

고압방전램프의 신뢰도 모형과 분석 (Reliability Modeling and Analysis on the High Intensity Discharge (HID) Lamps)

박태근, 이영주, 정희석, 김정수, 김진선, 천석희

(TaeKeun Park, YoungJoo Lee, HeeSuk Jeong, JeongSu Kim, JinSheon Kim, SukHee Chun)

한국조명기술연구소, 121-883 서울시 마포구 합정동 355-24

abstract

HID 램프란 High Intensity Discharge Lamps의 약어로써 고압방전램프라 하고, 대규모 공간의 조명이 필요한 공공시설, 산업시설, 상업시설 이외에 스포츠 시설 등 폭넓은 용도에 대응하고 있다. HID 램프는 부성저항 특성으로 인하여 직접 전원에 접속하기 때문에 램프 전류가 흐르게 되면 급격히 전류가 증가하여 전류의 흐름이 매우 불안하게 된다. 따라서 이것을 안정시키기 위하여 전원과 램프사이에 전류 제한장치인 안정기(Ballast)로 램프 전류를 적절하게 제어할 필요가 있다. 본 고에서는 HID 램프에 관한 열화요인과 이에 대한 수명의 관계를 중심으로 논한다.

1. 서론

HID 램프란 High Intensity Discharge Lamps의 약어로써 고압 방전등이라 하고, 금속 증기등의 방전에 의해서 발광하는 고압나트륨램프, 메탈헬라이드램프, 고압수은램프의 총칭이다. HID 램프는 기존의 할로겐전구와 달리 필라멘트가 없이 전극사이의 아크 방전을 이용한다. 이 아크 방전은 마치 전기용접기에서 불꽃이 매우 강렬하게 나오듯이, 전극 사이에 아크 방전도 매우 강렬한데 HID 램프는 전극의 손상이 거의 없이 아크 방전시의 불꽃만을 이용한다. 그리고 램프가 켜 있는 때에는 아크 튜브(Arc Tube) 내의 기압이 매우 높기 때문에 고압 금속증기 방전램프 또는 고휘도 방전램프라고도 불린다.

HID 램프는 램프 1등당 광속이 크고, 백열전구에 비하여 고효율·장수명이며 경제성이 우수한 것이 특징이다. 열이 많이 발생하는 데도 불구하고 광 효율이 좋은 것은 아크튜브 안이 고압으로 유지되기 때문이다. HID 램프는 아크가 이루어지는 아크 튜브와 바깥의 외구가 있는 2중 구조로 되어있는데 이는 열손실을 막아 광효율을 좋게 하기 위한 때문이다. HID 램프 중 특히 시장성이 높은 메탈헬라이드램프의 용도는 대규모 공간의 조명이 필요한 공공시설, 산업시설, 상업시설 이외에 스포츠 시설, 사무실 등 폭넓은 용도에 대응하고 있다. 구체적으로 적용되는 공간은 다음과 같다.

- 교통시설 : 인터체인지, 서비스지역, 상가, 일반도로, 주차장

- 투광시설 : 건물, 기념물, 간판, 그림, 광고탑
- 광장시설 : 광장, 버스터미널, 공항, 부두, 공원
- 스포츠시설 : 체육관 등의 옥내 스포츠 시설조명 그라운드, 경기장 등의 옥외 스포츠 시설
- 공장시설 : 연색성을 중시한 광장의 천정조명, 자동차, 의약품, 염색, 제지, 피혁
- 상업시설 : 식료품, 화장품, 백화점, 호텔, 은행 영업실, 의약품

2. 램프 수명 [7]

램프수명에 관한 주된 용어로서 수명, %고장률 수명, 평균수명, 정격수명이 있다. 수명은 개개 램프의 수명이 고, %고장률 수명(B% 수명이라고도 함), 평균수명, 정격수명은 램프 그룹으로서 수명에 대한 것이다..

2.1 수명(life)

「램프의 부점등, 또는 특성(광속)이 규정된 기준 이하까지의 점등시간」으로 정의된다.

