

HID광원의 기술 동향

■ 광원기술연구회 편집

HID는 High Pressure Intensity Discharge(고압 방전) 램프의 머리 글자를 따서 붙여진 이름으로 메탈할라이드 램프, 고압 나트륨램프, 고압수은램프를 총칭한 것이다.

광원 1 개당 방출되는 광속(Luminous Flux)이 많고 광원 효율 또한 높은 광원이며 게다가 긴 수명에 경제성까지 우수한 특징을 가지고 있어서 높은 밝기가 요구되는 대규모의 공공장소에서 널리 이용되고 있다.

최근에는 발광관(arc-tube) 재료에 세라믹을 도입한 메탈할라이드 램프(Ceramic Metal Halide Lamp)가 높은 연색성과 더불어 고효율, 긴 수명 등의 이점 때문에 급속하게 보급되고 있다.

메탈할라이드램프의 경우 매탈성분(Mg, Al, Sc, Ti)과 할라이드성분(I, Br, Cl, F)과의 조합에 의한 다양한 광특성 변화를 통해 광 효율과 연색성에 대한 무한한 개선 가능성을 가지고 있다.

HID광원의 발광원리

HID 광원은 필라멘트의 발광을 이용하는 백열전구와는 달리 형광광원의 방전 원리에 의해 발광(발광관 내에 봉입된 금속증기의 광방출)을 이룬다.

초기 점등 시 전극을 가열하게 되는데 이 때 열전자(Thermal Electron)가 방출된다. 방출된 열전자는 인가된 전기장(Electric Field)의 반대방향으로 이동하면서

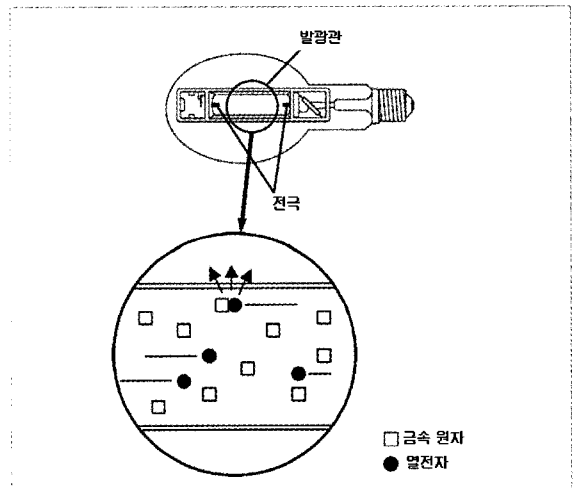


그림 1 HID 광원의 발광 원리

이동 중에 전기적으로 중성을 이루고 있는 봉입된 금속원자와 충돌을 형성하게 된다. 그림 1 과 같이 충돌 현상에 의해서 내부의 절연파괴현상이 급속도로 진행되면서 방전(Discharge)과 다량의 광방출(Optical Radiation)이 일어난다. 일반적인 형광광원과 기본 발광원리는 동일하다. 그러나 형광광원의 경우 봉입된 금속(수은)의 증기압과 플라즈마 온도가 낮기 때문에 대부분의 광방출이 자외선에서 이루어지는 반면 HID 광원은 봉입된 금속의 증기압과 온도가 높기 때문에 가시광의 방출을 높일 수 있다. 그리고 봉입된 금속의 종류에 따라 방출되는 광의 특성(광색이나 연색성 등)

을 변화시킬 수 있다.

메탈헬라이드 광원에는 탈륨(Tl, Thallium)과 인듐(In, Indium) 등의 다양한 금속이 요오드 등의 화합물(금속할로겐화물 또는 메탈헬라이드)로써 봉입되어 있다.

HID 광원의 구조와 특징

1) 메탈헬라이드 광원

메탈헬라이드 광원의 일반적인 구조를 그림2에 나타내었다.

