

무전극램프 시스템 원리 및 적용 사례

정재철
주식회사 세광에너텍

The Principles of Electrodeless Fluorescent Lamp System & Product Application Example

JAE-CHEOL JUNG
SEKWANG ENERTECH CO., LTD.

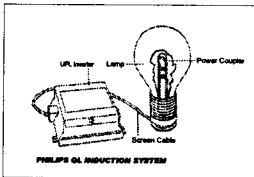
Abstract

기존의 램프와 상이하게 전자기 유도법칙에 의하여 점등이 됨으로서 고효율 장수명의 특징을 지닌 무전극램프 시스템의 원리 및 적용사례에 대하여 알아본다.

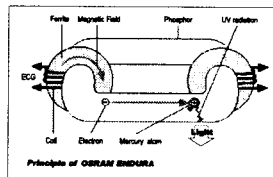
1. 설비개요

1.1 무전극램프

벌브 내부에 필라멘트나 발광관이 장치된 기존의 램프와는 개념이 상이한 램프로서 가스가 봉입된 벌브 외부에 페라이트 코어가 장치된 구조이다. 이 페라이트 코어에 고주파 스위칭이 가능한 인버터로부터 에너지가 공급되면 램프에 자계가 발생하여 벌브 내부의 봉입가스를 여기시켜 발광하는 원리로서 장수명, 고효율, 고연색의 특징을 지닌 신개념의 우수 램프이다.



필립스 QL램프



오스람 ENDURA 램프

1.2 무전극램프용 인버터 및 디밍인버터

무전극램프는 각 제조사(필립스, 오스람, 네셔널 외) 별도로 램프 구동 주파수가 다르므로 인버터 또한 해당 램프에 따라 구동 주파수를 맞게 설정해야 한다. 특히 무전극램프는 수백 kHz 또는 수십 GHz 대의 구동 주파수가 필요하다. 다시 말해 일반 형광등용 전자식 안정기에 비해 무전극램프용 인버터의 구동 주파수가 수배에서 수십배 높기 때문에 고주파 스위칭 기술 및 EMI, 열발생 대책 등의 기술을 요한다. 실제로 전체시스템의 효율 및 수명은 안정기가 좌우한다고 해도 과언은 아니다.

특히 무전극램프용 디밍인버터의 경우는 기존의 구동 주파수 제어 디머로는 무전극램프의 특정 주파수 범위 특성 때문에 별도의 무전극 조광제어 기술도 요하고 있다.

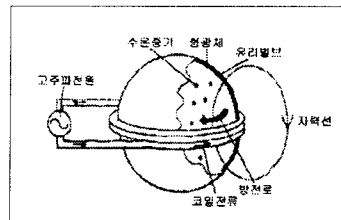
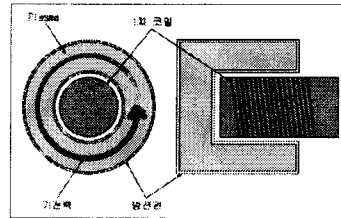
2. 원리 및 구조

2.1 무전극 방전 원리

1차 코일에 고주파를 인가하면 자기장이 코일 주위에 발생하게 되는데 이 자기장이 2차 회로에 해당 하는 방

전관을 통과하게 되면서 패러데이의 원리에 의해 2차 회로에 기전력이 발생하게 된다.

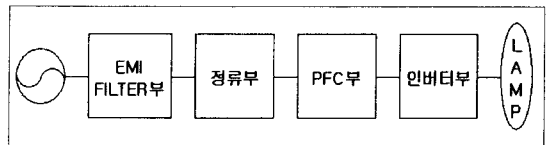
발생한 기전력에 의해 방전관 내에 전자가 가속되어 플라즈마가 발생하게 되며, 플라즈마에서 나온 자외선은 유리관 내부에 도포된 형광체를 자극하여 가시 광선을 방출 하게 된다.



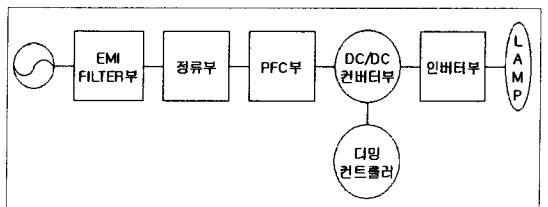
조명용으로 개발 되어 상용화된 현재의 무전극램프 대부분은 전형적으로 구형의 방전관 외부에 권선을 감고 교류를 인가시키면 전자식 도체로 인해 전계가 생기고 관 내부에서 방전이 형성 되는 형식으로 방전 결합형 또는 무전극 방전이라고 하는 H방전 형식의 제품들이다. 이러한 방전은 관 벽에 평행하게 전류가 흐르는 것이 특징으로 이를 일컬어 헬리커방전이라는 이름이 붙여져 H방전으로 불리워지고 있다

로 이를 일컬어 헬리커방전이라는 이름이 붙여져 H방전으로 불리워지고 있다

2.2 무전극 램프용 인버터 및 디밍용인버터 구조 및 원리



무전극램프용 인버터 블록도



무전극램프 디밍용인버터 블록도

1) EMI FILTER부

외부에서 유입되는 노이즈 억제와 내부에서 발생하는 고주파 스위칭 노이즈를 억제시켜 노이즈로 인한 시스템의 오동작을 방지한다.

