

# 조명광원으로서의 LED

김 훈 <강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수>

## 1. LED의 현황

발광 다이오드(light emitting diode, LED)는 고체 발광소자로서 일반 전자기기의 표시등이나 숫자 표시에 사용됨으로써 우리생활과 친숙해졌다. 초창기에는 휘도가 낮고 광색의 한계가 있었으나 현재 새로운 LED 원재료가 개발되고 생산기술이 진보함에 따라 백색을 포함한 가시광선 영역에서 모든 색깔의 고

휘도 LED가 생산되고 있다. LED는 긴 수명, 낮은 소비전력, 높은 신뢰성 등 많은 장점을 갖고 있어서, 물체를 비추는 일반 조명 용도로는 아직 부족하지만 주로 신호용으로서 표지판의 소형전구 대체, 칼라 스캐너용, LCD 백라이트용 등에서부터 옥외의 교통 신호등, 차량의 각종 표시등, 항공유도등, 대형 전광판에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다.

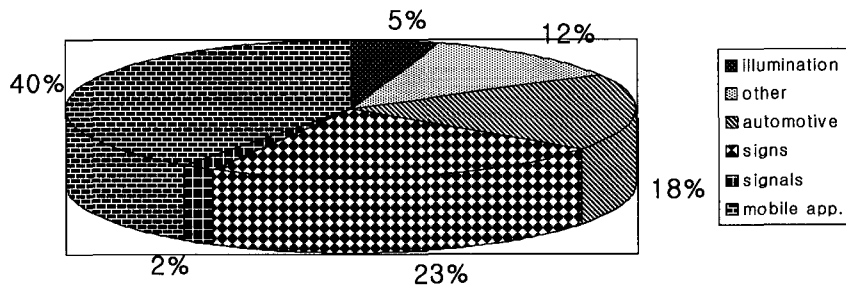


그림 1. LED 사용 분야와 비중

그림 1은 현재 LED가 사용되고 있는 분야와 그 비중을 도표로 나타낸 것이다. 대부분의 응용분야가 백

열전구가 적용되고 있던 것을 대체하는 형태이나, 앞으로는 백열전구 대체용 뿐 아니라, 특히 모든 광색의

발광이 가능하다는 점에서 크게 주목받을 것으로 전망되며, 이는 기존의 백열전구에 비해 시인성의 향상, 에너지 절감, 높은 광학적 효율, 수명 및 신뢰성 차원에서 우수한 점 등을 활용한 것이다.

LED는 그 광도와 광색에 의해 분류되며, 광도는 최대 광도의 1/2 광도로 되는 폭을 나타내는 빔 각에 의해, 광색은 우세 파장(dominant wavelength)에 의해 규정된다. LED 광도의 측정은 매우 어렵고 제품의 편차가 비교적 크므로 측정 및 제품 개발 과정에서 유의하여야 한다.

LED를 일반 조명용으로 이용하기 위해서는 백색 LED의 개발이 필수적이다. 현재 조명용으로 사용될 가능성이 높은 백색 LED는 발광 원리에 따라 3 가지로 구분된다.

- ① 3 chip LED (Red, Green, Blue 3 LED의 조합에 의함)
- ② 1 Blue LED에 Yellow(또는 Green + Red) 형광체를 넣음.
- ③ 자외선(UV) 발광 LED 내에 형광물질을 넣음 (형광램프와 같은 원리)

시각적으로 결합이 있는 사람들은 ①의 방법을 이용할 경우 광색을 백색으로 보기 어렵다는 문제가 있다.

LED는 구동전류를 감소시켜 최대 광도의 10%까지 조광이 가능하다. PWM(pulse width modulation)을 이용하면 0.05%까지의 조광이 가능하여 주로 이용된다. LED는 광원의 크기가 작으며 수명이 길고 점등, 소등속도가 매우 빠르다. 또한 가스와 필라멘트 등을 사용하지 않으므로 충격에 강하고 안전하며 환경오염이 적다. 이러한 장점 때문에 LED의 효율을 향상시켜 일반 조명용으로 사용하려는 연구에 투자가 집중되고 있으며, 수년 내에 이러한 목표가 달성되면 조명 시장에 큰 변화를 가져올 것으로 기대된다.

