

# 할로겐 광원의 기술 동향

■ 광원기술연구회 편집

1879년 에디슨에 의해 탄소 전구가 발명된 이후 많은 개선과 신기술의 개발을 거듭한 결과 석영유리구 내에 할로겐 가스를 봉입하는 형태의 할로겐 광원이 1959년 미국에서 최초로 개발 되었다. 개발 당시 투광 조명용으로 주로 이용되었으나 1970년대 이후에는 자동차, 광학 기기 그리고 복사기 등에 응용되면서 일반 조명 분야에도 그 수요가 확대되고 있다.

할로겐 광원은 백열전구의 일종으로 필라멘트에 전류를 흘려보냄으로써 텅스텐 필라멘트의 열복사 과정에서 방출되는 빛을 사용하는 광원이다. 할로겐 광원은 일반 재질의 유리에 비해 고온에도 내열성이 강한

석영유리를 사용하기 때문에 소형 크기의 제품 구현이 가능하다. 이러한 특징을 통해 할로겐 광원에 대한 점 광원 근사를 이룰 수 있는 것이다.

할로겐 광원은 다른 광원과 다르게 할로겐 사이클(Halogen Cycle) 효과를 이용하기 함으로써 우수한 수명특성과 광속 유지율을 유지할 수 있는 특징이 있다.

## 발광원리 및 특성

고온 발광을 하는 텅스텐 필라멘트가 증발되면서 광원의 내부 벽에 부착되는데 이를 흑화현상이라 하고 이러한 흑화현상은 광원 밝기를 저하하는 요소로서 작용된다. 따라서 광원의 수명은 이러한 텅스텐 증발에 의한 흑화현상에 의해서 결정된다고 볼 수 있다. 일반적인 백열전구는 불활성가스를 유리구 내부에 봉입함으로써 텅스텐의 증발을 억제한다. 반면 할로겐 광원은 불활성가스 대신 할로겐 가스를 봉입한다. 이는 할로겐 사이클의 효과를 이용하여 백열전구보다도 긴 수명을 가능케 하기 위함이다. 게다가 증발한 텅스텐과 할로겐 물질간에 결합이 발생하기 때문에 텅스텐이 유리구의 내부 관벽에 부착되지 않게 된다. 이로써 광원의 흑화현상에 의한 광속 유지율의 저하 문제를 해결할 수 있게 되어 오랜 시간이 지나도 거의 일정한 밝기를 유지할 수 있게 되었고 결과적으로 백열전구보다도 높은 발광효율을 얻을 수 있게 되었다. 이 외에 유리구

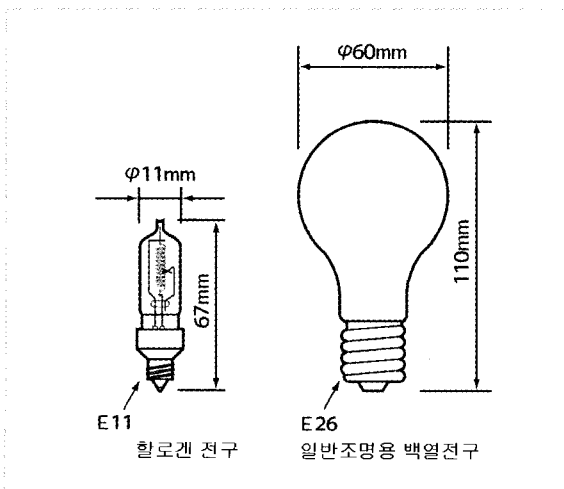


그림 1 할로겐 광원과 일반조명용 백열전구

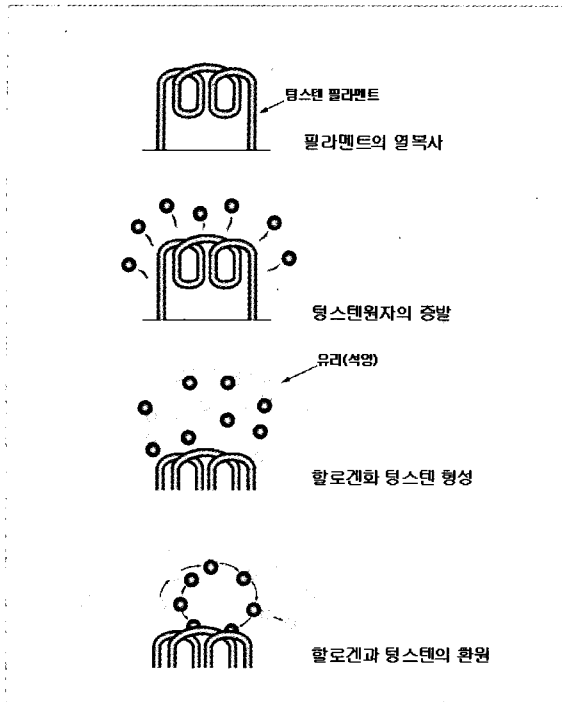


그림 2 할로겐 사이클 과정에 대한 개략도

의 표면에 적외선 반사막을 코팅을 할 경우 필라멘트에서 방사되는 적외선(열선)을 다시 필라멘트에 귀환시킬 수 있어서 백열전구보다도 10~40%나 발광효율을 높일 수 있는 기술도 개발되었다.

