
강압형 컨버터를 이용한 70W CDM 램프용 전자식 안정기의 개발

김일권* · 길경석* · 김진모**

Development of an Electronic Ballast for 70W Ceramic Discharge Metal Halide Lamps with Step Down Converter

Il-Kwon Kim* · Gyung-Suk Kil* · Jin-Mo Kim**

요 약

본 논문은 70[W]급 세라믹 방전관 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기의 설계 및 제작에 대하여 기술하였다. 개발한 안정기는 정류회로, 능동성 역률개선회로, 하프브리지 인버터, LC 공진회로 및 제어회로로 구성되며, 램프의 재점등에 필요한 타이머 기능을 추가하였다. 점등시 램프에는 음향공명현상과 플리커 현상을 피하기 위하여 40[kHz]의 고주파 전압이 인가되도록 하였다. 실험결과로부터 역률과 효율은 각각 99.8[%], 93.1[%]로 평가되었다.

ABSTRACT

This paper deals with a design and fabrication of an electronic ballast for 70[W] ceramic discharge metal halide lamps. The proposed ballast is composed of a rectifier, an active power factor correction circuit (PFC), a half-bridge inverter, a LC resonant circuit and a microprocessor. The developed ballast also includes a specially designed time circuit which provides reignition signal of lamps. Running frequency of the ballast is set at 40[kHz] to avoid acoustic-resonance and flickering. From the experimental results, input power factor and efficiency of the ballast are estimated 99.8[%] and 93.1[%], respectively.

키워드

Electronic Ballast, Ceramic Discharge Metal Halide Lamp, Half-bridge Inverter, Step Down Converter

1. 서 론

최근 정부의 고효율 조명기기 보급정책에 따라 고압방전램프의 수요가 급격히 성장하고 있다. 특히 아-크 튜브를 과거 석영관에서 세라믹 발광관으로 대체하여 고효율·고연색성 및 램프 수명말기에도 특성이 크게 변하지 않는 세라믹 메탈할라이드 램프(CDM : Ceramic Discharge Metal-Halide)의 상용화

는 HID램프의 사용에 있어 커다란 전기를 마련하였다. 방전램프의 특성상 필수적인 장치인 안정기는 소형, 경량화, 고효율, 고역률을 실현하기 위하여 전자식 안정기의 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 고효율, 고역률의 특성을 갖는 소용량(30~100[W]) 전자식 안정기는 기술적 어려움과 가격경쟁력에 의해 개발이 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 구성이 간단하며 고효율, 고역률을 실현한 70[W]

*한국해양대학교
접수일자 : 2002. 11. 1

** (주) 태양전자

CDM 램프용 전자식 안정기를 설계·제작하였다.

제안한 안정기는 음향공명현상을 피하면서 소형, 경량화를 구현하기 위하여 40[kHz]의 고주파 점등방식을 적용하였다[1][2]. 또한 범용의 PFC IC와 강압형 컨버터를 이용하여 스위칭 소자의 스트레스를 줄이면서 99.8[%], 93.1[%]의 고역률과 고효율을 실현하였다. 램프의 초기 점등은 인버터의 주파수를 가변하여 LC 직·병렬 공진회로에 의한 최대 4[kVpp]의 고전압을 발생시키도록 구성하였다. 점등시 인버터의 주파수는 40[kHz]로 고정되어 램프에 필요한 전압과 전류를 일정하게 유지한다. 또한 램프의 이상 소등시 타이머를 이용하여 1분마다 재점등을 시도할 수 있도록 자동 재점등 기능을 추가하였다.

II. 전자식 안정기의 설계

2.1 안정기의 기본 구성

그림 1은 본 연구에서 설계·제작한 전자식 안정기의 블록 다이어그램을 나타낸다. 전파 정류된 전압은 PFC 회로에 의해 400[V]의 직류전압으로 승압되어 강압형 컨버터를 통하여 인버터에 인가된다. 인버터는 주파수를 100[kHz]~40[kHz]로 가변하며, LC 공진회로의 공진에 의한 고전압을 발생시켜 램프를 점등시킨다[3]. 램프가 점등되면 제어기는 램프에 흐르는 전류를 검출하여 인버터의 게이트 신호를 40[kHz]로 고정한다. 이와 동시에 강압형 컨버터는 PFC 출력전압 400[V]를 램프전압에 가깝게 강압하여 램프의 안정적인 점등을 유지한다. 만일 램프가 이상요인에 의해 소등되었을 경우, 타이머는 인버터 제어회로를 리셋하여 게이트신호를 정지시킨다. 이후 약 1분간을 카운트 한 뒤 리셋 해제를 하여 인버터에 의한 초기 점등을 반복하게 한다.

