

최근의 HID 안정기 기술 동향

한 수 빈 <한국에너지기술연구원 책임연구원>

1 서론

일반적으로는 HID(High Intensity Discharge) 램프는 저압 방전램프인 형광등과 달리 고압 방전램프를 지칭하며 높은 광속을 필요로 하는 목적으로 사용된다. 메탈헬라이드 램프(Metal-halide lamp), 고압소듐 램프(High pressure sodium lamp), 저압소듐 램프(Low pressure sodium lamp), 수은램프(Mercury lamp)가 모두 HID 램프이다. HID 램프의 경우는 형광등의 경우와 비교하여 램프의 종류 및 형태가 매우 다양하고 복잡하게 되어 안정기 또한 램프마다 많은 종류와 다양한 방식이 존재한다. 통상적으로 형광등과 마찬가지로 안정기를 자기식 안정기와 전자식 안정기로 분류할 수 있는데 실제 시장에서는 형광등의 경우와는 달리 전자식 안정기가 제작 및 적용되는 경우가 매우 미비하다.

본고에서는 HID 램프용 안정기를 현 시점에서 파악하고자 하는 것으로 최근에 연구되고 있는 HID 무전극 램프는 아직 실용화되어 있는 것이 없으므로 다루지 않기로 하며 기존의 HID 램프에서 특히 메탈헬라이드 램프를 중심으로 기술하기로 한다. 현재 HID 안정기의 동작에 대한 이해를 위해서 HID 램프의 기본 특성을 언급하고 HID 램프의 안정기의 주류인 자기식 안정기 기술을 소개한 후 전자식 안정기의 기술

과 시장 현황을 정리하고자 한다.

2. HID 램프와 기존의 안정기

2.1 HID 램프의 시동 조건

HID 램프의 경우 매우 높은 시동 전압이 필요하게 된다. 이것은 전자식화하기에 신뢰성면에서 가격면에서 형광등용 안정기보다 유리한 조건이 되지 못하는 원인이 되기도 한다. 시동에 필요한 최대전압은 램프마다 다 다르며 예로서 수은 램프 400[W]이하의 경우는 250[V], 메탈헬라이드 175~400[W]의 경우는 500[V], 메탈헬라이드 175[W]이하 및 필스스타트의 경우 1500[V], 고압 소듐 램프는 35~100[W]의 경우 2500[V], 고압 소듐 램프 150~1000[W]급에서는 4000[V]정도가 필요하다.

수은램프 및 메탈헬라이드 램프의 경우는 램프 시동을 용이하게 하기 위해서 아크관의 한쪽 끝에 위치한 보조 전극이 존재한다. 이들 램프들은 아크가 시작되고 유지하기 위해 시동전압외에 램프전압의 약 2배 이상의 안정기에서의 OCV(Open Circuit Voltage)가 필요하다. 고압소듐 램프와 최근의 일부 메탈헬라이드 램프는 시동용 전극을 갖고 있지 않다. 이들 램프는 램프전압의 2배 이상의 OCV외에 방전관에 연

결된 ignitor에 의한 고전압 시동 펄스에 의해 시동된다. 저압소듐 램프는 시동용 전극이나 이그나이터가 없기 때문에 시동하기 위해서는 램프전압의 3~7배의 OCV가 요구된다.

2.2 HID 램프의 동작

방전램프는 통상적으로 음저항(Negative resistance) 특성을 가지게 되며 이것은 전압원에 의해서 계속 동작될 경우 전류가 과도하게 증가하게 되어 램프를 손상시키게 된다. 따라서 램프의 정상적인 동작을 위해 전류를 제한시키는 안정기가 필요하다. 이들 HID 램프는 가열(warm-up)되고 정격의 광속을 내는데 수분이상이 소요되고 전원의 중단시에 아크가 소멸되게 된다. 램프가 아직 가열된 상태이면 즉각 재점등(restriking)이 되지 않으므로 재점등 되기전에 냉각되어서 방전관내부의 증기압이 충분히 감소하여야 한다. 대략적인 가열시간과 재점등 시간은 표 1과 같다.