## 2. LED는 좋은 조명광원이 될 수 있는가?

조명은 인간 생활에 직접적으로 적용되는 것으로서 물이나 공기와 같이 생활환경을 구성하는 중요한 요소이다. 따라서 조명에 사용되는 광원이나 조명기구들은 모두 인간의 심리와 생리를 반영하여 적절한 환경을 구성하도록 제작되어있다. 따라서 새로이 광원이나 조명기구를 개발할 때에는 이러한 환경 구성에 적합한 형태가 될 수 있는지에 대한 검토가 선행하여 수행되어야 한다.

LED는 기본 구성재료가 반도체이고, 제조공정이나 제조기계가 종래의 광원과는 크게 다르며, 제조회사와 제조 사업체가 기존의 광원제조회사와 다르다. 이러한 이유 때문에 LED를 연구 개발하거나 제작하는 그룹과 일반 조명기기 제작업체 사이에서는 의사소통이 거의 없는 상태라고 할 수 있다.

그림 2에서 보듯이 효율 측면에서 광원 개발의 역사를 살펴보면 최초의 전기에너지를 사용하는 광원으로서 백열전구가 개발되었고, 그 이후 각종의 램프가 개발되어 효율 향상과 사용의 편리함을 도모해왔던 것을 알 수 있다.

지난 100여년간 많은 광원이 개발되고 그중 일부는 적극적으로 사용되었으나 초기의 기대와는 달리 사용이 극히 미약한 광원도 있었다. 현재 LED를 일반 조명광원으로서 사용하는데 있어 실패하리라고 의심을 품는 사람은 거의 없으나, 이런 시기일수록 일반 조명용 광원으로서 갖추어야 할 요소는 무엇인지, 그리고 어떠한 준비가 필요한지 파악하여 차근차근 준비를 해두어야 할 때라고 생각된다.

현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 광원들도 초기에는 신평원이었다. HID램프라고 일컬어지는 고압수은램프, 고압나트륨램프, 메탈헬라이드 램프는 그 크기 및 형태가 거의 유사하며 단지 효율이나 연색성이 개선된 것이므로 사용자가 고압수은램프 대신 고압나트륨이나 메탈헬라이드 램프를 사용하려고 한



물론 “시각 대상물을 용이하게 볼 수 있게 하는 조명”이라는 측면에서 조도가 적절히 높다는 것은 가장 중요한 척도이며, 특히 아직도 조도 기준이 다른 선진국에 비하여 상당히 낮은 우리나라로서는 더욱 개선하여야 할 여지가 있는 것이 분명하다.

그러나 근래에 들어 “잘 볼 수 있다”라는 측면에는 조도 뿐 아니라 다른 요소들도 조도만큼이나 영향을 주고 있다는 점이 알려지고 있다. 예를 들자면 미국의 조도기준은 최초 성립된 이래 추천조도 값이 계속 상승하여 왔으나, 2000년도에 개정된 조도기준에서는 이른바 “글레어”를 없애는 것을 전제로 오히려 조도가 하향 조정된 것을 알 수 있다.

또한 실용적인 조명 외에도 “쾌적성이나 분위기를 고려한 조명”, 또는 “시설물을 돋보이게 하는 조명” 등 다양한 요구조건의 조명이 있으며, 이러한 점 때문에 좋은 조명이 되기 위해 고려하여야 할 요소는 매우 다양하다.

근래 조명에서 고려해주는 요인들은 다음과 같다.

