

세라믹 메탈할라이드 램프 아크튜브 구조에 따른 광학적 특성

論文

57-12-18

Optical Properties with Arc Tube Structure of Ceramic Metal Halide Lamps

李主煥*·梁種璟**·金南君*·張赫晉*·朴大熙†
(Joo-Ho Lee · Jong-Kyung Yang · Nam-Goon Kim · Hyeok-Jin Jang · Dae-Hee Park)

Abstract – High intensity metal halide discharge lamp performance, specifically the generated luminous flux and light color content, depends critically on the arc tube design. Factors influencing the design and consequent lamp efficacy include : lamp size, geometry, arc tube composition, fill chemistry, electrode design and excitation modes. Shaping of Polycrystalline Alumina(PCA) can be realized by conventional ceramic processes. Several processes are applied nowadays. Well-known in the ceramic high pressure field for decades are the pressing and the extrusion method. Newly developed slurry and precious forming technologies give the one-body seamless tubes, which improve thickness uniformity and lighting performance. Now, we reported some optical properties with different arc tube structures of ceramic metal halide lamps.

Key Words : High intensity discharge, Ceramic arc tube, Metal halide lamp

1. 서 론

실용적인 백열전구를 에디슨이 1879년에 개발한 이래 127년이 경과하였다. 그 동안 전구류는 큰 발전을 계속해, 형광램프, HID램프, 할로겐 램프 등으로 발전하고, 그 사용분야도 확대되고 있다. HID(High Intensity Discharge)램프는 수은램프, 메탈할라이드 램프 및 고압 나트륨램프의 총칭으로, 그 특징은 고광속, 고효율, 고휘도, 장수명으로 주로 옥내 조명용 및 옥외 광역 조명용으로 사용되고 있지만, 최근에는 조명용 이외에 프로젝터용 등의 분야에도 확대되어 많은 분야에서 사용되고 있다[1].

HID 램프중에 메탈할라이드 램프는 1960년대 전반에 걸쳐 개발 된 램프로, 석영으로 만들어진 아크튜브 내에 첨가되는 메탈할라이드 화합물의 종류와 양의 변화를 통해 고압수은램프에서 가지지 못했던 다양한 특성변화를 나타낼 수 있는 장점이 있다. 하지만, 램프의 점등시간이 지남에 따라 아크튜브 내에 함유된 메탈할라이드 화합물의 성분변화 등으로 램프의 수명 단축 및 안정적인 특성을 보이지는 못하였다[2][3]. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에 아크튜브의 재료로 세라믹을 사용하는 세라믹 메탈할라이드 램프가 개발되었다. 세라믹은 석영과 비교하여 높은 관벽 온도에 견딜 수 있다. 이것으로 인하여 높은 중기압을 갖는 메탈할라이드 화합물을 사용 할 수 있어 결과적으로 높은 효율과 연

색성을 얻을 수 있다[4][5]. 세라믹 아크튜브는 형상으로 실린더타입, 원형타입, 타원형타입으로 나눌 수 있고, 성형방법에 따라 5부품, 3부품, 일체성형품 등으로 나눌 수 있다. 아크튜브의 형상에 따라서 튜브내의 온도분포, 대류, 아크의 온도분포의 제어가 가능하고, 초특성, 점등방향에 따른 배광특성이 개선될 수 있다[1].

본 논문은 좀 더 효율적인 세라믹 메탈할라이드 램프의 개발을 위해 세라믹 아크튜브의 구조적인 차이에 대한 광학적인 특성을 확인해보았다.

2. 본 론

2.1 아크튜브의 개요 및 제조

실린더타입의 아크튜브는 1994년 처음으로 실용화되었다. 원통형의 발광부 본체에 플러그와 캐피러리를 조합시킨 뒤, 고온하에서 소결과 고상화산접합을 동시 진행시켜, 상호 고온에서 끼운 상태로 기밀성을 확보하는 구조이다. 아크튜브의 구성에 따라 발광관, 플러그, 캐피러리로 되어있는 5 pieces 형과, 플러그와 캐피러리가 일체화 되어있는 3pieces 형으로 분류되어진다. 그림 1에 아크튜브의 구조를 나타내었다[6].