백열전구와 마찬가지로 할로겐 광원은 열복사에 의한 발광을 이용하는 광원으로서 자연광에 비슷한 분광분포를 띄며 연색성이 우수하다.

그림 2는 할로겐 사이클 과정을 개략적으로 도식한 것이다. 필라멘트에 전류가 공급됨으로써 필라멘트는 고온의 열복사 형태에 이르게 되는데 이 때 필라멘트로부터 텡스텐 원자가 증발하면서 봉입된 할로겐 원자와 결합하여 할로겐화 텡스텐 등을 형성하게 된다. 이 분자는 유리관 관벽 내부에 부착되지 않고 대류와 확산 등에 의해 이동하여 고온의 필라멘트 부근에서 할로겐 원자와 텡스텐 원자로 분리된다. 결과적으로 텡스텐 원자와 할로겐 분자의 환원이 이루어지고 다시 이와 같은 반응이 반복되는데 이를 할로겐 사이클이라 한다. 이 반응에 의해 유리관 관벽의 흑화가 억제된다. 그러나, 필라멘트의 온도 균일성이 떨어질 경우 환원

된 텡스텐 증발이 심하게 발생되는 필라멘트의 고온 부분보다는 온도가 낮은 부분으로 돌아가기 쉽다. 이러한 현상으로 인해 온도가 높은 부분의 필라멘트가 점점 얇아지게 되고 결국에는 단락되는 원인으로 작용되기도 한다.

백열전구나 할로겐 광원과 같이 필라멘트를 고온화하여 발광시키는 광원의 전기적 특성과 광학적 특성 그리고 구동 수명의 경우 전원전압에 대한 강한 의존성을 가지고 있다. 이러한 특성을 그림 3에 나타내었다. 전원전압이 정격전압보다 높아지면 소비전력이 증가하면서 광원의 밝기가 강해진다. 전원전압이 높아지면 필라멘트에 흐르는 전류의 증가와 동시에 필라멘트의 온도가 상승하게 되어 텡스텐의 증발량이 증가함으로써 결과적으로 광원의 수명이 짧아지는 경향이 있다. 반면 정격전압보다 낮아지면 소비전력이 저하하면서 광원의 밝기가 약해진다. 그리고 필라멘트에 흐르는 전류가 적어지고 텡스텐의 증발도 감소하여 필라멘트의 수명이 길어지는 경향이 있다.

또한 전구의 광량을 조절하기 위한 것으로 통상 전압을 낮추는 것을 조광이라고 한다. 할로겐 사이클을 원활하게 유지·지속하기 위해서는 유리관의 관벽 온도가 250℃ 이상이 되어야 하지만 조광을 하다 보면 점등전압이 낮아지면서 관벽 온도가 250℃ 이하로 떨어지는 경우가 있다. 이러한 경우, 할로겐 사이클이 원활히 유지·지속이 이루어지지 못하기 때문에 다소 흑화

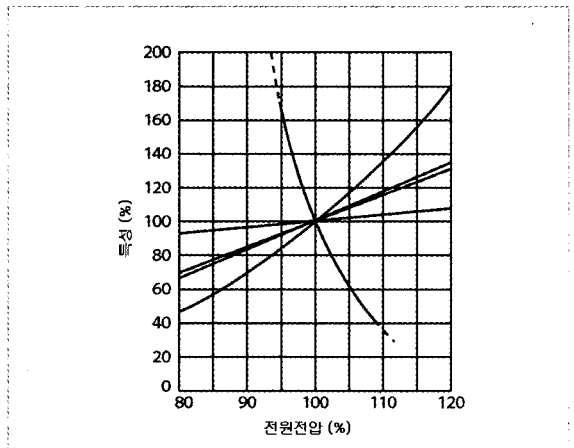


그림 3 전원전압 변화 특성 그래프

현상에 의한 관벽의 텅스텐 부착이 발생하지만 이러한 사실과 동시에 필라멘트의 열복사 온도가 낮아지면서 텅스텐의 증발률이 감소하기 때문에 흑화현상의 발생 확률이 낮아진다. 그러나 텅스텐 필라멘트의 일부가 할로젠족 원소와 결합을 이루면서 필라멘트의 침식이 발생하게 된다. 이러한 이유로 인해 점등전압을 낮추는 것은 실용적으로 가능하나 너무 낮추게 되면 수명이 짧아지는 경우가 발생하게 된다.