여기에서 「규정된 기준」이란 어느 점등시간에 대한 광속유지율(%)(초광속에 대한 어느 점등시간의 전광속의 비(比)이고, 초광속이란 백열전구에서는 0시간, 형광등, 고압방전 등은 100시간 에이징했을 때의 광속값)의 수치를 나타내는 등, 램프 종류에 따라 개별적으로 결정된다.

2.2 % 고장률 수명(Life of % failures)

국제조명용어집 (International Electro-technical Vocabulary: ILV) 4판에서 채용된 것으로 「수명시험에 제공된 램프의 %가 수명이 되기까지의 시간」으로, 램프는 규정된 조건에서 점등되고, 수명이 규정된 기준에 의한 것을 말한다.

2.3 평균수명(average life)

ILV에 의하면 「램프가 규정된 조건하에서 점등되고, 수명이 규정된 기준에서 판정된 경우의 수명시험에 제공된 램프 개개의 수명평균」으로 정의하고 있다.

램프의 수명분포가 대부분 정규분포를 따르는 경우가 많기 때문에 평균수명은 50% 고장률수명에 거의 일치한다.

2.4 정격수명(rate life)

ILV 3판에 의하면 「동일 형식의 램프에 대해서 수

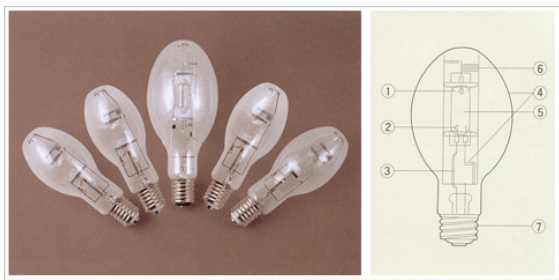
명시험에 의해 결정된 공표수명」을 말한다. 카탈로그에 표시되어 있는 것은 정격수명이고, 백열전구는 평균수명에 채용되는 경우가 많고 형광램프나 램프에서는 장수명이기 때문에 평균수명을 결정하기 위해서는 시간이 걸린다. 따라서 50% 고장률 수명을 근거로 실용적인 관점에서 결정된다.

3. 램프의 구조, 특성 및 종류

3.1 메탈헬라이드 램프의 구조

메탈헬라이드 램프의 구조는 다음과 같다

- ① 보온막 : 발광관 온도를 균일하게 하도록 내열성 보온재를 도포
- ② 전극(주전극, 보조극) : 장수명의 스칸듐전극 사용
- ③ 리드 와이어 : 수명중의 특성을 안정시키는 리드와이어의 사용 (휴즈 역할)
- ④ 외관 : 경질유리 사용
- ⑤ 발광관 : 수명 중 안정된 특성을 가지도록 특수한 석영 유리관 사용
- ⑥ 저항, 바이메탈 : seal부를 전해 크랙으로부터 보호하는 독자적인 구조
- ⑦ 베이스 : 접착제 또는 메커니컬로 부착



<그림 1> 메탈헬라이드 램프의 구조

3.2 메탈헬라이드 램프의 특성

메탈헬라이드 램프의 특성은 다음과 같다

<표 1 > 메탈헬라이드 램프의 특성

규격 (W)	입력전압 (V)	전광속 (lm)	수명 (Hr)	베이스
100	220	6,500	9,000	E26, E39
175	220	14,000	9,000	E39
250	220	20,500	9,000	E39
400	220	34,000	9,000	E39
1000	220	8,0000	9,000	E39

HID 램프는 부성저항 특성으로 인하여 직접 전원에 접속한다. 그리고 램프 전류가 흐르게 되면 필라멘트가 없이 기체중의 플라즈마 현상을 이용하기 때문에 급격히 전류가 증가하여 전류의 흐름이 매우 불안하게 된다. 이때 저능이나 Seal부가 파괴되어 버리게 된다. 따라서 이것을 안정시키기 위하여 전원과 램프사이에 전류 제한장

치안정기(安定器)(영어로 Ballast)를 설계하여 램프전류를 적절하게 제어할 필요가 있다. 안정기는 글자 그대로 불안정한 전류의 흐름을 안정화시켜 불빛을 산뜻하게 만들어 준다.

3.3 각종 램프의 발광원리 [9]

발광관 내의 전극 사이에 전압을 가하면 시동용 가스(아르곤가스 및 크세논가스)내에 방전이 개시된다. 이때 발생하는 방전아크(약 1000℃)에 의해 첨가물(금속)이 증발하여 기체가 된다. 기체가 된 첨가물의 원자에 전자가 충돌하면서 그 첨가물의 고유 파장역의 빛이 발광한다. 수은은 청백색, 나트륨은 오렌지색, 탈륨(Tl)은 녹색의 빛을 낸다. 즉, 발광관 내에 봉입된 첨가물의 종류, 조합으로 램프의 발광색, 연색성, 램프효율 등 재 특성이 결정된다.

주된 램프의 첨가물과 발광색은 다음과 같다.

고압나트륨램프 : 나트륨 및 수은과 크세논이 봉입되어 있고 나트륨이 발광하면서 오렌지색을 낸다.

메탈헬라이드램프 : 나트륨(오렌지색) · 탈륨(녹색) · 인듐(청색) · 스칸듐(백색)의 금속 할로젠 화합물, 수은과 함께 아르곤 · 가스가 봉입되어 있고 봉입금속 발광색의 혼합으로 백색광이 얻어진다. 또 봉입금속의 조합으로 발광색의 색온도는 3000 ~ 6000K이고, 더욱이 연색성, 램프효율이 우수한 램프이다.

수은램프 : 수은 및 아르곤가스가 봉입되어 있고 수은이 발광하면서 약간 청백색을 낸다.

4. 램프수명이 되는 주된 현상 및 메커니즘

4.1 램프 전압 상승 입소에 의한 수명

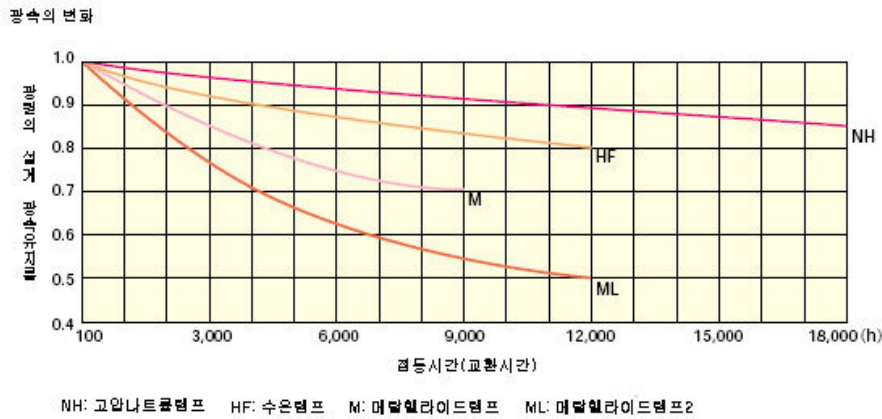
램프의 전압은 주로 점등 중에 발광관내의 금속 증기압에 의해서 결정된다. 그리고 그 증기압은 발광관의 온도(발광관내 최냉각 온도 : 통상 전극 주변 부분)에 관계하고, 온도가 높아지면 램프전압도 상승한다. 최냉각 온도는 시간이 경과함에 따라 서서히 상승하여 간다. 원인은 전극의 동작온도 상승과 발광관 흑화에 의한 열흡수 때문에 온도상승이 발생한다. 전극의 동작온도 상승은 전극에 도포되어 있는 에미터의 소모에 의해 전극의 전자방사 성능 저하 때문에 발생한다. 또 발광관의 흑화는 전극재료의 증발에 의해 발생한다(<그림 2>).

고압수은램프 이외의 고압 방전램프는 봉입금속의 조성비의 변화로 램프전압 상승이 발생한다. 따라서 램프전압이 상승하면 마침내 방전을 유지할 수 없게 되어 입소가 발생한다.

