

광원의 기술적 분류

이 종 찬 (금호전기(주))

I. 서론

광원은 빛을 발생하는 물체를 총칭하며 태양을 비롯하여, 반디 등의 생물에서 양초, 백열전구, 형광램프, 레이저 발광물체까지 여러 종류를 포함한다. 광원 기술은 빛 에너지를 사용하여 응용분야별로 연관된 소재, 부품, 모듈 및 시스템 분야이다.

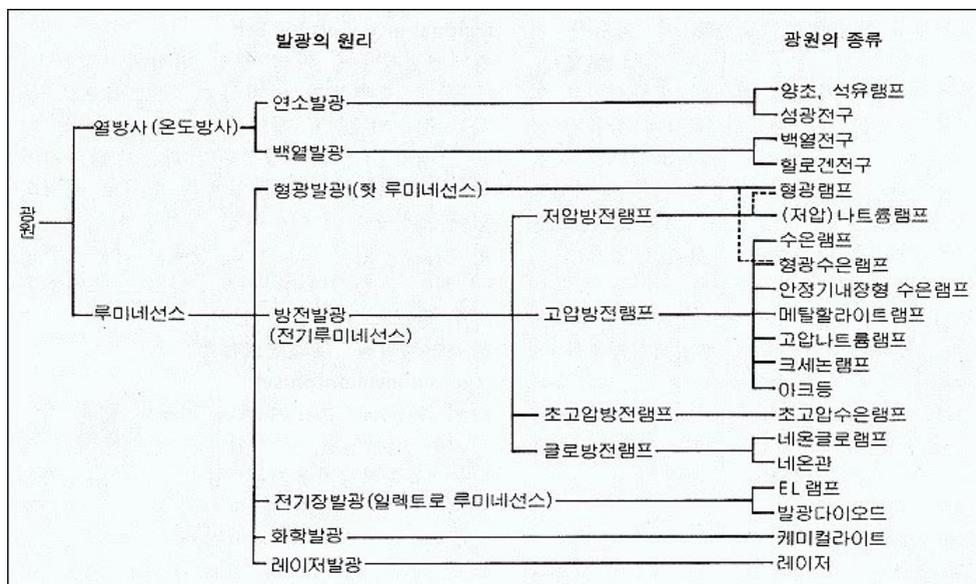
특히, 20세기부터 전기에너지를 광으로 변환하는 학문적 원리가 주류를 이루면서 전기에너지 변환시스템으로 위치하고 있다. 응용분야는 광원의 방사과장의 영역에 의해 산업용 및 반도체 공정용 등의 자외선 부문, 조명용 및

디스플레이 등 가시광선 부문, 그리고 의료용 및 전열용 등의 적외선 부문으로 구분가능하다.

II. 본론

발광의 원리현상에 따라 분류하면, 물체가 높은 온도로 가열되어 발광하는 열복사와, 열과 온도에 관계없이 원자나 분자에너지상태의 변환에 의해 발광하는 루미네선스(luminescence: 냉광(冷光))로 나눈다.

루미네선스는 세부 에너지 전달 매체의 형태에 따라 포토루미네선스(photo-luminescence:PL), 방전형 발광, 전계발



[그림 1] 광원의 분류

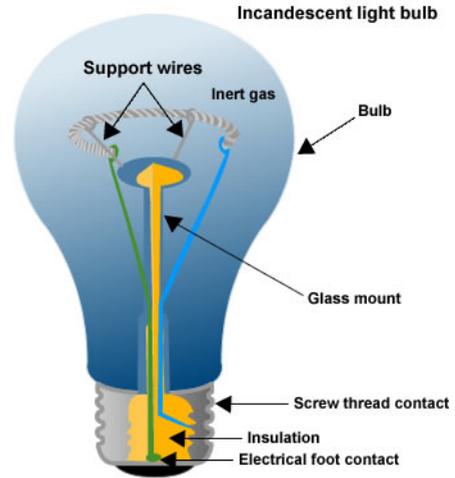
광(electro-luminescence:EL), 화학발광(chemi-luminescence: CL) 등으로 구분할 수 있다.