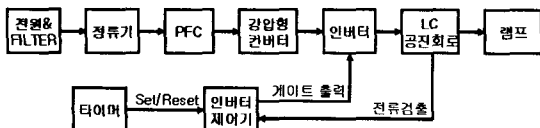


그림 1. 전자식안정기의 블록 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of the electronic ballast

2.2 PFC 회로 및 강압형 컨버터 회로

그림 2는 범용의 PFC IC를 이용한 역률 개선 회로를 나타낸 것이다. 본 연구에 적용한 PFC 회로는 승압형 컨버터 형태로써 전파 정류된 전압을 400[V]의 직류전압으로 승압한다. 이 때 PFC IC는 전파 정류된 전압과 인덕터에 흐르는 전류를 비교하여 FET 게이트 신호의 시비율을 조절한다. 이에 따라 입력전압과 입력전류는 동상이 되며, 또한 출력전압을 일정하게 유지시킨다. 일반적으로 70[W] CDM 램프의 램프전압은 110[Vpk] 정도이다. 그러나 승압된 PFC 출력전압을 인버터 회로에 직접 인가하게 되면 스위칭 소자는 필요 이상의 전압 스트레스를 받게된다. 또한 램프에 의해 낮아진 전압을 PFC IC가 지속적으로 승압시켜 스위칭 소자의 스트레스는 더욱 커지며 입력 역률이 매우 낮아지게 된다. 따라서 PFC 회로와 인버터 회로 사이에 강압형 컨버터 회로를 삽입하여 PFC 회로에 의해 승압된 전압을 램프에서 요구하는 적절한 전압으로 강압하게 되면 PFC IC는 안정적으로 동작하게 된다. 이로 인하여 스위칭 소자의 스트레스를 현저히 줄일 뿐만 아니라 입력 전류의 낮은 THD와 높은 역률을 실현할 수 있다. 그림 3은 강압형 컨버터 회로를 나타낸 것으로써 FET의 스위칭 주파수는 22[kHz]이며 출력 전압은 시비율에 의해 약 250[V]로 강압된다.

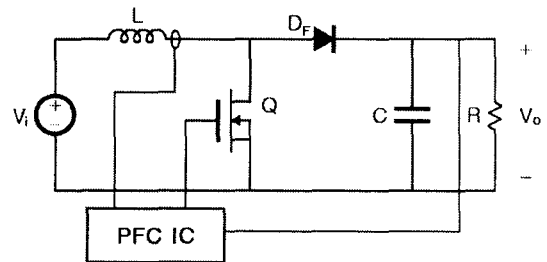


그림 2. 역률개선회로
Fig. 2 Power factor correction circuit

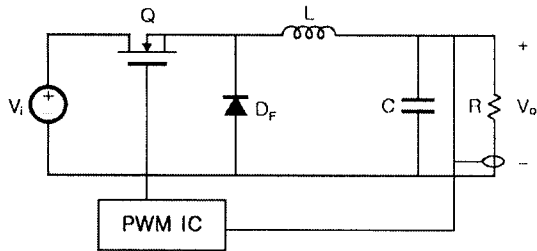


그림 3. 강압형 컨버터 회로
Fig. 3 Step-down converter circuit

2.3 인버터 회로 및 LC 공진회로

그림 4는 램프의 점등 특성을 결정짓는 LC 직·병렬 공진회로 및 이를 제어하기 위한 인버터를 개략적으로 나타낸 것이다. 본 연구에서 적용한 인버터는 하프브리지 타입이며, C1은 FET Q1과 Q2에 의해 발생하는 정극성 구형파 전압을 교류로 변환하여 인덕터에 전달하는 블러킹 캐패시턴스이다. 램프의 임피던스는 부성저항 특성을 갖는 단순한 저항으로 취급할 수 있고, 점등 전과 점등 후에 따라 LC 공진회로의 주파수 특성이 달라진다. 초기 점등은 인버터의 주파수가 가변됨에 따라 L과 C2의 공진에 의하여 램프 양단에 고전압이 인가된다. 점등 후 인버터의 주파수를 음향공명이 발생하지 않는 40[kHz]로 고정하면 램프에 흐르는 전류를 일정하게 유지시킬 수 있다. 인버터의 동작에 있어서 반드시 Q1과 Q2는 동시에 도통되는 경우가 없도록 dead time을 1.2[μ s]로 설정하였다.