4.2 시동불량에 의한 수명

램프에는 전극에 에미터가 도포되어 있어, 점등시간이 길어져 에미터가 소모되면 시동시에 최초의 방전(절연 파괴)이 발생하지 않거나 시동불량이 된다.

4.3 발광관의 리크(leak)에 의한 수명



<그림 2> 각종 HID 램프의 수명(점등시간과 광속의 관계)



<그림 3> 발광관 내 흑화현상

램프의 발광관은 석영유리로 봉지부는 용융프레스(핀치 seal)되어 있다. seal부에는 전류도입을 위한 몰리브덴이 있고, 기계적으로 눌러져 있는 상태이기 때문에 세세히 보면 간격이 존재한다. 따라서 램프의 점등소등(점멸)에 의한 급열·급냉(열싸이클)의 영향이나, 금속할로겐화물의 간격에의 침입 등에 의한 부식으로 장시간 점등되어 있으면 리크에 도달한다.

4.4 외구의 파손과 외구리크에 의한 수명

외구의 역할은 점등시 고온으로 동작하고 있는 발광관(500 ~ 1000℃)과 금속재료를 외구로부터 보호하고 산화방지를 위한 것이다. 따라서 어떤 원인으로 외구가 파손되면 발광관도 동작불능에 이르게 된다. 외구의 파손과 리크는 램프 동작 시 진동이나 램프점멸에 의한 외구봉지부의 신축 등에 의해서 발생되기도 한다.

5. 램프의 신뢰성시험

5.1 선진 제품의 평균수명과 광속의 변화

HID 램프의 수명의 정의는 2절에서 정의한 것과 같이 「규정의 시험조건에서 시험을 행했을 때, 램프가 점등하지 않거나 램프의 광속이 기준치 이하로 될 때까지의 시간」을 말한다.

따라서 HID 램프의 경우의 정격수명은 장기간 제조하고 있는 동일형식의 램프를 5.5시간 점등하고, 0.5시간 소등하는 연속반복 시험에 대해서 램프가 점등하지 않거나

램프의 광속이 80% 이하로 될 때까지의 점등시간의 평균치를 근거로 구한 수명을 말한다.

<표 2> 각종 HID 램프의 정격수명(광속이 80%까지의 정격수명)

HID 램프	정격수명(h)
메탈할라이드램프	4,000
고압나트륨램프	18,000
수은램프	12,000

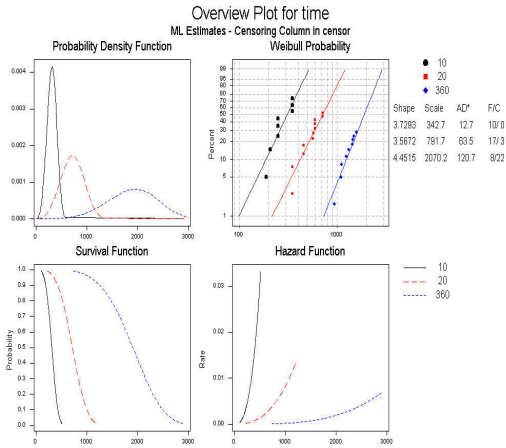
광속은 1초간에 방사되는 빛의 총량을 나타내며 HID 램프는 100시간 점등후의 광속이 표시된다. HID 램프의 제 특성은 발광관내의 증기압에 의해서 결정되기 때문에 점등 후 밝기가 안정되기까지 시간(시동시간)이 걸린다. 시동시간에는 각종 정의가 있으나 여기에서는 「광속이 안정상태의 80%에 도달하는 시간」으로 비교한다.

5.2 점멸에 의한 수명시험

HID 램프는 시동시에 가장 부담이 크며, 결국 점멸 빈도가 빈번하면 램프의 수명이 짧아진다. 따라서 점멸빈도와 수명과의 사이에는 일정한 관계가 있다.

