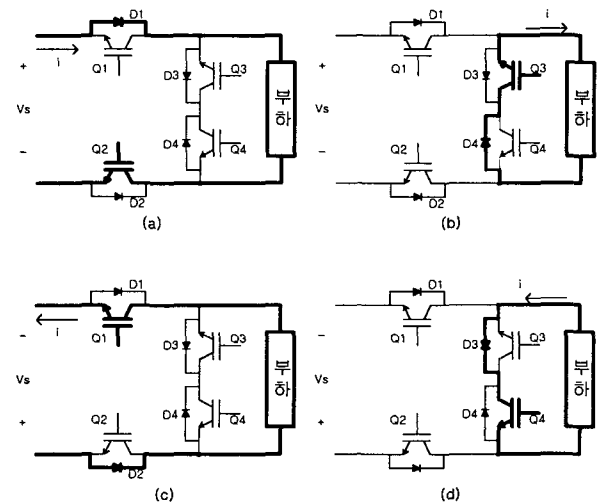


그림 4 스위칭 구간별 등가회로  
Fig. 4 The operation stage

전원전압이 양일 때는 Q1과 Q4는 off, Q3는 on을 한다. Q2에는 PWM 신호를 인가하여 chopping을 한다. Q2가 on이면, 그림 4-(a)와 같이 전원측에 의한 전류가 D1과 Q2를 통해 부하측에 전달되고, Q2가 off이면 그림 4-(b)와 같이 D4 및 Q3를 통해 free wheeling을 한다. 전원전압이 음일 때는 Q2와 Q3는 off, Q4는 on을 한다. Q1에는 PWM 신호를 인가하여 chopping을 한다. Q1이 on이면, 그림 4-(c)와 같이 전원측에 의한 전류가 D2와 Q1을 통해 부하측에 전달되고, Q1이 off이면, 그림 4-(d)와 같이 D3 및 Q4를 통해 free wheeling을 한다.

### 3. 필터의 설계

그림 5는 그림 1 (a)에서 인덕터에 흐르는 전류의 파형으로 스위치 S1이 on하면 DT구간동안 전류가 증가하고, 스위치 S2가 on하면 (1-D)T구간 동안 전류가 감소하고 있는 것을 보여준다.

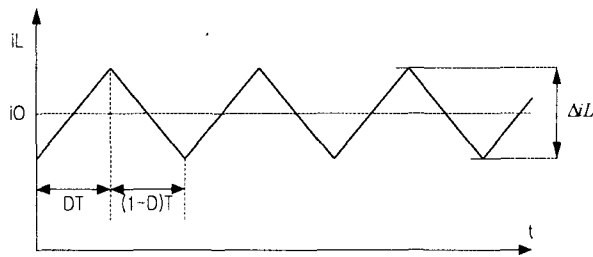


그림 5 인덕터의 전류 파형  
Fig. 5 The current waveforms of the inductor

먼저 L값을 구하여야 한다. 그림 1(a)에서 인덕터에 흐르는 전류  $i_L$ 은 식 (1)과 같다.

$$i_L = i_o + i_c \tag{1}$$

$0 \leq t < DT$  구간에서의 인덕터 전류를 계산한다.  $i_c$ 는 C에 흐르는 전류로써 식 (2)와 같다.

$$i_c = \Delta i_L \frac{t}{DT} - \frac{\Delta i_L}{2} \tag{2}$$

$\Delta i_L$ 은 인덕터에 흐르는 전류의 변화량으로써 식 (3)과 같다.

$$\Delta i_L = D(1-D) \frac{v_i}{L} T \tag{3}$$

식 (2)와 식(3)을 식 (1)에 대입하면 식(4)과 같다.

$$i_L = i_o + (t - \frac{DT}{2})(1-D) \frac{v_i}{L} \tag{4}$$

인덕터 전류  $i_L$ 이 최대가 될 때는 입력전압  $v_i$ 가 peak

value인 311V이고 시간 t는 DT가 될 때이다.  $\Delta i_L$ 이 최대일 때의 D는 0.5이며 T는 본연구에서 스위칭 주파수를 20kHz로 하였으므로  $50\mu s$ 이다. 또한 본 연구에서는 부하의 양을 320W로 설정하였다. 따라서 부하전류  $i_o$ 는  $320W/220V = 1.45A$  이므로 이 값을 식 (4)에 대입하여 정리하면 식 (5)와 같다.

$$i_L = 1.45 + \frac{1.944 \times 10^{-3}}{L} \tag{5}$$

구간  $DT \leq t < T$ 에서의  $i_c$ 는 식 (6)과 같다.

$$i_c = -\Delta i_L \frac{t-DT}{(1-D)T} + \frac{\Delta i_L}{2} \tag{6}$$

$\Delta i_L$ 은 식 (3)과 같다.

