

특집:전자식 안정기

형광램프의 특성 및 상품화 동향

이진우

(호서대 제1공학부 조교수)

1. 서론

형광램프(fluorescent lamp)는 1938년에 미국GE의 Inman이 발명하였으며, 백열전구와는 달리 점등장치를 필요로 하지만 광의 질이 높고, 고효율로 경제적이며 취급도 간편하여 현재 사용되는 광원의 주류를 이루고 있다.

최근에는 종래의 직관이나 서크라인 등에 한하지 않고 U형, 전구형 등 여러 가지 형태가 용도에 따라 다양하게 실용화되고 있다.

2. 구조와 원리

형광램프는 저압수은증기(약 10^{-2} Torr) 중의 방전으로부터 발생하는 자외선(253.7nm)을 유리관의 내벽에 칠한 각종 형광체에 조사하여 가시광으로 변환하는 광원이며, 형광체의 종류에 따라 여러 가지의 광색을 나타낸다.

그림 1은 직관 형광램프의 구조를 나타낸다. 유리관 내에는 소량의 수은과 기동을 쉽게 하고 음극물질의 증발을 억제하

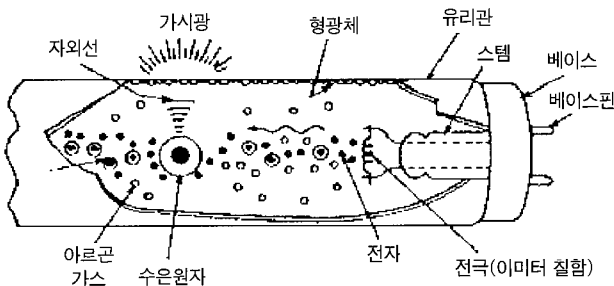


그림 1 형광램프의 구조와 발광원리

기 위하여 아르곤이 봉입되어 있다. 필라멘트는 2중 또는 3중 코일 필라멘트이고, 그 위에 전자를 방출하기 쉬운 Ba, Sr 등의 알칼리 토금속의 산화물인 전자방출물질이 칠해져 있다.

형광램프의 발광은 필라멘트에 전류가 흐르면 필라멘트가 가열되고 음극으로부터 열전자가 방출된다. 이 전자가 양극으로 전계에 의하여 이동하면서 충분한 운동에너지를 얻어서 관 내의 수은이나 아르곤의 기체원자에 충돌하여 이들 원자를 여기시켜 발광을 하거나 전리시키면서 방전을 지속한다.

2. 종류

형광램프는 종류가 많으며, 일반적으로 시동방식, 형상, 광원색, 연색성 등에 따라 분류된다.

시동방식에 따른 분류에는 예열기동형(Preheat start type), 속시기동형(Rapid start type), 순시기동형(Instant start type)이 있다.

예열기동형은 스타터형이라고도 하며 점등에는 글로스타터를 사용하는 것이 많고 수동스윗치나 전자 스타터를 사용하는 것이 있다. 전자스타터로는 순간적 점등을 한다. 전극은 2중 코일 필라멘트를 사용한다. 속시기동형은 유리관의 외면에 습도에 의한 기동장애를 막기 위하여 발수막을 도포한 것(A type)과 유리관 내면에 방전하기 쉽도록 도전성막을 도포한 것(M type) 그리고 유리관 외면에 방전하기 쉽도록 도체 띠(stripe)를 부착한 것(J type)이 있으며 필라멘트 전극 가열과 동시에 전압이 인가되는 안정기로 점등시킨다. 전극은 3중 코일 필라멘트를 사용한다. 순시기동형은 슬림라인(Slimline)형이라고도 하며 일반적으로 유리관이 가늘고 예열하지 않는 냉음극이기 때문에 시동전압은 높고 고전압을 인가하여 순간적으로 점등한다. 구조상 차이점은 필라멘트의

양단을 같이 연결시킨 것으로 외부 핀은 1개로 되어 있으며 전극은 견고하게 되어있다.

형상에 따라 분류하면 형상은 직관형, 환형이외에 U자 형태나 W자 형태의 콤팩트형, 전극베이스를 갖는 발광관을 소형으로 하여 안정기와 일체화한 전구형 등이 있다.

광원색에 따라 분류하면 광원색은 일반조명용으로 주광색(D), 주백색(N), 백색(W), 온백색(WW) 및 전구색(L)의 5종류가 있다. 그 외 청(B), 녹색(G), 황(Y), 핑크(PK) 등의 칼라램프가 있다.

연색성에 따른 분류에는 레벨에 따라 A(DL), AA(SDL), AAA(EDL)로 구별되어 있다. 가장 연색성이 우수한 램프는 AAA이다.