표 1. HID 램프의 가열 및 재점등 시간

광 원	가열시간	재점등시간
수은램프	5~7분	3~6분
메탈헬라이드 램프	2~5분	10~20분
고압 소듐 램프	3~4분	0.5~1분
저압 소듐 램프	7~10분	3~12초

2.3 HID램프의 광속과 효율

HID램프는 매우 폭 넓은 범위에서 다양한 용량이 존재하고 용량마다 효율이 변화한다. 그림 1은 그 분포에 대한 것으로 소듐 램프가 효율이 좋으나 연색성은 떨어지는 단점이 있어 현재로서는 HID 램프중에서는 연색성과 효율을 모두 고려할 때 메탈헬라이드

드 램프가 보다 선호되는 경향이다.

2.4 판매되는 HID 자기식 안정기 종류

HID 자기식 안정기의 경우 제조회사마다 제품의 종류가 다소 변형되지만 제품별로는 Core & Coil, Potted Core & Coil, F-Can, Indoor Enclosed, Outdoor Weatherproof, Post line 등이 가장 일반적으로 판매되고 있다. Core & Coil이 가장 기본적인 제품으로 그림 2와 같이 연철판으로 모아진 철심에 동선을 감아서 만들어 진 것으로 등기구 내부에 설치하게 된다. 통상적으로 업체에서는 4가지 정도의 크기로 설계되는데 이는 표준화하여 교체시의 문제를 간단히 하기 위한 것이다. F-can의 경우는 실내용으로 그림 3과 같이 안정기를 형광등 안정기 형태의 금속 용기에 넣은 것으로 Class A(90°C max) 절연 물질을 사용하게 되어 안정기 noise를 최소화 한다. 물론 용기안에는 역울개선용 캐패시터, 이그나이터 외에 thermal protector가 설치되어 있어 과열시 전원이 차단된다.

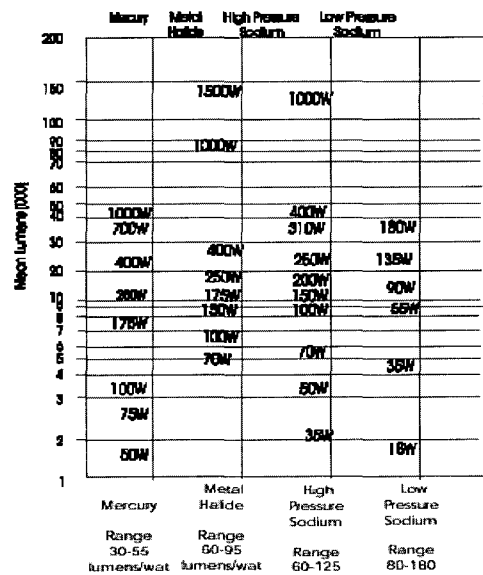


그림 1. HID램프의 광속과 효율

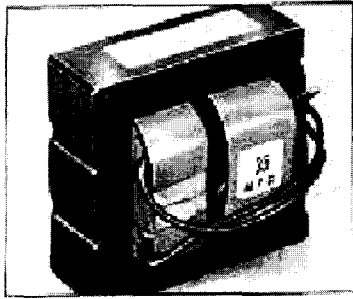


그림 2. Core & Coil형

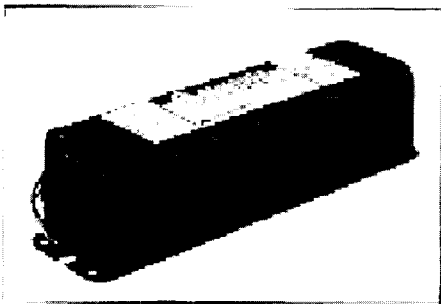


그림 3. F-Can형 안정기

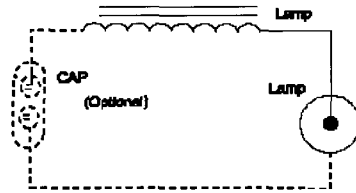
HID 램프의 사용 전원으로는 북미지역 및 유럽의 경우는 120, 208, 240, 277, 480들이 있으며 이중 120, 277이 가장 많이 사용된다. 제품중에는 120, 208, 140, 277을 모두 탭으로 공급할 수 있는 안정기도 판매되고 있다.