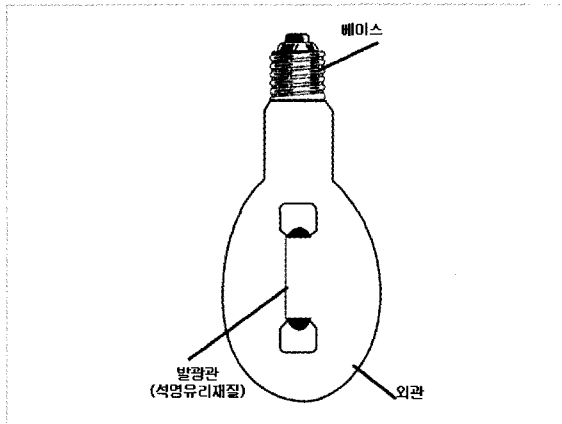


그림 2 메탈헬라이드 광원의 구조

광원의 구조는 경질유리 재질의 외부방전관(External Discharge Tube) 내부에 발광관(Arc Tube)이 위치하는 이중구조로 되어 있다. 발광관의 유리는 높은 온도가 형성되기 때문에 석영유리를 사용한다. 또한 외부방전관에는 경질유리가 사용되는데 발광관의 온도 유지 기능과 금속부분의 산화방지 등의 목적으로 이용되고 있다. 발광관의 양단에는 전자 방출물(Emitter)이 도포된 전극이 있고 발광관 내에는 여러 가지 금속 할로겐화물이 봉입되어 있다. 봉입되어 있는 금속은 요오드 계열이나 브롬 계열의 화합물 상태이기 때문에 메탈헬라이드(금속 할로겐화물) 광원으로 불리고 있다.

봉입되어 있는 금속으로는 여러 가지 종류의 것이 있지만 주로 사용되는 것은 나트륨(Na), 탈륨(Tl), 인듐(In), 스칸듐(Sc), 디스프로슘(Dy) 등이 이에 해당된다.

이러한 금속이 할로겐화물 형태로 봉입되는데 고체 또는 액상의 금속형태보다는 증발시키기 용이하고 강한 빛을 얻을 수 있으며 발광관(석영유리)에 대해 높은 화학적 안정성을 지니기 때문에 장시간의 구동이 가능하다는 장점이 있다.

메탈헬라이드 광원의 점등을 위한 안정기로는 저시동 전압형과 전용안정기로 점등하는 타입이 있다. 메탈헬라이드 광원이 시동되기 위해서는 고전압의 펄스가 필요하지만 저시동 전압형의 경우는 펄스 발생장치가 광원자체에 내장되어 있다. 반면 전용안정기로 점등하는 타입의 경우 펄스 발생장치가 광원에 내장되어 있지 않고 안정기 혹은 조명기구에 내장되어 있다.

2) 세라믹 메탈헬라이드 광원

최근 메탈헬라이드 광원 중에서도 발광관 재료에 세라믹을 사용하는 세라믹 메탈헬라이드 광원이 고연색성과 광원의 고효율 그리고 장수명 등의 장점에 의해 급속하게 널리 보급되고 있다. 세라믹 메탈헬라이드 광원의 일반적인 구조를 그림 3에 나타내었다. 발광관 재료로서 투광성 세라믹을 사용하였고 그 내부에는 여러 가지 금속 할로겐화물과 수은 등이 봉입되어 있다. 세라믹 발광관은 봉입된 금속 할로겐화물에 대한 높은 화학적 안정성과 발광관내의 높은 온도에 대한 열적 안정성이 우수하기 때문에 발광에 충분한 금속 할로겐화물의 증발량을 얻기에 적합하다. 이러한 이유로 인해 연색성(Color Rendering)은 물론 광원 효율을 보다