식(3)과 식(6)을 식 (5)에 대입하면 식 (7)과 같다.

$$i_L = i_o - (t - \frac{(1+D)T}{2}) \frac{Dv_i}{L} \tag{7}$$

구간  $0 \leq t < DT$ 에서와 마찬가지로 각 값을 식 (7)에 대입하여 정리하면 식 (8)과 같다. 여기서  $i_L$ 이 최소가 될 때의 t는 T가 된다는 것만 달리하고 나머지 값은 그대로 대입한다.

$$i_L = 1.45 - \frac{1.944 \times 10^{-3}}{L} \tag{8}$$

이 관계를 도식화 하였다. 그 결과는 그림 6과 같다.

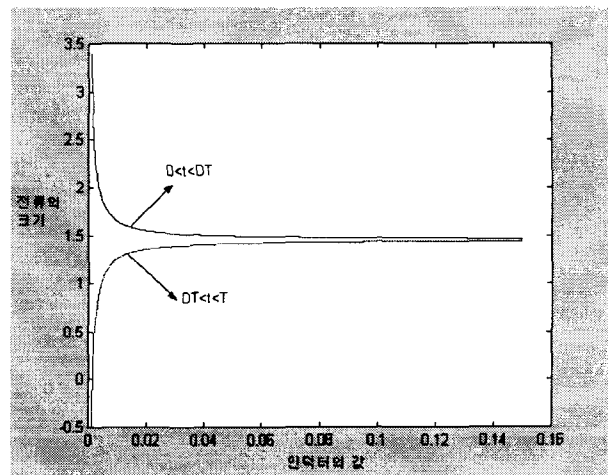


그림 6 인덕터 전류와 L값과의 관계  
Fig. 6 The current and the inductor value

x 축은 L값이고 y축은 인덕터에 흐르는 전류의 peak 값들이다. 구간  $0 \leq t < DT$ 에서의 인덕터 전류는 감소하는 형태이고 구간  $DT \leq t < T$ 에서의 인덕터 전류는 증가하는 형태이다. 이 두 구간에서의 인덕터에 흐르는 전류 값들의 차가 크면 그만큼 인덕터에서의 손실유발 및 스위칭소자의 손실

을 가져올 수 있으므로 가능한 차이가 작게 나는 L값을 선택하여야 한다. 출력 전압의 리플 성분은 C값과 밀접한 관련이 있다. 출력 전압의 리플 성분은 식 (2)와 식 (6)으로부터 스위칭 반 주기동안에 커패시터의 전류  $i_c$ 를 적분하여 리플 성분의 전압  $\Delta v_o$ 를 구할 수 있다. 이를 C에 대하여 정리하면 식 (9)과 같다.

$$C = \frac{1}{L\Delta v_o} \frac{|v_i|(1-D)DT^2}{8} \quad (9)$$

먼저 출력 전압의 리플 값을 결정해야 하는데 여기서는 출력 전압 peak 값의 0.1%로 하면 최대 출력의 peak값이 311V이므로  $\Delta v_o$ 는 0.311V이다. 본 연구에서는 L값 60mH로 선정하였다. 식 (9)에 각각의 값을 대입하여 정리하면 식 (10)과 같다.

$$C = \frac{1}{L\Delta v_o} \frac{|v_i|(1-D)DT^2}{8} = 1.36 \times 10^{-6} \quad (10)$$

C값은  $1.36\mu F$ 이다. 그러나 실제 사용할 때는  $1.36\mu F$ 보다 큰  $1.5\mu F$ 을 사용하였다.

#### 4. 실험결과

부하를 32W 2등용 안정기 5개로 하여 실험하였다. 따라서 부하의 총 watt는 320W이다. microprocessor는 PIC16F8-73을 사용하였으며 2개의 버튼에 의한 로직신호 1과 0을 입력으로 받아들여 AC chopper의 PWM duty를 변화시키도록 하였다. PWM 스위칭 주파수는 20kHz로 하였다. 입출력 필터의 L, C값은 서로 같도록 하였으며 L은 60mH이고, C는  $1.5\mu F$ 으로 하여 실험하였다. 그림 7은 각 IGBT의 gate파형이다. IGBT는 도시바사의 GT60M104를 사용하였다. Q3와 Q4는 전원전압의 주파수에 동기되어 on off를 서로 반대로 반복하고 있으며 Q1과 Q2는 PWM 제어신호가 gate에 인가되는 것을 볼 수 있다. 그림7에서보면 위에서부터 Q1, Q2, Q3, Q4순으로 gate파형을 나타내고 있다.