발광부 본체는 드라이백법, 혹은 압출법으로 성형되어진다. 드라이백 성형은 원료분말을 고무형으로 충전하고, 주로 두께 방향에 압력을 인가해서 고밀도 성형체를 얻는 방법이고, 압출성형은 원재분말에 유기 바인더를 혼합시킨 가소성의 재료를 금형에서 압출해 형상부여를 하는 방법으로, 일반적으로 단면형상이 일정한 부품의 성형에 사용된다. 또 타원형타입같이 발광관 중앙부를 확대시킨 경우에는 블로우 성형법을 사용해 성형하고 있다. 이것은 고압에어를 내부에

* 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 碩士課程

** 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 博士課程

† 教授 저자, 終身會員 : 圓光大學校 教授 · 工博

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr

接受日字 : 2008年 10月 8日

最終完了 : 2008年 10月 20日

불어넣어 발광관 중앙을 확대시켜 모양을 만들고, 플러그나 캐퍼리리와 조합시킨 뒤, 소결집합기술에 의해 기밀접합한다. 플러그는 가압축방향에 단척 형상이기 때문에 메카프레스법에 의해 성형하고 있다. 이 방법은 프레스 금형을 사용해 원료분말을 가압 압축하는 방법으로, 세라믹의 성형법으로서는 가장 간단한 방법이다[6][7][8].

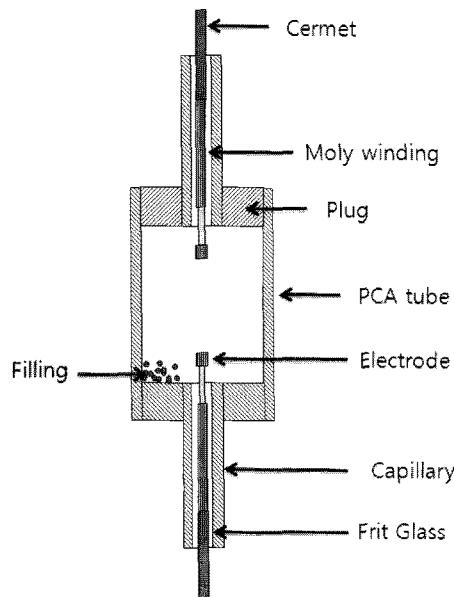


그림 1 아크 투브의 구조
Fig. 1 Arc tube structure

2.2 형상에 따른 빛의 분포

아크튜브의 형상은 크게 3가지 실린더 타입, 원형 타입 그리고 타원형 이렇게 나누어져 있다. 또한 PCA의 제조법의 차이에 따른 5부품, 3부품, 일체 성형품으로 나누어진다. 그림 2에 여러 가지 형태와 크기의 아크튜브 모형을 나타낸다[1].

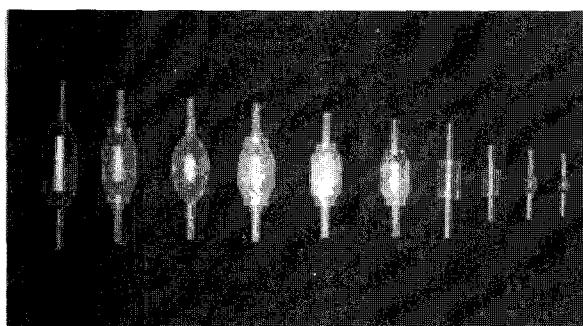


그림 2 아크튜브의 형상과 크기(20W ~ 400W)
Fig. 2 Size and shape of the ceramic arc tube
(20W ~ 400W)

이렇게 크기와 형태가 다른 아크튜브에서의 빛의 분포를 살펴보면, 실린더 타입의 경우 결합부위의 세라믹 두께가 두꺼워져 세라믹 두께가 일정하지 않아, 양쪽 끝 부분에서 빛

이 통과하지 못하고 흡수되어진다. 이로 인해 전체적으로 아크튜브를 통해 나오는 빛이 일정하지 못하다. 반면에 원형 타입의 아크튜브를 살펴보면, 세라믹의 두께가 일정하여 보다 높은 방전온도를 가질 수 있고, 전체적으로 고르게 빛이 나오는 것을 알 수 있다. 그림 3에 그 모습을 나타내었다.

