

콤팩트 형광램프의 전극구조에 대한 고찰

(A Study on Electrode Construction of Compact Fluorescent Lamp)

신 상 옥*, 이 세 현, 조 미 령, 황 명 근

Sang-Wuk Shin*, Se-Hyun Lee, Mee-Ryoung Cho, Myung-Keun Hwang

한국조명기술연구소

Abstract

In this paper, we observed an electrode structure that is an important element that decide life of compact fluorescent lamp. We measured winding and application type of electron emission material and electrode damage with SEM(Scanning Electron Microscope). From now on, we need to measure rather several difference aging-time sample than analyze a relation electrode between life

1. 서 론

국내 조명산업은 1887년 경복궁에 16축 750개의 백열전구 시등을 시작으로 120년의 역사를 가지고 있다.

초창기 광원은 대부분 백열전구가 차지하고 있었으나, 필라멘트의 산화로 인한 단수명과 높은 휘도로 불쾌감이 높아 점차 직관 또는 환형의 형광램프가 보급화 되었다.

형광램프는 이제 조명기구의 대명사처럼 되어 버렸다. 형광램프는 기체나 증기 속의 방전에 의한 빛을 광원으로 이용한 것이다. 따라서 필라멘트 발열에 의한 주열 발열을 이용한 백열전구와는 발광 원리가 근본적으로 다르다고 할 수 있다.

최근 한국전력공사 통계조사 보고에 따르면 형광램프는 가정용 조명기구의 약 70%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

특히, 백열전구와 유사한 형태를 가지는 콤팩트 형광램프의 사용이 급속히 증가하고 있으며, 이러한 콤팩트 형광램프는 모든 백열램프를 대신하여 어디든지 사용할 수 있고, 광량의 경우 60W백열램프가 사용되는 등기구에 23W 램프를 사용할 경우 120W 백열램프와 같은 밝기를 낼 수 있으며 이것은 2배의 광량을 가진다는 것을 의미한다.

경제성을 예로 들면, 콤팩트 형광램프는 백열전구

보다 수명이 12배 길고 에너지를 80%적게 소모하면서 같은 밝기의 빛을 내는 여러 가지로 월등히 경제적인 램프이다. 백열전구는 전기 에너지의 95%를 열로, 나머지 5%만을 빛으로 변환한다.

본 논문에서는 보급화가 급속히 진행중인 콤팩트 형광램프의 특성에 대해 알아보고 또한, 수명에 직접적인 영향을 주는 전극 또는 필라멘트 구조를 측정하여 콤팩트 형광램프의 전극 설계시 도움을 주고자 한다.

2. 본 론

콤팩트 형광램프의 내부 구조는 크게 전극, 봉입 가스, 형광물질, 안정기 등 네 가지로 이루어져 있다. 콤팩트 형광램프의 원리는 일반 형광램프와 마찬가지로 고압에서 흐르는 전류의 방전을 이용한 것인데, 양끝에 전자를 발생시키는 전극(Electrode)은 대부분 텅스텐 재질을 사용하여 2중 또는 3중으로 꼬아 만든 필라멘트가 사용된다.

이러한 필라멘트에 고압이 걸리면 필라멘트는 가열되고, 이곳에서 전자가 방출된다. 전극은 전자가 방출되는 온도에 따라 열전극과 냉전극으로 나누어진다. 참고로 형광램프는 900°C에서 전자가 방출되는 열전극에 속한다.

전극에서 방출된 전자는 양극을 이동하면서 유리

관 속을 이온화 시키고, 수은가스와 충돌한다. 따라서, 수은 가스 속에서 방전이 발생해 전자가 양 전극을 왕복하게 된다. 이 과정에서 수은 가스는 자외선을 발생시키고, 자외선만으로는 광원의 역할을 할 수 없기 때문에 유리면에 발라져 있는 형광물질을 자극시켜 가시광선을 만들어내는데, 우리가 보는 것 같은 형광등의 불빛은 바로 자외선이 형광체를 자극하여 발생하는 가시광선인 것이다.

2.1 콤팩트 형광램프의 구조

2.1.1 필라멘트(Filament)

필라멘트 양단에 전압이 걸리기 시작하면, 먼저 필라멘트가 가열이 되기 시작한다. 형광램프에 사용되는 필라멘트는 대부분이 텅스텐으로 만들어져 있다. 이는 텅스텐이 금속 중 가장 높은 온도까지 견딜 수 있는 특성을 가지기 때문이다. 열전자의 방출을 증대시키기 위해 이 전극(필라멘트)에는 열전자가 튀어나가기 쉬운 물질인 바륨이나 스트론튬이 발라져 있다. 또한 같은 이유로 산화물들을 입혀 놓은 경우도 있다.

텅스텐은 900°C에서 열전자를 방출 시키는 열전극이다. 따라서 필라멘트의 온도가 900°C 정도까지 올라가게 되면, 열전자가 방출되기 시작 한다. 열전자란 금속이 높은 온도에서 에너지를 받아 금속 내부의 전자들이 여기상태(Excited state)가 되고 이 전자들 중 밖으로 튀어나와 자유로이 움직이는 전자를 이야기 한다. 이 열전자는 전하를 띄고 있으므로 두 전극사이를 왕복 하게 되고(교류이기 때문에), 이 때 발생하는 수은 증기와와 충돌로 수은 전자를 다시 여기 시키게 된다.

2.1.2 방전관(Bulb)

보통의 형광램프의 경우 긴 유리로 된 관을 이야기 한다. 이 관에는 아르곤과 같은 할로겐 기체와 질소, 그리고 수은이 들어있다. 냉각된 상태에서 때때로 형광램프의 방전관 아래 모여 있는 수은을 관찰할 수 있다. 하지만 이는 미량이기 때문에 잘 관찰되지 않는 것이 보통이다.

형광램프에 들어있는 수은 기체로 인해 형광램프가 기체방전을 일으키게 된다. 하지만 질소, 아르곤과 같은 반응성이 낮은 기체들을 같이 넣어주게 된다.

2.1.3 형광물질(phosphor)

방전관 안쪽 벽면에 도포되어 있는 하얀 가루 형태로 보이며, 이 형광물질(螢光物質)로 인해 수은기체 방전에 의해 발생하는 푸르스름하고 약한 빛이 우리가 보통 보는 형광램프의 빛으로 바뀌게 된다. 이 형광물질은 형광램프뿐만 아니라 TV스크린, 모니터 등과 같은 CRT(Cathode Ray Tube)를 이용한 영상표시 장치에 넓게 사용되고 있다. 형광물질은 종류에 따라 나타내는 색이 다르다. 예를 들어 Ag를 입힌 ZnS는 파랑색을 나타내며, Mn에 입혀진 ZnSiO₄의 경우는 녹색을 나타낸다. 또한 Eu가 입혀진 YVO₄는 붉은 색을 나타내는 것으로 알려져 있다.

2.1.4 안정기(Ballast)

콤팩트 형광램프를 점등시키려면 일반 백열전구와는 달리 초기 점등시에 램프의 방전을 용이하게 하기위해 고전압이 필요하고, 방전을 통하여 형광램프가 점등되면 과도한 전류가 흐르는 것을 방지하기 위하여 전류를 일정한 값으로 제한하는 회로가 필요하다. 이같은 목적에 따라 개발된 것이 철심코어에 구리동선을 감아 놓은 초크와 바이메탈을 사용한 클로우 스타터 램프를 이튼바 자기식 안정기이다. 그러나 콤팩트 형광램프 초기에 사용되었던 자기식 안정기는 전력손실률이 크고, 부피 및 무게에 있어서 콤팩트 형광램프에 사용하기에 매우 부적합하다.

이에 따라 최근에는 전력손실을 극대화하여 에너지 절감효과 극대화한 전자식 안정기가 주로 사용되고 있다. 이러한 전자식 안정기는 전자부품의 사용으로 무게 및 부피가 획기적으로 감소하는 장점을 가지고 있다.

2.2 전극

2.2.1 재질 및 제조법

주로 광원에서 사용되는 전극의 재질은 텅스텐으로 주기율표 6A족에 속하는 원소이다. 원소기호 W, 원자번호 74, 원자량 183.85±3, 비중 19.3(0°C)이다. 녹는점 3387°C, 끓는점 5927°C로 고온에 강한 성질을 가지고 있다.

주로 텅스텐산염 광물로서 널리 존재하는데 양은 그다지 많지 않다. 주요 광물로 회중석(灰重石, CaWO₄)·철망간중석 등이 있다.

제법으로는 철망간중석은 알칼리로 용해한 뒤에,

회중석은 그대로 염산처리하여 산화텅스텐(VI) 1수화물 $WO_3 \cdot H_2O$ 를 얻어, 이것을 수소기류(水素氣流)속에서 $700^\circ C$ 로, 또는 탄소·규소·나트륨·마그네슘 등의 환원제와 가열하면 환원소물질금속이 된다. 용해염속에서의 전해환원으로도 얻어진다. 이들 텅스텐 금속은 일반적으로 분말상(粉末狀)인데 분말을 가압성형하여 소결하는 분말야금법으로 순금속의 강괴(鋼塊)로 만든다. 고순도 단결정(單結晶)은 유기물과 눌러서 균한 분말텅스텐을 수소기류속에서 $2200^\circ C$ 로 가열하여 얻는다.

2.2.2 특성

텅스텐 필라멘트의 경우에 불이 켜지면 필라멘트의 온도는 약 $2,000^\circ C$ 나 된다. 태양의 표면 온도는 약 $6000^\circ C$ 이므로 대단히 높은 온도이다. 저항은 저항선의 길이(L)에 비례하고, 단면적(A)에 비례한다.

즉, $R = \rho(L/A)$ 이며, 이 때 비저항 ρ 는 물질에 따라 정해지는 상수이며, 온도가 증가하면 다음과 같이 커진다.

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta T) \quad (\text{단, } \rho_0 \text{는 } 0^\circ C \text{일 때의 비저항})$$

이때, 알파를 저항에 대한 온도계수라고 하는데, 여러 물질들에 대한 그 값은 표1.과 같다.

표 1. 온도계수

Table 1. Temperature Coefficient

알루미늄	0.0039
청동	0.002
구리	0.000002
철	0.00393
수은	0.000000
니크롬	0.0004
은	0.003927
주석	0.0042
텅스텐	0.0045
게르마늄	-0.05
실리콘	-0.075
탄소	-0.0005

이 값들은 약 20도 정도에서 측정된 값이며, 양수인 경우에는 온도가 증가하면서 저항이 커지는 경우이고, 음수인 경우는 온도가 올라가면서 오히려 저항이 작아지는 경우이다. 게르마늄과 실리콘과 같은 반도체가 반도체와 도체와 다른 점이 바로 이것이다. 반도체인 경우에 온도가 높아지면 전하 운반체가 에

너지를 얻어 오히려 저항이 작아지는 경향이 있다.

텅스텐의 경우에 알파값을 넣고, 온도가 약 $2,000$ 도로 증가하게 되면, 비저항이 $1 + 0.0045 \times 2,000$ 이 되므로, 약 9배 증가하게 된다.

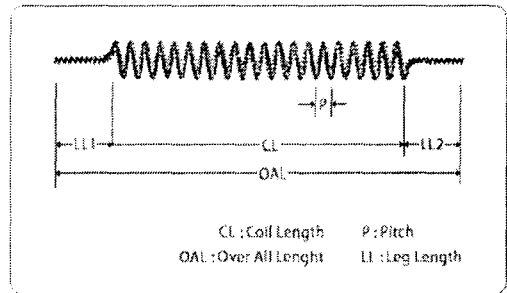
2.2.3 설계

전극 설계시 가장 중요하게 고려되어야 할 것은 코일의 성형 종류(2중, 3중) 및 램프의 종류, 소비전력 등을 들 수 있다.

그림 1은 백열전구에서 사용되는 텅스텐 필라멘트의 치수 측정 포인트(Point)를 나타낸 것이다.

그림 1. 백열전구용 필라멘트

Fig. 1. Filament of Incandescent Lamp

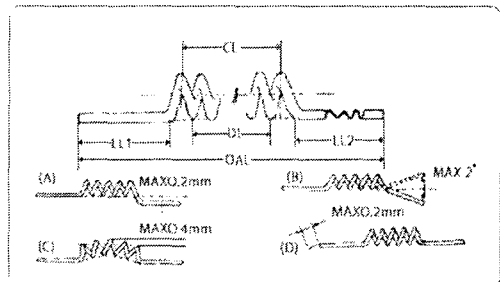


백열전구 220V 60W 대략적인 치수는 OAL 34mm, CL : 28mm, LL12 : 3mm로 나타났다.

그림 2는 형광램프에서 사용되는 필라멘트의 치수 측정 포인트를 나타낸 것이다.

그림 2. 형광램프용 필라멘트

Fig. 2. Filament of Fluorescent Lamp



형광램프 200V 20W의 경우 OAL 16.2mm, LL12 4.9mm, DL 4.2mm로 나타났다.

2.3 측정

2.3.1 측정장비

측정장비로는 콤팩트 형광램프의 전극구조를 세밀히 관찰할 수 있는 주사전자현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)이 요구되어, 한국조명기술연구소에서 보유하고 있는 Jeol社의 모델명 JSM-5610을 사용하였다. 주사전자현미경의 외형과 사양은 각각 그림3. 표2와 같다.

그림 3. JSM-5610 외형
fig. 3. JSM-5610 Shape

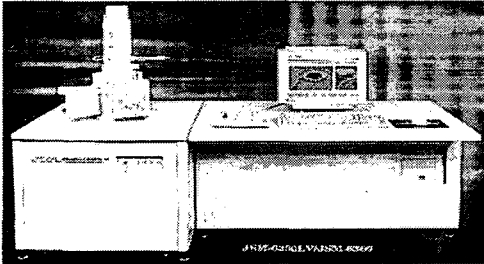


표 2. JSM-5610 사양
Table 2. JSM-5610 Specification

구 분	사 양
Resolution	5nm
Magnification	X9 ~ X300,000
Acc Voltage	0.3 ~ 30KV

2.3.2 측정방법

대상 시료를 그룹 1과 그룹 2로 나누어 측정하였다.

그룹1과 그룹2의 시료 성격은 다음과 같다.

구 분	시료수 (개)	특 성
그룹 1	4	<ul style="list-style-type: none"> ○ 200Hr 에이징 ○ 측정 메이커 <ul style="list-style-type: none"> - A(유럽) 20W 1개 - B(중국) 20W 1개 - C(국내) 20W 1개 - D(국내) 20W 1개
그룹 2	2	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2,000Hr 이상 에이징 ○ 측정 메이커 <ul style="list-style-type: none"> - A(중국) 20W 1개 - B(국내) 19W 1개

측정을 위해 다양한 에이징 시간대의 시료가 필요로 하나 본 논문에서는 200시간과 2000시간 에이징을 완료한 2가지 시료로 측정하였다.

향후 보다 다양한 에이징 시간을 거친 시료를 확보하여 보완할 예정이다.

2.4 측정결과 및 분석

측정을 위해 그룹별로 콤팩트 형광램프 벌브를 파손하여 최대한 전극의 손상 없이 벌브로부터 분리하였다.

그룹1의 A사, B사, C사, D사 전극 측정 사진은 각각 그림4, 그림5, 그림6, 그림7에 나타내었고 치수 측정은 표3에 표기하였다.

치수의 경우 측정을 위해 고정시키는 작업에서 약간의 편차가 생기고 있으나, 시료를 고정하기 위해서는 어쩔 수 없으므로 무시하기로 한다.

그림 4. 그룹-1 A 측정 결과
Fig. 4. Group-1 A Measurement Result

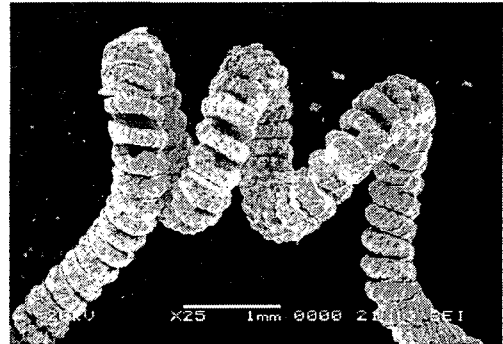


그림 5. 그룹-1 B의 측정 결과
Fig. 5. Group-1 B Measurement Result

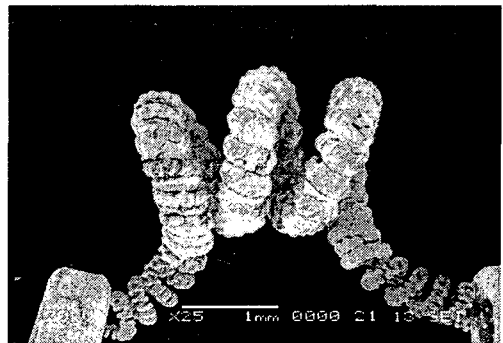


그림 6. 그룹-1 C의 측정 결과

Fig. 6. Group-1 C Measurement Result

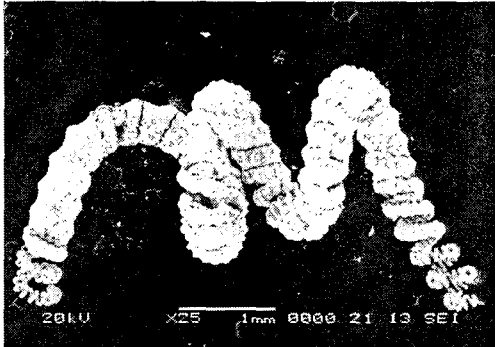


그림 7. 그룹-1 D의 측정 결과

Fig. 7. Group-1 D Measurement Result

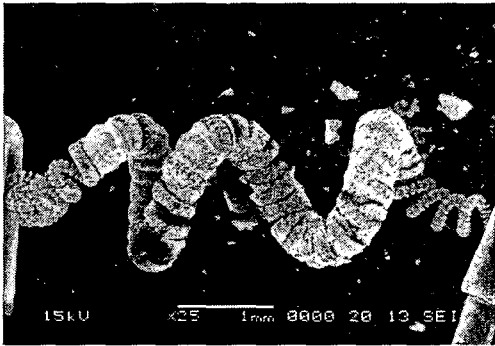


표 3. Group-1 치수

Table 3. Group-1 Dimension

시료구분	AOL	DL	LL*2
A	13	1.5	3.5
B	12	1.2	2.4
C	11	1.5	3
D	11	1.8	2.6

*단위 : mm

그룹1의 측정결과에서는 측정사진에서도 볼 수 있듯이 텅스텐 코일을 사용하여 3회 정도 꼬아 만들어 2중 코일의 형태를 보이고 있다.

특히, 코일에 전자방출물질(바륨 또는 스트론튬) 도포 형태를 자세히 관찰할 수 있었는데, 시료 A의 경우 전체적으로 균일하게 도포되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 시료 B의 경우 도포의 형태가 불균형한 것으로 판단된다. 시료 C와 D는 전반적으로 중간

형태의 도포를 유지하고 있었다.

다음은 그룹2의 시료에 대한 측정결과를 그림8과 그림9에 나타내었고 치수는 표4에 기록하였다.

그림 8. 그룹-2 A의 측정 결과

Fig. 8. Group-2 A Measurement Result

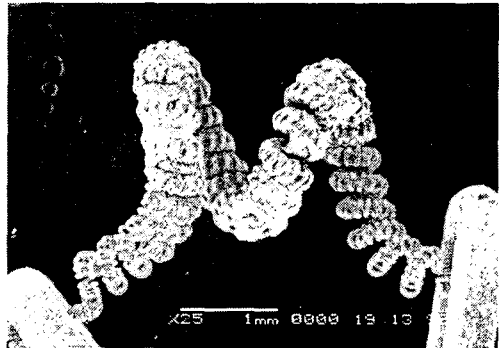


그림 9. 그룹-2 B의 측정 결과

Fig. 9. Group-2 B Measurement Result

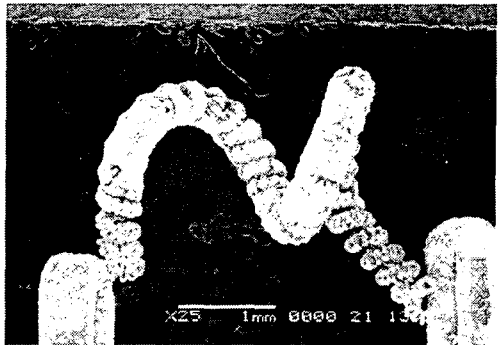


표 4. Group-2 치수

Table 4. Group-2 Dimension

시료구분	AOL	CL	LL*2
A	8.5	1.8	3
B	7.5	1.8	2

*단위 : mm

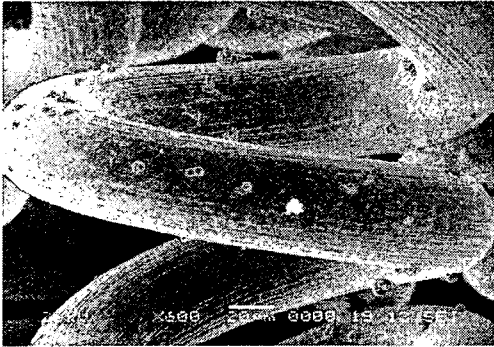
그룹 2의 측정결과 상당히 의외의 결과가 나왔다. 이것은 시료B의 경우 국내 제품으로 판매되고 있으나, 필라멘트 형태 및 전자방출물질의 도포된 형상으로 보면 중국산으로 추정된다.

측정결과 에이징이 증가할수록 보조전극에서 가까운 곳의 전자방출물질의 소모가 급속히 급진전된 것을 측정결과 볼 수 있었다.

또한, 그림 10에서와 같이 아르곤(Ar) 가스의 봉입으로 2,000시간의 에이징 동안에도 텅스텐의 손실은 거의 없는 것으로 측정되었다.

그림 10. 그룹-2 A 표면

Fig. 9. Group-2 A Surface



3. 결 론

본 연구에서는 최근 급속히 보급화 되고 있는 콤팩트 형광램프에 대한 특성 및 전극 구조를 다양하게 알아보았다.

물론 콤팩트 형광램프의 전극설계에 대한 부분은 이미 공급사로부터 규격화된 치수의 필라멘트를 공급받아 제조되고 있으며, 본 연구에서는 측정된 시료 및 에이징시간의 한계성을 둘 수 있으나, 기존에 에이징 시간에 따라 전자방출물질의 소모, 텅스텐의 손실 등을 측정하고 분석한 자료는 전무한 것이 사실이다.

따라서, 본 논문에서 언급되었던 연구결과가 전극을 제조하는 기업이나 전극을 공급받아 콤팩트 형광램프를 제조하는 기업 등에서 고품질의 제품을 생산하는데 조그만 도움이 될 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

[1] E. C. Snelling, "Soft Ferrites Properties and Applications", Butterworth & Co. Ltd, 1988
 [2] Brian cook, "New developments and future trends in high-efficiency lighting", Engineering Science and

Education Journal, Vol. 9, pp. 207-217, 2000.
 [3] V.A Godyak, K. Chata, et al., "Radio Frequency Light Sources", Industry Applications Conference, Conference Record of the 2002 IEEE, Vol.5, pp.3281-3288, 2000.
 [4] R. B. Piejak, V. A. Godyak, B M Alexandrovich, "A simple analysis of an inductive RF discharge" Plasma Sources Science Technology, Vol.1, pp.179-186, 1992.
 [5] J. T. Gudmundsson, M A Lieberman, "Magnetic induction and plasma impedance in a cylindrical inductive discharge", Plasma Sources Science Technology, Vol.6, pp.540-550, 1997.
 [6] V. A. Godyak, R. B. Piejak, B. M. Alexandrovich, "Electrical characteristics and electron heating mechanism of an inductively coupled argon discharge" Plasma Sources Science Technology, Vol.3, p.169, 1993.
 [7] Chandra, H., "Mitigation of electromagnetic interference in low power compact electrodeless lamps", Industry Applications Conference, 31th IAS Annual Meeting, Conference Record of the 1996 IEEE, Vol.4, pp.2194-2200, 1996.
 [8] J.R.Coaton and A. M. Marsden "Lamps and Lighting" chapter 11, pp216-226. 1996.
 [9] Jing and Yinzhao Lei, "Analytical expression to impedance for solenoid coil with a coaxial cylindrical ferrite core of finite length. Journal of Physics D: Applied Physics. 35(2002) 570-575.
 [10] Ben-Yaakov, S.; Shbartsas, M.; Lester, J., "A behavioral SPICE compatible model of an electrodeless fluorescent lamp", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002. APEC 2002. 7th Annual IEEE, Vol.2, pp.948-954, 2002.
 [11] D.O. Wharmby, " Electrodeless lamps for lighting: a review", IEE Proceedings 140A, pp.465-473, 1993.
 [12] 함중걸, 권진상, "고효율 무전극 형광등 시스템" 한국조명·전기설비학회 Vol.17, pp3-8, 2003.
 [13] B.P. Turner, M.G. Ury and D.A. McLennan, "Microwave excited sulfur lamp", Paper QA2. 47th Annual Caseous Electronics Conference (Gaithersburg, MD, USA), 1994.
 [14] 황명근, 이종찬, 박대회, "무전극 램프의 기술동향과 전망", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, pp.23~26, 2001.
 [15] Siwen Xue, Pierre Proulx and Maher I Boulos, "Extended-field electromagnetic model for inductively coupled plasma" J.Phys. D: Appl. Phys.34, pp.1897-1906, 2001.
 [16] G.I. Babat, "Electrodeless Discharge and some applied problems", J. IEE, Vol.94, pt3, pp.27-37, 1947.