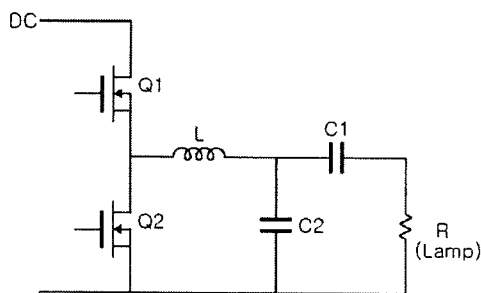
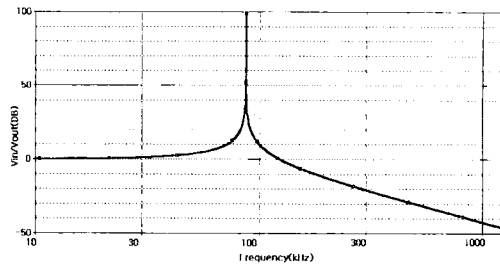
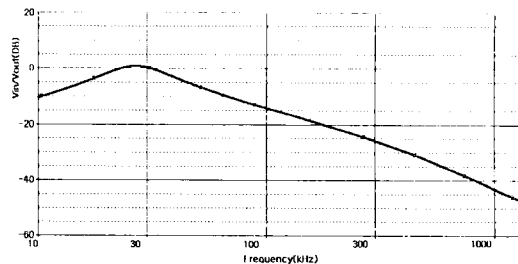


그림 4. 하프브리지 인버터 및 LC 공진회로
Fig. 4 Half-Bridge inverter and LC resonant circuit



(a) Before lighting the lamp



(b) After lighting the lamp

그림 5. LC 공진회로의 주파수 특성

Fig. 5 Frequency characteristics of the LC resonant circuit

그림 5는 램프가 점등되기 전과 후에 대하여 LC 공진회로의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 그림 5(a)와 같이 램프가 점등되기 전에는 인버터의 주파수가 100[kHz]~40[kHz]까지 가변되는 동안 램프 양단에는 고전압이 인가되어 점등된다. 그림 5(b)는 램프가 점등된 후를 나타낸 것으로 인버터의 주파수를 40[kHz]로 고정하면 강압형 컨버터의 시비율에 따라 램프전압과 램프전류를 안정적으로 제어할 수 있으며, 램프 출력을 70[W]로 유지할 수 있다.

2.4 재점등 회로

램프가 점등되면 발광관 내부에 아크가 발생하며 고온·고압의 상태가 된다. 순간 정전과 같은 기타 이상 요인에 의하여 램프가 소등되었을 때 발광관 내에 고압의 상태는 전자방출을 억제하여 재점등을 어렵게 만든다. 기존의 안정기의 경우 자연 냉각에 의해 내부 압력이 낮아질 때까지 지속적으로 점등을 시도하므로 스위칭 소자 및 램프에 적지 않은 고전압 스트레스를 주게된다. 따라서 본 연구에서 개발한 안정기는 타이머를 이용하여 일정시간마다 재점등을 시도하도록 구성하였다.