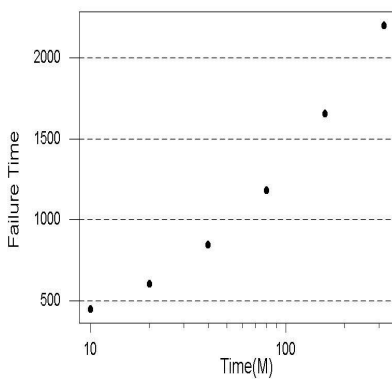
점멸빈도가 2배가 되고, 1회당 점멸시간이 1/2이면 램프의 수명은 67%로 단축된다 [9].

국내에서 HID 램프를 생산하고 있는 H사의 50개 시료를 가지고 점멸시험의 3수준 (10분 ON/OFF(10개), 20분 ON/OFF(10개), 5.5시간과 0.5 시간 ON/OFF(30개))으로 시험한 수명자료를 이용하여 와이블 분포(Weibull distribution)의 확률지로 도시하여 보면 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 와이블 확률지 도시 결과
 ((MINITAB 13.1 사용))

따라서 3 수준의 점멸시험은 거의 동일한 기울기(와이블 분포의 경우 형상모수가 동일)로 볼 수 있으므로 가속성이 성립한다고 볼 수 있다. 한편, 결과로서 얻어진 데이터를 이용하여 점멸빈도와 수명과의 관계를 도시하여 보면 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 점멸빈도와 수명과의 관계

<그림 4>의 근거로서 신뢰성 수명으로서 많이 이용되고 있는 B50, B10 수명을 구하여 보면 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 점멸에 의한 B50, B10 수명

ON(분)	OFF(분)	B50	ON(분)	OFF(분)	B10
10	10	447	10	10	234
20	20	609	20	20	319
330	30	2,204	330	30	1,156

더욱이 <그림 3> ~ <그림 4>, <표 3>을 이용하여 선진제품과 H사의 수명을 신뢰수준 95%로 추정하여 보면

<표 4>와 같다.

<표 4> 선진제품과 국산제품간의 수명 비교

신뢰수준	% 고장률	수명	국산제품	선진제품
95%	10		1,153	2,400
	50		2,204	3,898

<표 4>에 의하면 국산제품은 선진제품과 비교하여 약 50%의 수명이 짧다는 결과를 얻을 수 있었다.

6. 마치며

본 고에서는 HID 램프의 종류와 특성을 알아보았으며, 더 나아가 선진제품과의 수명 비교를 통해서 현재 처해 지는 현실을 알아보았다. 실제로 선진제품의 방전램프 생산의 특징은 자동화에 의한 생산이기 때문에 램프마다의 수명특성의 편차는 일정한 경향을 보였고, 더 나아가 방전램프의 고유 특징인 장수명의 경향을 보였다. 따라서 국산제품의 수명을 연장시키기 위한 하나의 대안으로서 자동화 생산을 통해 수명특성의 편차를 줄이고, 발광관의 개량, 안정기 제조업체에 의한 회로 기술, 발열, 절연기술 등의 개량에 의해 방전램프의 장수명화가 달성되리라고 생각된다.

참고문헌

- [1] 한양대학교 신뢰성분석 연구센터, “고장분석 전문기술 교육 - 수동부품의 고장분석,” 신뢰성분석 연구센터 (2004).
- [2] 신승훈, “와이블 차트와 가속시험”, 과학기술 (2003)
- [3] 박경수, “신뢰성 개론”, 영진문화사 (1998)
- [4] 澤田 清, 三 道 弘 明, “ソフトウェアの信頼性實證試験方式”, 日本オペレーションズ・リサーチ, Vol. 44 No 8, pp. 415-419 (1999)
- [5] 이영주, “일반조명시스템의 신뢰성 평가를 위한 고장 수명분포 및 보증수명 연구고찰”, 등지, (2003.12 ~ 2004.02)
- [6] 박태근, “HID 램프의 최근의 동향”, 등지, (2004.10 ~ 2004.11)
- [7] 小原章夫, 램프의寿命(1), 日本照明学会誌, 80-7, pp. 479-480 (1996)
- [8] 東芝ライテック, 技術解説, (2005)
- [9] URL : <http://www.iwasaki.co.jp/>

2005 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회
2005년 5월 13일~14일, 충북대학교