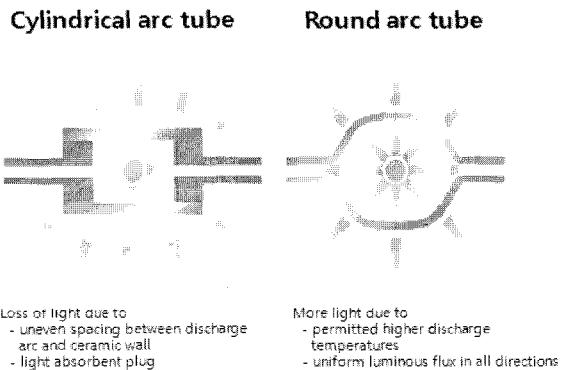


그림 3 아크튜브의 형상에 따른 빛의 분포

(원형 타입, 실린더형 타입)

Fig. 3 Light distribution of arc tube shaping
(Round type, Cylindrical type)

2.3 샘플 및 실험방법

실험에 사용된 샘플은 그림 4와 같다. 현재 조명시장에 출시된 대표적인 CDM램프를 선택하였다. 크게 구분지어서 원형과 실린더 형태로 나눌 수 있고, 실린더 형태는 다시 구조의 차이로 분류 할 수 있다. 원형 타입은 가로*세로 12.50*12.20 으로 거의 원형에 가깝고, 실린더 타입은 각각 13.22 mm, 13.67 mm 로 원형보다 약간 큰 구조를 가지고 있다. 원형 타입은 두 개의 원형 바디를 반으로 조개어 결합한 구조를 가지고 있다. 양 끝 쪽에 모세관과 일체화된 형태로 튜브 전체적으로 동일한 관벽의 두께를 가지고 있다. 실린더 타입은 바디 부분과 양쪽 모세관의 3부분으로 나눌 수 있다. 튜브 결합시 바디와 모세관을 열을 가해 결합이 이루어져야 하기 때문에 양끝이 바디 중앙에 비해 두꺼워진다. 이 부분에서 열로스가 크고, 세라믹 아크튜브의 이점을 최대한으로 살릴 수 없는 문제가 있다.

램프전원은 150W 전자식 안정기를 사용하였고, 적분구시스템(Lighting Measure System)은 램프의 광학적 특성을 측정하기 위한 적분구와 램프에 전력을 인가하고 광속, 스펙트럼, 색온도, 연색성 등을 기록하는 전원부로 나눌 수 있다. 광원 소스는 적분구의 중앙에 매달리게 되고, 내부에 데이터를 받아들이는 센서가 부착되어 있다. 적분구 내부는 광원에서 나오는 빛을 흡수 없이 최대한 받아들이기 위해서 바륨이 도포 되어있다. 전원부는 220V, 60Hz의 파워 서플라이와, 광속과 소비전력을 측정하는 멀티미터 그리고 스펙트럼 분석기가 있다. 전광속의 측정은 램프 전력 인가 후 20분의 안정화 시간을 갖고 광속유지율을 측정한다. 최종적인 전광속은 안정화 이후 적분구 내부의 온도가 램프의 발열에 의해 실제 광속보다 높게 측정되기 때문에 15분 동안 문을 Open시켜 실내온도와 같게 한 후 측정하였다.

Goniophotometer는 본체부분과 센서 부분으로 나누어지는데, 먼저, 본체부분과 컴퓨터, PICOAMMETER를 RS232 케이블을 이용하여 연결시켜준다. 센서를 통해 들어오는 데이터를 PICOAMMETER에서 수치화 하고, 프로그램을 통하여 엑셀로 저장이 된다. 지그에 측정할 시료를 Horizontal로 고정시키고, 이때 본체 아래쪽에서 레이저가 조사되는데 측정될 시료의 중심축의 끝이 레이저에 오도록 위치시켜준다. 측정 각은 시스템의 측정 한계가 $-135^\circ \sim 135^\circ$ 로 제한되어있어, X축으로 중심축을 기준으로 $-135^\circ \sim 135^\circ$ 까지 측정하였다.