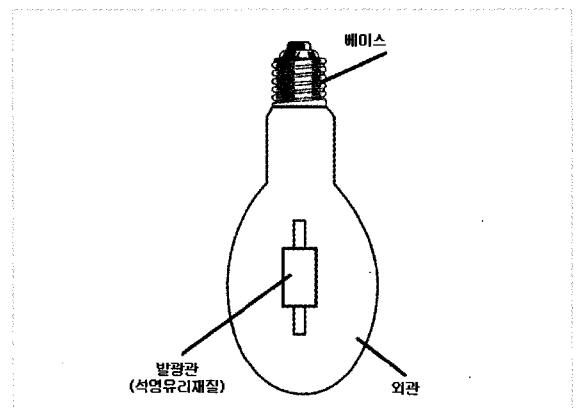


그림 3 세라믹 메탈헬라이드 광원의 구조

높게 개선할 수 있어서 긴 수명의 광원 구현이 가능하다. 또한 세라믹 발광관의 제작 공정이 형틀을 이용한 형성가공으로 이루어지기 때문에 각각의 균일한 형태 유지는 물론 광원 각각의 특성 차이도 보다 줄일 수 있어서 재현성이 우수하다.

이러한 여러 가지의 우수한 특징을 가진 세라믹 메탈할라이드 광원은 사용하는 목적 등에 따라 개발된 제품의 특성이 변화할 수 있고 형태와 크기, 사용되는 안정기의 종류 등에 의해서도 여러 가지 종류가 있다. 일반적으로 실내의 천장이 높고 경제성이 더욱 필요한 대규모 공공장소의 경우 높은 와트의 고효율이면서 장수명인 타입의 사용이 많으며 이때 적합한 안정기로서는 수은등용 안정기로 점등할 수 있는 타입(저시동 전압형)과 전용 안정기로 점등할 수 있는 타입이 있다. 한편 점포나 상업시설 등과 같이 색의 연출이 중요시 되는 공간에서는 저와트(150W이하)급의 고연색성을 지닌 소형 형태가 급속하게 보급되어 있고 이러한 경우 전용 전자식 안정기가 주로 사용된다. 이외에 광원과 전자식 안정기의 일체형태로서 소켓에 부착하는 것만으로 점등할 수 있는 제품도 개발되었다.

3) 고압나트륨 광원

고압나트륨 광원은 그 이름대로 나트륨의 발광스펙트럼을 이용한 HID 광원이다. 고압나트륨 광원의 구조를 그림 4에 나타내었다. 저압나트륨 광원의 경우 낮은 압력의 나트륨 방전을 통해 순수한 황색광을 방출

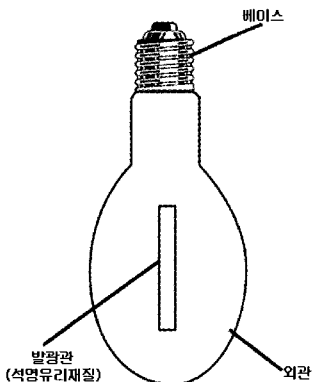


그림 4 고압나트륨 광원의 구조

하는게 특징으로 연색성이 매우 낮은 단점을 지니고 있다. 그러나 압력을 높게 함으로써 황색 이외의 광방출을 구현할 수 있는 것이 고압나트륨 광원이다. 발광관에는 나트륨과 화학적 반응성이 낮은 투광성 세라믹을 사용하고 있다. 발광관 내부에는 발광물질인 나트륨 외에 수은(Hg)과 제논(Xenon) 또는 아르곤(Ar)이 봉입되어 있고, 따뜻한 주황색의 색좌표값(CIE, color coordinate)을 가지고 있다.

광원 효율을 중시하는 제품과 연색성을 중시하는 제품이 개발되어 있다. 광원 효율을 중시하는 경우 장수명의 경제성이 우수한 광원으로서 도로조명과 공장조명, 옥외광장조명 등에 널리 보급되고 있다. 반면 연색성을 중시하는 경우 광원 효율이 감소하지만 색의 연출 효과를 높일 수 있는 전시회나 점포 조명 등을 중심으로 사용되고 있다. 고압나트륨 광원도 광원 시동에 필요한 고전압 펄스 발생장치를 광원에 내장시킨 시동기 내장형과 전용안정기로 점화하는 타입이 있다.

4) 수은 광원

수은 광원의 구조를 그림 5에 나타내었다.