2.5 사용되는 HID 자기식 안정기 회로

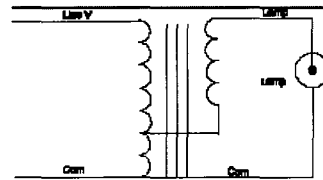
HID에 사용되는 자기식 안정기의 회로 구조는 수은램프, 메탈헬라이드 램프, 저압 소듐램프의 경우는 그림 4와 같이 Reactor(R), High Reactance Autotransformer(HX), Constant Wattage Autotransformer(CWA) 그리고 Constant Wattage(CW)의 형태가 있고 이그나이터를 사용하는 고압 소듐 램프 및 일부 메탈헬라이드 램프의 경우도 그림 5와 같이 Reactor, High Reactance Autotr-

ansformer(HX), Constant Wattage Autotransformer(CWA) 그리고 Regulated Lag(REG, LAG)가 존재한다.

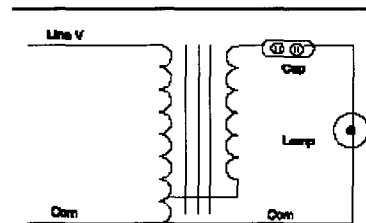
안정기에서 중요한 특성중 하나는 입력전압이 변화할 때 램프의 전력 즉 광출력을 제어할 수 능력으로



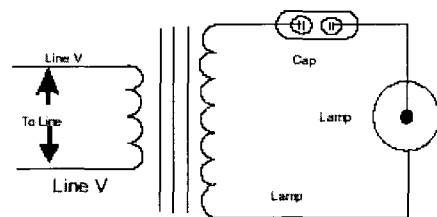
(a) Reactor(R) 회로



(b) High Reactance Autotransformer(HX)

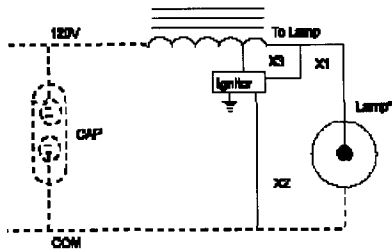


(c) Constant Wattage Autotransformer(CWA)

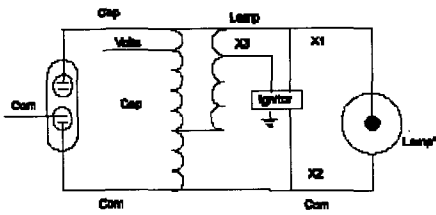


(d) Constant Wattage(CW)

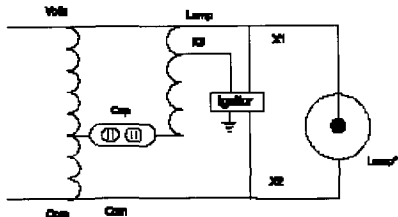
그림 4. 자기식 안정기 회로(수은램프, 메탈헬라이드 램프, 저압 소듐 램프)



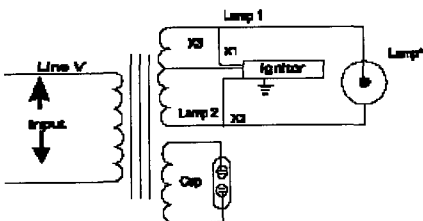
(a) Reactor(R) 회로



(b) High Reactance Autotransformer(HX)



(c) Constant Wattage Autotransformer(CWA)



(d) Regulated Lag(REG, LAG)

그림 5. 자기식 안정기 회로(고압 소듐 램프, 펄스 메탈할라이드 램프)

안정기 회로마다 다르지만 대체적인 특성은 그림 6과 같다. 예로서 CWA 회로는 입력전원이 90[%]일 때 안정기는 95[%]의 출력을 내는 것으로 동작되고

110[%]일 때 105[%]의 출력을 내는 것으로 동작된다.

자기식 안정기의 회로별 특성을 종합적으로 비교하면 표 2와 같고 전체적으로 CW 회로가 가장 우수하지만 가장 고가인 회로가 된다. Reactor방식은 저가이나 입력전압이 10[%] 변화할 때 램프전력을 24[%]이상 변화시키는 문제가 있다. 따라서 성능과 가격에서 절충된 CWA 방식이 시장에서는 가장 많이 사용되고 있다.

