

무전극 형광램프의 기술 동향

안수빈<한국에너지기술연구원 책임연구원> · 함증결<한국산업기술원 수석연구원>

1 서론

무전극 광원기술은 미래에서 더 가치를 보일 새로운 조명기술이다. 일반적으로 사용하고 있는 램프는 필라멘트나 전극에 의해 발광되는데 이들은 일정 시간이 경과하면 소손되고 또한 램프가스와의 화학반응 등에 의해 수명단축의 주요 원인으로 작용한다. 반면에 전극이 없는 무전극 램프에서는 전극이 없이 전자 유도법칙의 원리를 이용하여 가스를 방전시켜 발광시킨다. 이 경우 기존의 전극을 갖는 광원으로서는 가능하지 않은 높은 수명을 보여주고 있고 효율, 연색성 등 여러 성능에서 떨어지지 않고 있기 때문에 많은 응용분야에서 활용이 높아지고 있다.

무전극 광원의 기술은 무전극 형광램프 및 무전극 HID 램프 그리고 무전극 UV 램프로 구분할 수 있다. 무전극 형광램프의 경우는 1990년 초에 GE, 오스람사(Osram), 필립스사(Philips) 등에서 이미 상용화되어 현재 많이 사용되고 있으며 무전극 UV 램프는 Fusion System사 등에서 반도체 공정용 등 산업용으로 많은 판매실적을 보이고 있다. 무전극 HID램프는 여러 종류가 있지만 대부분 상용화 전 단계이며 한때 상용화되었던 Fusion lighting사의 마이크로웨이브로 구동되는 sulfur lamp도 1998년 이후에는 시장에서 철수한 상태이다. 그러나 국내의 LG전자에서 개선된 형태의 마이크로웨이브 구동 무전극

광원을 상용화할 예정으로 있으며 기타 HID 무전극 광원들이 지속적으로 연구되고 있다.

본 고에서는 현재 가장 성공적으로 사용되고 있는 무전극 형광램프의 현황에 대해 자세히 고찰해보기로 한다.

2. 무전극 형광등 개요

무전극 형광등은 현재 상용화되고 있는 것을 정리하여 보면 표 1과 같이 GE의 Genura와 오스람사의 Endura(또는 ICETRON), 필립스사의 QL의 3가지 종류로 분류된다. Genura와 QL은 전구형에 가까우나 Endura는 환형에 가깝다. Genura는 미국에서 원래 백열등을 대체하기 위한 시도로 개발된 것이지만 실제 시장에서는 잘 사용되지 않고 있다. 따라서 현재 상용화에 성공한 것으로는 QL과 Endura를 들 수 있으며 100[W]전후의 용량을 갖고 있어 다양한 용도에 적용이 가능하다. 이들 램프의 개발사들은 보다 높은 전력용량의 램프를 출시할 계획을 갖고 있으며 Endura와 같은 경우는 실험실내에서 1[kW]까지 실험된 것으로 보고되고 있다. 수명은 램프 초기광속의 70%까지를 기준으로 한다면 60,000시간으로 볼 수 있으며 효율은 70(lm/W)이상이나 점차적으로 높아질 전망이다. 동작주파수는 Endura가 250[kHz]로 제일 낮으며 다른 램프는 2.65[MHz]의 고주파로

동작된다. 13.56[MHz]에서 동작되는 무전극 형광 등도 예전부터 연구가 되어왔고 또 상용화가 가능하다. 그러나 동작주파수가 높아짐에 따라 시스템효율 문제, 가격문제 그리고 EMI문제 등이 심각해질 수가 있어 현재로서는 경쟁력을 갖는 동작주파수대는 2[MHz]대이하로 볼 수 있다. 다음에는 대표적인 무전극 형광등인 QL과 Endura에 대해 보다 상세히 알아보기로 한다.

표 1. 상용화된 무전극형광등의 종류

제조사/제품명	형태	용량 (W)	광속 (lm)	시스템효율 (lm/W)	동작주파수 (Hz)	수명
GE/Genura	전구형 (R-30)	23	1100	48	2.65M	15,000
Osram/Endura	환형	100	7,500	75	250k	60,000
		150	12,000	80	250k	60,000
Philips/QL	전구형	55	3,500	64	2.65M	60,000
		85	6,000	71	2.65M	60,000
		165	12,000	73	2.65M	60,000