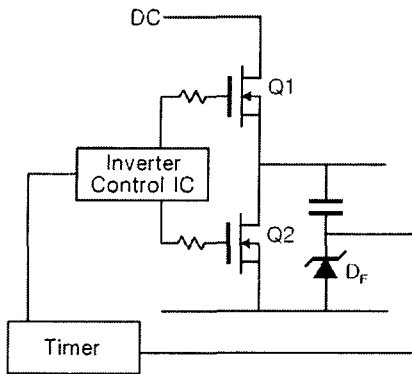


그림 6. 재점등 회로
Fig. 6 Reignition circuit

그림 6은 개략적인 재점등 회로를 나타낸 것으로써 램프가 소등되었을 경우 타이머의 출력은 1분의 High 신호와 2초의 Low 신호를 반복한다. 이러한 파형을 인버터 제어회로의 Reset 단자에 연결하면 1분간 게이트 신호가 정지되었다가 2초간 재점등을 시도하도록 구성할 수 있다. 따라서 기존의 지속적으로 고전압을 발생시키는 안정기와는 달리 램프 양단에는 1분 간격으로 간헐적인 고전압이 발생하므로 내부 스위칭 소자의 전압 스트레스를 현저히 줄일 수 있다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1 PFC 회로 및 강압형 컨버터 회로 특성

그림 7은 램프가 점등되었을 때 PFC 회로의 출력 파형을 나타낸 것이다. 본 연구에서 적용한 PFC 회로는 범용의 PFC IC를 이용한 부스트 컨버터 형태로써 정류된 전원전압을 400[V]로 승압하며, 입력전압이 변하더라도 출력전압을 일정하게 유지시킨다.

그림 8은 강압형 컨버터 회로의 출력 파형이다. PFC 회로에 의하여 400[V]로 승압된 전압을 램프 점등시 LC 공진회로의 40[kHz] 부근에 주파수 특성을 고려하여 약 250[V]로 강압하였다. 이 때 동작주파수 및 시비율은 각각 22[kHz]와 62[%]로 설정하였다.

3.2 점등시 램프 전압·전류 특성

인버터 제어회로는 램프의 점등을 시도하기 위하

여 출력 주파수를 100[kHz]~40[kHz]로 가변한다. LC 공진회로의 주파수 특성에 의하여 주파수가 공진점에 이르면 램프 양단의 전압은 급격히 증가하고 약 1.3[kVpk]에서 램프가 점등되었다. 인버터 제어기는 램프에 흐르는 전류를 검출하여 출력 주파수를 40[kHz]로 고정하면 시간이 지남에 따라 램프의 램프전압과 램프전류는 정상상태에 도달한다. 그림 9는 본 연구에서 설계·제작한 전자식 안정기에 전원을 투입한 후 1분 30초 가량 램프전압과 램프전류의 변화를 나타낸 것이다. 시간에 따라 램프전압은 증가하는 반면에 램프전류는 감소하는 방전램프의 전형적인 부성저항 특성을 관찰할 수 있다.

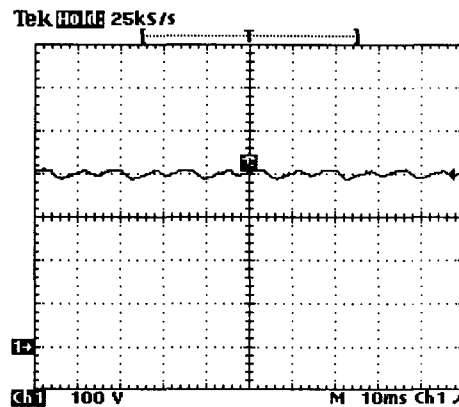


그림 7. PFC의 출력전압
Fig. 7 Output voltage waveform of the PFC

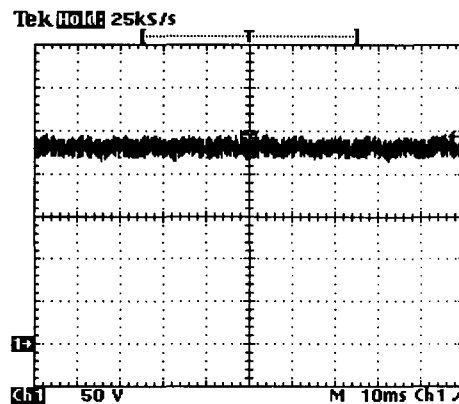
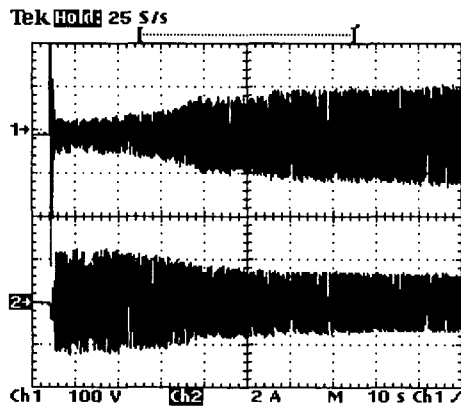


