

## 네오디뮴 램프의 광 특성 분석

어 익수  
호남대학교 전기공학과

### Lighting Characteristic Analysis with Neodymium Lamp

I. S. Eo  
Department of Electrical Engineering, Honam University

**Abstract** - The most ideal light source known to the mankind is sunlight. Therefore, whenever an artificial light source is needed in a dark place such as in a shadowed houses, the utmost goal is to find an artificial light characteristics of which approaches that of sunlight. On this ground, we have investigated a Neodymium lamp as a possible substitute for sunlight. Especially, the local and the color rendering, a life expectancy, and the overall efficiency are carefully studied.

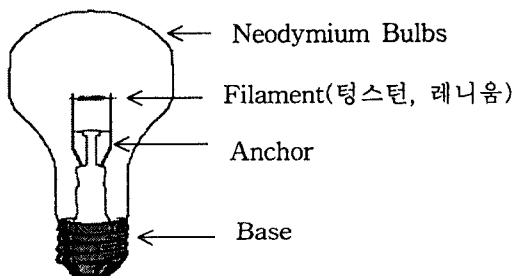
#### 1. 서 론

네오디뮴 램프는 백야의 나라 핀란드에서 "Chromalux Full Spectrum"이란 어원으로 시작 되었으며 근자에는 "Neodymium"이란 이름으로 사용된다. 년6개월 정도 어둠의 나라 핀란드는 겨울날 희색빛은 분위기와 에너지 흐름에 부정적인 영향을 주고, 낮이 짧은 겨울에는 자연광이 연장되어야 할 필요성을 느낀다. 이에 적합한 조명으로써, 노란색의 좁은 파장과 초록색의 파장이 강해 흰색이 더 강한 빛을 내는 램프의 필요성에 적합한 램프로써 사용되어 졌다. 또 다른 의미로는 파장류의 뼈를 튼튼히 하고 표피를 강하게 하는 비타민 D3(UV-B영역:290~320nm)가 풍부한 영역의 램프로 소개 되었으며 현재는 다양한 일반적 조명으로서의 광원으로 사용되고 있다. 태양광과 유사한 파장과 강한 스펙트럼을 가진 네오디뮴 전구에 레니움 필라멘트를 장착하여 수명을 증대하고 효율을 증가하는 방안에 대하여 알아보고자 한다. 백열등의 색상은 자연광과 비슷하나 효율이 낮고, 형광등은 효율은 높으나 청색이 강한 색상이고, 고휘도 광원은 실내에 부적합한 특징을 가지고 있다. 미국이나 유럽에서는 현재도 사람이 거주하는 공간에서는 색온도가 낮은 백열등을 사용하고 있으며 이에 대한 고효율 방안(필라멘트 및 가스)에 대하여 지속적으로 연구되고 있다. 그 중에서 본고는 Neodymium Lamp(질소80:크립톤20)에 대한 광 특성을 분석하고 태양광과 비교하여 고효율을 이룰 수 있는 가능한 방법을 알아보고자 한다. Neodymium Lamp는 태양광과 같은 자연색의 재현으로 상품 본래의 색을 그대로 나타낼 수 있어 우리가 원하는 Well-being 전구에 가까운 건강한 신체적 리듬을 제공하여 질 높은 환경을 요구하는 장소에 좋은 광원으로 이를 검증받을 것이다.

#### 2. Neodymium Lamp 구성

##### 2.1 네오디뮴 램프의 구조

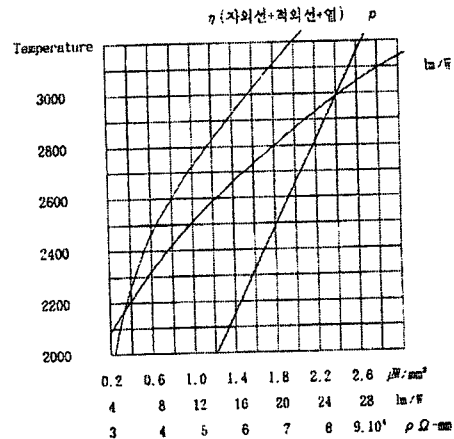
일반 백열등과 네오디뮴 램프의 다른 점은 그림 1에 보는 것과 같이 네오디뮴 코팅을 통해 별빛이 푸른빛을 띠고 있고, 효율을 극대화하기 위하여 질소대신 크립톤 가스를 주입한 것과, 텅스텐 필라멘트를 레니움 텅스텐으로 개선하고, 램프벌브의 2단 반사를 사용하여 고효율을 이룬 것이 내부의 구조의 변화이다.