- (1) 조도 - 조도기준은 조명시스템의 전체 수명 중에 유지하여야 할 최소 기준
- (2) 조도(휘도) 균제도 - 시각 대상물 뿐 아니라 그 배경, 주변 등도 주어진 범위 내의 밝기를 유지하여야 한다는 것
- (3) 글레어 - 조명으로 인해서 발생하는 시각의 문제
  - 직접 글레어
  - 반사 글레어
  - 광막 반사

- (4) 음영 - 도움이 되는 그림자와 방해가 되는 그림자
- (5) 광원색과 연색성

(6) 경제성 - 구입 설치비 뿐 아니라 전기요금, 유지 보수비 등을 포함하여 종합적으로 경제적인 것  
일반적으로 조도만을 문제로 할 때에 가장 효율적인 조명방식은 천장에 매입한 조명기구에 아무런 차광장치를 하지 않고 배광을 주로 바닥 쪽으로 한 것으로서 우리나라나 일본의 조명방식은 대개가 이런 방식을 택하고 있다. 그러나 이러한 조명방식은 글레어가 매우 심하므로 조명 엔지니어들은 그림 3에서와 같이 글레어를 발생시키는 연직각 60~90° 사이의 배광을 없앨 수 있도록 루버를 사용하였다.

하지만 이러한 조명방식도 벽의 위쪽이나 천장이 어둡고 연직면 조도가 보장되지 않으며, 이에 따라 사람의 얼굴이나 책장과 같은 연직면들이 어둡게 보이고 인체가 실루엣으로 보이는 문제가 나타났고, 근래에는 간접조명방식이 선호되고 있는 양상이다. 즉 과거에는 효율 낮은 배광이라하여 실용적인 조명에서는 기피되었던 간접성분 배광도 큰 의미를 갖게 된 것이다.

작업면에서의 수평면조도보다도 마주보는 사람이나 천장면, 벽 상부의 밝기가 주는 전체적인 인상과 밝은 느낌, 글레어 등이 더욱 중요하게 평가되는 것이다. 광원 자체의 빔각이 작아서 그 배광을 의도적으로 조정하여야 하는 LED를 조명용으로 사용하기 위해서는 반드시 고려하여야 할 사항이다.

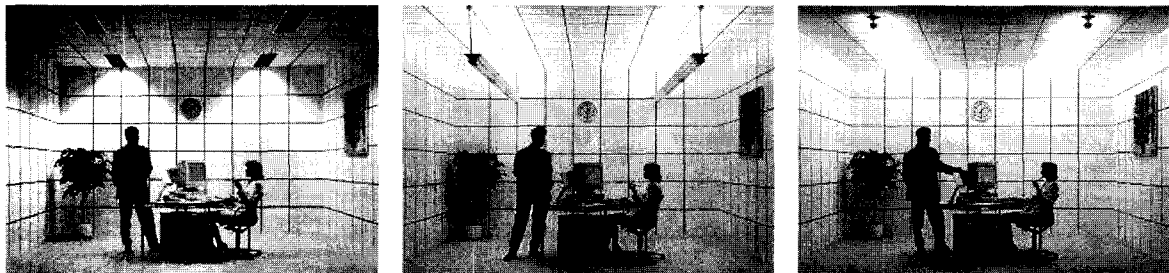


그림 3. 여러 조명방식과 실내의 인상

신호용 광원은 특정 방향으로의 광도가 충분하고, 그 광도가 어느 정도의 범위로 유지되느냐 하는 것이 성능을 나타내는 지표가 된다. 즉 신호라는 것은 그것을 관찰자가 봄으로서 신호가 가지고 있는 의미를 파악하게 하는 것이며, 신호광원이 적절한 광도를 갖는다는 것은 먼 거리에 있는 관찰자의 망막에 시각세포가 감지할 수 있는 정도의 조도를 발생시킨다는 의미를 갖고 있으며, 신호의 종류에 따라서 엄격하게 규정되어야 하는 것이다.

조명용 광원은 광도보다는 광속에 의해 그 성능이 규정된다. 앞서서도 설명하였다시피 조명용 광원은 시각대상물에 높은 조도를 제공하는 것만이 아니라 필요 없다고 생각되는 공간에도 어느 정도의 빛을 제

공해주어야 한다. 이에 따라서 현재의 조명용 광원은 사방으로 빛을 골고루 내는 형태가 일반적이다.

이러한 이유로 현재 LED를 일반조명용으로 사용하는 경우에는 그림 4에서 볼 수 있듯이 요구되는 광속이 적고 배광이 제한되어 있는 용도에 한정되고 있다. 대개 소형의 스탠드나 계단등과 같은 조명기구는 엄밀한 배광 제어가 요구되면서 작은 면적을 조명하므로 백열전구나 할로겐 램프가 선호되며, 이를 LED로 대체하는 것은 매우 훌륭한 대안이라고 할 것이다. 이와 같은 조명기구로서는 브래킷, 손전등, 욕실등과 같은 용도를 생각할 수 있으며, LED의 소비전력이 커지고 효율이 높아지면 보다 광범위한 응용이 가능하게 될 것이다.

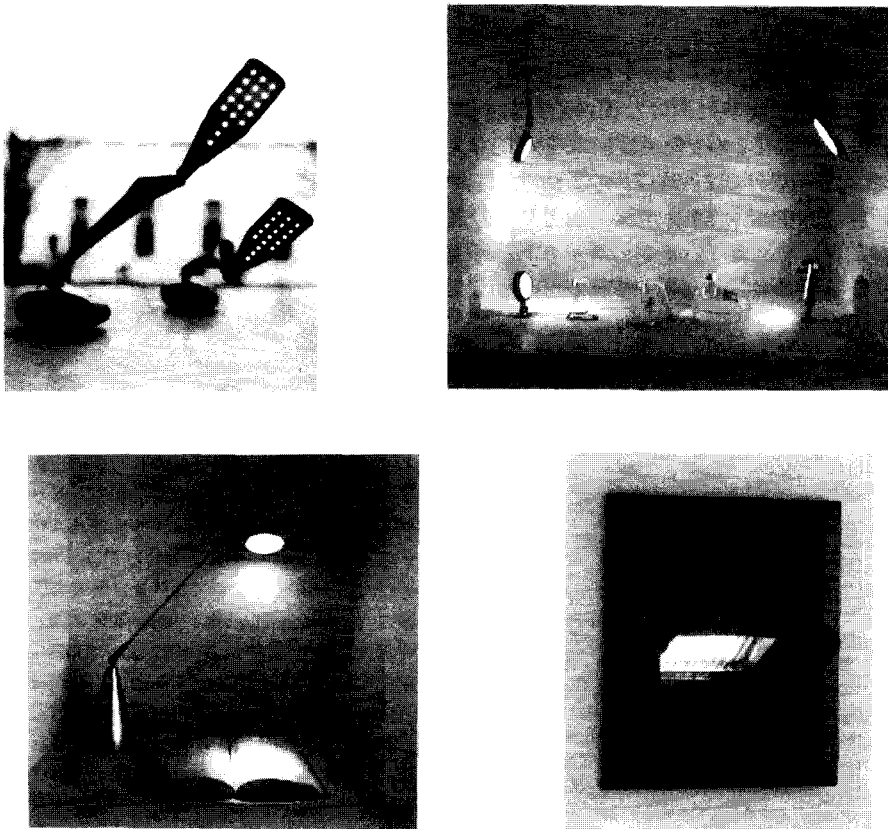


그림 4. 일반 조명에 사용하는 LED 조명기구 사례

## 4. LED 조명용을 위한 과제

LED를 일반 조명용으로 사용하기 위해서는 LED 소자 자체의 효율을 향상시키는 것 외에도 많은 과제가 남아있다. 이들에 대해 간략히 서술하면 다음과 같다.

### 4.1 효율

현재 LED의 효율은 일반적으로 백열전구와 CFL(컴팩트 형광램프) 사이 정도로 알려져 있으며, 수년 이내에 형광램프 수준의 효율(100(lm/W))이 달성될 것으로 예상되고 있다. 언젠부터 일반조명용으로의 용도가 활성화 될 것인지는 가격 등의 문제도 관계될 것이지만, 단순히 효율만으로 본다면 대략 CFL 정도의 효율(50(lm/W))이 되면 가능할 것으로 생각된다. 이는 CFL이 발광관을 구부러서 사용하므로 손실이 많아지고, 형광램프도 2등용인 경우 상호 흡수에 의해 효율이 떨어진다는 점을 감안한 것이다. 또한 이들 광원은 발광부의 표면적이 커서 효율적인 조명기구를 만드는 데에도 장애가 된다. 이에 반해 LED는 적절한 빔각을 갖는 소자를 적절히 배열함으로써 이러한 손실을 최소화하는 조명기구를 개발할 수 있다는 점이 장점으로 작용한다.

LED는 현재 효율이 좋은 광원으로 알려져 있지만 그 효율은 백열전구에 비하여 좋은 정도이고 CFL에 근접하고 있는 상황이다. 문제가 되는 것은 개별적인 LED의 소비전력이 적어서 효율이 좋다고 하더라도 광속이 적다는 것이고, 이는 많은 광속이 요구되는 조명공간에서의 응용에 제한을 주는 요소가 된다. 즉, 다수의 LED를 사용하여야 함으로서 필요로 하는 제작비의 상승, 유지보수비용의 상승 등을 감안하여야 할 것이다.

반면 다수의 소형광원을 이용하면 광속의 효율적인 배분, 적절한 제어에 의한 조명 분위기의 변화, 에너지 절감의 가능성 등은 이점이라고 볼 수 있고, 이러

한 점을 감안하여 LED 소자의 최적 소비전력을 결정하여야 할 것이다.

### 4.2 측정방식과 제품의 표준화

LED의 측정에는 현재 많은 문제가 있으며 예를 들어 일본에서는 LED의 광도와 광속측정을 여러 관련 기관에서 시행한 결과 측정치에 매우 큰 편차가 나타난 것을 발견하였다. 또한 시장의 요구에 맞추려면 어느 정도의 백색 LED를 모아서 그 형상은 어떻게 할 것인가에 대한 연구도 선행되어야 한다.

측정의 표준화에 대해서는 현재 CIE의 Division 2(광의 방사와 물리 측정) 내에 세 개의 기술위원회가 구성되어 있다.

TC 2-45 : LED 광속 측정방법의 표준화

TC 2-46 : LED 광도측정방법의 ISO/CIE 표준의 작성

TC 2-50 : LED 어레이 및 클러스터의 광측정

또한 일본에서는 LED 제조업체와 조명제조업체가 합동으로 일본 조명기구 공협회 내에 “조명용 백색 LED 광원 표준화 위원회”를 두고 그 아래에 “제품사양 표준화 분과회”와 “측정표준화 분과회”를 두고 있다.

### 4.3 배광제어 방식과 부품의 개발

기존 광원은 그 배광이 광원을 중심으로 볼 때 사방으로 퍼져 나가며, 이를 이용에 적절한 형태로 바꾸는 것은 주로 반사판의 역할이다. 그러나 LED는 기본적으로 배광이 좁으며, 이를 적절하게 변경시키는 것은 반사판이 아니라 굴절과 확산이 된다.

굴절은 투명한 아크릴이나 유리를 이용하여 만들어진 렌즈나 프리즘을 이용하게 되며 확산은 반투명한 아크릴이나 유리를 이용한다. 유리는 무게가 무거우므로 아크릴이 선호되며, 이들의 효율은 어느 정도 정확한 광학적 제작이 가능한지와 함께 투과율로서 결

정될 것이다.

국내에서는 이러한 소재에 대한 설계경험과 제작기술이 매우 부족한 형편이므로 이에 대한 연구와 투자가 시행되어야 할 것이다.