따라서 응용분야의 특성에 맞추어서 최적화된 전원 전압을 인가하여야 할 필요가 있고 또한 전원전압을 설계하기 위해서는 이와 같은 사항들이 고려되어야만 한다.

제작된 광원의 경우 발광 방법에 따라서 구동 수명이 다르게 결정된다. 이러한 수명 특성은 제품 구현에 있어서 매우 중요한 사항 중에 하나이다. 수명 특성은 잔존률 곡선에 대한 평균으로 이루어진다. 다양한 형태의 전구나 광원 각각의 수명에 대해서 평균을 취한 값을 평균수명이라 정의하는데 이 때 광원 제조자가 말하는 평균수명이 정격수명에 해당한다. 따라서 정격수명 시간에 도달함과 동시에 모든 광원이 최종 수명에 도달하였다는 것을 의미하지는 아니다. 그리고 모든 전구가 정격수명을 준수할 필요가 없다. 즉, 인가되는 전압과 점멸 횟수, 제조 조건 등에 따라 정격수명에 차이가 있기 때문이다. 이러한 사실을 나타내는 것이 잔존률 곡선이며, 총 시험 광원의 수에 대해 잔존하고 있는 광원 수의 비율을 점등시간으로 나타낸 것이다. 여

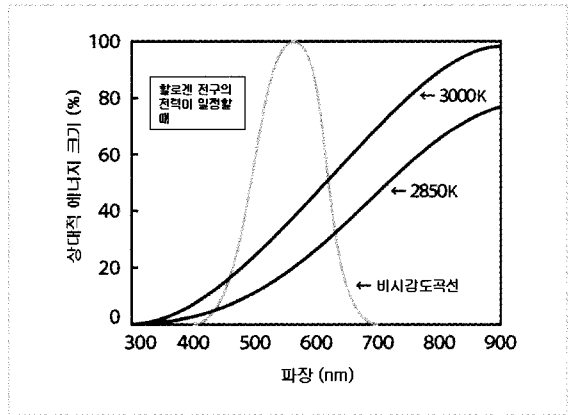


그림 5 할로겐 광원의 스펙트럼

기에서 정격수명은 잔존률이 50%에 이르는 시점이다.

이 외에 할로겐 광원의 광학적 특성으로 색온도와 분광분포를 간단하게 알아볼 수 있다. 일반적으로 입력되는 전력의 전기에너지가 빛과 열 형태로 변환되는 효율은 75~95% 정도에 이른다. 그 중 6~12%는 가시광으로 변환되고 나머지는 적외선(열선) 형태로 변환된다. 할로겐 광원의 색온도와 분광분포 관계를 그림 5에 나타내었다. 색온도가 높아지면 단파장쪽으로 피크가 이동하면서 가시광 방출이 많아진다.

### 구조적 특성

일반적인 형태의 할로겐 광원과 광원의 각 부분별 명칭을 그림 6에 나타내었다. 유리구의 재질로는 할로젠 사이클이 유지되는 온도에서의 열적 안정성을 고려하여 석영유리를 사용하고 있다. 석영유리는 다른 유리와 비교하여 유리전이온도(Glass Transition Temperature)가 높고 열 충격에 강하다는 장점을 갖고 있습니다. 그러나 석영 유리에 나트륨(땀이나 기타 오염물질 등)이 묻을 경우, 유리와 반응하여 실투현상이 생기고 강도가 저하하기 때문에 취급 시 주의가 필요합니다. 최근에는 자외선(UV) 흡수기능을 가진 석영 유리를 사용하는 할로겐 광원도 만들어지고 있습니다.

