

## 조명기기의 고효율 에너지 기자재 품목 확대 연구

정학근, 이선근, 정봉만, 박석인, 김규덕  
한국에너지기술연구원

### A Study on the High Efficient Components of Lighting Apparatus

Jeong Hak Geun, Lee Sun Keun, Jung Bong Man, Park Sukin, Kim Kyu Deok  
Korea Institute of Energy Research

#### 1. 서론

정부에서는 에너지절약형 제품의 보급확대를 위해 에너지를 많이 소비하고 보급률이 높은 제품을 대상으로, 고효율기자재 보급을 활성화하기 위한 고효율에너지기자재 인증제도를 시행하고 있다. 고효율에너지기자재 인증제도는 1996년 12월부터 에너지이용합리화법에 근거하여 에너지 수급의 안정화, 에너지 이용의 합리화 및 에너지기술개발 촉진등을 위하여 에너지 절약 효과가 우수한 고효율 에너지기자재(고효율 유도전동기, 26mm 32W 형광램프, 26mm 32W 형광램프용 안정기, 전구식 형광램프, 형광램프용 고조도 반사갓, 인체감지 조명기구 등)에 대해 사용권고에 관한 규정을 마련하여 보급을 유도하는 제도이다.

최근 삶의 질을 추구하는 경향에 따라 주로 방전등을 사용하는 공장, 대형 할인매장, 백화점 등의 장소에서도 쾌적한 조명 환경이 요구되고 이에 따라 조명 분야에 대한 관심이 날로 커지고 있다. 그러나 지금까지의 이런 장소에서의 조명 에너지절약의 방법은 조도를 낮추어 설계함으로써 건물 이용자의 시력보호, 작업능률 및 근무조건 등이 고려된 설계가 되지 못했다. 따라서 고효율에너지기자재 인증 기술기준에서는 에너지 절약의 본연의 취지에 부합할 수 있도록 에너지 절약에 더하여 시환경 개선 측면 등을 포함할 수 있어야 한다.

메탈할라이드 램프는 효율면에서는 수은램프에, 연색성 측면에서는 나트륨 램프에 비하여 우수하여, 다른 방전램프에 비하여 점유율이 높은 상황이다. 국내에서 사용되고 있는 고휘도 방전 램프의 사용현황은 수은 램프 15%, 나트륨 램프 35%, 메탈할라이드 램프가 50%를 점유하고 있으며, 메탈할라이드 램프의 점유율이 보다 확대되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 고압방전등과 산업용 반사갓으로 가장 많이 사용되고 있는 메탈할라이드 램프와 HID 램프를 사용하는 고조도 반사갓에 대하여 고효율에너지기자재 인증기술기준을 합리적으로 제정하고자 한다.

#### 2. 메탈할라이드 램프

##### 2-1. 기술 개요 및 적용 범위

고압 방전등은 방전원리상 아아크 방전을 하는데, 이 방전 방식은 부분적으로 전리된 플라즈마현상을 이용한 것이다. 이러한 플라즈마는 많은 입자들로 구성되어 있으며, 대부분은 중성의 기체원자 혹은 분자이고 전자와 이온이 같은 수로 분포되어 있다. 방전관에 전압이 인가되면 방전을 일으키고 방전관의 대부분인 양광주는 플라즈마 상태로 되며 이 플라즈마 내에서 전자는 중성원자와 이온에 비해 무게가 가벼우므로 상대적으로 전계 내에서 빠른 속도로 이동하게 된다. 이 때 많은 에너지를 얻은 전자는 다른 입자와 충돌하여 에너지를 전달한다. 또한 전계 내에서 발생하는 전자와 다른 입자와의 충돌은 탄성충돌과 비탄성 충돌로 나누어지는데 탄성충돌에 의해 중성기체 원자의 전리와 여기가 일어나 방전의 유지와 발

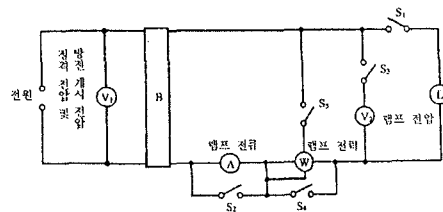
광현상이 일어나게 된다.