그림8은 전압과 전류가 IGBT의 스위칭에 의해 제대로 제어가 되어주고 있는 것을 보여주고 있다. 전압은 Q4, Q3의 양단을 측정 한 것이고 전류는 Q1, Q2로 흐르는 상태를 측정 한 것이다. 그림 8(a)는 전압의 파형이고 그림 8 (b)는 전류의 파형이다.

그림9는 기존의 조광 제어기를 실험한 결과로써 dimming 단계가 가장 최대 일 때 입력 전압과 전류의 파형이다. 그림 9 (a)는 전압의 파형이고 그림 9 (b)는 전류의 파형이다.

그림10은 제안한 조광제어기를 실험한 결과로써 dimming 단계를 최대로 하였을 때의 전압전류 파형이다. 그림 10 (a)는 전압의 파형이고 그림 10 (b)는 전류의 파형이다.

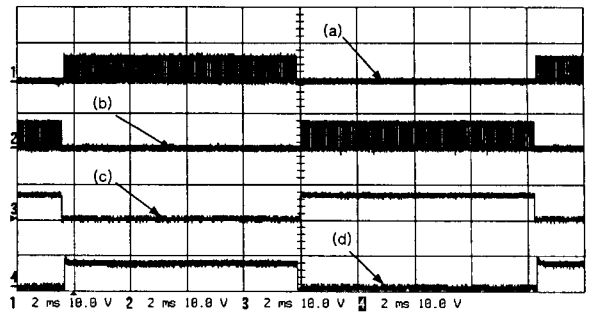


그림 7 각 IGBT의 gate 파형 (a) Q1의 gate 파형 (b) Q2의 gate 파형 (c) Q3의 gate 파형 (d) Q4의 gate 파형 (5V/div)

Fig. 7 The gate waveforms (a) of the Q1 (b) of the Q2 (c) of the Q3 (d) of the Q4 (5V/div)

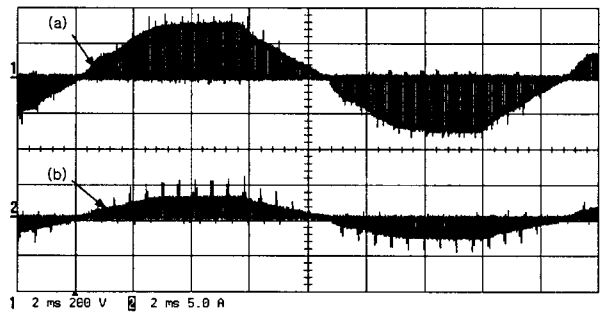


그림 8 IGBT의 스위칭에 의한 전압 전류파형 (a) 전압 파형 (b) 전류 파형 ((a) : 200V/div, (b) : 1A/div)

Fig. 8 The measured voltage and current (a) the waveform of the voltage (b) The waveform of the current ( (a) : 200V/div, (b) : 1A/div )

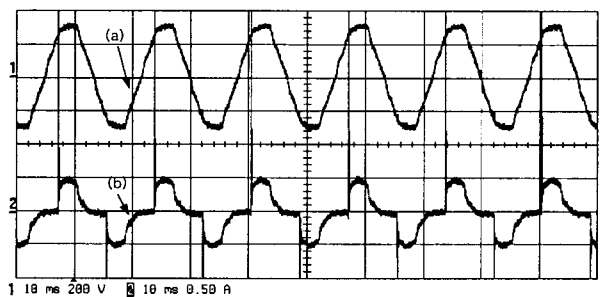


그림 9 기존의 조광제어기의 입력전압 전류파형 (a) 전압 파형 (b) 전류 파형 ( (a) : 200V/div, (b) : 1A/div )

Fig. 9 The input voltage and current of the conventional dimming control system (a) the waveform of the voltage (b) the waveform of the current((a) : 200V/div, (b) : 1A/div )