3. QL 램프

3.1 구성

QL램프는 필립스사에서 92년에 55(W)급의 램프가 개발되어 이후 85(W) 그리고 2000년에 165(W)급이 출시되었다. 그 구성은 그림 1과 같이 A: 유리구, B: 전력결합기(안테나 및 방열판, 전선으로 구성) 그리고 C: 고주파 전원 발생기의 3가지 구성물의 결합으로 연결되어 동작이 된다. 유리구의 구조는 그림 2와 같으며 전체 시스템의 무게는 165(W)의 경우 994g이 된다. 전력결합기는 페라이트 코어와 코일로 구성된 안테나와 열전달용 막대, 부착용 프랜지 그리고 최대 한계온도 120℃를 갖는 40[cm]길이의 동축선으로 구성된다. 고주파 전원발생기의 경우는 2.65[MHz]에서 10%의 오차를 갖는 고주파 전원을 발생시키며 165(W)의 경우 70(mm)(H)* 188(mm)(W)

*50(mm)(D)의 크기를 갖고 있다.

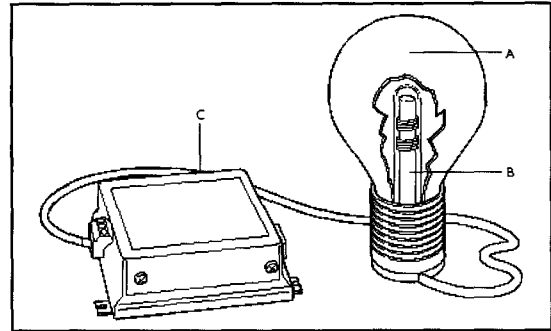
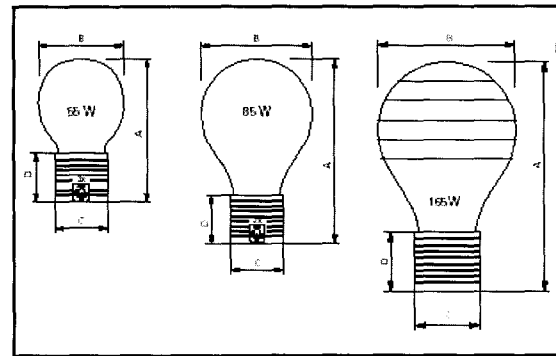


그림 1. QL 램프의 구성



(a) 형태

램프종류	A(mm)	B(mm)	C(mm)	D(mm)
QL 55W	140.5	85	57	49
QL 85W	180.5	111	57	49
QL 165W	210	131	57	49

(b) 크기

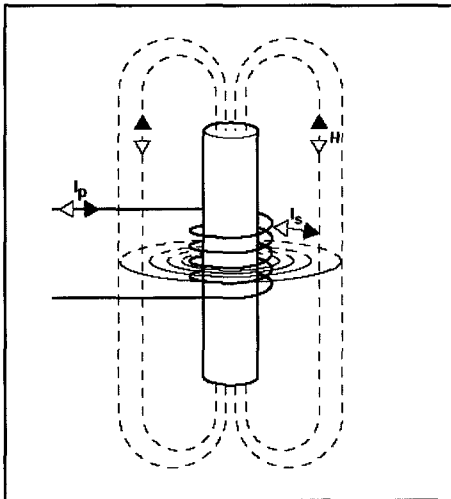
항목 \ 종류	QL 55W(g)	QL 85W(g)	QL 165W(g)
램프	105	137	175
전력결합기	200	250	277
전원발생기	370	370	542
전체시스템	675	757	994