3과장(대역발광) 형광램프는 적, 녹, 청의 협대역에서 발광하는 형광체를 조합하여 효율, 연색성을 같이 높이고 있다.

그 외 특수용 램프로는 저온용, 자외선방지용, 식물육성용, 방충용, 포충용, 건강선램프, 광화학반응용, 복사용, 블랙라이트, 칼라램프 등이 있다.

3. 특 성

표준백색 40W 형광램프의 예를 들면 표 1에서 표시하는 바와 같이 입력의 25%가 수은가시선 및 형광체로부터 가시방사가 되고 광원의 효율은 약 80lm/W로 백열전구에 비하여 높고 평균연색평가수 Ra도 60~80으로 우량하다. 그러나 안정기에서 램프소비전력의 20% 정도의 전력손실이 생기고 있다. 근래에는 이 안정기의 소형, 경량화와 효율개선을 위한 전자회로화가 진척되고 있다.

형광램프에서는 일반조명용의 주광색은 색온도가 6,500K, 백색은 4,500K, 온백색은 3,500K와 3,000K의 두 종류가 있다. 평균연색평가수 Ra도 각각 77, 64 및 59를 나타내고 있다.

표 2에 많이 사용되는 형광램프의 연색성과 효율 등을 나타낸다

표 2 많이 사용되는 형광램프의 연색성과 효율

종 류	색 온 도 [K]	평균연색평가수 Ra	효율 (40W 램프) [lm/W]
주 광 색	6,500	77	73
백 색	4,200	64	81
온 백 색	3,350	59	75

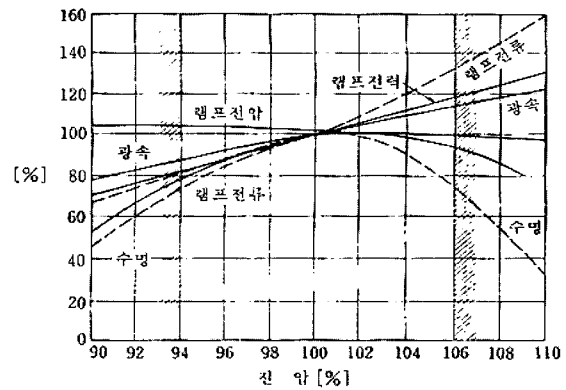
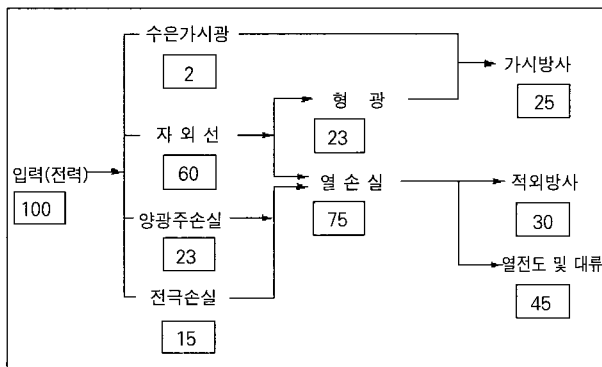


그림 2 형광등의 전압특성

표 1 형광램프의 에너지배분



형광램프의 광속, 전류, 전력 등은 그림 2에서와 같이 거의 전원전압에 비례하여 변화한다. 전원전압이 너무 높으면 전극의 과열로 관단흑화가 촉진되고, 너무 낮으면 기동이 불확실하게 되거나 전자방출물질의 스파터링 등으로 수명이 짧아진다. 따라서, 램프는 정격 전압의 ±6% 범위 내에서 사용하는 것이 바람직하다.

형광램프의 전극을 가열하면서, 램프의 전압을 조절하는 특수한 조광기 및 조광안정기를 사용하면 형광램프의 광속을 원활하게 조광할 수 있다.

형광램프의 발광, 효율 및 시동개시전압 등은 주위온도에 따라서 크게 영향을 받는다. 주위온도가 20~25℃(관벽온도 40~45℃)일 때, 발산광속이 최대로 된다. 이 온도일 때 253.7nm의 자외선 방사효율이 최대로 되기 때문이다. 저온에서는 방전개시전압이 상승하며, 이는 아르곤에 대한 수은증기의 분압이 감소되므로 수은원자의 전리확률이 떨어지기 때문이다. 그림에서와 같이 +10℃ 이하로 되면 광속은 급격히 감소하고 방전개시전압은 올라가서 점등이 곤란해진다. 그리고 발산광속은 +5℃~+35℃이상 되면 광속이 급격히 떨어진다.

형광램프의 광속은 사용 후 100시간까지 급격히 떨어지지만 그 이후는 완만하게 감소된다. 보통 100시간 후의 광속을 100%라 할 때, 수명시의 광속유지율은 75~85%로 저하된다. 그리고 형광램프의 수명에 미치는 요인으로서는 열음극의

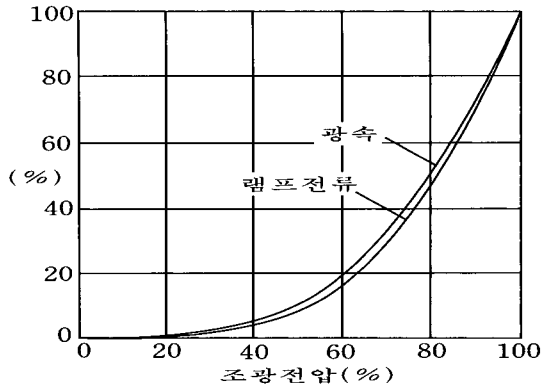


그림 3 형광등의 조광특성

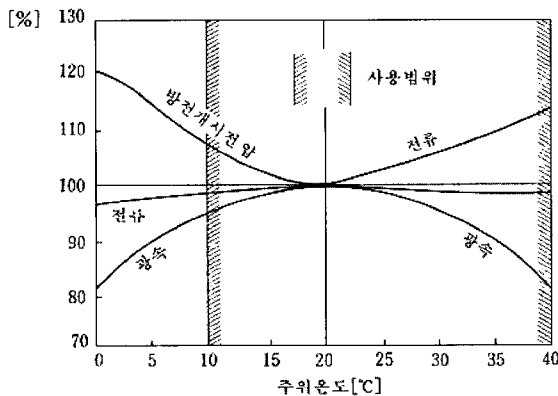


그림 4 형광등의 온도특성

소모와 형광체의 변질이 있다.

방전 중에 양이온이 높은 에너지로 음극면에 충돌하므로, 음극에 칠한 전자방출물질인 Ba, Ca 등의 산화물이 점차로 튀어나가서 음극이 붕괴된다. 튀어나간 산화물은 관단부에 부착하여 흑화된다. 그리고 오랜시간 점등하면 전자방출물질이 많이 소모되므로 전자방출능력을 잃고 점등불능으로 된다. 또한, 방전전류가 정격값보다 1% 증가하면 음극물질의 증발로 수명은 2%로 감소된다.

형광램프의 광속은 점등시간에 따라 점차로 감소되며 이것을 형광램프의 동정곡선(Performance Curve)이라 한다. 최초의 100시간은 광속이 급속히 감소하여 약 5~10% 어두워지고, 그 후는 안정되어 서서히 어두워진다. 이와 같이 광속이 감소되는 것은 파장 253.7nm의 방사는 수명 중에 감소하지 않고 주로 수은 화합물의 엷은 층이 형광물질에 부착하여, 이 층이 수은과 형광체로부터 방사를 흡수한다.

형광램프는 시동시 전극에 가장 부담을 준다. 이것은 시동시에 전극에 정상시의 2배 가까운 전류가 흐르고 높은 전압이 동시에 걸려 전극에 도포되어 있는 전자방사물질의 소모가 커지

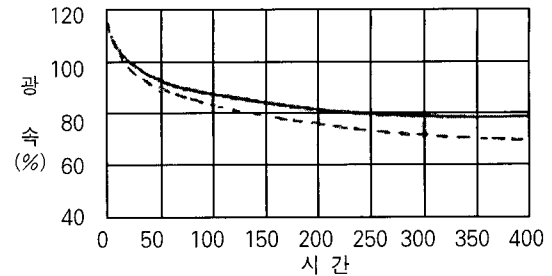


그림 5 형광램프의 동정곡선

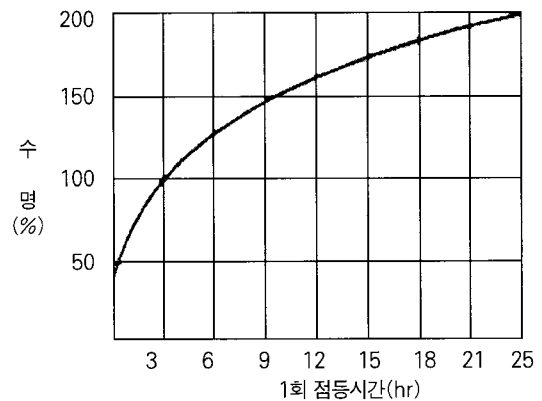


그림 6 수명과 점멸빈도의 관계

기 때문이다. 따라서 그림 6에 나타난 바와 같이 점멸빈도에 의해서 수명이 단축된다. 통상 1일 수회의 경우는 그다지 문제가 되지 않으나 점멸빈도가 큰 경우는 수명이 크게 단축된다.

형광램프를 상용주파수의 교류로 점등하면 반사이클마다, 전류의 증감에 따라서 광속이 변화한다. 따라서, 전원주파수의 2배 주파수의 빛의 어른거림(flicker)이 일어난다. 그 정도는 형광체의 잔광성에 따라 다르다. 즉, 보통 전원주파수가 60 Hz인 우리나라에서는 120 Hz라는 빠른 밝기의 변화가 있으며, 일반적으로 사람의 눈에는 빛의 어른거림이 느껴지지 않으나, 움직이는 물체를 형광램프의 조사광으로 보면 흐릿한 가상이 관찰된다. 빛의 어른거림 현상은 구동주파수가 높은 전자식 안정기에서는 나타나지 않는다

4. 램프전류의 왜형이 램프수명에 미치는 영향

전류파형의 왜형은 램프수명의 감소, 광출력의 변동과 전원 공급 시스템의 전선과 변압기의 과열과 같은 바람직하지 못한 결과를 초래하므로 주의를 기울여야 한다.

램프전력은 주어진 램프전압에서 램프전류의 평균치로 결정된다. 그러나 대개는 램프전류는 램프전류의 실효치를 사

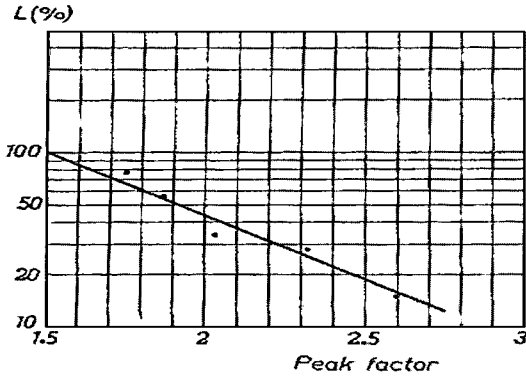


그림 7 파고치와 램프수명의 관계(TL 40 W)

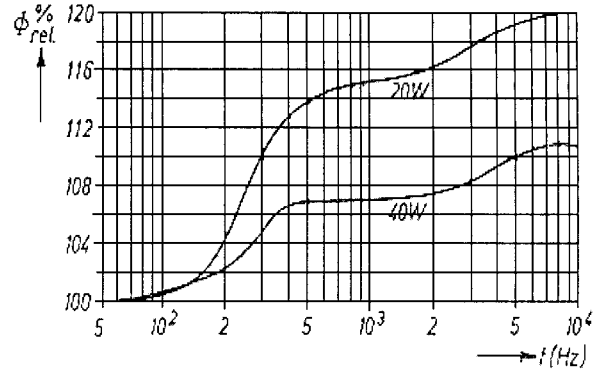


그림 8 주파수와 비광속과의 관계(20, 40W FL)

용하는데, 이것은 주로 전류왜형에 의하여 결정되는 평균치와는 다르다. 고조파의 최대치와 기본파의 최대치 사이의 각 변위가 잘 맞지 않는다면(대개의 경우 그렇다) 평균전류의 바람직한 값은 램프전류의 높은 실효치와 커다란 최고치를 동반한다. 램프전극은 이러한 높은 값에 적합하게 디자인되어 있지 않으므로, 결과적으로 램프수명은 단축된다.

전류의 실효치는 실효치에 대한 최대치의 비(peak factor or crest factor)에 비례한다. 램프전류의 평균치를 램프전력을 일정한 값으로 하기 위하여 대략 일정하게 유지시키며 측정된 데이터를 그림 7에 나타내었다.

램프전류의 최대치와 실효치의 비-peak factor-는 램프수명의 감소를 피하기 위하여 1.7을 넘지 않아야 한다고 국제적으로 동의되고 있다.(Ballast for fluorescent lamps, publications of the I.E.C., p.23 (1962))

최대치와 평균치의 비를 고정시킨다면 더욱 정확할 것이나, 이러한 비는 결정하기가 매우 어렵다.

5. 고주파 구동에 의한 형광램프의 특성개선

대부분의 형광램프는 고주파 구동이 가능하며, 이때 발광효율이 증가한다. 시스템 주파수가 증가할수록 안정기 장치는 작아지고 가벼워지며 효율이 증가한다.

60Hz이상의 주파수로 형광램프를 구동하면 램프 광효율의 증가를 가져온다. 램프 광효율의 증가와 더불어 안정기도 대개는 크기와 무게가 감소될 수 있다. 램프효율의 증가를 그림 8에 20W와 40W램프의 비광속을 주파수의 함수로 나타내었다. 여기에서의 효율의 증가는 전극에서의 손실이 줄어들기 때문이다. 이와 함께 프리커가 줄어든다.

주파수가 증가하면 램프전류가 감소하여, 10kHz에서는 60Hz에 비해 90%가량이 되어 안정기 손실이 감소한다.

반도체 소자의 발달과 놀라운 집적회로의 능력에 힘입어 안

정기 입력으로 50에서 60Hz 교류를 사용하여 결과적으로 안정기 효율과 램프 광효율을 모두 향상시킬 수 있는 수십 kHz로 램프를 구동시키는 전자식안정기가 출현하였다. 전자식 제어의 효과가 전적으로 수동적인 안정기 디자인에서 전에는 불가능하였던 광출력의 새로운 수준을 제공하였다는 것은 주목할 만하다.

6. 형광램프의 상품화 동향

최근의 형광램프의 상품화는 효율, 연색성, 에너지절약, 자원절약 및 환경친화성 향상을 위한 제품이 상품화되고 있다고 요약할 수 있다.

직관형 형광램프는 관경 22.5mm(T8)형광램프의 보급이 진행되고 있으며, 최근에는 관경 17mm(T5)의 형광램프가 개발, 도입되었다.

환형 형광램프는 이중 환형램프가 등장하였는데 종래의 관경 29mm보다 가는 관경 20mm의 발광관을 채용하고 2개의 환형 발광관을 브리지접합시켜 방전로를 길게 한 것이고, 또 하나는 T5 발광관을 채용한 것이다.

전구형광램프는 외관 글로부부착형과 노출형의 두 가지로 대별된다. 글로부 부착형은 발광관의 세관화에 의한 램프의 콤팩트화 제품 및 백열전구 100w에 상당하는 24W/25W 제품의 보급이 진행되고 있다. 노출형에서는 당초에는 2개의 U자형 또는 4개의 직관형의 발광관이 채용되었고 최근에는 3개의 U자형 또는 6개의 직관형 발광관을 갖는 제품이 보급되고 있다.

콤팩트형 형광램프는 응용면에서 주로 백열전구 대체용의 콤팩트한 저와트 타입과 직관형 형광램프 대체용의 고와트 타입으로 개발되었다. 당초 저와트 타입 및 고와트 타입은 각각 관경 16.5mm 및 200~22mm의 발광관을 채용하여 램프 형상면으로 1개의 U자형이나 2개의 직관형타입, 또한 2개의 U자형이나 4개의 직관형 및 M타입이나 W타입이 제품화되

있다. 최근의 콤팩트형 형광램프는 저와트 타입에 관하여는 더욱 콤팩트화하여 세관경 12.5mm로 형상이 3~4개의 U자형이나 6개~8개의 직관형의 발광관을 채용하여 제품화되고 있다. 고와트 타입에서도 발광관의 세관화로 관경 17.5mm의 발광관을 사용하고 있다.

이외의 새로운 상품이 될 형광램프로서는 잔광형 형광램프, 광축매막도포 형광램프 및 무전극 형광램프가 있다.

참고 문헌

- [1] 池哲根, 照明原論, 1995, 文運堂
- [2] 池哲根, 最新照明工學, 1994, 文運堂
- [3] KSC 7601 : 1997, 한국표준협회
- [4] KSC 7602 : 1997, 한국표준협회
- [5] IESNA, Lighting Handbook, 8/e, 1993.
- [6] W. Elenbaas, Light Sources, Mcmillan.
- [7] W. Elenbaas, Fluorescent Lamps, Mcmillan.
- [8] J. F. Waymouth, Electric Discharge Lamps, The MIT Press.
- [9] Chr. Meyer et al., Discharge Lamps, Philips Technical Library.
- [10] 일본조명학회, 조명교실 67, 『광원』.
- [11] 여인선, “무전극 방전등의 원리”, 조명·전기설비학회지, 1992.
- [12] 西宮雅樹, “無電極螢光ランプ”, 照明學會誌, 82(6), pp.394~397, 1998.
- [13] 여인선, “신조명광원 기술동향”, 전기학회지, 47(8), pp.33~42, 1998.

〈 저 자 소 개 〉



이진우(李鎭雨)

1961년 2월 4일생. 1984년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1990년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1990년~1994년 (주)세명백트론 연구실장. 현재 호서대학교 제1공학부 전기전공 조교수. 조명·전기설비학회 조사이사.