#### 4.4 광 색

형광램프의 광색은 기본적으로 백색이지만, 백색이라는 말은 초명에서는 “가시 스펙트럼 중 내지 못하는 부분이 없다”는 뜻으로 사용되고 있다. 또한 백색도 색온도와 연색성에 따라 여러 가지로 나뉜다. 그림 5에서 보듯이 형광램프는 사용하는 형광물질에 따라서 매우 많은 종류의 백색광을 내며, 어느 것을 선호하느냐 하는 것은 램프를 사용하는 용도 뿐 아니라 국민성이나 기후, 만들어내려는 분위기 등도 관련되어 간단한 문제가 아니다.

이와 같이 여러 광색이 존재하는 것은 분위기와 밝기에 따라서 편안하게 느껴지는 광색이 다르기 때문이다. 즉 사무실과 같이 활기가 있고 높은 조도가 필요한 장소에는 색온도가 높은 광원이, 가정이나 고급상점과 같이 편안하고 조도가 높지 않은 장소에는 색온도가 낮은 광원이 선호된다. 또한 연색성이 높아지면 일반적으로 광원의 효율이 떨어지므로 절충이 필요한 것이다.

LED는 많은 소자를 결합하여 하나의 광원으로서 사용하게 될 것이므로 색온도나 광색이 다른 여러 가지의 LED를 조합하면 필요에 따라 색온도를 변화시킬 수 있을 것이다. 즉 출퇴근 시간에는 조도와 함께 색온도를 낮추고 근무시간에는 조도와 색온도를 높여주는 조절이 가능하다.

#### 5.5 보수율에 대한 감안

보수율이란 조명시스템을 설치한 뒤 지속적으로 여러 요인에 의해 밝기가 감소하고, 다시 램프의 교환이

나 청소에 의해 밝기가 회복되기 직전까지 조도가 감소하는 비율을 말한다. 앞서 설명한대로 조도기준이란 조명시스템의 사용 기간 중 최소한으로 유지하여야 할 조도를 말하는 것이므로, 보수율을 감안하여 설계한 조명시스템에서 초기 조도는 항상 조도 기준보다는 과도한 조명이 되는 것이다.

보수율로서 감안하는 요인은 여러 가지가 있으나, 그 중에서 램프에 관련된 것은 램프 광출력 감소 요인과 램프 수명요인 두 가지이다. 첫 번째 요인은 램프의 광속이 사용 기간 중 지속적으로 감소하는 것을 감안한 것이고, 두 번째 요인은 여러 개의 조명기구를 사용한 공간에서 개개의 램프 수명이 달라서 일부가 일찍 꺼지는 것을 감안한 것이다.

LED 조명시스템의 경우 많은 소자를 하나의 조명기구에 넣은 것이고, 광원의 수명이 길어서 램프와 기구를 일체화한 것이 되기 쉽다. 이러한 시스템은 일체화한 것으로 인해 내부에 먼지가 들어가거나 해서 더러워지고 광출력이 떨어지는 일은 적으리라고 예상된다. 다만 많은 수의 LED를 사용하므로 그중 일부가 결함으로 인해 수명이 일찍 끝나도 일반 소비자가 이를 교체하는 것은 어려운 것으로 예상되며 이를 감안한 적절한 배려가 요구된다.

또한 수만 시간의 수명을 갖고 있다면, 이 기간 중의 보수율을 감안하여 초기에 과도설계를 하는 것은 매우 손실이 크다. 이러한 문제는 원하는 조도에 맞추어서 LED 전체를 점등하지 않고 일부만을 교대로 점등하는 등의 기술적 해결을 도모할 수 있을 것이다.

이외에도 일부에서 제기되고 있는 LED의 연색성 평가에서의 편차 문제, 인체 유해성의 문제 등도 해결되어야 할 과제이다.