(c) 중량

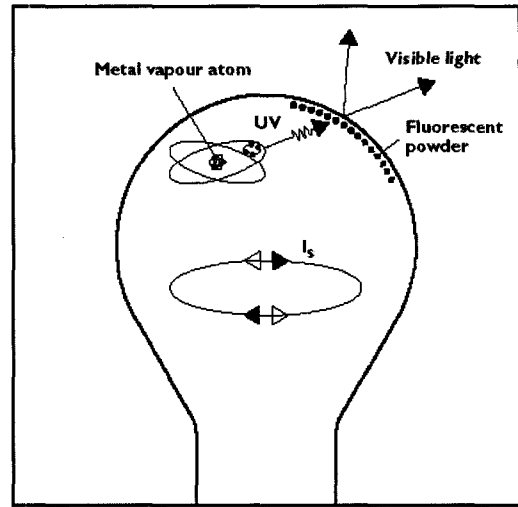
그림 2. QL 유리구의 구조 및 사양

3.2 동작원리

자기유도원리는 그림 3-(a)와 같으며 근본적으로 트랜스포머의 원리와 동일하다. 1차측의 교류 전류 I_p 가 코아와 주변공간에 교류자기장을 유도하게 된다. 이 자기장은 다시 2차측 코일에 같은 주파수의 전류를 유도하게 되며 주파수가 높을수록 보다 콤팩트한 시스템이 가능하게 된다. 1차측은 고주파의 전원에 연결되어 에너지를 받게 되고 2차측에서 전류의 통로는 관내부의 저압가스와 수은 증기로 형성되게 된다. 그림 3-(b)와 같이 유도전류는 금속증기내의 대전 입자를 가속하고 이들 입자들은 충돌하여 수은 증기 원자의 여기나 이온화를 발생시키고 원자내 자유전자의 에너지 준위를 높여서 보다 높은 불안정한 상태로 만들게 된다. 이들 여기전자들이 안정준위의 에너지상태로 돌아올 때 254(nm) 단파장의 자외선이 방출되고 램프내의 형광체에 의해서 자외선은 가시광을 발생시키게 된다. 실제로 초기 방전은 처음에 높은 전기장에 의해 시작되고 그 이후 앞에서 설명한 바와 같이 유리구 중심에 전극없이 위치한 안테나(또는 유도 코일)에 의한 자기장의 유도작용에 의해 방전이 유지된다.



(a) 자기유도 원리



(b) 방전원리

그림 3. QL램프 동작 원리

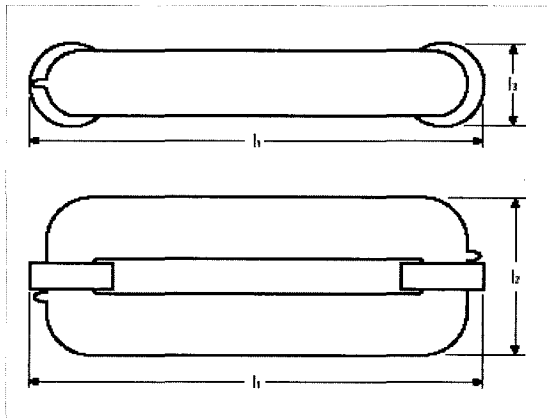
3.3 램프의 특성

우선 광학적 특성을 살펴보면 165[W]의 경우 광속은 100시간 사용을 기준으로 12,000[lm]으로 72[lm/W]의 효율을 보인다. 연색성 지수인 CRI는 80이상이며 색온도는 3000[K]와 4000[K] 두가지 종류가 있다. 점등 및 재점등은 0.5sec이하로 거의 순시적으로 동작하지만 광속이 완전히 안정화되기까지는 1분이상이 소요된다. 시스템의 전력은 165[W]이며 전류는 230[V]기준 700[mA]이며 돌입전류는 550usec이내에서 45[A]이다. 출력주파수는 2.65 [MHz]이며 출력의 최대전압은 1500[V]이다. 모든 램프의 특성은 온도에 민감하게 변화하는데 일례로 효율의 경우는 온도에 따라 68-74[lm/W]로 변화한다. 주변온도에 대해서 가능한 일정한 광속을 유지하기 위해서 수은과 아말감의 화합물을 따로 저장하여 이용하고 있으며 램프의 안정적인 동작을 위해서는 페라이트 코어가 부착된 프랜지부분의 온도가 100℃ 이하여야 한다.

4. Endura 램프

4.1 구성

Endura 램프는 1993년에 오스람사에서 램프가 개발되어 현재까지 100(W)와 150(W)의 두종류가 있다. 유럽에서는 Endura로 미주지역에서는 ICETRON의 이름으로 판매가 되고 있다. 엔두라 램프의 광원의 구조는 그림 4과 같이 전체적으로는 굽은 직관형 형광등 2개를 결합한 형태이다. 광원의 길이는 100(W)의 경우 250(mm), 150(W)의 경우 350(mm)이며 관의 두께와 넓이는 모두 각각 54(mm), 139(mm)이다. 또한 램프 외부에 페라이트코어를 2개를 설치하고 있는데 이를 통해서 RF유도방식에 의해 램프내부의 가스에 에너지를 전달하여 방전시키는 형태이다.