1. 열방사형 광원

열복사의 대표적인 백열광(incandescence)은 “흰색으로 빛나게 한다”는 라틴 동사 “incandescere”에서 유래했으며 뜨거운 물체의 온도로 인해 빛이 방출된다^[2]. 이론적으로 완벽하게 검은 물체의 백열광은 흑체(black body) 방사로 알려져 있으며, 그 전자기적 스펙트럼은 플랑크의 법칙에 의해 설명되어진다. 흑체에서 방출되는 방사선에 의한 총 전력은 스테판 - 볼츠만(Stefan - Boltzmann) 법칙에 의해 표현되며, Wien의 변위 법칙은 피크 방출의 파장을 예측할 수 있다.

열복사의 대표적인 백열전구는 진공유리구에 비활성 기체를 봉입하고, 텅스텐 필라멘트에 전류를 흐르게 하여 복사열에 의한 백열광(incandescence)을 발생시킨다^[1]. 광학적으로 휘도가 높고, 적색 광색을 나타내며 연색성이 뛰어나지만 효율이 낮고 수명이 짧다.

백열 전구는 전구 내부에 텅스텐 와이어의 필라멘트와 유리 구조물로 이루어져있다. 또한 전구는 증발을 줄이고 필라멘트의 산화를 방지하기 위해 아르곤과 같은 불활성 가스로 가득 차 있다. 일반 텅스텐 전구는 점등 중에 필라멘트 표면으로부터 텅스텐 원자가 증발하여 유리구 내벽에 부착하는 흑화 현상을 일으킴으로써 빛의 투과를 감소시킨다. 할로겐 전구는 유리구 안에 불활성 기체 외에 요드, 브롬, 염소 등의 할로겐 화합물을 미량 봉입한 것으로, 할로겐은 낮은 온도에서 텅스텐과 결합하고 높은 온도에서는 분해되는 성질이 있다. 이와 같은 성질에 기초한 할로겐 사이클에 따라 증발된 텅스텐을 필라멘트로 되돌리는 작용을 이용하여 유리구의 흑화를 줄이는 한편 필라멘트가 증발하여 가늘어지는 것을 방지하여 광속이나 색온도 저하를 적게 하고 수명도 연장시킨 것이다. 흑화가 적으므로 유리구가 적어도 되며 체적이 일반 텅스텐 전구에 비하여 1/10 정도로 작아도 충분하다. 유리구 관벽의 온도는 텅스텐 할로겐 화합물에 부착되지 않도록 250~850[°C]로 설계되므로 유리구는 종래의 전구보다 소형으로 하여 관벽 부하를 높게 한다. 이 때문에 고온에 견



[그림 2] 백열전구의 구조

딜 수 있는 석영유리가 주로 사용되지만 경질유리가 사용되기도 한다.

필라멘트에 인가된 전류는 3,695K의 텅스텐의 융점(6191°F) 이하, 일반적으로 2,000~3,300K(3140로 5480°F)에 필라멘트를 가열하며, 필라멘트 온도는 필라멘트 종류, 모양, 크기 및 전류의 양에 따라 달라진다. 가열된 필라멘트는 연속 스펙트럼 빛을 방출하며 배출 에너지의 유용한 부분은 가시광선이지만, 대부분의 에너지는 적외선 파장의 열로 방출된다.

백열전구는 에디슨이 1879년에 진공 탄소필라멘트 전구를 실용화시켰다. 당시 발광효율이 1.4[lm/W], 수명은 40시간에 불과했으나, 1908년 콜리지에 의한 텅스텐 인선방법 개발, 1910년 직선 텅스텐 필라멘트를 코일링하고 가스를 봉입한 가스등 전구의 개발에 의해 10[lm/W]에 도달한 이후 이중코일링화, 할로겐 전구의 등장 등 여러 가지로 개량되어 오고 있으나, 에너지 효율이 낮은 단점 때문에 최근 일반조명분야에서는 전구형 및 콤팩트 형광램프로 일부 대체되고 있다.