그림 8. 강압형 컨버터의 출력전압
Fig. 8 Output voltage waveform of the step-down converter

3.3 재점등 회로 특성

그림 10은 재점등시 타이머 회로의 출력파형을 나타낸 것이다. 타이머는 1분 가량의 High 신호와 2초의 Low 신호를 반복적으로 발생하며 인버터 제어 IC의 Reset 단자에 인가된다. 따라서 인버터는 모든 출력이 정지하여 1분이 지난 뒤 2초간 램프 점등을 시도하고 만일 램프가 점등이 되지 않으면 1분 간격으로 재점등을 시도한다. 램프가 점등되면 타이머의 출력은 인버터 회로와 분리되어 인버터의 정상적인 동작을 유지한다.



상 : 램프전압 [100V/div, 10s/div]
하 : 램프전류 [2A/div, 10s/div]

그림 9. 점등시 램프전압 및 램프전류
Fig. 9 Typical lamp voltage and current waveforms during ignition of a lamp

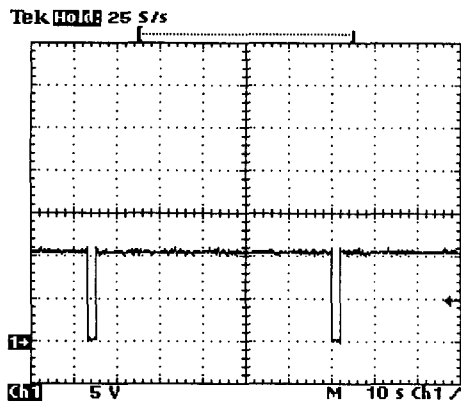
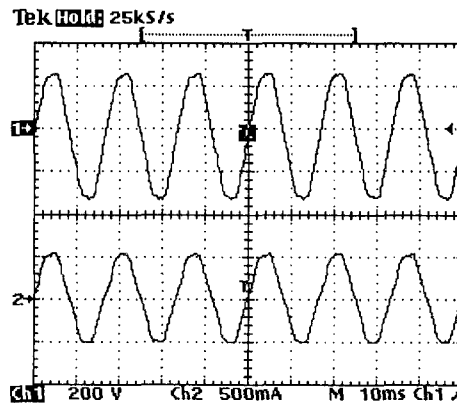


그림 10. 타이머의 출력전압
Fig. 10 Output voltage waveform of timer

3.4 입·출력 특성

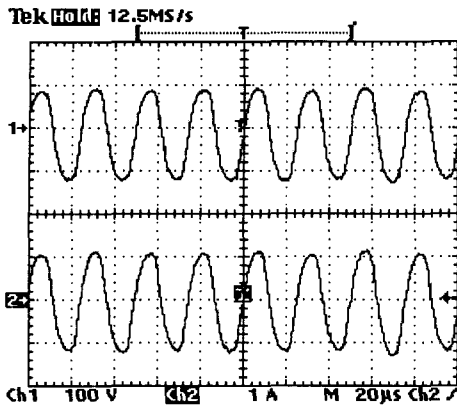
그림 11과 12는 입·출력 전압과 전류의 파형을 나타낸 것이다. 입력특성은 전력분석기(THS 720P, Tektronix)를 이용하여 입력전압, 전류, 전력 및 역률을 측정하였다. 입력전압과 전류는 각각 208.9[V_{rms}]와 362.6[mA_{rms}]이며, 입력전력과 역률은 75.64[W], 99.8[%]을 나타내었다. 램프전압과 램프전류는 각각 80.22[V_{rms}]와 878.5[mA_{rms}]로 측정되었다. 램프에 소비되는 전력은 오실로스코프에 내장된 연산기능을 이용하여 전압과 전류의 곱에 대한 평균치로 계산하였으며, 이 때의 값은 70.47[W]를 나타내었다.

본 연구에서 제작한 전자식 안정기는 부스트 타입의 PFC 회로와 하프브리지 인버터 사이에 강압형 컨버터를 적용하여 PFC 회로에 의해 승압된 전압을 적절한 전압으로 강압하여 램프에 공급하였다. 따라서 스위칭 소자들의 과도한 스위칭과 전압 스트레스를 감소시킬 수 있었으며, PFC 회로를 안정적으로 동작시켜 고역률을 실현할 수 있었다. 제안한 안정기의 입·출력 특성을 정리하여 표 1에 나타내었다.