수은 광원은 발광관 내의 방전을 통해 수은을 발광시키고 있지만 수은의 방전을 용이하게 하기 위하여 아르곤 가스를 함께 봉입하여 사용하고 있다. 또한 수은 자체의 발광 스펙트럼분포를 보면 빨강색 파장에 비해 파란색 파장의 분포가 강하다. 따라서 빨강색의 발광 스펙트럼을 갖는 형광체를 외관 내면에 도포함으

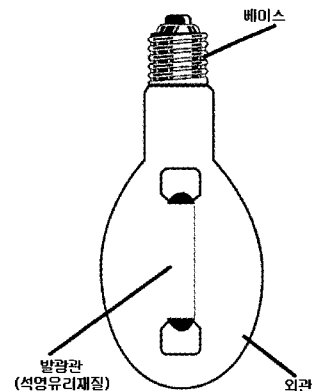


그림 5 수은 광원의 구조

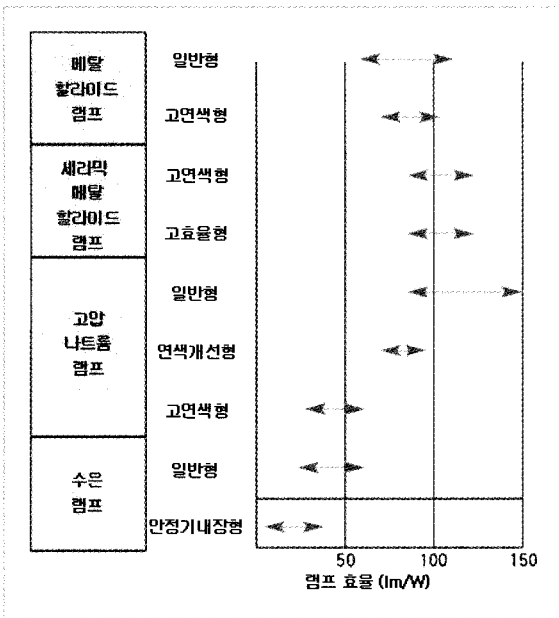


그림 6 HID 광원의 종류별 효율 비교

로써 광색과 연색성을 개선한 제품이 널리 사용되고 있다.

한편, 안정기의 역할을 하는 필라멘트를 광원에 내장한 것으로서 안정기를 필요로 하지 않는 제품도 있다. 이러한 제품은 필라멘트 자체의 발광을 통해 백열전구와 같이 따뜻함이 있는 빛과 수은 광원 자체의 푸른 빛이 감도는 빛이 적절히 섞인 빛을 방출한다. 주로 공사현장이나 간판 등의 조명에 널리 사용되고 있다.

HID 광원의 전기적 및 광학적 특성

1) 광원 효율

효율이 높은 것으로는 고압 나트륨광원 다음으로 메탈할라이드 광원, 수은 광원 순서이다. 고압나트륨 광원의 효율은 수은 광원에 비해 약 2배정도 높으며, 메탈할라이드 광원과 비교해서는 약 1.5배정도 도달하고 있지만 이 모든 경우 고효율에 해당된다. 연색성을 개선한 고압나트륨 광원과 메탈할라이드 광원은 일반형보다 효율은 낮아진다. 그러나 세라믹 메탈할라이드 광원의 경우는 종래 메탈할라이드 광원과 비교해 볼 때 고연색성의 고효율 광원에 해당한다. 그림 6에 HID

광원의 종류에 따른 효율을 각각 비교하여 나타내었다.

2) 광색과 연색성

수은 광원(형광형)과 메탈할라이드 광원이 백색 발광 광원인데 반해 고압나트륨 광원은 오렌지 빛의 백색광으로 백열전구에 가까운 색좌표를 갖는다. 일반형에서 연색성면이 우수한 것으로는 메탈할라이드 광원 그리고 수은 광원, 고압 나트륨광원 순서이다. 메탈할라이드 광원, 고압 나트륨광원에는 일반형 외에 고연색성 타입과 연색성 개선 타입의 두 가지 형태가 있다.