<그림 1> 네오디뮴 램프의 구조

##### 2.2 텅스텐 필라멘트의 계산법

Filament는 전구의 핵심부품으로 Tungsten 원석으로부터 가공과정이나 열처리 방법에 따라 품질이 크게 변화 한다. 특히 가공중의 당김 또는 열처리시의 결정의 성장변화, 전구조립 후의 결정전위, 진공도, 봉입가스의 순도, 압력 등을 분석하여 필라멘트 코일을 설계하여야 한다. 이 때문에 전구의 초기특성, 수명, 점등시의 늘어짐, 흑화 등 전구공장의 제작조건 등을 종합적으로 검토, 설계하여야 한다. Filament coil의 설계에 있어서 핵심요소는 텅스텐선의 굵기 및 굵기 편차, 텅스텐선의 길이, Mandrel의 굵기, Coil Pitch 및 권 회수 등이며 이중 텅스텐 선경과 길이와의 관계 및 심선 (Mandrel)과 Pitch의 결정이 중요하다. 백열전구의 특성에 영향을 주는 요인이 너무 많고, 또한 필라멘트의 설계도 어떤 이론적인 공식이나 법칙보다는 설계자의 경험 및 권선기에 따라 제작 방법이 다르다. 필라멘트에서 텅스텐의 중요한 요소는 비저항( $\rho$ -m), 전방사( $\mu$ /m), 빛의 효율(lm/w)이다. 이들은 그의 온도만 알게 되면 그림 2에서 구할 수 있다.



<그림 2> 온도에 따른 제 요소와의 관계

그러나 필라멘트의 효율과 수명도 중요한 변수이므로, 단지 필라멘트의 온도만 알아서 되는 것은 아니다. 다음은 기본적인 직선 필라멘트를 구하는 식을 알아본다.

$$lm/W \text{ Lamp}$$

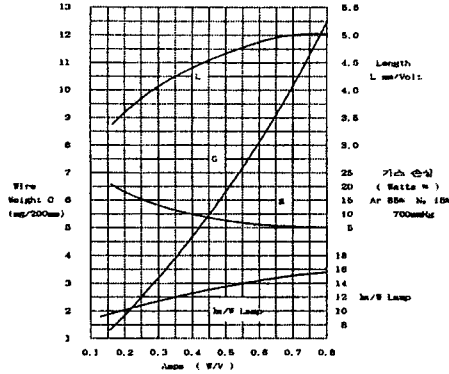
$$lm/W = (1-a) \times (1-v-g) \times Z \text{ -----(1)}$$

여기서 a는 유리구의 광흡수 계수(약 0.02), v는 전극과 앵커의 열전도에 의한 손실 (약 0.035), g는 가스의 열대류에 의한 손실 (0.05~0.4)이며 진공전구의 경우 g는 0이다. 또한 Z는 흑화계수 (0.91 ~ 0.95)이며 lm/w Lamp는 IEC, KS 등의 규격에 있는 효율(1,000시간 기준), lm/w는 진공에서 직선형 텅스텐선의 효율이다. 선경 G(mg/200mm)와 길이 L(mm/volt)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G = 1,665 \times \left\{ \frac{\rho}{\eta} \times \frac{1-v-g}{\varphi} \times I^2 \right\}^{2/3} \text{ -----(2)}$$

$$L = 0.43 \times \left\{ \frac{1}{\rho I^2} \times \frac{1-v-g}{\varphi^2} \times \eta \right\}^{1/3} \text{ -----(3)}$$

여기서  $\eta$ 는 효율,  $n$ 는 자외선과 적외선과 열을 더한 계수,  $I$ 는 Lamp의 전류(A),  $\phi$ 는 Coil Filament의 전 방사에 의한 감소계수(0.65 ~ 0.7)이다. 식(2), (3)에서 G와 L은 효율과 전류로 결정된다. 여기에 추가적으로 Lamp의 형상, 심선, Pitch 및 Coil 길이 등의 요인이 부가적으로 고려되어야 한다. 예로 220V-100W 이중Coil 가스 입전구의 경우 Lamp전류는 0.46A가 되며 그림 3을 보면 효율(lm/W Lamp) 및 G와 L의 값을 알 수 있다. 효율(lm/W Lamp)이 13.5lm/W, 선경 G는 6.3mg/200mm, 길이 L은 4.7mm/volt, 220V로 전장은 220×4.7=1,034mm, 가스의 대류손 g는 18%가 된다.



〈그림 3〉Coiled Coils GAS-filled 0.15~0.8Amps

2.2.1 심선(Mandrel Wire)과 Pitch의 결정

Coil Filament는 텅스텐 선을 심선에 감은 후 심선을 화학적으로 용해하는 방법에 의해서 얻어진다. 2중 Coil Filament의 경우에 필라멘트 선을 일정한 길이로 절단함으로써 심선이 조금만 굵거나 가늘어도 선의 길이가 짧게 되어 특성에 영향이 크다. 또한 Pitch가 좁거나 넓어져도 감기는 수(卷數)가 많아지거나 적게 되어 특성에 큰 영향을 준다. 이 심선과 Pitch에 대한 Data는 표 1과 같다.