할로겐 광원의 필라멘트 재질로는 1차원적(선) 가공성과 고온에서 낮은 증발률 특성이 요구되는데 이러한

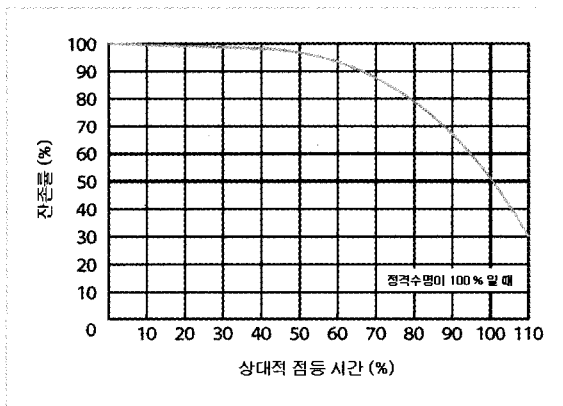


그림 4 할로겐 광원의 잔존률 곡선

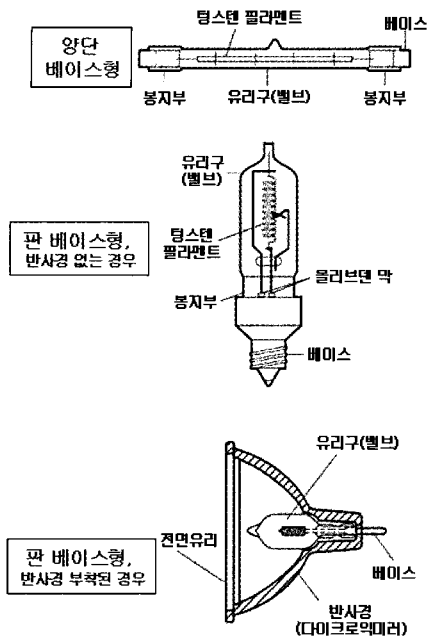


그림 6 할로겐 광원의 종류와 구조

요구에 잘 부합되는 텅스텐이 주로 이용되고 있다. 몰리브덴은 봉지(sealing)가 이루어지는 할로겐 광원의 안과 밖을 전기적으로 연결하면서 유리구 내부의 기밀성을 유지하고자 사용된다. 할로겐 광원은 질소( $N_2$ ), 아르곤(Ar), 및 크립톤(Kr) 등의 불활성가스와 미량의 할로겐 가스를 유리구내에 봉입한다. 현재 주로 사용되고 있는 할로겐 가스로는 요오드( $I_2$ )계열, 브롬( $Br_2$ )계열 및 염소( $Cl_2$ )계열의 화합물이 이에 속한다. 할로겐 광원의 베이스는 고온에서 사용되기 때문에 일반적으로 세라믹 혹은 내열성 금속이 사용된다. 할로겐 광원의 발광효율을 높이기 위한 일반적인 방법 중 하나가 광원의 유리구 표면에 적외선 반사막을 부착하는 것이다. 필라멘트로부터 방사되는 적외선은 반사막에 의해 내부로 다시 반사되고 반사된 적외선은 필라멘트에 흡수되어 필라멘트의 발열에 기여하게 된다. 결과적으로 필라멘트의 발열 온도가 상승하게 되어 빛 방출이 증가하여 밝아지게 된다. 다시 말해서 같은 밝기를 보다 낮은 전력으로 구현이 가능하기 때

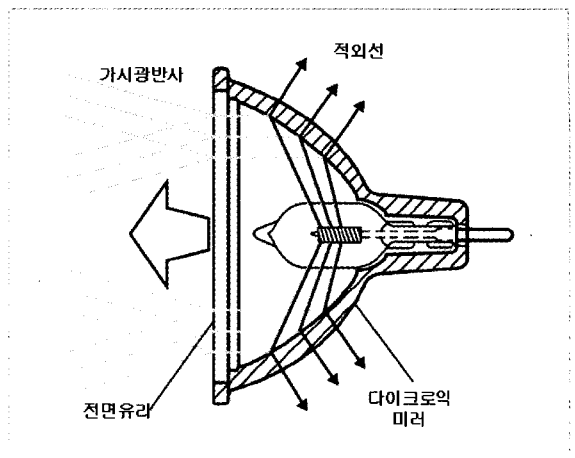


그림 7 다이크로익미러의 기능

문에 에너지절약 효과가 높고 경제적이다. 이외에 타원형태의 발광관을 사용하여 필라멘트로부터 방사된 적외선을 보다 효율적으로 필라멘트에 반사·흡수시킴으로써 발광효율을 높인 경우도 있다.

일반적으로 반사경에는 석영유리 재질의 미러 내면에 가시광 반사 및 적외선 투과을위한 반사막이 코팅된 다이크로익 미러가 이용되고 있다. 다이크로익 미러의 특징은 반사경 전면 방향으로 가시광을 반사시키고 후면 방향으로는 적외선(열선)을 투과시키기 때문에 광원 전면으로 방사되는 적외선을 80%이상 차단할 수 있다.

이상과 같이 할로겐 광원의 광학적 특성과 함께 구조적 특성에 대해서 설명하였다. 할로겐 광원의 타 광원과 구별되는 특징들은 현재에도 할로겐 광원의 수요를 지속적으로 유지시켜주는 큰 원동력이라 할 수 있겠다.

**- 출처 :**

본 자료는 일본전구공업회의 허락을 받은 후에 게재함.

**- 담당위원**

- 함중걸(한국산업기술시험원)
- 황명근(한국조명기술연구소)
- 이상돈(강릉대)
- 정진욱(한양대)
- 박노준, 박대회(원광대)