
저주파 구동형 집어등용 전자식 안정기 개발

길경석* · 김일권* · 송재용* · 한주섭* · 신광철*

Development of a Low Frequency Operating Electronic Ballast for Fish Attracting Lamps

Gyung-suk Kil* · Il-kwon Kim* · Jae-yong Song* · Ju-seop Han* · Gwang-chul Shin*

본 논문은 2004년도 중소기업청 주관 산학연 컨소시엄사업으로 수행되었으며,
참여기업인 오진산업사의 지원에 감사드립니다.

요 약

본 논문은 저주파 구동형 집어등용 전자식 안정기의 설계 및 제작에 관하여 기술하였다. 제안한 안정기는 전파 정류회로, 정전력형 전류원으로 동작하는 강압형 컨버터와 130 Hz 구형파 발진 인버터 및 재점등 보호회로로 구성하였다. 램프의 음향공명현상은 130 Hz의 저주파 구형 펄스로 제거할 수 있었으며, 램프의 재점등을 위한 고전압 펄스 발생회로를 부가하였다. 실험결과로부터 본 안정기에 의해 구동되는 램프 전압과 전류는 각각 132.5 V, 7.6 A, 소비전력은 약 1,000 W이었다. 전자식 안정기의 가장 큰 이점으로 중량은 동일 용량의 자기식 안정기에 비해 약 1/5로 감소하였다.

ABSTRACT

This paper dealt with the design and fabrication of a low frequency electronic ballast for fish attracting lamps. The proposed electronic ballast was composed of a full-wave rectifier, a step down converter operated as a constant power controlled current source, an inverter operated by 130 Hz square wave, and an ignition circuit. An acoustic resonance phenomenon of discharge lamps could be eliminated by application of 130 Hz square wave. Also, a circuit of high voltage pulse generation for lamp ignition was added to the ballast. From the experimental results, voltage and current of the lamp operated by the electronic ballast were estimated 132.5 V and 7.6 A, respectively. and the power consumption was about 1,000 W. The weight of the ballast, which is one of important advantages, was reduced to one-fifth of conventional magnetic ballasts.

키워드

low frequency electronic ballast, fish attracting lamp, square wave, acoustic resonance phenomenon

I. 서 론

일반적으로 야간 집어작업에는 1~3 kW의 대용량 메탈할라이드 램프를 배 한 척당 수 십개 이상을 사용하며 방전램프의 특성상 필수적으로 사용하게 되는 안

정기도 같은 수를 사용하게 된다. 그러나 집어등용 안정기는 개 당 20 kg이 넘는 자기식 안정기를 사용하므로, 배 한 척당 수 ton의 무게 및 커다란 부피를 차지하게 된다. 이는 집어용 선박의 어획량 감소에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 유류비 및 선박 조명기기

의 유지, 보수비용을 증가시키게 된다. 이러한 기존의 자기식 안정기를 전자식 안정기로 대체하면 안정기를 소형, 경량으로 제작할 수 있기 때문에 무게 및 부피의 감소분만큼 어획량을 증가시킬 수 있으며 유류비를 크게 절감하게 된다. 그러나 이러한 대용량의 전자식 안정기는 국내 및 국외에서도 기술적, 가격 경쟁력의 어려움 때문에 실용화되지 못하고 있으며 선박 조명업체의 열악한 경제적 상황에 따라 연구개발에 대한 투자가 지극히 미약한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 소형, 경량화와 더불어 구조가 간단하고 가격이 저렴한 집어등용 전자식 안정기를 설계·제작하였다.

제한한 전자식 안정기는 130 Hz의 구형 저주파를 램프에 인가함으로써 고압 방전 램프에서 발생할 수 있는 음향공명현상을 감소시켰으며, 35 kHz의 고주파 전압을 중첩시켜 아크튜브의 진극에서 발생할 수 있는 열적 불균형을 해소하였다. 또한 강압형 컨버터를 이용하여 정전류원과 같이 동작하면서 램프에 인가되는 전력을 일정하게 제어함으로써 방전 램프에 안정한 점등 전압 및 지속적인 전류를 공급하였다. 램프의 점등은 별도의 점화기를 제작하여 1~2 kV의 고전압을 인가하였으며, 타이머를 이용하여 일정한 간격으로 재점등을 시도하는 기능을 추가하였다.