(a) 형태

램프종류	l1(mm)	l2(mm)	l3(mm)	직경(mm)
Endura 150W	414	139	72	54
Endura 100W	313	139	72	54

(b) 크기

그림 4. Endura 유리구의 구조

4.2 동작원리

근본적인 동작원리는 앞의 QL램프와 동일하다. 다만 QL의 경우 페라이트 코어가 램프내에 위치하지만 Endura의 경우는 램프외부에 위치하는 것이 다르다. 그러나 그림 5와 같이 동작시 램프자체는 페루프를 형성하는 방전 프라즈마가 다수 턴으로 감긴 페라이트 코어를 통해서 마치 트랜스포모의 2차측에 1턴으로 결합된 것처럼 동작하는 것으로 볼 수 있는 것은 동일하다. 따라서 램프에 전류가 자장을 통해서 흐르게 되며 방전하는 과정은 QL과 거의 같다.

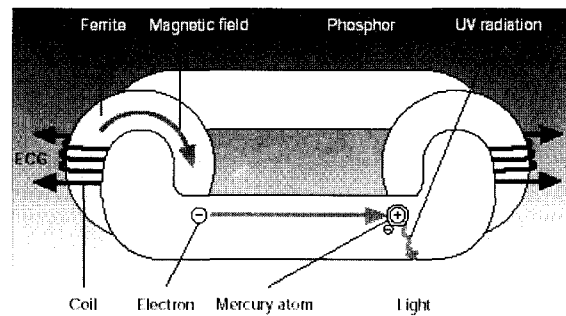


그림 5. Endura의 동작원리

4.3 램프의 특성

우선 광학적 특성을 살펴보면 150(W)의 경우 광속은 100시간 사용을 기준으로 12,000(lm)으로 76(lm/W)의 효율을 보인다. 연색성 지수인 CRI는 80이상이며 색온도는 3500(K)와 4100(K) 두가지 종류가 있다. 점등 및 재점등은 50(msec)이하로 거의 순시적으로 동작하지만 광속이 완전히 안정화되기까지는 10분이상이 소요된다. 시스템의 전력은 157(W)이며 전류는 120(V)기준 1.34(A)이며 돌입전류는 22(A), 출력주파수는 250(kHz)이다. 모든 램프의 특성은 QL램프와 같이 온도에 민감하게 변화한다. 주변온도에 대해서 가능한 일정한 광속을 유지하기 위해서 아말감이 저장된 tip이 존재한다.

램프의 안정적인 동작을 위해서는 페라이트 코아의 부착부분 온도는 100℃이하여야 하고 아말감 tip의 온도는 55℃-125℃내에서 유지되어야 한다.

5. 결론 및 고찰

무전극 형광등 램프의 기술은 과거 특수한 용도의 램프의 개념에서 이제는 보편적인 램프로 자리를 잡아가고 있는 것으로 볼 수 있다. 현재까지 공항, 지하철, 백화점, 편의점, 공장, 가로등, 정원등, 보안등, 터널등, 표시등 등 모든 옥내 및 옥외용에 성공적으로 적용되고 있다. 또한 대량의 보급에 문제가 되었던 가격도 매년 급속히 떨어지고 있어 현재는 시스템가격이 통상 300\$ 수준으로 내려와 있다. 용량도 가까운 시일에 200[W]급 이상으로 확장될 것으로 보이며 일본 등 여러 선진국에서 새로운 무전극 등을 곧 상용화할 것으로 발표되고 있다. 따라서 향후 조명시장의 상당부분은 무전극 램프기술이 차지할 것으로 예측되며 이에 대비하여 국내에서도 산업자원부의 지원하에 무전극 램프에 대한 여러 기술개발이 수행되고 있어 향후의 경쟁력을 기대해본다.

참 고 문 헌

- [1] J.R. Knisley, "Lighting the Millennium" EC&M pp. 30~38,1999
- [2] L.R. Nerone, "Mathematical Modeling and Optimization of the Electrodeless, Low-Pressure, Discharge System", IEEE Conference of Industry Applications Society, pp. 509~517, 1993
- [3] "Philips QL lamp systems, Product Information", Philips
- [4] "Osram Endura : Guideline for luminaire manu - factures and users", Osram

◇ 저 자 소 개 ◇



한수빈(韓秀彬)

1977년 한양대학교 전자공학과(학사). 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사). 1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사). 현재 한국에너지기술연구원 책임연구원/전기조명기술연구센터장. 본 학회 편수위원



함중걸(咸仲杰)

1956년 2월 19일생. 1981년 한양대학교 전기공학과 졸. 1987년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸(석사). 1997년 동국대학교 대학원 전기공학과 졸(박사). 현재 산업기술시험원 신뢰성평가팀장 수석연구원. 본 학회 편수위원.