특집 : LED 광원기술

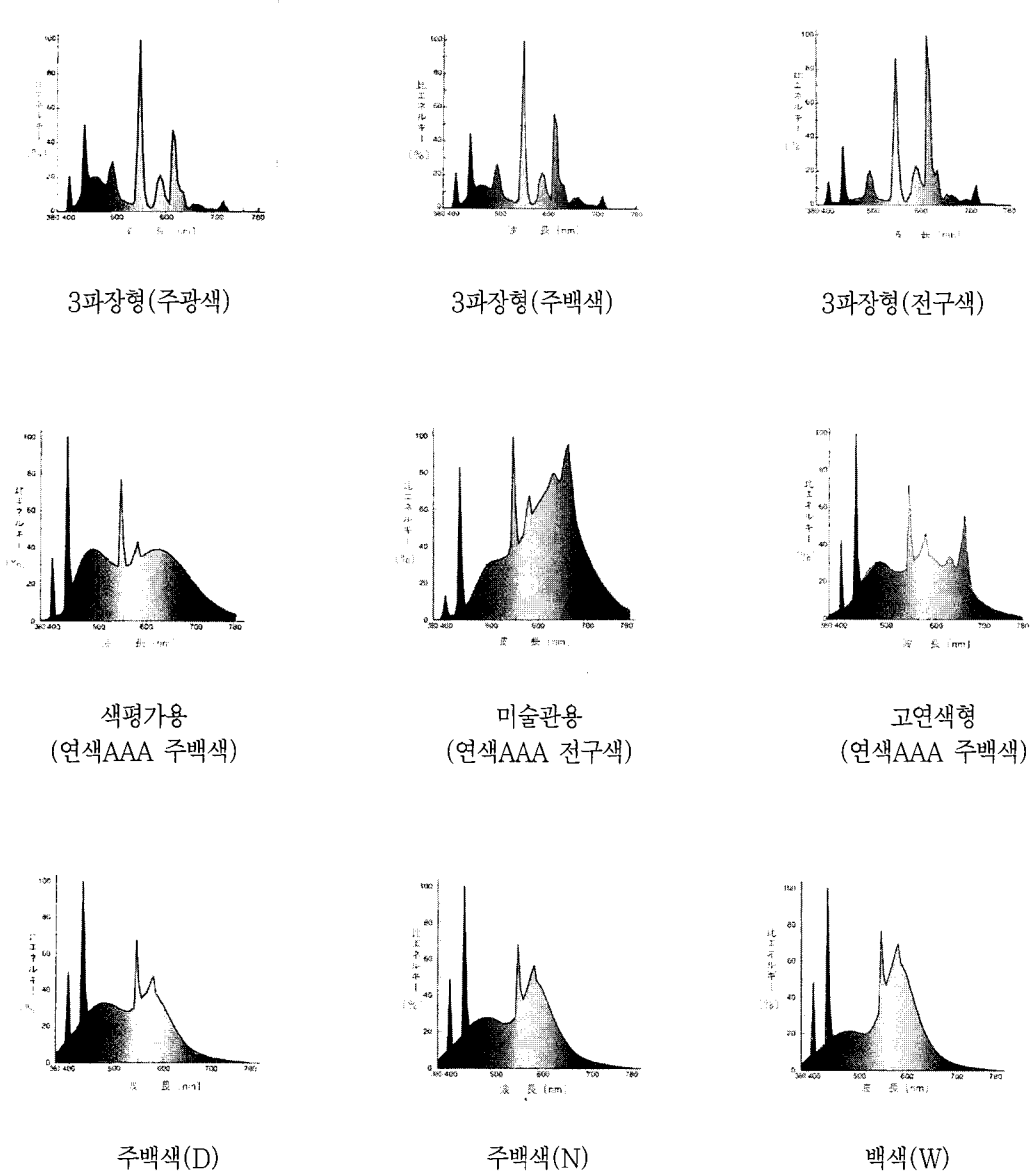


그림 5. 여러 가지 형광램프의 분광분포(광색과 연색성에 따름)

◇ 저 자 소 개 ◇



김 훈(金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1983년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸(석사). 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸(박사). 1993년 호주 국립대학 방문 교수. 현재 강원대 공대 전기전자정보통신공학부 교수. 본 학회 총무이사.