II. 전자식 안정기의 설계

2.1 안정기의 기본 구성

본 연구에서 제작한 전자식 안정기는 램프의 안정적인 전력을 공급하며, 제어기의 구조를 단순화하기 위하여 3단으로 구성하였다^{[1][2]}.

제 1단에서는 상용전원을 전파 정류하여 강압형 컨버터에 인가한다. 제 2단은 점등 초기에 램프로 인가되는 전류를 일정하게 제한하는 정전류원의 역할과 정상상태일 때 정전력 제어가 용이한 강압형 컨버터를 사용하였다. 제 3단에서는 풀브릿지 인버터 회로를 적용하여 램프로 인가되는 전압, 전류를 저주파수의 구형파로 만든다. 또한 점화기에 전압을 공급하여 초기 점등시 1~2 kV의 고전압 펄스를 발생시킨다.

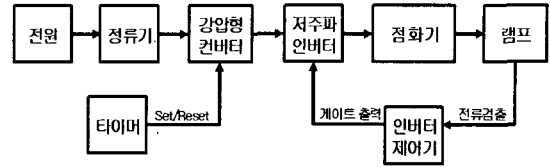


Fig. 1 Block diagram of the electronic ballast.

2.2 램프 전력 제어

정상상태의 램프 전압은 제조사, 주위 환경과 노화의 정도에 따라 수~수 십 V의 차이가 발생하게 된다. 따라서 이에 대한 안정적인 동작특성을 얻기 위해서는 정전력 제어가 필요하다. 제안한 전자식 안정기는 그림 2에서와 같이 점등 후 램프 전압의 상승에 따라 2단 구성의 전력 제어회로로 구성하였다^{[3]-[7]}.

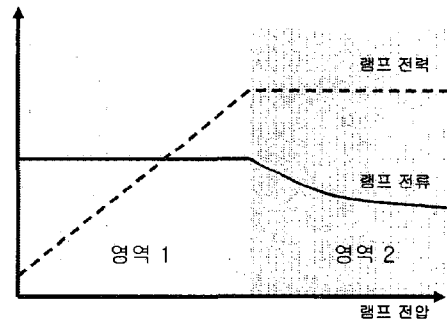


Fig. 2 Characteristics of the electronic ballast.

영역 1은 점등 후 검출저항을 통한 램프에 흐르는 전류의 피드백 신호를 기준값과 비교하여 강압형 컨버터의 스위칭 소자를 PWM 제어함으로써, 급격히 변화하는 램프 상태에 대하여 일정한 전류를 공급하는 정전류원의 동작을 수행한다. 이후 램프 전압이 정상 전압에 도달하면 영역 2의 제어신호로 전환되어 램프 전압과 전류의 피드백 신호를 이용한 정전력 제어를 수행한다.

램프의 전력을 제어하기 위해서는 램프의 전압과 전류에 대한 신호를 검출해야한다. 하지만 제안한 안정기는 램프가 풀브릿지 인버터 양단에 연결되어 있기 때문에 플로팅된 램프의 전압과 전류를 검출하는 것은 어렵고 제어가 복잡해지는 문제가 있다. 따라서 강압형 컨버터 출력 특성을 이용한 간접적인 검출방법을 사용하였다. 이는 컨버터의 인덕터를 통해 흐르는 평균 전류가 램프 전류와 동일하고, 컨버터 출력 전압의

평균 전압은 램프 전압과 동일한 특성을 이용한 것이다.