2) 정류부

교류전원을 직류전압으로 전환하여 시스템을 구동시키기 위한 회로이다.

3) PFC 부

역률보상 및 정전압 출력부로서 역률 보정과 동시에 입력 전압의 잦은 변동에도 정전압 출력을 가능하게 하는 회로이다.

4) DC/DC 컨버터부

PFC 부 즉 정전압부에서 출력된 DC전압을 조광컨트롤 장치의 신호에 따라 특정 출력 DC전압으로 가변시켜 조광제어가 가능하게 하는 회로이다.

5) 인버터부

DC전압을 변환시켜 무전극 방전램프를 점등시키는 회로이다.

6) 디밍콘트롤부

마이크로컴퓨터에 프로그램 되어진 내용에 따라 주어진 일정 주파수를 DC/DC 컨버터부에 전달하여 조광을 제어한다.

3. 설비 특징

3.1 무전극램프시스템(무전극램프 및 인버터) 특징

무전극램프시스템은 다음과 같은 특징이 있습니다.

- 1) 기존 방전등 대비 약 35% 이상 절전 (사용 환경에 따라 상이)
 - 고효율 램프(64~80lm/W)
- 2) 장수명에 따른 유지보수 FREE (1일 10시간 사용시 27년 이상 사용)
 - 일반수명 : 10만시간 (초기 광속 대비 55% 까지)
 - 실효수명 : 6만 시간(초기 광속 대비 70% 까지)
- 3) 높은 연색성으로 자연색 연출
 - 삼파장 램프로써 연색성 80~90Ra 로 자연스러운 색상 연출
- 4) 즉시 점등 및 재점등
 - 점등 및 재점등 시간 0.001초
- 5) 눈의 피로 감소
 - 고주파 구동으로 깜박임이 없고, 면광원으로 휘도가 낮아 편안함
- 6) 낮은 발열량
 - 고압 방전램프에 비해 발열량이 상대적으로 낮아 냉방효율 증대 및 화재 방지
- 7) 식물의 과성장 요소 낮음
 - 스펙트럼이 3파장 영역에 골고루 분포하여 노랑색 파장에 민감한 식물에서 발생하는 농작물 피해 (벼 등의 과성장으로 인한 쫄병이 발생)의 최소화
- 8) 환경 친화적 램프
 - 아말감 기술로 약 6mg의 수은 함유, 기존 방전등에 비해 현저히 낮은 수은 함유량 특성
 - 장수명으로 인한 각종 폐기물 배출의 최소화

3.1 무전극램프용 디밍인버터 특징

기존의 일반 형광등 전자식 안정기용 조광장치의 대부분이, 컨트롤러와 디밍전자식 안정기 사이에서 컨트롤 시그널이 아닌 DC전압을 이용한 방식으로 컨트롤하기 때문에 양단간 케이블 길이가 길어지면 길어질수록 선간 전압 드롭 발생으로 인하여 조광제어의 문제가 발생하는 단점을 가지고 있다.

이를 해결하기 위해 전압 컨트롤 방식이 아닌 주파수 컨트롤 방식을 채택하여 컨트롤 케이블이 길어져도 선간 저항에 의해 영향을 받지 않아 조광 제어를 원활히 수행할 수 있다.

4. 에너지절약 적용 분야

- 1) 수은, 나트륨, 메탈할라이드램프 등 방전 램프 대체
- 2) 보안등, 가로등 공원등 및 기타 옥외 조명
- 3) 접근이 용이하지 않은 위험, 고소 지역 조명
- 4) 각종 지하 시설(주차장 등)의 조명
- 5) 터널등 및 지하차로등
- 6) 군중 밀집 지역의 비상 조명

5. 에너지 절약 효과

5.1 램프 효율 증대에 따른 에너지 절약 효과

무전극램프 보다 광변환효율(lm/W)이 낮은 램프군 즉 백열램프, 수은램프 종류의 경우 단순 교체시에도 에너지 절약 효과가 탁월함. 고압 수은램프를 예로 들면 다음과 같다.