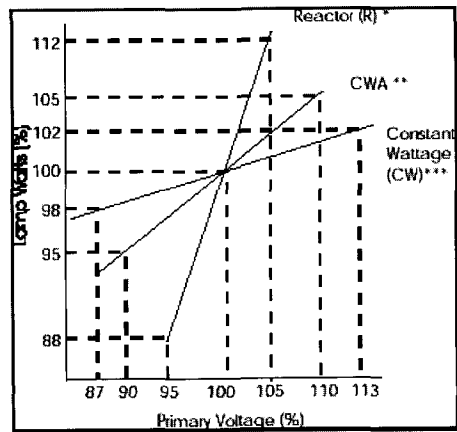


그림 6. 자기식 안정기의 램프 전력 조절 특성

표 2. 자기식 안정기의 회로별 특성 비교

안정기 종류	Reactor (R)	Hi-Reactance Autotransformer (HX)	Constant Wattage Autotransformer (CWA)	Constant Wattage (CW)
특성				
램프 전력제어능력	나쁨	나쁨	좋음	매우 좋음
안정기 손실	낮음	낮음	중간	높음
역율	50/90	50/90	평균 90	90-100
시동 및 개방 전류	크다	크다	적다	적다
램프 수명	매우 좋음	매우 좋음	좋음	좋음
입력전압 변동에 대한 점등유지특성	나쁨	나쁨	좋음	매우 좋음
전기적 절연여부	No	No	No	Yes
상대적 가격	1-1.2	1.2-1.5	1.2-1.5	3

3. HID 램프와 전자식 안정기

3.1 기존 자기식 안정기의 장점과 문제점

HID 램프는 공통적으로는 방전을 시동하기 위한 고전압이 필요하고 방전이 개시된 후 전류를 제한하기 위해 안정기가 필요하게 됨은 앞에서 서술하였다. HID 램프의 경우는 전원주파수의 트랜스나 인덕터 등 마그네틱 소자를 사용하는 자기식 안정기가 주로 사용되고 있는데 자기식 안정기의 경우 저가이며 간단하고 신뢰성이 있지만 큰 면적과 과중한 무게, 낮은 역율, 저효율, 램프전력의 조정 능력의 한계, 전원전압에 대한 민감성등의 단점이 존재하고 별도의 램프를 시동하기 위한 고전압 이그나이터가 필요하게 된다.

3.2 전자식 안정기의 장점과 문제점

전자식 안정기의 경우 자기식 안정기의 단점을 대부분 해결할 수 있지만 높은 가격과 신뢰성의 문제가 발생된다. 전자식 안정기의 주요한 설계의 고려점은 램프 임피던스의 시동시, 가열(warm-up) 그리고 정상상태의 변화에 적응하도록 동작시키는 것이다. 동작중 임피던스는 open circuit에서 거의 short circuit으로 변화하며, 균일하지 않은 전극의 예열로 인해 가열동안은 정류기로서 동작한다.

신뢰성 문제는 기존의 형광등용 전자식 안정기에서 경험하였던 필드의 여러 현상에 의한 반도체 소자의 손상 문제, EMI/EMC와 관계된 문제등 공통적인 것이다. 그러나 특히 고압, 고전력으로 동작되어야 하기 때문에 보다 높은 신뢰성 검증이 필요하게 된다. 또한 HID방전등 자체의 음향공명현상에 대한 것은 형광등에 없었던 문제로 새로이 해결해야 하는 과제가 된다.

3.3 고주파 동작을 어렵게 하는 음향공명현상

전자식 안정기의 앞에서의 문제들은 해결이 모두 가능하지만 HID 램프에서 형광등과 같이 고주파로 구동하기 어려운 이유는 음향공명(Acoustic resonance)현상이 있기 때문이다. 이것은 램프에 전달되는 전력의 변화가 음향 공진주파수에 근접하면 방전관내의 음향 압력파가 여기되어 방전아크가 진동하거나 매우 심하게 변화하는 현상으로 광이 변동하고 플리커가 생기게 된다. 이때 방전아크가 벽면에 접촉되어 꺼지거나 방전관을 손상시킬 수 있게 된다. 이 현상은 방전관의 명암의 나타남과 스크린상에 투영되는 아크를 관찰하거나 오실로스코프로 아크전압을 분석하거나, 잡음현상등으로 관찰될 수 있다.

HID 램프용 전자식 안정기에 있어서 문제는 이 공진주파수가 방전관의 종류에 따라서, 전극의 치수와 봉입가스의 온도와 압력 그리고 조성여부에 따라서 모두 변화되기 때문에 일반적인 예측이 불가능하다. 또한 공진 모드가 방위각으로(azimuthal), 횡단으로(transverse), 길이방향으로(longitudinal)의 진동을 포함하여 이들의 결합과 가스의 혼합에 의해 서로 다르게 파생되는 wave number에 의해 램프에 따라 다르지만 수[kHz]에서 수백[kHz]까지 매우 넓은 범위의 공진주파수가 존재하는 주파수대역을 형성하게 된다. 따라서 HID 램프의 경우는 고주파수로 점등하는 경우 음향공명현상을 일반적으로 피할 수 있는 해결이 어렵게 된다. 어떠한 종류에서 동작하는 고주파 전자식안정기가 다른 종류, 다른 형태의 HID 램프에서 동작할 수 있는 보장을 못하게 되기 때문에 상용화에 큰 장애가 되고 있다.

3.4 음향공명 현상을 피하는 방식

전자식 안정기에서 음향공명현상을 피하기 위한 가장 선호되는 방안은 50[Hz]~250[Hz]사이의 저주

파 구형파로 구동하는 방식으로 이 경우는 공진을 일으키는 전력파가 거의 직류의 전력파로 동작하게 되어 공진현상을 여기시키지 않게 된다. 현재 많지 않은 HID 전자식 안정기중에 대부분이 이 방식을 사용한다. 예로서 Advance Transformer사의 경우 200[Hz]이하이고 Sunpark에서 공급하는 안정기의 경우 150[Hz]이며 IceCap의 경우 70~200[Hz]를 사용한다. 이밖에 고주파로 동작시킬 경우는 적용 램프가 정해져서 그 램프의 주파수 대역중에 공진주파수가 존재하지 않은 대역을 사용하기도 하지만 이 경우 특정 램프로 사용이 제한되게 된다. 그 밖에 각변조(Angle modulation), 주파수변조(Frequency modulation), 위상변조(Phase modulation)방식의 여러 방식이 연구되고 있지만 현재 상용화 된 것은 거의 없다.

3.5 HID전자식 안정기 제품 현황

일반적으로 HID램프 전자식 안정기는 먼저 상용화되고 널리 쓰이는 것은 30[W]급으로 자동차 헤드라이트에 적용한 경우이다. 일반 조명용은 30[W]-175[W]사이에서 개발되어 오다가 2000년 이후 250[W], 400[W]급들이 개발되었다. 램프제조 메이저회사인 Osram, Phillips, GE의 경우는 판매 라인에 아직 HID전자식 안정기가 들어있지 않고 있으며 안정기 전문업체들 위주로 개발되어 판매되고 있다. 그중 주요 안정기 회사인 Advanced transformer와 Universal lighting technologies(예전의 Magnetek사)의 경우에는 Advanced transformer사가 35~175[W]의 메탈헬라이드 램프를 대상으로 HID 전자식 안정기를 준비하고 있지만 대체적으로 기존의 자기식 안정기회사가 아닌 새로운 회사들이 HID전자식 안정기를 개발 판매하고 있다. 대표적으로 IceCap, LN 그리고 Sunpark, RBI 등이 있다. 기구 전문회사인 Holophane사의 경우는

다른 전자식 안정기와는 다르게 100[kHz]이상의 고주파로 동작되는 전자식 안정기를 320~400[W]급의 메탈헬라이드 램프를 중심으로 판매를 준비중에 있다. 이 회사의 제품은 2002년초까지 GE사에 의해서 GE의 메탈헬라이드 램프의 장기시험에 대한 성능검증을 수행한 것으로 향후 시장에서 주목된다.

3.6 HID전자식 안정기 제품 사례

표 3은 IceCap의 메탈헬라이드 램프의 150[W]용 전자식 안정기의 120[V]사용의 사양으로 처음 출시된 제품은 double ended 또는 medium base형태에 국한되었지만 현재 제품은 모든 형태에 적용이 가능한 것으로 되어있다. 참고하면 입력전원은 85~265[V]로 광범위하게 변화해도 적용이 가능하며 역율은 95(%), THD는 10(% 이하로서 active power factor correction회로를 채택한 것을 알 수 있다. 무부하 조건, 이그니션 실패, 램프 수명이 다함에 따른 보호기능이 첨가되어 있고, 이그니션 전압은 최고 4.5[kV]가 가능하고 시동시간은 15초 이하로 매우 빠르며 무게는 600[g]으로 자기식 안정기와 비교할 때 매우 좋은 성능 조건을 보여주고 있다. 문제는 가격대로 약 145[\$]에 판매되므로 매우 고가인 것을 알 수 있다.

4. 결 론

현재의 HID 램프의 안정기는 자기식 안정기가 주류이며 향후에도 그 위치가 크게 변동될 것 같지는 않다. 전자식 안정기는 전원 전압변동에 대한 광속의 유지능력, 높은 역률, 안정기의 효율, 가벼운 무게와 작은 제품크기, 기타 보호기능등에서 자기식안정기로 구현할 수 없는 성능을 얻을 수 있으므로 분명한 장점이 존재한다고 볼 수 있다. 그러나 HID램프의 경우 결정적인 것은 아직 신뢰성에 대한 부분이 자기식안

표 3. IceCap 전자식안정기의 성능 사양

사 양	모 델	MH -150
		120V
램프		MH-150W
램프 사양	전압 (Voltage)	80-105V
	전류 (Current)	1.6A
입력 전압(Input Voltage)		85-265V AC
입력 전류(Input Current)		1.5A Max @120V
입력 전력(Input Power)		168W
역율(Power Factor)		0.95
고조파 왜율 (Total Harmonic Distortion)		<10%
램프전류 파고율(Crest Factor)		<1.5
동작 주파수(Operating Frequency)		70-200Hz
이그니션 전압(Ignition Voltage)		4.5KV Max
시동시간(Starting Time)		<15 sec
재점등시간(Restarting time)		5-6 min
최소 시동 온도 (Min. Starting Temp.)		-10℃
최대 허용 공간 온도 (Max. Allowed Area Temp.)		<50℃
최대 설치 거리 (Max. Mounting Distance)		6 feet
개방회로 보호 (Open Circuit Protection)		yes
이그니션 실패 보호 (Ignition Failure Protection)		yes
램프 수명종료시 보호 (End of Lamp Life Protection)		yes
플리커(Flicker)		none
소음(Sound Rating)		A
크기(Overall Dimension)		166*100.6*41.4 mm
무게(Weight)		0.6kg
수명(Ballast life), 50℃		>100,000시간
가격(Cost)		145\$

정기와 비교하여 문제점을 갖고 있다는 것이다. 음향 공명현상에 대한 문제와 고압, 고전력화에 따른 부품의 신뢰성은 아직도 연구, 개발될 여지가 많이 있고

따라서 HID용 전자식 안정기가 일반 조명용에서 광범위하게 적용되기에는 보다 시간이 필요한 것으로 보인다. 그러나 현재 메탈헬라이드 램프에 대한 시장이 계속 증가함에 따라 HID 램프중에서 메탈헬라이드 램프를 중심으로 전자식 안정기가 성능, 용량면에서 다양하게 개발되어 보다 적극적인 판매가 시도될 것은 확실하다.

참 고 문 헌

- [1] "Pocket guide to HID lamp ballasts", Advance Transformer Co. 1998.
- [2] I. Laska et al. "White-noise modulation of high frequency HID lamp ballast", in IAS'94 Meet. Rec., pp. 1953-1961, 1994.
- [3] J. Alonso et al., "Analysis, design and optimization of the LDD resonant inverter as a HID lamp ballast", IEEE Trans. Power Electron., vol. 13, no3, pp. 573-585.
- [4] S. Wada et al., "Study of HID lamps with reduced acoustic resonances", J. Illum. Eng. Soc., pp. 162-175, 1987.
- [5] H. J. Faehnrich and E. Rausch, "Electronic ballast for metal-halide lamps", J. Illum. Eng. Soc., pp. 131-141, 1988.

◇ 저 자 소 개 ◇



한 수 빈(韓秀彬)

1977년 한양대학교 전자공학과(학사). 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사). 1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사). 현재 한국에너지기술연구원 책임연구원/전기조명기술연구센터장.