3) 수명과 광속유지율

수은 광원의 정격수명은 6000~12000시간, 고압나트륨 광원은 9000~24000시간으로 구동 수명시간이 길다. 메탈할라이드 광원의 경우 정격수명은 6000~12000시간 정도이며 세라믹 메탈할라이드 광원은 6000~16000시간에 이른다. 또한 점등 시 밝기의 저하 비율은 고압나트륨 광원이 가장 적으며 이어서 수은 광원, 메탈할라이드 광원 순이다. 메탈할라이드 광원의 경우 연색성이나 효율을 개선하기 위해서 화학적 활성 금속인 할로겐화물의 방전을 이용하기 때문에 광속 유지율과 잔존율은 다른 HID 광원보다 낮다. 특히, 저시동 전압형 메탈할라이드 광원은 잔존율, 광속 유지율이 낮지만 연색성과 효율이 우수하다는 장점과 함께 기존의 수은 광원용 안정기로도 점등할 수 있다는 경제적 이점이 있다. 또한, 세라믹 메탈할라이드 광원은 일반 메탈할라이드 광원과 비교해서 보다 긴 수명을 가지며 광속 유지율은 60~85% 정도로 통상적인 메탈할라이드 광원보다도 높다.

4) 주변온도(Ambient Temperature)특성

HID 광원은 형광광원과 비교해 볼 때 주변온도에 대한 밝기의 의존성이 약하다. HID 광원을 사용 가능한 주변온도 범위는 광원과 안정기에 따라 차이가 있다.

5) 점등, 재점등

HID 광원은 특성상 전원의 인가 시점에서 밝기가 안정화에 이르기까지 4~8분 정도의 소요시간이 요구된

다. 또한 소등 직후에 전원을 인가하고나서 점등이 되기까지에 재점등을 위한 소요시간은 5~25분 정도가 요구된다. 점등과 재점등에 관련하여서는 사용하고 있는 기구 및 주위온도에 의해 차이가 있다. 그리고 순간적으로 재 점등할 수 있는 특수한 HID 광원도 있다.

6) 조광

수은 광원과 고압나트륨 광원에는 조광용안정기를 사용함으로써 밝기를 약 50%까지 조절할 수 있다. 메탈헬라이드 광원은 봉입되어 있는 금속의 증기압이 높기 때문에 출력을 낮추어 조광 하는 것이 가능하다. 이와 더불어 일부 메탈헬라이드 광원의 경우 전자안정기와 제어시스템을 조합함으로써 조광 가능한 제품이 개발된 사례도 있다.

7) 전원전압과 수명의 관계

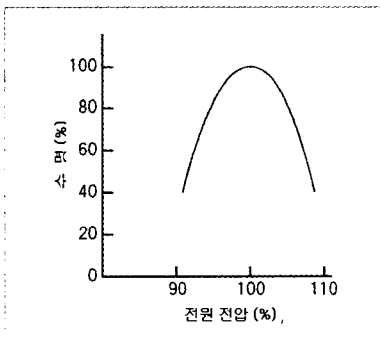


그림 7 전원전압과 HID 광원의 수명

광원은 최적화된 적정 사용조건에서 최고의 성능을 발휘할 수 있도록 설계되어지기 때문에 전원전압이 최적 조건을 벗어나서 너무 높거

나 너무 낮아도 광원 수명 단축을 초래할 수 있다. 너무 높을 경우 과부하점등으로 인한 전극의 손상과 급속한 발광관의 열화를 일으킬 수 있다. 너무 낮을 경우는 최적설계 조건에서 벗어나기 때문에 발생하는 전극의 손상이 발생된다. 게다가 구동 중 요구되는 시동전압이 상승 조건을 만족시키지 못하는 낮은 전력으로는 광원의 시동을 이룰 수 없어서 결과적으로 수명단축의 원인이 된다. 그림 7에 전원전압 변화에 따른 광원수명의 관계를 나타내었다.