그림 3은 제안한 안정기의 강압형 컨버터 회로를 나타낸 것으로, 스위칭 소자 SW가 턴-온하면 전류는 인덕터 L를 통하여 캐패시터 C에 인가되고 SW가 턴-오프되면 다이오드 D를 통하여 L에 축적된 자기 에너지가 방출된다. 이 때 C 양단 전압은 분압저항 R₁과 R₂를 이용하여 PWM 제어IC에 피드백하고 램프 전압의 신호로 이용한다. 또한 램프의 전류는 검출저항 R_s를 통하여 L에 흐르는 전류를 간접적으로 검출하며, 이러한 전압, 전류의 피드백 신호를 기준 전력값과 비교하여 정전력 제어를 수행한다.

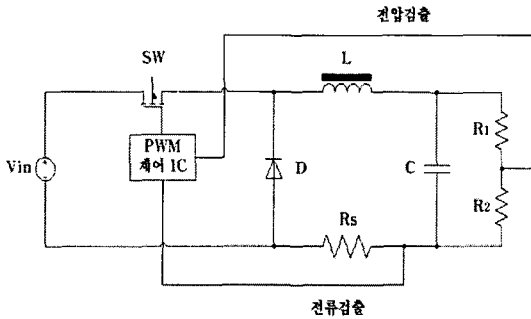


Fig. 3 Step down converter circuit.

2.3 점등 회로

그림 4는 본 연구에서 제작한 풀브릿지 인버터 및 점화기의 회로를 나타낸 것이다. 점화기는 풀브릿지 인버터 양단에 램프와 직렬로 연결되며 펄스 트랜스 1차측은 양방향 스위칭 소자인 Break over Diode에 연결된다. 풀브릿지 인버터는 SW₁, SW₄와 SW₃, SW₂가 교대로 턴-온, 턴-오프하여 130 Hz의 저주파수 구형파를 점화기 양단에 인가하며, 인버터의 반주기마다 B.O. Diode의 트리거 전압에 도달하면 도통되어 펄스 트랜스 1차측에 전류가 흐르게 된다. 이로 인하여 펄스 트랜스 2차측에 1~2 kV의 고전압이 유기되고 램프가 점등된다. 램프가 점등된 후에는 B.O. Diode 양단에는 트리거 전압보다 낮은 램프 전압만이 인가되어 도통시키지 못하므로 펄스 트랜스 1차측은 개방된 회로가 된다. 결과적으로 풀브릿지 인버터는 램프와 펄스 트랜스 2차측인 직렬 인덕턴스만이 연결된 상태가 되어 점등을 유지한다.

직렬 인덕턴스는 램프 전류의 맥동성분을 억제하는 이점이 있지만 반대로 램프에 인가되는 전압 및 전류에 대하여 필터역할을 하므로 램프에 전달되는 에너지를 감소시킬 수 있다. 따라서 펄스 트랜스 제작에 있어 2차측 인덕턴스는 점등이 가능한 최소값으로 선정해야 한다^{[8]-[10]}.

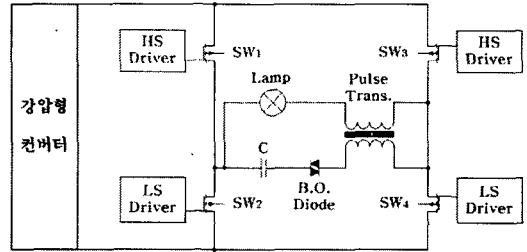


Fig. 4 Full-bridge inverter and ignition circuits.

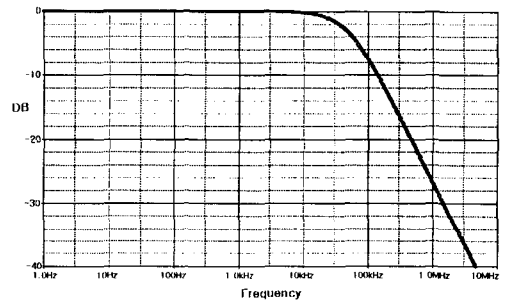


Fig. 5 Frequency characteristic of the electronic ballast after the ignition.

그림 5는 램프가 정상 상태에 도달했을 때 램프의 임피던스와 직렬 인덕턴스의 값을 이용하여 시뮬레이션한 주파수 특성 곡선이다. 차단 주파수는 36 kHz이며 그 이하 주파수에서는 감쇠가 없어 램프에 안정적인 전력을 공급함을 알 수 있다.

2.4 재점등 회로

램프가 점등되어 일정시간이 흐르면, 아크-튜브는 방전에 의하여 강렬한 빛을 방출함과 동시에 내부가 고온·고압의 상태가 된다. 이 때 순간 정전이나 일시적 소동 후 램프가 충분히 식기 이전에 재점등을 하면 파센의 법칙에 의하여 램프의 방전개시전압이 매우 높아진다. 이 때문에 자연 냉각에 의해 내부 압력이 낮아져 램프가 재점등 될 때까지 점화기는 지속적으로 램

프에 고전압을 인가하므로 램프, 스위칭 소자 및 제어 IC에 불필요한 전압 스트레스를 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 타이머를 이용하여 램프가 냉각되는 일정 시간 간격으로 재점등을 시도하도록 구성하였다.

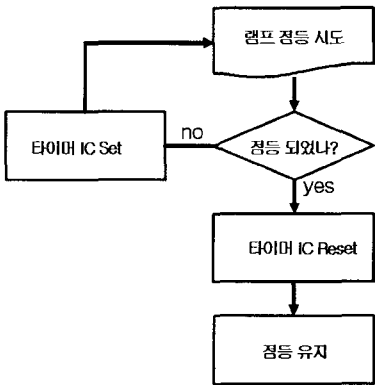


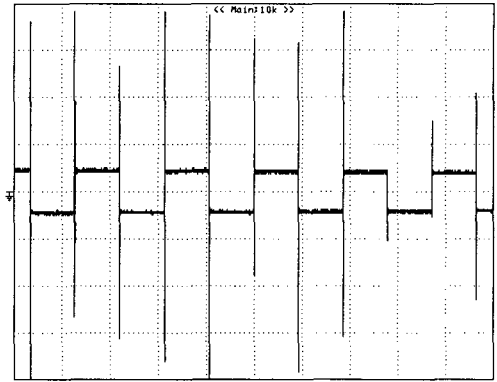
Fig. 6 Reignition process.

그림 6은 재점등 회로의 흐름도를 나타낸 것으로 램프가 정상 점등되었을 때에는 리셋 상태를 유지하다가 램프가 소등되어 램프 전류 검출저항 R_s 에 전압이 발생하지 않으면 타이머가 동작하여 일정 주기의 펄스를 강압형 컨버터 제어기의 리셋단자에 인가한다. 이로 인하여 전자식 안정기는 3.6초 동안 점등을 시도하고 만약 램프가 점등되지 않았을 때에는 2분 동안 강압형 컨버터를 정지시키는 재점등을 반복한다. 일반적인 집어등 고압 방전 램프는 5~10분 내에 냉각이 되므로 램프가 재점등되는 동안 2~5회 정도만 고전압이 인가되어 불필요한 전압 스트레스를 줄일 수 있다.

III. 실험결과 및 고찰

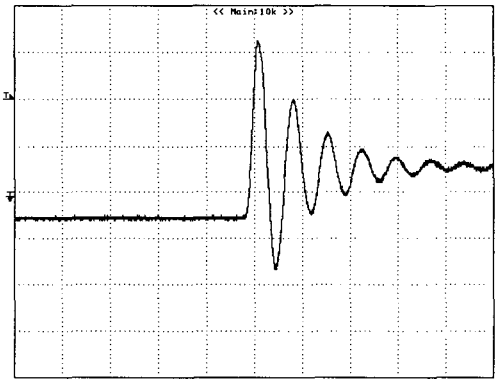
3.1 점등 회로의 출력 특성

그림 7은 1,000 W의 집어등 메탈할라이드 램프를 대상으로 실험한 초기 점등 전압의 파형이다.