상 : 입력전압[200V/div, 10ms/div]
하 : 입력전류[500mA/div, 10ms/div]

그림 11. 입력전압 및 입력전류
Fig. 11 Input voltage and current waveforms



상 : 램프전압[100V/div, 20µs/div]
하 : 램프전류[1A/div, 20µs/div]

그림 12. 램프전압 및 램프전류
Fig. 12 Lamp voltage and current waveforms

표 1. 실험 결과
Table. 1 Test results

구 분	측 정 값
입력전압	208.9 [V _{rms}]
입력전류	362.6 [mA _{rms}]
입력전력	75.64 [W]
역 률	99.8 [%]
램프전압	80.22 [V _{rms}]
램프전류	878.5 [mA _{rms}]
램프출력	70.47 [W]
효 율	93.16 [%]

IV. 결 론

본 연구에서는 강압형 컨버터를 이용한 70[W] 세라믹 방전관 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기를 제작하였다. 제안한 안정기는 소형, 경량화 및 음향공명현상을 피하기 위하여 40[kHz]의 고주파 점등방식을 적용하였다. 소용량 전자식 안정기로서 재점등 기능을 가지며 고역률 및 고효율을 실현할 수 있었으며, 결과는 다음과 같다.

- 1) 인버터 출력주파수의 가변을 통하여 LC공진에

의한 점등을 구현하였으며, 40[kHz]의 고주파 점등방식을 적용하여 음향공명현상이 없는 안정적인 동작특성을 얻을 수 있었다.

- 2) PFC 회로 및 강압형 컨버터를 적용하여 스위칭 소자에 과도한 스트레스를 줄일 수가 있었으며 고역률을 실현하였다.
- 3) 간단한 타이머 회로를 첨가하여 순간 정전과 같은 이상 소등시 자동 재점등이 가능하도록 구성하였다.
- 4) 제안한 안정기는 70[W]급 CDM 램프용 전자식 안정기로서 점등시 입력 전압과 전류는 208.9[V_{rms}]와 362.6[mA_{rms}] 이며, 출력전압과 전류는 각각 80.22[V_{rms}]와 878.5[mA_{rms}]로 측정되었다.

본 연구를 통하여 강압형 컨버터의 적용으로 램프에 인가되는 전압 및 전류를 제어할 수 있었으며, 이를 이용하여 램프의 Dimming 기능의 가능성을 확인하였다. 향후 Dimming 기능과 더불어 순간 재점등이 가능한 방법에 대하여 지속적인 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] 조호찬 외, "HID Lamp용 전자식 안정기의 시뮬레이션 개발", 조명·전기설비학회논문지, Vol. 6, No. 2, 2002
- [2] 강도형 외, "RCD 스너버 및 준구형파를 이용한 250[W] HPS lamp용 전자식 안정기 개발", Journal of KIIEE, Vol. 16, No. 2, 2002
- [3] 강범석 외, "고압 나트륨 램프용 고역률 전자식 안정기에 관한 연구", 대한전기학회 전력전자연구회 춘계학술연구발표, Vol. 3, pp. 14~18, 1999

저자소개



길경석(Gyung-Suk Kil)

1984년 인하대학교 전기공학과
졸업(공학사)
1987년 동 대학원 전기공학과
졸업(공학석사)
1996년 동 대학원 전기공학과
졸업(공학박사)

1996년 4월~현재 한국해양대학교 전기전자공
학부 부교수

※관심분야: 고전압·방전, EMI/EMC



김일권(Il-Kwon Kim)

1997년 한국해양대학교 전기
공학과 졸업(공학사)
2001년 동 대학원 전기공학과
졸업(공학석사)
2001년~현재 동 대학원 전기
공학과 박사과정

※관심분야: 고전압·방전, 전자식 안정기



김진모(Jin-Mo Kim)

1991년 동아대학교 무역학과
졸업(학사)
1992년~1994년 (주)원익 대리
1994년~현재 (주)태양전자 조
명연구소 소장

※관심분야: 방전램프, 고효율 등기구 및 투광기