구 분	고압수은램프	무전극램프
램 프 용 량	250W	150W
시스템소모전력	280W	157W
전 광 속	8,400lm~11,800lm	12,000lm
에너지 절감량	43.9% 절감	

5.2 시스템 효율 증대에 따른 에너지 절약 효과

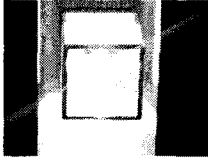
고압방전램프의 경우 램프에서 발생하는 약 300~400℃의 높은 발열량으로 인하여 형광램프군에서 등기구 효율을 높이기 위해 사용되어지는 고조도 반사갓 등을 적용하였을 때 고조도 반사갓 표면의 급속한 변색이 발생한다. 이러한 이유로 고압방전램프인 메탈할라이드램프, 나트륨램프 등에는 고조도 반사갓의 적용이 불가능한 상태이다. 그러나, 무전극램프의 경우 램프의 평균 발열량이 약 80~90℃ 가량으로 일반 형광램프의 발열량과 비슷하여 고조도 반사갓 등을 적용할 수 있는 장점이 있다.

또한, 고압방전램프류는 점광원으로서 높은 휘도 특성을 가지고 있다. 따라서 사람의 시야에 들어오는 경우에는 높은 휘도에 따른 부작용을 없애기 위해 대부분 불투명 커버를 사용함으로써 램프 고유의 광량보다 낮은 광량을 사용하게 된다. 그러나 무전극램프의 경우 면광원으로 낮은 휘도 특성을 가지고 있으므로 사람의 시야에 들어오는 경우에도 투명커버 등을 적용할 수 있어 램프 고유의 광량을 모두 사용할 수 있는 특성이 있다.

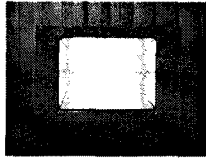
이러한 광원의 고유한 특성차로 인하여 전체 시스템 즉 등기구의 고효율화가 가능하여 절대 광량이 높은 방전등 종류의 경우에도 1:1 교체로 에너지 절약이 가능하다. 이에 따른 예를 들면 다음과 같다.

예1) 주유소 등기구

구 분	메탈할라이드램프	무전극램프
램 프 용 량	250W	150W
시스템소모전력	280W	157W
전 광 속	17,000lm~20,500lm	12,000lm
등기구 모양	노출형 사각 투명	매입형, 고조도반사갓
등기구 효율	48.8%	83.7%
실효 전광속	8,296lm~10,004lm	10,044lm
에너지 절감량	43.9% 절감	



기존 주유소 등기구
(메탈라이드 250W)



개선 주유소 등기구
(무전극램프 150W)

예2) 대형할인점 주차장 등기구

구 분	메탈할라이드램프	무전극램프
램프 용량	175W	100W
시스템소모전력	200W	107W
전 광 속	14,000lm	8,000lm
램프 커버 종류	불투명 백색 아크릴	반투명 선형지리 아크릴
램프 커버 투과율	30%	60%
실효 전력속	4,200lm	4,800lm
에너지 절감량	46.5% 절감	

5.3 연색성에 따른 에너지 절약 효과

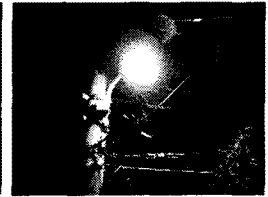
무전극램프는 삼파장 형광물질을 사용한 제품으로 빛의 연색성이 80-90Ra에 이르는 특성을 지니고 있다. 아래의 인용 연구 논문에 따르면 무전극램프는 높은 연색 특성으로 다른 램프와 비교하여 동일 조도에서 더 밝은 느낌을 받을 수 있는 것으로 나타났다.

예로 메탈할라이드램프 보다 25%, 고압나트륨램프 보다 52% 낮게 무전극램프로 조도 설계를 한 경우에도 동일한 밝기의 느낌을 받을 수 있다는 것이다.

구 분	고압나트륨램프	무전극램프
램프 용량	100W	85W
시스템소모전력	115W	85W
전 광 속	9,000lm	6,000lm
연 색 성	28Ra	80Ra 이상
동일한 조도에서 느끼는 밝음의 비	66%	100%
환산 전력속	5,940lm	6,000lm
에너지 절감량	28% 절감	



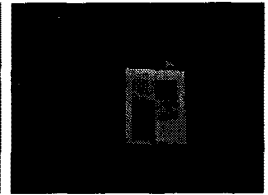
기존 보안등
(나트륨램프 100W)



개선 보안등
(무전극램프 55W)



기존 보안등
(연색성 28Ra)



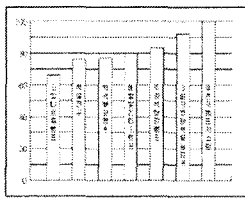
개선 보안등
(연색성 80Ra 이상)

④ 광학의 연색성의 차이에 의한 밝음의 느낌(Accuracy) 변화 현상에 관하여 발표된 실험적 연구 사례 중 최근 국내외의 실험 결과 및료 차이는 다음과 같다.

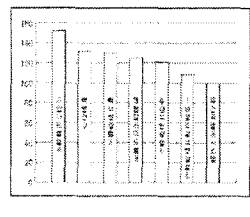
구 분	조도 [lx]	색온도 [K]	발광효율계수 [lm/W]	동일한 조도에서 느끼는 밝음의 비 (%)		동일한 밝음 느낌에 필요한 조도의 비 (%)	
				메탈라이드	LED	메탈라이드	LED
고압 나트륨램프	500	2,100	28	63	96	150	152
계열 조구	150~4	2,800	100	76	76	119	131
메탈 할라이드	25~4	3,200	51	64	77	117	110
메탈 할라이드 램프	500	3,700	80	71	80	141	125
주광의 LED램프	20~4	6,000	97	76	87	121	121
LED 주광의 LED램프	25~4	7,000	85	87	80	119	109
무전극 램프	500	4,000	80	100	100	100	100

* 동일한 조도에서 느끼는 밝음의 비와 동일한 느낌에 필요한 조도의 비는 무전극 램프를 100으로 하여 상대적 비율로 나타낸 수치임

④ 동일한 조도에서 느끼는 밝음의 비 (%) - 종합



④ 동일한 밝은 느낌에 필요한 조도의 비 (%) - 종합



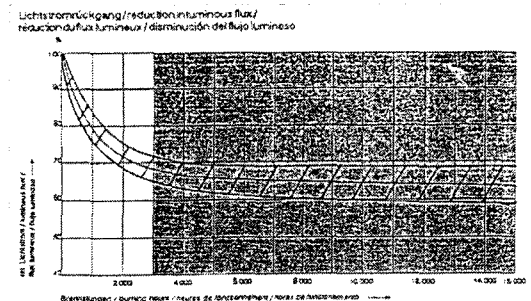
다음의 예는 100W 고압나트륨 보안등을 55W 무전극램프 보안등으로 교체한 경우로서 대면광역시의 보안등 시험설치 사례이다.

연색성이 비교된 아래의 사진은 컬러색상지를 사용하여 연색성 차이에 따른 색상 인지도를 알아보기 위한 자료로서 본 인쇄물이 흑백 인쇄된 상태로 색상이 드러나 있지 않아 아래 사진으로는 비교하기는 어려운 단점이 있다.

5.4 광속유지율에 의한 에너지 절감 효과

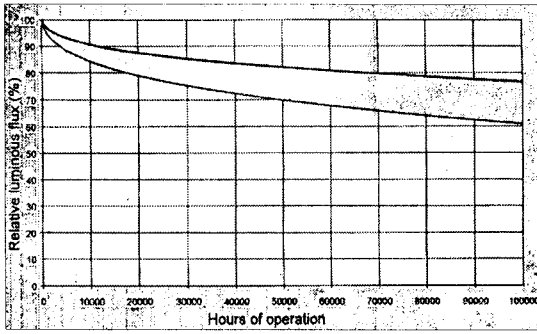
무전극램프의 특성상 장시간 동안 일정 광속 이상을 유지함으로써 광속 저하가 빠른 메탈할라이드램프 등과 비교하였을 때 일정 수준 이하의 광량 특성을 지닌 무전극램프로 메탈할라이드램프를 1:1 교체하였다 하여도 전체 조명 시스템 운영에 따른 평균 운영 조도는 비슷하거나 높게 운영되어질 수 있다.

그러나, 이러한 광속유지 특성에 의한 에너지 절감량은 기존 램프의 사용 패턴 즉 사용시간, 입력전압의 변동률 등과 각 사용자의 유지보수 패턴에 따라 절감량이 변동될 수 있어 정량적인 수치로 환산하기 어려움으로 아래의 광속유지 그래프를 참조하기 바란다.



메탈할라이드램프 250W/400W (Clear)
광속유지율 그래프

2,000~3,000시간 사이에 초기광속의 70%로 감소함을 알 수 있다.



무전극램프 100W/150W 광속유지율 그래프

90,000~100,000시간 사이에 초기 광속의 70%로 감소함을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이진우 지철근 조경애, “각종 광원의 색온도, 연색성과 밝은 느낌에 대한 실험적 연구”, 조명·전기설비학회논문지, Vol. 17, No 6. 1~6P, 2003.