2. 루미네선스 광원

포토 루미네선스(photo-luminescence:PL)를 이용한 광원은 전기에너지를 포톤으로 변환하여, 형광체를 통해 발광하는 형광램프가 대표적이다. 형광램프는 1938년 GE社의 인만(Inman)에 의해 개발되어 지금까지 이르고 있

으며, 옥내조명의 주광원으로서 효율 및 연색성의 개선에 많은 노력이 이루어져 왔다. 그 동안 백열전구에 비해 고 효율, 장수명인 까닭에 일반 조명이외의 산업, 의료, 농수산 분야에도 널리 이용되고 있다. 최근에는 에너지 절약과 소형화의 요구에 따라 전구형 및 콤팩트형 램프가 개발되어, 전자는 백열전구 대체용으로, 후자는 형광램프의 길이를 1/3 이상 줄이는 데 공헌하고 있다. 이와 함께 3과장 발광형 램프의 개발에 따라 소형경량화, 고효율화, 고연색화가 이루어지고 있다. 또한, 전자식 안정기와 조합하여 고주파점등에 의해 시스템 종합효율이 100[lm/W]까지 달성되고 있다.

방전형 발광은 고압방전(high intensity discharge) 광원을 중심으로 가스방전과 금속할로겐 화합물의 방전의 원리를 응용한다. HID 램프는 1930년대에 고압수은램프, 1950년대에 메탈할라이드램프, 1960년대에 고압나트륨램프가 각각 실용화되어 왔다. 이 중에서 고압 수은램프는 기술적으로는 포화되어, 최근에는 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프의 개발이 중심을 이루고 있다. HID 램프는 연색성을 높이면서 보다 소형화·소출력화되면서 이용범위를 넓혀가고 있는 추세이다. 메탈할라이드램프는 고압수은램프의 발광을 개선시키기 위해 발광관내에 금속할로겐 화합물을 첨가함으로써 그 금속 원자 고유의 발광을 이용하여 발광효율과 연색성을 향상시킨 램프이다. 그 구조는 고압수은램프와 유사하지만, 금속증기압을 높이기 위해 발광관이 약간 작고, 최내부인 전극부근에는 보온막을 칠하여 관벽온도를 균일한 고온으로 유지하도록 하고 있다. 메탈할라이드램프의 경우에는 보조전극이 없는 경우도 있다. 발광관내에는 램프전압, 발광관 온도를 조절하기 위한 수은과 아르곤, 광색보완용으로 금속할로겐화합물이 봉입되어 있다. 금속할로겐화합물은 금속 단체보다 증기압이 높기 때문에 취급이 용이한 화합물 형태로서 봉입한다. 일반 조명용으로는 Na(나트륨, TL(탈륨), In(인듐), Sc(스칸듐), Se(셀레늄), Th(토륨), Dy(디스프로슘), Sn(주석), Tm(툴륨), Ho(홀름) 등의 할로겐화합물이 사용되고 있다.

나트륨 램프는 10[kPa](약 0.1기압) 정도의 나트륨 증기압 중의 아크방전에 의한 발광을 이용한 램프이다. 발

광관은 700~800[°C]의 고온에서도 나트륨에 침식되지 않는 투광성 알루미늄 세라믹스를 사용한다. 발광관내에는 나트륨과 수은의 아말감 및 시동보조용인 크세논(또는 아르곤, 네온)가스가 봉입되어 있다. 외구는 경질유리로 만들어져 있으며, 외관 내는 바륨(Ba)캐터를 사용하여 고진공으로 함으로써 주위온도의 영향을 받지 않도록 하고 있다.

저압 나트륨 램프는 일반적으로 'U'형의 발광관을 Tubular 형태의 외구(out bulb)내에 장착한 구조이며, 외구 내부에는 발광관의 적절한 관부 온도(260°C)를 유지할 수 있도록 산화인듐이 도포되어 있으며 일종의 적외선 반사판 역할을 합니다. 발광관 내에는 네온과 아르곤 혼합가스 및 고순도 나트륨 금속이 봉입되어 있으며, 나트륨이 증발할 때 열 손실을 최소로 하여 램프 효율을 증대시킬 수 있도록 발광관 관벽에 나트륨금속을 모아 놓기 위한 다수의 작은 돌기들이 있습니다. 또한 네온과 아르곤 혼합가스는 나트륨금속이 충분히 증발될 수 있도록 열을 발생하여 램프 시동을 원활히 합니다. 램프 시동초기에는 네온 및 아르곤 혼합물 보다 나트륨 이온화가 어려울 뿐만 아니라, 여기되는 전위도 훨씬 낮기 때문에 적황색의 글로우 방전이 일어나며 나트륨 금속이 점차 증발됨에 따라 소위 나트륨 D-Line이라고 하는 589~59.6nm의 단파장이 황색의 광출력을 내게 됩니다. 저압 나트륨 램프는 대략 10분 이내에 정격 광출력에 도달되며 기타 HID 램프와는 달리 발광관내의 증기압이 낮으므로 전원 재인 가지 즉시 재 점등 됩니다. 저압 나트륨 램프는 SOX 램프와 SOX-E(economy) 2종류가 있습니다. SOX-E 램프는 SOX 램프보다 발광관의 열손실을 훨씬 줄임으로서 전력손실을 최소화하여 램프효율을 한층 증대시킨 경제성을 추구한 우수한 램프입니다.

1990년대 상용화된 무전극 형광램프는 전 세계의 실내와 실외 공간에서 다양하게 사용되고 있다. 원래 고출력 형광램프용으로 개발된 무전극 형광램프는 보다 소형화된 모델이 추가가 되어 그 응용의 폭을 넓히게 되었다. 무전극 형광램프는 놀라운 정도의 긴 수명을 갖고 있다. 60,000시간에 이르는 램프의 수명은 광범위한 전문적 프로젝트의 사용에 유용하게 쓰이고 있다. 기존의 백색 램

프 그리고 방전램프와는 달리 필라멘트나 전극이 없다. 그 대신 고주파(2.65MHz) 에너지가 유도 코일을 따라 저압가스가 봉입된 전구 안을 흐르게 된다. 따라서 램프의 수명은 전력공급 및 컨트롤 부분 등 전기부분에 의해 좌우된다. 고주파 작동은 섬광이 없고 플리커 현상에 구애받지 않는 조명을 가능하게하며 덩거나 추운(영하°C 이하)환경에서도 거의 즉각적인(0.5초 이내) 점등을 가능하게 해준다.

1936년 G.Destriau는 전계발광(electro-luminescence:EL) 현상을 발견하였다^[3]. 전계발광 소자들은 완전 고체 소자의 구조와 균일한 자체 발광형 특성을 가진다. 또한, 전계발광 소자의 동작온도 범위는 -60~100°C이고, 45°의 시야각을 갖는 액정 디스플레이와 비교하여 160° 이상의 넓은 시야각을 갖고, 5만 시간의 연속동작에도 10%의 발광변화를 가진다^[4].

전계발광은 외부의 전계로 증속된 응집 물질로부터 전자재 방사의 발광 현상이다. 전계발광은 응집 물질의 광학적 여기 모드의 다양한 방법으로 전기 에너지를 빛 에너지로 직접 전환함을 나타낸다. 원론적으로 전계발광은 파괴적인 유전파괴에서 생성된 자외 방사에 의해 여기된 물질의 가시 발광이나 광 발광으로 구분된다. 그럼에도 불구하고 국부적 파괴(avalanche) 과정이 시료를 파괴시키지 않는 불균일한 전계 분포의 외부 전압에 증속된 시료에서 나타나는 정상 상태 광 발광은 전계발광의 일정한 형태로 고려되어진다.

일반적인 EL 현상은 [그림 3]의 (a)전기적 에너지 공급, (b)발광 형태의 여기 모드, (c)발광 메커니즘과 같이 세가지 원리적 과정에 의해 분류될 수 있다. 전계발광을 진전

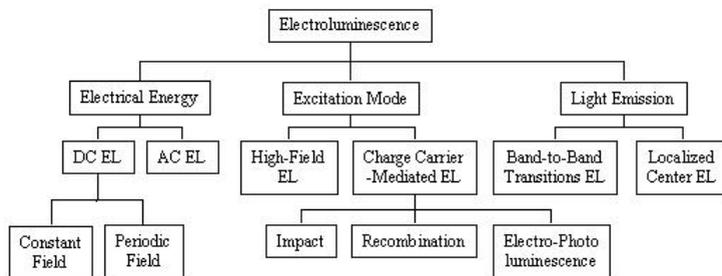
하게 하는 에너지 공급 방법은 교류와 직류로 구분될 수 있다. 에너지 공급 방법들은 방사 시스템의 여기 가능한 메커니즘에 의해 결정된다.

고전계 전계발광의 경우 10^6V/cm 의 고전계에 의해 유기된 밴드 밴딩에 의한 터널링으로 전자들이 주입된다. 발광층에 주입된 전자의 다수 캐리어들은 전계발광 여기에 발생하기 충분한 에너지에 이를 때 까지 전계에 의해 가속된다. 고 전계형 전계발광은 절연형 또는 비주입형 전극에 전기 에너지를 공급시켜 전계 유도형 여기 상태 생성이나 전계발광 물질 내부에 전하 캐리어를 생성시킨다.

일정한 전계는 시료의 전기적 과도 응답에 의해서 전압 on/off를 전환할 때 단방향의 주기적인 전계발광 파형을 나타낸다. 교류(ac) 전압은 절연체로 둘러싸인 형광체 또는 전자 주입형 입자를 포함한 발광 물질로부터 연속적인 발광을 위해 필요하다^[5-7]. 직류(dc)형 전계발광과(ac)형 전계발광 그리고 이들의 결합형은 단결정 및 박막 형광체에 전자 주입에 의해 관찰된다. LED는 발광 물질의 금속 접촉으로부터 정공/전자들의 주입이나 반도체 p-n 접합에서 소수 전하 캐리어의 주입에 의해 직류 여기 상태의 전계발광을 형성한다.

III. 결 론

상기와 같이 광원 기술적 분류를 확인할 수 있다. 기존의 광원들은 대부분 가스방전 기반으로 산업화 되었다. 2008년 이후 화합물 반도체의 기술발전과 더불어 LED와 OLED가 미래의 광원으로 가시광선영역의 응용에 큰 영



[그림 3] 전계발광의 분류

향력을 가지고 있다.

응용분야별 디스플레이, 조명, 수송기기, 해양수산용, 의료용 및 식물생장 등 다양하고 폭넓게 확대되고 있다.

특히 기존의 백색광 효율을 증가하는 150~250lm/W를 기대치로 가지며 성장하고 있다. 또한 광학적 효율 향상 기술, 방열기술, 융합시스템화 기술 등 관련기술의 방향성을 가진다.

참고 문헌

- [1] J. I. Pankove, *Display Device*, New York: Springer-Verlag, pp.11-22, (1980).
- [2] John E. Bowman, *An Introduction to Practical Chemistry, Including Analysis (Second American ed.)*, Philadelphia: Blanchard and Lea., (1856).
- [3] G. Destriau, "REESHERCHES SUR LES SCINTILLATIONS DES SULFURES DE ZINC AUX RAYONS", *J. Chim. Phys*, 33, pp.589-625, (1936).
- [4] P. D. Rack, A. Naman, P.H. Holloway, S-S Sun and R. R. Ruenge, "Materials used in Electroluminescent Displays", *MRS bulletin*, Vol.21, No.33, (1996).
- [5] Lehman W., *Journal of Electrochemical Society*, Vol.104, pp.45-50, (1957).
- [6] Morosin B. and Haak F. A., *Journal of Electrochemical Society*, Vol.108, pp.477-478, (1961).
- [7] Lehman W., *Journal of Electrochemical Society*, Vol.109, pp.540-542, (1962).

저자 약력

이 증 찬



- 1997년 02월 : 원광대학교 전자공학 학사
- 1999년 02월 : 원광대학교 전자재료공학 석사
- 2003년 02월 : 원광대학교 전자재료공학 박사
- 2003년~2004년 : University of Texas at Dallas, Post-Doctorial Fellow
- 2004년~2005년 : Ehime Univ. in JAPAN, Post-Doctorial Fellow

- 2005년~현재 : 금호전기(주) 종합기술원 팀장/수석연구원
- 관심분야: 광원, 디스플레이, 무전극 광원, 차세대 광원, LED 기타