〈표 1〉코일 기증

구분	가스 입	
	2중 Coil	
	1차 Coil	2차 Coil
선경 G(mg/200mm)	그림 3	
선의 길이 L(mm/volt)	그림 3	
심선의 직경 D Coil선의 직경 d	1.8 ~ 2.2	1.8 ~ 2.2
심선의 재료	Mo	Mo 또는 강선
Coil 간격거리 Pitch=선의 직경	1.5 ~ 1.9	1.5 ~ 1.9

2.3 주입가스(크립톤)의 농도

백열전구의 광 출력과 수명은 서로 반비례한다. 코일은 음의 법칙에 따르는 전기저항을 가지고 있기 때문에 MG가 일정한 코일의 경우 길이가 1% 짧아지면 전류가 1%증가하여 온도상승이 따른다. 텅스텐 증발속도는 2,500℃에서  $7 \times 10^{-5}$  [g/㎡·sec]이며 3,000℃에서는  $2.4 \times 10^{-5}$  [g/㎡·sec]이고, 이것은 필라멘트의 온도가 500℃ 오르면 필라멘트의 증발속도는 343배 증가함을 의미한다. 따라서 백열전구가 동작하는 온도는 2,500℃로 설계되어 있으며 가스입 전구보다 진공전구는 같은 조건에서 증발이 크게 된다. 표 2는 조명광원의 혼합가스로서 사용되는 비율표이다.

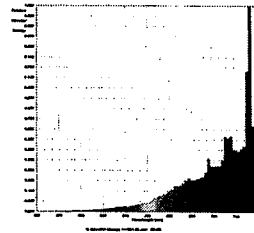
〈표 2〉 N2 in Ar

Mixture Range	Contents				Filling Pressure 25°C
	40l, 47l	10l	3.4l	1l	
N <sub>2</sub> 2~5%	2000~ 4000l	500~ 1000l	100~ 300l	10~ 100l	10~100k/㎡

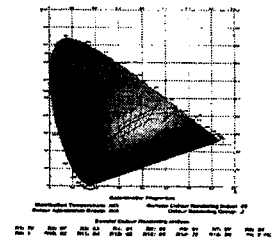
3. 광 특성 비교

백열전구에 주입하는 가스는 필라멘트의 증발을 억제하기 위하여 주기율표에서 18족의 불활성 기체를 사용하는데, 그 중에서도 크립톤과 같이 무거운 기체를 사용하면 필라멘트에서 증발된 텅스텐 입

자가 튀어나가다가 무거운 크립톤에 부딪쳐서 되돌아오는 과정을 반복해서 효율과 수명을 증가시키며 램프의 크기를 소형으로 만들 수 있다. 태양광과 220V-60W 크립톤 전구(질소80%:크립톤20%) [그림4, 그림5]의 비교 실험을 통해 광 특성을 비교 하였다.



〈그림 4〉 질소(80):크립톤(20)파장



〈그림 5〉 질소(80):크립톤(20)색좌표

태양광과 네오전구(질소:80, 크립톤:20)를 비교 실험한 결과 표 3과 같이 정리되었다. 결과적으로 네오전구의 에너지 상대값의 평균치가 크고 (%Spectral Energy=> 600nm가 92.3%로 측정), 연색성은 92.3%로 비슷하며, 플 스펙트럼 방사의 형태는 태양광과 비슷하여 광색의 면에서만 본다면 자연스런 태양광과 비슷함을 알 수 있다.

〈표 3〉 태양광과 네오전구의 결과 비교

특성	태양광	220V-60W 네오전구 (질소80%:크립톤20%)	비교
파장	그림5참조 % Spectral Energy>=600nm:74.8%(자외선과 적외선이 다량함유)	그림7참조 %Spectral Energy>=600nm:92.3%	
색좌표	그림 6 참조 [x=0.473, Y=0.422]파장이 좌측으로 이동하며 흰색광이 많다.	그림 8 참조 [x=0.562, Y=0.397]	
색온도	2,619 °K	1,867 °K	

4. 결 론

태양광과 네오전구(질소80%:크립톤20%)의 실험 결과 다음과 같은 특징이 도출되었다.

1. % Spectral Energy>=600nm:92.3%로 가시광이 우수하다.
2. 자연광과 비슷한 플 스펙트럼을 연출하며 연색성이 높다. 물론 태양광과 상대적 비교치가 어렵지만 경제성을 고려한 인공 광원과 비교하였을 때 우수한 광원으로 판단된다.

〈참 고 문 헌〉

[1] R.H. Simons & A.R. Bean "Lighting Engineering" 2001.  
 [2] Robert S. Simpson "Lighting control Technology and application" 2004.  
 [3] Gersil N. Kay "Fiber Optics in Architectural Lighting" Chap 6, pp.241-242, 1999  
 [4] John Wiley & Sons's "Plastic optical fibres" Chap1, pp.1-5, 1997.  
 [5] <http://www.eye.co.jp/catalogue/images/pdf/P110.pdf>, 2006.  
 [6] <http://members.misty.com/don/oddbulb.html#nd>, 2006.