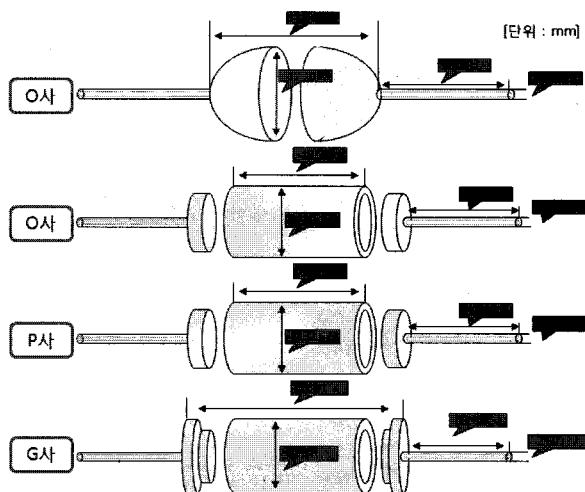


그림 4 시료의 아크튜브 형태

Fig. 4 Arc tube of test sample

3. 결과 및 고찰

그림 5는 각각의 램프를 Horizontal로 위치시키고 중심축을 기준으로 배광분포를 나타낸 그래프이다. 90° 부근이 아크튜브의 옆면에서 발광하는 빛이고 0° 가 아크튜브의 중심에서 발광하는 빛을 센싱한 그래프이다. 원형타입의 경우 0° 인 중심축에서의 Intensity가 4정도 까지 분포 되있는 것을 볼 수 있고, 실린더타입의 경우 Intensity가 2정도 되는 것을 확인 할 수 있다. $-135^\circ \sim 135^\circ$ 사이의 배광분포를 측정하였는데 -120° 와 120° 근처에서 나오는 이유는 램프를 잡고 있는 지그의 크기 때문에 방사되는 빛을 센싱하지 못하기 때문이다. 원형타입의 배광분포를 살펴보면 실린더타입과 비교 했을 때 $0^\circ \sim 60^\circ$ 사이의 Intensity가 강한 것을 볼 수 있다. 이것은 원형타입의 경우 아크튜브를 만들 때 플리그와 바디부분의 일체형으로 세라믹의 두께가 일정하여 아크튜브안의 방전온도가 고르게 분포하고, 그로 인해 전체적으로 세라믹을 통한 빛의 분포도 고르게 나타난다.

실린더 타입의 분포를 보면 아크튜브의 옆면에서 발광하는 90° 부근에만 집중적으로 빛이 분포 되있는 것을 볼 수 있다. 0° 인 중심축에서의 Intensity가 $30 \sim 50$ 까지 분포 되 있는 것을 볼 수 있고, 원형 타입과 비교해 볼 때 $30^\circ \sim 60^\circ$ 사이의 빛의 분포가 약한 것을 알 수 있다. 이것은 실린더 타입의 경우 결합시 바디와 플리그를 열을 가해 결

합이 이루어져야 하기 때문에 양끝이 바디 중앙에 비해 두꺼워진다. 이 부분에서 열 로스가 크고, 세라믹 아크튜브의 이점을 최대한으로 살릴 수 없는 문제가 있다. 그로인해 아크튜브안의 방전온도도 일정치 않고, 발광되는 빛도 세라믹 양쪽 끝 부분에서 방사되지 못하고 흡수되는 결과를 가져온다.

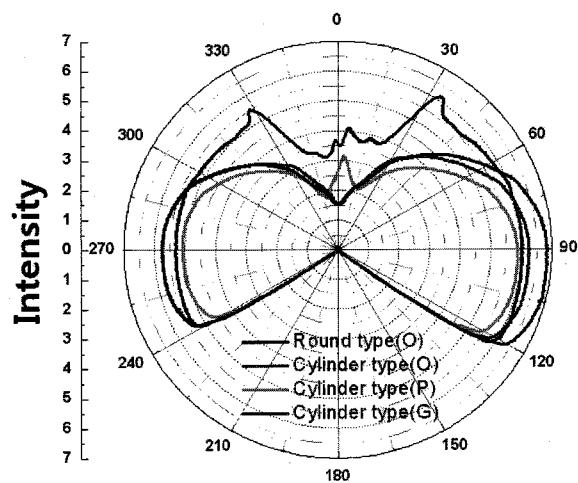


그림 5 아크튜브 모양에 따른 배광분포

Fig. 5 Light distribution with arc tube shaping

그림 6은 아크튜브 모양에 따른 광속유지율을 나타낸 그레프이다. 원형타입 아크튜브가 시간에 따른 안정화 시간도 빠르고 광속 유지율도 높게 나타남을 알 수 있다. 원형타입은 약 16,000[Im]에서 2분 후에 안정화 되었다. 실린더타입의 경우 약 15,000[Im]에서 안정화 값을 갖고, 약 3분 정도의 안정화 시간을 가졌다. 앞에서 언급했듯이 원형타입 아크튜브의 경우 균일한 벽두께로 인해 튜브내의 방전 온도가 균일하고, 내부 화합물의 증기압도 일정하게 분포하여 같은 전력을 인가했을 때 실린더타입보다 전체적으로 빛의 방사가 증가하여 높은 광속유지율을 나타냄을 확인 할 수 있었다.