[500 V/div, 5 ms/div]

Fig. 7 Output voltage waveform during the ignition



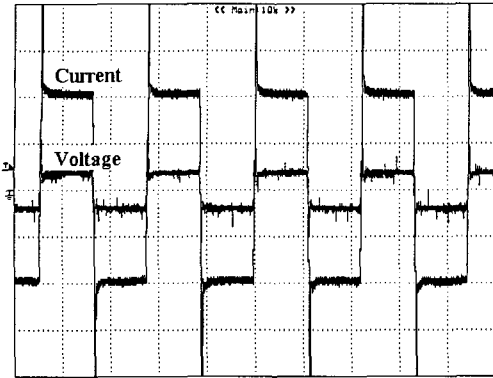
[500 V/div, 2 μs/div]

Fig. 8 Typical ignition voltage waveform.

점화기는 풀브릿지의 반주기 마다 고전압 펄스를 발생시키며, 이 때의 최대 전압은 1.96 kV로 측정되었다. 그림 8은 램프가 점등되기 직전의 전압 파형을 확대한 것으로 약 1.6 kV에서 램프가 점등되었으며, 램프가 점등된 이후에는 점화기의 B.O. Diode의 트리거 전압 이하로 램프 전압이 낮아지므로 더 이상 고전압을 발생시키지 않았다.

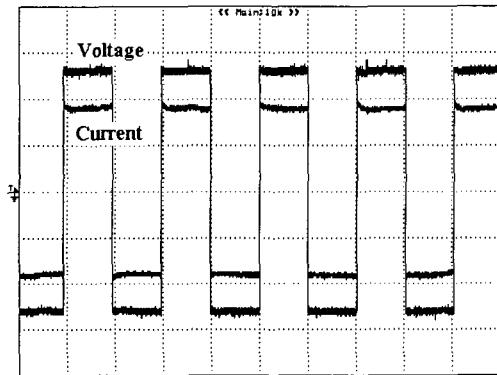
3.2 램프 출력 특성

그림 9는 점등 직후에 램프의 전압 및 전류 파형을 나타낸 것이다.



Voltage [50 V/div, 5 ms/div]
Current [4 A/div, 5 ms/div]

Fig. 9 Output voltage and current waveforms during run-up phase.



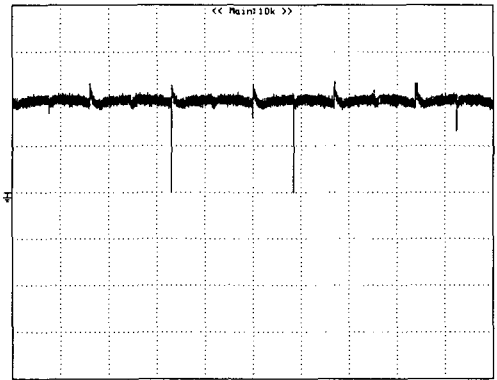
Voltage [50 V/div, 5 ms/div]
Current [4 A/div, 5 ms/div]

Fig. 10 Output voltage and current waveforms during burn phase.

그림에서 보는 바와 같이 램프 전압은 약 20 V 정도로 급격히 낮아 졌으며, 전류는 안정기의 동작에 의하여 8.3A로 제한되었다. 그러나 램프의 임피던스가 증가함에 따라 점차 감소되기는 하지만, 점등직후 램프 전류의 약 2배 정도의 높은 피크가 발생되는 문제가 있다. 이는 LC 또는 LCC 공진을 이용하는 기존의 전자식 안정기에서 나타나는 현상으로 램프와 직렬로 연결된 인덕턴스 성분에 의한 현상이다. 따라서 추후 램프가 점등되었을 때에는 직렬 인덕턴스를 단락 시키는 보조회로가 필요하다고 판단된다.

그림 10은 램프가 정상 상태에 도달했을 때의 램프 전압 및 전류 파형을 나타낸 것으로 각각의 크기는

132.5 V와 7.6 A로 측정되었다. 일반적으로 램프가 초기 점등에서 정상 상태에 도달하는 시간은 램프의 특성 및 주위 온도와 같은 여러 요인에 의하여 일정한 시간이 소요되며, 국내 KS 규격에는 약 5분 이내의 시간으로 정하고 있다. 본 연구에서 제작한 전자식 안정기는 점등부터 정상 상태에 도달하는 시간은 약 2분 정도로 이러한 요구 조건을 만족함을 확인하였다.



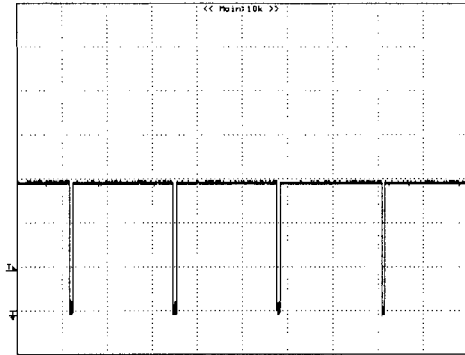
[500 W/div, 5 ms/div]

Fig. 11 Typical waveform of the lamp power.

그림 11은 램프의 전력을 오실로스코프에 내장된 연산기능을 이용하여 전압과 전류의 곱에 대한 평균값으로 계산한 파형을 나타낸 것이다. 측정된 램프의 전력은 1,005 W이며, 시간에 따라 일정한 램프 출력을 확인할 수 있다. 이처럼 램프의 출력이 항상 일정하기 때문에 플리커 현상 및 음향공명현상을 제거할 수 있으며, 램프의 광출력 또한 안정화 할 수가 있다.

3.3 재점등 회로 특성

그림 12는 순간 정전이나 재점등시 일정한 간격으로 점등을 시도하는 재점등 회로의 출력 파형이다. 재점등 회로의 타이머 IC는 그림에서와 같이 3.6초 동안 점등을 시도하여 램프가 점등되지 않으면, 약 2분 동안 강압형 컨버터를 정지시켜 전자식 안정기의 동작을 멈추게 한다. 이후 이와 같은 동작을 반복하다가 램프가 점등되면 타이머 IC가 리셋되어 전자식 안정기가 정상적인 동작을 하게 된다.



[5 V/div, 50 s/div]

Fig. 12 Typical reignition pulse waveform.

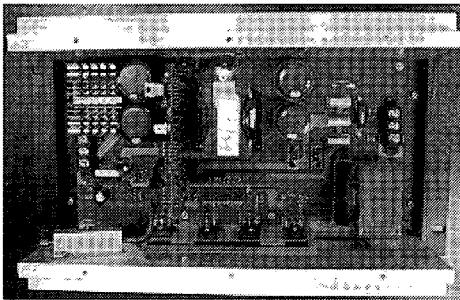


Fig. 13 Photograph of the prototype electronic ballast.

그림 13은 본 연구를 통하여 제작한 전자식 안정기의 사진을 나타낸 것으로, 자기식 대비 무게를 약 1/5 정도로 감소시켰으며 점등시 램프 전류를 일정한 값으로 제한하는 한류작용과 정전력 제어를 통한 입력전압의 변동과 램프 수명 말기에도 일정한 전력을 램프에 공급함으로써 안정한 광출력 얻을 수 있는 장점이 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 강압형 컨버터와 저주파 인버터를 이용하여 1,000 W급 집어등용 전자식 안정기를 제작하였다. 제안한 안정기는 소형, 경량화와 더불어 정전력 구동의 안정적인 동작 특성을 확인 할 수 있었으며, 결과는 다음과 같다.

- 1) 점등 회로는 양방향 스위칭 소자와 고압 펄스 트

랜스를 이용하여 구성하였고, 점등 시 최대 1.96 kV의 고전압을 램프에 인가하였다.

- 2) 강압형 컨버터의 스위칭 소자를 비교기와 PWM 제어 IC를 이용하여 램프 점등 직후 정전류원으로 동작하다가 램프가 정상 상태에 도달 하면 정전력으로 구동하는 2단의 전력 제어회로를 구성하였다.
- 3) 간단한 타이머 회로를 첨가하여 순간 정전이나 재점등시 2분 간격으로 점등시도를 하는 자동 재점등 기능을 추가하였다.
- 4) 램프가 정상 상태에 도달했을 때 램프의 전압, 전류 및 전력은 각각 132.5 V, 7.6 A와 1,005 W로 측정되었다.
- 5) 전자식 안정기의 중량은 동일 용량의 자기식 안정기에 비해 약 1/5정도로 감소하였다.

참고문헌

- [1] H. Guldner, "Principles of Electronic Ballast for Fluorescent Lamps - An Overview", Pro. of the IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, pp. 19-25, 1999
- [2] T. J. Liang, "High Frequency Electrical Circuit Model of Metal-Halide Lamp", Pro. of the IEEE Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp. 1163-1167, 1998
- [3] Reatti A, "Low-cost high power-density electronic ballast for automotive HID lamp", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 15, No. 2, pp. 361-368, 2000
- [4] Benyaakov S, "Design and Performance of An Electronic Ballast for High-Pressure Sodium (HPS) Lamps", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 4, pp. 486-491, 1997
- [5] Kaiser W, "Hybrid Electronic Ballast Operating The HPS Lamp At Constant Power", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 34, No. 2, pp. 319-324,

1998

- [6] 김기정, 박종연, “메탈할라이드 방전관 내의 음향 공명을 감소시킨 전자식 안정기 설계”, 전력전자학회 논문지, 제4권, 제5호, pp. 405-412, 1999.
- [7] Ichirou Oota, “A High Efficiency Power Control Circuit for Metal Halide Lamp”, Pro. of the IEEE Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp. 1168-1173, 1998
- [8] J. M. Alonso, “A Comparison of LCC and LC Filters for its Application in Electronic Ballast for Metal-Halide Lamps”, Pro. of the IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, pp. 114-119, 2001
- [9] Christian Branas, “Electronic Ballast for 250W HPS Lamps Based on LCC Resonant Inverter with Soft Start-up and Quasi-Optimum Control”, Pro. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 2, pp. 768-773, 1999
- [10] H. Kakehashi, “HID-Lamp Igniter Using A Two-Stage Magnetic-Pulse-Compression Circuit”, Pro. of the IEEE Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp. 1174-1178, 1998

저자소개

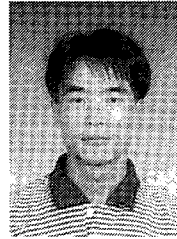
길경석(Gyung-suk Kil)



1984년 2월 인하대학교 전기공학과 공학사
 1987년 8월 인하대학교 전기공학과 공학석사
 1996년 2월 인하대학교 전기공학과 공학박사

1996년 4월 - 현재 : 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측, 전력설비 열화진단기술



김일권(Il-kwon Kim)

1997년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학사
 2001년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학석사
 2001년 3월 - 현재 한국해양대학교 전기 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측, 전력설비 열화진단기술, 고압 방전램프용 전자식 안정기



송재용(Jae-yong Song)

1997년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학사
 1999년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학석사
 1999년 3월 - 현재 한국해양대학교 전기 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측, 전력설비 열화진단기술



한주섭(Joo-seop Han)

1997년 2월 부경대학교 제어계측공학과 공학사
 1999년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학석사
 2003년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학박사

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측, 피뢰기 열화진단기술



신광철(Gwang-chul Shin)

1987년 2월 울산대학교 전기공학과 공학사
 2005년 3월 - 현재 한국해양대학교 전기 전자공학과 석사과정
 1994년 7월 - 현재 : 태양에너지니어링 대표

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측