고압방전등에는 메탈할라이드 램프, 나트륨 램프, 수은 램프 등이 있는데, 이 광원들을 비교해 보면 다음과 같은 차이가 있다. 나트륨 램프는 현재까지 개발된 광원 중 가장 높은 효율을 가지고 있으나, 황색계열의 광색으로 광질면에서는 메탈할라이드 램프에 비해 현저히 떨어진다. 수은 램프는 이미 광효율과 광색에서 가장 열악하여 사양화되고 있는 현실인 반면 메탈할라이드 램프는 일반 조명용으로 사용되고 있는 고압방전등 중에서 태양광(주광)에 가장 가까운 광원에 속하는 것으로 연색성이 우수하며 광효율이 우수한 광원으로 평가되고 있다. 메탈할라이드 램프는 효율면에서는 수은램프에, 연색성 측면에서는 나트륨 램프에 비하여 우수하여, 다른 방전램프에 비하여 점유율이 높은 상황이다. 국내에서 사용되고 있는 고휘도 방전 램프의 사용현황은 수은 램프 15%, 나트륨 램프 35%, 메탈할라이드 램프가 50%를 점유하고 있으며, 메탈할라이드 램프의 점유율이 보다 확대되고 있는 실정이다. 또한 국내에서는 (주)태양전자, 나노조명(주) 등 10개 이상의 기업에서 생산하고 있으며, KS C 7607에 규정하고 있는 150W, 175W, 200W, 250W, 300W, 350W, 400W로 다양한 용량의 램프를 생산하고 있으며, 다양한 용량의 램프중에서 250W의 램프가 가장 많이 사용되고 있으며, 400W 그리고 175W 순으로 사용량이 많으며, 그 외의 사용량은 미미한 수준이므로, 본 연구에서는 175W, 250W, 400W 메탈할라이드 램프를 대체할 수 있는 150W, 200W, 350W 메탈할라이드 램프를 대상으로 한다.

## 2-2. 성능시험 방법

### 가. 메탈할라이드 램프의 시험조건

- 시험상태는 주위온도는  $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 무풍에 가까운 상태로 유지하고, 점등 자세는 원칙적으로 베이스를 위로하여 점등한다.
- 시험용 전원은 주파수 60Hz의 정현파에 가까운 교류로 하고, 전압 변동은  $\pm 1\%$  이내로 한다.
- 에이징 중의 전원 전압 변동은 그 안정기의 정격 입력 전압의  $\pm 6\%$  이내로 하고 온도 및 습도는 특별히 규정하지 않는다.
- 시험 회로는 [그림 1]에 따르고, 시험 회로에 사용하는 시험용 안정기의 조건은 <표 1>에 따른다.
- 램프 전압, 램프 전류, 램프 전력 및 전광속의 측정에는 원칙적으로 시험대에 사용하고 있지 않은 계기 중 램프와 직렬로 접속시킨 계기는 모두 단락한다.
- 초특성 이외의 시험은 100시간 에이징 전에 수행한다.



- B : 시험용 안정기 및 시동기  
 $V_1, V_2$  : 전압 계  
 A : 전류 계  
 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  : 스위치  
 L : 램프  
 W : 전력 계

[그림 1] 시험회로

<표 1> 시험용 안정기의 조건

정격 전력(W)	정격 전압(V)	기준 전류(A)	임피던스( $\Omega$ )	역률
150	220	1.80	$97 \pm 1.06$	$0.075 \pm 0.005$
200		1.67	$88.5 \pm 1.06$	
350		2.88	$50.45 \pm 1.06$	

나. 시동특성 시험

시동특성의 시험은 전압을 <표 1>의 정격 입력 전압의 90%로 조정한 후, [그림 1]의 스위치 S1을 폐로시켜 시동되는가를 조사한다. 다만, 램프는 이 시험을 하기 전 5시간은 점등하지 않아야 한다.

다. 안정시간 시험

안정 시간은 시험 후 즉시 시동 전압을 <표 1>의 정격 입력 전압으로 조정하고, 램프 전압이 일정한 상태로 될 때까지의 시간을 측정한다.

라. 재시동 시간 시험

재시동 시간은 램프를 안정된 점등 상태인 <표 1>의 정격 입력 전압으로 만든 다음, [그림 1]의 스위치 S1을 개로시켜 즉시 S1을 폐로시킨 다음 램프가 재시동될 때까지의 시간을 측정한다.

마. 초특성 시험

초특성 시험은 램프를 <표 1>에 규정된 적합 안정기를 사용하여 정격 입력 전압으로 100시간 에이징한 후 특성이 거의 일정하게 된 후 램프 전압, 램프 전류, 램프 소비전력 및 전광속을 측정한다.

2-3. 인증기술 기준

성능시험 항목별 인증 성능기준은 시동특성, 안정시간, 재시동 시간 및 초특성 시험 항목의 경우는 한국산업규격(KS C 7607)에서 정하는 메탈할라이드 램프의 성능기준으로 하였으며, 광효율의 기준은 다수의 국내 주요기업의 측정시험자료와 제품설명서, 샘플시료(175W, 250W, 400W)의 시험측정결과 등을 종합 분석하여 결정하였다. 또한 이를 토대로 총 3차례의 제조업체 간담회 및 전문가 회의 등을 통하여 의견을 수렴하고 기준을 조정하였다.

이런 절차를 통하여 최종적으로 결정된 메탈할라이드 램프의 고효율에너지기자재 인증기술기준은 다음의 주요 광학적, 전기적 조건을 만족하여야 한다.

a) 램프의 시동 특성은 전압을 정격 입력 전압의 90%로 조정한 후, [그림 1]의 스위치 S1을 폐로 시켰을 때 시동되어야 한다. 다만, 램프는 이 시험을 하기 전 5시간은 점등하지 않아야 한다.

b) 시동 전압을 정격 입력 전압으로 조정하고, 램프 전압이 일정한 상태로 될 때까지의 안정 시간은 <표 2>에 적합하여야 한다.

c) 램프를 안정된 점등 상태로 만든 다음, [그림 1]의 스위치 S1을 개로시켜 즉시 S1을 폐로시킨 다음 램프가 재시동될 때까지의 시간을 측정하였을 때 <표 2>에 적합하여야 한다.

d) 초특성은 <표 2>에 규정된 적합 안정기를 사용하여 정격 입력 전압으로 100시간 에이징 하여 특성이 거의 일정하게 된 후 시험하였을 때, 램프 전압, 램프 전류, 램프 전력은 <표 2>의 값에 적합하여야 하고, 광효율은 <표 2>의 값 이상이어야 한다.

<표 2> 램프의 성능

구분 전력	안정 시간 (분)	재시동 시간 (분)	초특성			광효율 (lm/W)
			램프 전압 (V)	램프 전류 (A)	램프 전력 (W)	
150W	8이하	10이하	100±15	1.80	158 이하	90
200W	6이하	8이하	130±15	1.67	210 이하	95
350W	6이하	8이하	135±15	2.88	368 이하	100

### 3. HID 램프용 고조도 반사갓

#### 3-1. 기술 개요 및 적용 범위

HID Lamp(High Intensity Discharge Lamp)는 고휘도 방전램프를 말하며, 고압가스를 고전압으로 방전시켜 아아크 방전상태에서 동작하는 램프를 총칭하는 것으로 대표적으로 메탈 할라이드 램프, 수은 램프 및 나트륨 램프가 있다. 이러한 램프를 사용하는 조명기구에 사용되는 반사갓을 HID 램프용 고조도 반사갓이라 한다.

국내에서는 HID 램프용 고조도 반사갓은 HID 램프를 생산하고 있는 (주)제일조명, (주)우성전기 등 20개 이상의 기업에서 생산하고 있으며 시장 확대시 현재 형광램프 반사갓 28개 인증업체도 참여할 예정이며, 특히 고휘도 방전(HID)램프용 고조도 반사갓은 산업체 또는 대형 창고등의 높은 천정용에 적합하며 터널, 방폭등에도 사용하고 있다. 400W 이하의 광원을 사용하는 제품이 대다수이며, <표 3>에서 보는 것과 같이 가로 및 보안 등기구(175W~250W), 터널 등기구(175W~400W), 투광 등기구(175W~1000W), 고천정 등기구(175W~400W), 방폭 등기구(175W~400W)등에 사용된다.

<표 3> 고휘도 방전 램프용 조명기구의 종류

용도에 따른 종류	사용광원
○ 교통조명 : 인터체인지, 도로	175W~250W
○ 투광조명 : 건물, 간판, 광고탑	400W
○ 광장조명 : 터미널, 공항, 부두	1000W 이상
○ 스포츠조명 : 체육관, 경기장	1000W 이상
○ 공장조명 : 자동차, 의료품, 제지	175W~400W
○ 상업조명 : 식료품, 백화점, 호텔	175W~400W

이와 같이 HID 램프용 고조도 반사갓은 적용범위 및 구조 등에 따라서 다양한 형태가 사용되고 있어 국내에서 제조, 판매되고 있는 주요기업의 HID 램프용 등기구의 보급현황을 바탕으로 전문가 협의를 포괄적으로 일반형 등기구와 투광형 등기구 두 종류로 구분하여, 본 연구에서는 정격 소비 전력이 400W이하의 고휘도 방전 램프(HID)를 광원으로 하는 정격전압이 교류 600V 이하인 일반용 조명기구에 대한 고효율 기준에 대하여 연구한다.

<표 4> 고휘도 방전 램프용 조명기구의 시장 점유율(2002년)

용도	일반 조명용	투광용
점유율	50 %	50%

### 3-2. 성능시험 방법

#### 가. HID용 고조도 반사각의 시험조건

- a) 시험상태는 주위온도는  $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 무풍에 가까운 상태로 유지한다.
- b) 광원은 표준 안정기로 점등한 경우 램프 전류, 램프 전력이 각 정격치의  $\pm 2.5\%$ 의 범위에 있는 것을 시험용 램프로서 사용한다.
- c) 점등용 전원은 주파수 60Hz의 정현파에 가까운 교류를 사용하고, 측정 중의 전압 변동률은 정격치의  $\pm 0.5\%$  이내로 한다. 파형의 변형률은 3% 이하가 바람직하다.
- d) 광원 및 조명기구의 점등자세는 지정한 사용상태로 지지한다. 또, 이것에 따르기 어려운 경우는 점등자세의 차이에 따른 오차를 보정한다.
- e) 기구 효율 측정 장소의 천장, 벽, 바닥 등은 흑색으로 하는 것이 바람직하다.

#### 나. 반사판의 반사율 시험

반사판의 반사율 시험은 기구에 사용한 반사판을 가로, 세로를 각 5cm의 크기로 절단한 3개의 시료에 대해서 표준광을 이용하여 각각의 시감 반사율을 측정한다

#### 다. 기구효율 시험

기구 효율 시험은 배광측정기를 이용하여 램프의 전광속과 동일 램프를 부착한 기구에서 방출되는 전광속을 측정하여, 그 비로 측정한다.

#### 라. 퇴색성 시험

퇴색성 시험은 기구에 사용한 반사판을 가로, 세로를 각 5cm의 크기로 절단한 3개의 시료를 1kW 자외선 램프로 0.5m 거리에서 50시간 조사한다.

#### 마. 용접 시험

용접 시험은 기구에 사용한 반사판을 가로, 세로를 각 5cm의 크기로 절단한 3개의 시료를 주위온도  $200^{\circ}\text{C}$ 로 10시간 유지한다.

#### 바. 시험결과의 계산

기구 효율은 기구에서 방출되는 전광속을 기구에 장착되는 램프의 전광속으로 나누어서 계산하고, 설치 간격비는 제약이 없는 열린 공간에 다수의 기구들이 설치된다고 가정하고, 기구효율시험에서 구한 기구의 배광자료를 이용하여 기구가 설치되는 높이에 대한 기구의 설치 간격의 비를 계산한다. 이때 기구가 설치되는 공간에서의 최저 조도와 평균 조도의 비(최저/평균)는 80% 이하가 되지 않아야 한다.

### 3-3. 인증기술 기준

성능시험항목별 인증 성능기준은 다수의 국내 주요기업의 측정시험자료와 샘플시료의 시험측정결과 등을 종합 분석하고, 3차례의 제조업체 간담회 및 전문가 회의 등을 통하여 의견을 수렴하고 기준을 최종적으로 조정하였다. 조명기구의 분류에서 일반형 조명기구인 경우에는 다음의 광학적인 기술기준에 모두 적합하여야 하며, 투광형 조명기구의 경우에는 아래의 기술기준 중에서 d)의 기술기준은 제외된다.

a) 반사율은 반사판을 가로, 세로를 각 5cm의 크기로 절단한 3개의 시료에 대해서 표준광을 이용하여 각각의 시감 반사율을 측정하여 2개의 시료는 반사율이 모두 80.0% 이상이어야 한다.

b) 등기구 반사효율은 배광기를 이용하여 램프의 전광속과 동일 램프를 부착한 기구에서 방출되는 전광속의 비가 80.0% 이상이어야 한다.

c) 퇴색성 시험은 반사판을 가로, 세로를 각 5cm의 크기로 절단한 3개의 시료를 1kW 자외선 램프로 0.5m 거리에서 50시간 조사하며, 이때 초기 반사율의 95.0% 이상 유지되어야 한다.

d) 기구가 설치되는 공간에서의 최저 조도와 평균 조도의 비(최저/평균)가 80% 이하가 되지 않는 조건으로 계산하였을 때 기구 설치 간격비(기구가 설치되는 높이에 대한 기구의 설치 간격의 비)는 1.0 이상이어야 한다.

e) 용접시험은 반사판을 가로, 세로를 각 5cm의 크기로 절단한 3개의 시료를 주위온도 200℃로 10시간 유지하며, 이때 시료는 이상이 없어야 한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 고압방전등 중에서는 사용량이 가장 많은 메탈할라이드 램프를, 산업용 반사갓에 대해서는 400W 이하의 광원을 사용하는 고조도 반사갓에 대하여 고효율 제품의 보급을 유도하기 위하여 고효율기자재 인증기술기준을 마련하였다.

다양한 용량의 램프 중에서 250W의 램프가 가장 많이 사용되고 있으며, 400W 그리고 175W 순으로 사용량이 많으며, 그 외의 사용량은 미미한 수준이다. <표 5>는 일반 제품을 고효율 인증기준에 적합한 제품으로 대체할 경우의 절감되는 량을 보여주고 있다. HID 램프는 국내 전체 조명기기의 2.6%인 39,093천대가 설치되어 있고, 이중 메탈할라이드 램프가 21,266천대(54.4%)가 설치되어 있는 상황이므로, 기존의 메탈할라이드 램프 대신 고효율 메탈할라이드 램프를 40% 보급할 경우 전력 및 전기료의 절감량은 연간 93만MWh, 466억원을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

<표 5> 램프 교체시의 전력절감 효과

기존램프	고효율 램프	전력절감(W)	절감율(%)
MH175	MH150	25	14
MH250	MH200	50	20
MH400	MH350	50	13

<표 6> 가격 및 경제성 분석(1일 8시간 사용기준)

구 분		소비전력 (kWh)	가격 (원)	수명 (년)	회수기간 (년)	절전율(%)
기 존	175W	511	13,827	3.4		
	250W	730	14,891	3.4		
	400W	1,168	17,018	5.1		
고효율	150W	438	19,500	3.4	1.55	14
	200W	584	21,500	3.4	0.91	20
	350W	1,022	24,000	5.1	0.96	13

그리고 HID 램프용 반사갓을 사용시 고효율 제품은 일반 제품에 비하여 등기구 효율이 20% 향상(60%에서 80%로 증가)되므로 그림자 등을 고려 10% 이상의 조명개수를 줄일 수 있다고 가정하면, 21,266천대 중 보급 가능율을 40%로 볼 때 85만대를 소등할 수 있어 전력량은 62만 MWh, 전기요금은 310억원을 절감할 수 있을 것으로 판단된다(21,266천개 × 40% × 10% × 250W × 8시간 × 365일 = 62만 MWh/년 × 50원/kWh = 310억원).