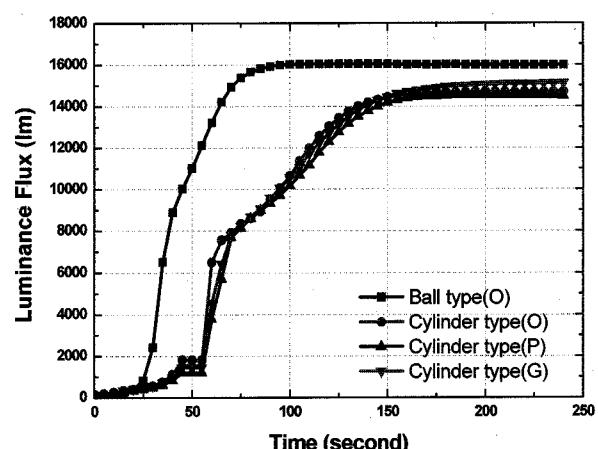


그림 6 아크튜브 모양에 따른 광속유지율

Fig. 6 Luminance flux run-time with arc tube shaping

그림 7은 각각의 아크튜브의 효율과 연색성을 나타낸 그라프이다. 효율의 경우 원형타입이 광속유지율이 가장 높았던 것과 마찬가지로 같은 전력에서 효율도 원형타입이 95.5 [lm/W]로 가장 높게 나타났다. 다른 실린더타입은 90 [lm/W] 근처의 값을 나타내었다.

연색성의 경우 원형타입에서 96.6 [Ra]를 나타내었고, 실린더 타입에선 97.2 [Ra], 97.4 [Ra], 94.2 [Ra] 연색지수를 나타내었다. 원형타입의 경우 95.5 [lm/W]의 고효율과, 96.6 [Ra]의 고연색성을 동시에 가지고 있어, 일반적으로 효율과 연색성은 상반관계에 있다는 사실을 넘어 발전된 것을 확인 할 수 있었다.

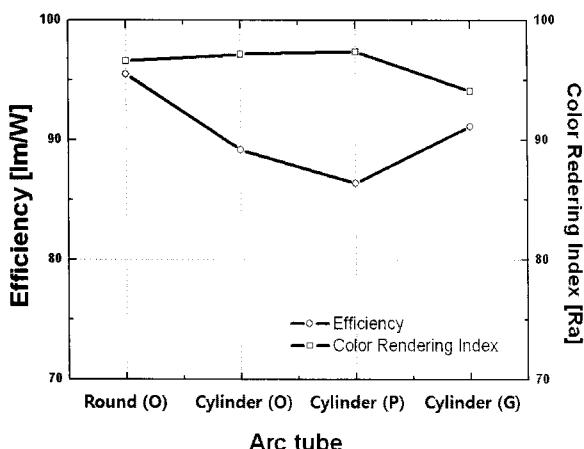


그림 7 아크튜브 모양에 따른 효율과 연색성

Fig. 7 Efficiency and CRI with arc tube shaping

4. 결 론

본 논문은 좀 더 효율적인 세라믹 메탈할라이드 램프의 개발을 위해 세라믹 아크튜브의 구조적인 차이에 대한 광학적인 특성을 확인해보았다.

1. 원형타입의 배광분포를 살펴보면 실린더타입과 비교했을 때 $0^\circ \sim 60^\circ$ 사이의 Intensity가 강한 것을 볼 수 있다. 이것은 원형타입의 경우 아크튜브를 만들 때 플러그와 바디의 일체형으로 세라믹의 두께가 일정하여 아크튜브안의 방전온도가 고르게 분포하고, 그로 인해 전체적으로 세라믹을 통한 빛의 분포도 고르게 나타난다. 실린더 타입의 분포를 보면 $30^\circ \sim 60^\circ$ 사이의 빛의 분포가 약한 것을 알 수 있다. 이것은 플러그와 바디의 결합 부위에서 세라믹의 두께가 일정치 않아, 아크튜브안의 방전온도도 일정치 않고, 그로인해 발광되는 빛도 세라믹 양쪽 끝 부분에서 방사되지 못하고 흡수되는 결과를 확인 할 수 있었다.