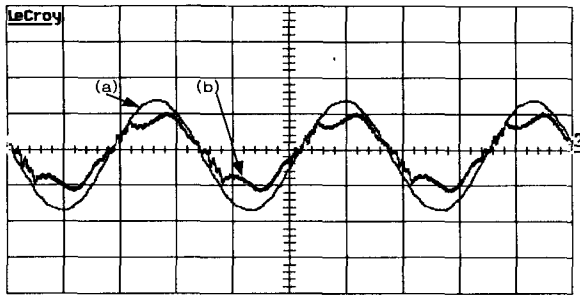


그림 10 제안한 조광제어기의 입력전압 전류파형 ( a) 200V/div, (b) : 1A/div )

Fig. 10 The input voltage and current of the proposed dimming control system (a) the waveform of the voltage (b) the waveform of the current ( a) : 200V/div, (b) : 1A/div )

그림 11은 duty ratio와 입력 power의 관계를 그래프로 나타낸 것으로서 x축은 duty ratio를 나타내고 y축은 입력 power이다.

그림 12는 입력 power와 역률의 관계를 나타낸 것으로 x축은 입력 power이고 y축은 역률이다. 이것은 실제 측정된 결과로써 PF (a)는 제안된 조광제어기의 역률이고 PF (b)는 기존 조광제어기의 역률이다.

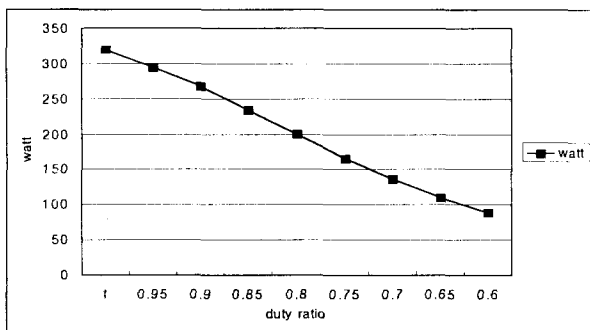


그림 11 duty ratio와 입력 power와의 관계

Fig. 11 The relation of the PWM duty ratio and the input power

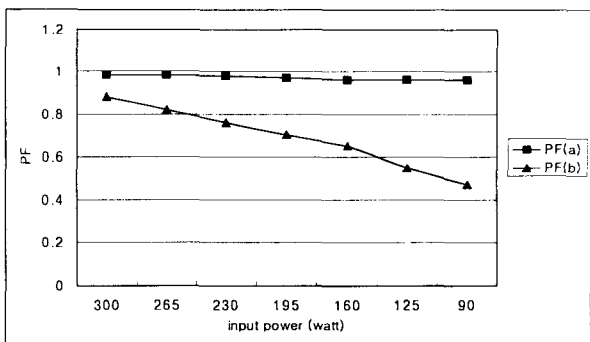


그림 12 입력 power와 역률과의 관계

Fig. 12 The relation of the input power and the power factor

그림 13은 입력 power와 THD의 관계를 나타낸 것으로 x축은 출력 power이고 y축은 THD이다. 이 또한 실제 측정된 결과로써 THD% (a)는 제안된 조광제어기의 역률이고 THD% (b)는 기존 조광제어기의 역률이다.

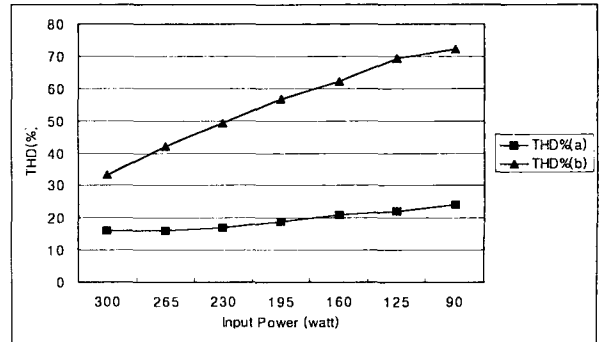


그림 13 입력 power와 THD와의 관계

Fig. 13 The relation of the input power and the THD of the input current

표1은 같은 안정기로 기존의 조광 제어기를 실험 결과로써 전류 및 역률 그리고 THD 그리고 watt를 나타내고 있다.

표 1 기존의 조광제어기의 dimming 단계에 따른 특성

Table 1 The characteristics of the conventional dimming control system

dimming 단계	입력전압 (V)	입력전류 (A)	전력 (W)	역률	전류 THD(%)
1	216	1.2691	240.4	0.883	33.21
2	216	1.2506	221.8	0.822	42.20
3	216	1.2219	200.1	0.761	49.20
4	216	1.1801	179.3	0.705	56.73
5	216	1.1567	163.6	0.654	62.13
6	216	1.1379	134.92	0.549	69.53
7	216	1.0960	112.81	0.474	72.18
8	216	1.0253	88.89	0.401	73.65

표 2는 본 논문에서 제안한 조광 제어기의 실험 결과이다.

표 2 제안한 조광제어기의 dimming 단계에 따른 특성

Table 2 Shows the experimental result of the developed dimming control system.

dimming 단계	입력전압 (V)	입력전류 (A)	전력 (W)	역률	전류 THD(%)
1	216	1.3875	295.2	0.987	15.971
2	216	1.2583	268.2	0.985	16.219
3	216	1.1051	234.5	0.980	17.110
4	216	0.95	200.1	0.973	19.277
5	216	0.7958	166.15	0.968	21.180
6	216	0.6572	136.92	0.964	22.060
7	216	0.5299	110.87	0.963	24.310
8	216	0.4273	89.47	0.963	24.400

실험결과는 기존 조광제어기가 가지고 있는 문제점 즉 조광제어를 통한 불밝기 조절은 되지만 전류 THD가 높고 역률이 나쁘게 되어 발생하는 문제점을 본 논문에서 개발한 조광 제어기로 개선하였다는 것을 보여주고 있다

**5. 결 론**

현재 일반적으로 램프의 조광제어로는 전압 위상제어 방식을 사용하고 있다. 그러나 이 방식은 입력 전류의 THD가 조광레벨에 따라 약 33%~73% 및 역률이 0.4~0.88 등 개선되어야 할 문제점을 안고 있다. 본 논문에서 제안한 조광제어기의 경우 입력 전원을 주파수는 동일한 상태에서 크기만을 가변시켜 안정기에 공급시킴으로써 전류의 THD를 30% 이하 및 역률을 0.96이상으로 개선시킬 수 있었다. 제안한 조광제어기의 구성은 크게 스위칭부와 필터부로 이루어지고 스위칭부를 제어하기 위하여 입력전원의 양을 판별하는 회로 및 마이크로 프로세서가 사용되었다. 시판되는 안정기로를 이용하여 기존 조광제어기와 제안한 조광제어기를 비교 검토한 결과로는 제안한 조광제어기의 특성이 좋은 것으로 나타났다.

**감사의 글**

본 연구는 강원대학교 BK21사업단의 지원으로 수행되었습니다.

**참 고 문 헌**

[1] Chin S. Moo, Ying C. Chuang, Yung H. Huang, Horn N. Chen, " Modeling of Fluorescent Lamps for Dimmable Electronic Ballasts" in Proc. 1996 IEEE Ind. Applicat. Soc. IAS Annu. Meeting, pp. 2231-2236.  
 [2] C. Moo, H. Cheng, T. Lin, and H. Yen, " Designing a dimmable with voltage control for fluorescent lamp," in Proc. IEEE Int Symp. Ind. Electron, 1999, pp. 786-791.  
 [3] Y. K. Eric Ho, Stephen T. S. Lee, Henry Shu-Hung Chung, and S. Y. (Ron) Hui, "A Comparative Study on Dimming Control Methods for Electronic Ballasts," IEEE Transaction on Power Electronics, Nov. 2001, Vol. 16, No. 6, pp. 828-836.

[4] G. Choe, A.K. Wallace, M.H. Park, "An Improved PWM Technique for AC Choppers", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.4, October 1989.  
 [5] H. Bodur, A.F. Bakan, M.H. Sarul, S.Pravadaltpglu "Analyse of Current Controlled PWM Technique in AC Choppers and Realization of an Application Circuit", Elektik Muh. 6. Ulusal Kong., Bursa, TURKEY, 1995.  
 [6] H. Bodur, A.F. Bakan, M.H. Sarul, "Analyse and Implementation of Single Phase Current Controlled PWM AC Chopper that also uses Negative Mains Voltage", Elektik Muh. 7. Ulusal Kong., Ankara, TURKEY, 1997.  
 [7] Nabil A. Ahmed, Kenji Arnei, and Masaaki Sakui, "A New Configuration of Single-Phase Symmetrical PWM AC Chopper Voltage Controller" IEEE Transaction on Industrial Electronics. Vol. 46. No. 5. October 1999

**저 자 소 개**



**정 동 열(鄭東烈)**

1973년 11월 29일생. 1998년 2월 강원대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 3월~현재 동 대학원 박사과정.



**박 증 연(朴鍾演)**

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전자공학과 졸업. 1980년 경북대 대학원 졸업(석사). 1984년 동 대학원 졸업(박사). 1973년~1977년 KIST 연구원. 1977년~1984년 울산공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대 교수.