8) 메탈헬라이드 광원의 스펙트럼 분포

메탈헬라이드 광원은 여러 가지의 금속 할로겐화물이 봉입된 광원이기 때문에 봉입금속의 발광 강도와 광원의 봉입물 정도에 따라 스펙트럼 분포의 차이를 갖는다. 스펙트럼 분포에서 차이가 발생하게 되는 원인으로서는 ①봉입된 할로겐화물의 양과 발광관 형태에 의존하는 광원 개개의 특성 분포 ②광원 점등방향의 차이 ③점등 과정에서 발생하는 봉입물과 발광관의 상호반응 ④광원전력(광원전압)과 안정기 특성 ⑤전원전압의 변동요인에 의한 입력전력변화 등이 요인으로 보고되고 있다. 최근 광원과 안정기의 경우 어느 정도의 분포 차이를 갖고 있지만 많은 개선을 통해 문제화 되지 않는 정도까지 구현이 가능하게 되었다. 한편, 세라믹 메탈헬라이드 광원의 스펙트럼 분포는 세라믹 발광관이 형틀을 통해 소결되어 제조되기 때문에 유리공공의 석영발광관에 비해 균일하다. 결과적으로 발광관내의 최냉부온도를 일정하게 유지할 수 있기에

광원 각각의 스펙트럼 분포 차이를 줄일 수 있다. 또한, 세라믹 발광관은 석영발광관에 비해 점등 중 봉입물과 발광관간의 반응이 적기 때문에 봉입물의 구성 변화가 적어서 구동 기간중에 광색 변화도 적다.

9) 점등방법

수은 광원과 고압나트륨광원은 점등방법에 있어서 방향성을 가지고 있지 않지만, 일부 메탈헬라이드 광원의

표 1 HID 광원의 종류와 주요 안정기의 종류

	메탈헬라이드 램프		세라믹메탈헬라이드 램프		고압 나트륨 램프		수은 램프
	저시동 안정기	전용 안정기형	저시동 안정기	전용 안정기형	저시동 안정기	전용 안정기형	
일반형 안정기	○		○		○		○
정전력형 안정기							○
저시동 전류형 안정기	○		○		○		○
조광형 자기식 안정기					○	○	○
펄스 시동형 안정기		○		○			○
피크 진상형 안정기		○					
전자 안정기		○		○			○
조광형 전자 안정기		○		○			○

경우에는 점등에 대한 방향성을 갖는 제품이 있다. 방향성을 고려하지 않은 점등은 출력부족, 수명단축, 시동불량 및 파손의 원인이 된다.

광원 구동용 안정기 종류와 특징

안정기 없이 직접 전원에 연결시키면 순식간에 광원이 파손되거나 혹은 전혀 점등되지 않는 현상이 발생한다. 안정기의 역할은 크게 나누어서 다음 두 가지가 있다. ; ①광원의 전류 제한. ②시동전압 공급.

안정기는 광원의 종류, 전원전압, 주파수 등의 사용조건이 고려되어 선택되어야 한다. 또한 안정기의 종류는 다음과 같이 여러 가지의 장점을 가진 안정기가 있기 때문에 다양한 조건에 맞추어 안정기를 선택할 필요가 있다.

1) 일반(초크코일)형 안정기

가장 기본적인 안정기로서 소형이며 가볍고 저렴한 가격이 특징이다. 시동전압이 200V 보다 낮은 수는 광원으로 가장 많이 사용되고 있지만 메탈헬라이드 광원과 고압나트륨 광원의 경우도 저시동전압으로 작동 가능하다. 일반형 안정기로는 저 역률형과 고 역률형이 있지만 역률 개선용 콘덴서를 추가한 고 역률형이 일반적이다.

2) 정 전력형안정기

일반형 안정기는 전원전압의 변화에 따라 광원의 전력과 광속이 변하기 때문에 이러한 변화를 최소화할 수 있는 (일반형의 약1/3)안정기이다. 전원전압변화가 큰 경우이거나 전원 및 배선용량의 여유가 없는 경우에 적합하다.

3) 저시동 전류형 안정기

일반형 안정기는 전원을 인가함과 동시에 전류가 큰 폭으로 변화한다. 따라서 이것을 줄이고자 제안된 안정기이다. 특히 다중 전원설비가 요구되는 부분에서 적합하다.

4) 조광형 자기식 안정기

일반적으로 방전광원을 조광 조절하기는 어렵다. 그러나 약 50%의 조광 조절을 하고자 제안된 형태가 바로 조광형 자기식 안정기이다. 타이머와 조합시켜 교통량이 가장 많은 때에는 밝게 하고 심야에 인적이 드물 때는 자동 조광함으로써 소비전력의 절감을 이루고자 하는 부분에 적합하다.

5) 펄스 시동형 안정기

광원의 시동에 필요한 높은 전압을 얻는데 적합한 형태로 펄스전압을 이용한다. 펄스 전압은 광원이 점등됨과 동시에 바로 정지하게 되어 있다. 시동전압이 높은 메탈헬라이드 광원과 고압나트륨 광원용에 사용되고 있다. 펄스를 발생시키는 점화기를 안정기에 내장한 타입과 점화기를 기구에 부착시킨 타입이 있다.

6) 피크 진상형 안정기

안정기의 2차 전압 파형을 변화시켜서 전압 실효치는 일정하게 유지하고 최대치만 증가시킬 수 있는 타입이다. 주로 높은 시동전압이 요구되는 메탈헬라이드 광원나 고압나트륨 광원용으로 사용된다.

7) 전자 안정기

반도체 회로소자를 이용하는 타입으로서 시동에 필요한 고압펄스의 발진회로가 내재된 인버터회로를 통해 전원주파수를 고주파화하고 전력제어와 정류과정을 거쳐서 구형파로 변환하는 형태가 주류이다.

8) 조광형 전자안정기

전자안정기는 자기식 안정기(초크코일)와 비교할 때 고가에 해당하지만 전자안정기의 전력제어기능을 메탈헬라이드 광원과 조합함으로써 광원의 조광 점등이 가능하기 때문에 에너지절약의 기대효과를 얻을 수 있다.

9) 기타

소등직후에 곧바로 재점등 할 수 있는 순시 재점등형 안정기와 위의 각종타입을 조합한 기술들이 상품화

되고 있다.

향후기술전망

국내는 물론 국제 산업 전반은 21세기를 맞이하면서 에너지원의 고갈과 지구 환경의 오염에 대한 큰 문제에 당면해 있다. 이와 같은 문제의 시급성은 2005년 2월 Kyoto Protocol이 정식으로 발효되면서 전세계적으로 온실가스 배출량을 2008~2012년 사이에 6% 감소하는 것이 의무화된 사실로도 확인할 수 있다. 이웃 나라 일본에서는 에너지 절약법의 개정(2006년 4월 시행) 등을 통해 이와 같은 목표달성을 이루고자 노력하는데 이에 대한 구체적인 추진 방안의 하나로는 고효율 광원을 이용함으로써 자국 내의 전력소모를 줄이는 방안이 진행되고 있다.

본 글에서 논의된 HID 광원에 대한 일본에서의 광원별 수요량을 보면 1995년도에는 수은 광원의 출하량이 전체 HID 광원의 52%에 달하였으나 10년 후 2005년도에는 수은 광원의 출하량이 40% 전후까지 감소하였다. 이에 반해 메탈헬라이드 광원의 출하량은 50% 이

상에 이르고 있다. 이것은 HID 광원의 수요확대와 함께 고효율의 에너지 절약 광원개발이 진행되고 세라믹 메탈헬라이드 광원 등과 같이 수은 광원의 대체광원으로서 고효율광원의 사용이 확대되고 있기 때문이다. HID 광원 중에서는 비교적 효율이 낮은 수은 광원을 효율이 높은 메탈헬라이드 광원으로 대체함으로써 대폭적인 에너지절약이 가능할 것으로 전망된다.

국내에서도 이와 같은 능동적이면서 적극적인 자세로 고효율광원을 사회와 산업 전반으로 대체해 나아갈 때 CO₂ 배출량의 감소는 물론 높은 에너지 절약 효과를 기대할 수 있을 것으로 전망하는 바이다.

- 출처 :

본 자료는 일본전구공업회의 허락을 받은 후에 게재함.

- 담당위원

한수빈(에너지기술연구원)

김상우(KIST),

고재현(한림대)

양성채(전북대)

임연찬, 박대회(원광대)