2. 원형타입 아크튜브가 시간에 따른 안정화 시간도 빠르고 광속 유지율도 높게 나타남을 알 수 있다. 원형타입은 약 16,000[lm]에서 안정화 값을 가지고, 2분이라는 짧은 시간안에 안정화된다. 실린더타입의 경우 약 15,000[lm]에서 안정화 값을 갖고, 약 3분이 되어서야 안정화 시간을 갖는다. 앞에서 언급했듯이 원형타입 아크튜브의 경우 균일한 벽두께로 인해 튜브내의 방전 온도가 균일하고, 내부 화합물을

의 증기압도 일정하게 분포하여 같은 전력을 인가했을 때 실린더타입보다 전체적으로 빛의 방사가 증가하여 높은 광속유지율을 나타냄을 확인 할 수 있었다. 일반적으로 연색성은 80 [Ra]이상이 되면 좋다고 평가 할 수 있다. 연색성의 경우 원형타입에서 96.6 [Ra]를 나타내었고, 실린더 타입에선 97.2 [Ra], 97.4 [Ra], 94.2 [Ra] 연색지수를 나타내었다. 원형타입의 경우 95.5 [lm/W]의 고효율과, 96.6 [Ra]의 고연색성을 동시에 가지고 있어, 일반적으로 효율과 연색성은 상반관계에 있다는 사실을 넘어 발전된 것을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 에너지 관리공단에서 지원하는 에너지·자원 기술개발사업과 .Post BK21 “IT 광전자소자 및 부품연구인력 양성사업팀”의 지원에 의해 작성되었습니다.

참 고 문 현

- [1] Katsuyoshi Naruse, "Shipping Trend of Ceramic Metal Halide Lamps", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 90 No. 1, pp. 13-16, 2006
- [2] Honda Jiro, "Technical Review on the Ceramic Metal Halide Lamps", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 90 No. 1, pp. 10-12, 2006
- [3] 신상숙, 이세현, 조미령, 황명근, 이도영, 양승용, 신현정, 김진모, “세라믹 메탈할라이드램프의 광학적 특성에 대한 분석”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, 2006.11.3
- [4] G. G. Lister, J. E. Lawler, W. P. Lapatovich and V. A. Godyak, "The physics of discharge lamps", Rev. Mod. Phys., Vol. 76, No. 2, April 2004
- [5] The U.S. Department of Energy, "High Intensity Discharge Lighting Technology Workshop Report", Washington DC, November 15, 2005
- [6] Keiichiro Watanabe, Tsuneaki Ohashi, "Tube Material Properties and Latest Technologies for Ceramic Metal Halide Lamps", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 90 No. 1, pp. 41-45, 2006
- [7] Nanu Brates, David Goodman, Jakob Maya, "Salt-frit reactions in ceramic metal halide lamps", Toulouse, France : Georges Zissis, Proceedings of the Tenth International Symposium on the Science & Technology of Light Sources, Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 501, 2004
- [8] Theo G, Kappen M M, "Ceramic metal halide lamp : a world of light", Toulouse, France : Georges Zissis, Proceedings of the Tenth International Symposium on the Science & Technology of Light Sources, Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 43-52, 2004

저자 소개



이주호 (李主煥)

1980년 6월 1일생. 2007년 2월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업.
2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 석사과정.
Tel : 063-850-6349
Fax : 063-857-6890
E-mail : jooho8061@naver.com



양종경 (梁種璣)

1980년 1월 13일생. 2001년 8월 원광대학교 공대 전기전자공학부 제어계측 졸업.
2006년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 박사과정
Tel : 063-850-7023
Fax : 063-850-7022
E-mail : duck2214@wonkwang.ac.kr



김남군 (金南君)

1981년 7월 21일생. 2007년 2월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업.
2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 석사과정
Tel : 063-850-6349
Fax : 063-857-6890
E-mail : kng3402@naver.com



장혁진 (張赫晉)

1980년 5월 8일생. 2005년 8월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업.
2008년 현재 원광대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정
Tel : 063-850-6349
Fax : 063-857-6890
E-mail : jdk011@naver.com



박대희 (朴大熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공박). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수. 2004년~현재 원광대학교 전기응용신기술연구센터 소장
Tel : 063-850-6349
Fax : 063-857-6890
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr