

# 광원용 점등회로 원리 및 기술 동향

박 지 식 (한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지대학원)

## I. 서 론

전 세계적으로 에너지 절약은 탄소가스배출과 연계되어 주요 이슈가 되고 있다. 국가 전력에너지의 25%를 소비하고 있는 조명 분야도 이러한 움직임에 동참하고자 고효율화를 추구하고 있는데, 여기에는 고체 광원인 LED 신흥광원을 이용한 조명시스템에 대한 기술 개발뿐만 아니라 기존 광원을 이용한 조명 시스템의 효율을 높이는 일도 대단히 중요하다.

본고에서는 광원과 더불어 조명 시스템의 고효율화를 달성하는데 핵심이 되는 점등회로 기술의 원리 및 동향에 대하여 방전등 및 고체 광원을 중심으로 고찰해 보기로 한다.

## II. 방전등용 점등회로

### 1. 직류 점등

방전등에서는 전류가 증가하면 단자전압이 감소하는 음특성이 있다. 방전이 일단 개시된 후 얼마만큼의 전류

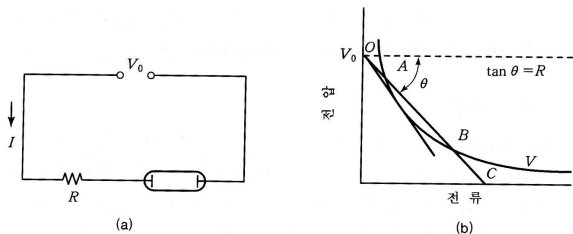
가 흐르는 가는 방전관의 특성뿐만 아니라 외부회로에 많이 관계된다. [그림 1]에서 전원 전압을  $V_0$ , 직렬 저항을  $R$ , 방전관 단자전압을  $V$ , 흐르는 전류를  $I$  라고 하면 다음과 같이 된다.

$$V_0 = IR + V$$

방전관의 전압-전류 특성 곡선이 곡선  $AB(V$  곡선)로 표시된다고 한다면 안정저항  $R$  에 전류  $I$  가 흐를 때의 전압 강하  $IR$  은 전류가 증가함에 따라서 커지며,  $V_0$  에서 이  $IR$  을 뺀 전압( $V_0 - IR$ ), 즉 선분  $OC$  가 방전관의 양 극간에 걸린다. 선분  $OC$  가  $V$  곡선과의 교점  $A, B$  중에 점  $A$ 에서는 전류가 약간 증가하면 방전관 전압이 선분  $OC$  보다 낮아져 방전관에 가해지는 전압이 필요이상으로 되어 더욱 전류가 증가하므로 방전은 불안정하게 된다. 그러나 점  $B$ 에서는 전류가 약간 증가하면 방전관의 전압이 선분  $OC$ 보다 높아져, 방전관에 가해지는 전압이 부족하여 전류가 원상태로 되돌아가므로 점  $B$ 에서는 방전이 안정하다. 즉,

$$R + \frac{dV}{dI} < 0 \text{ 인 점 } A \text{에서는 불안정}$$

$$R + \frac{dV}{dI} > 0 \text{ 인 점 } B \text{에서는 안정}$$



[그림 1] 방전등의 점등회로와 방전 특성 곡선

[그림 1]에서  $V_0$ 를 일정하게 하고 저항을 증가시켜 저

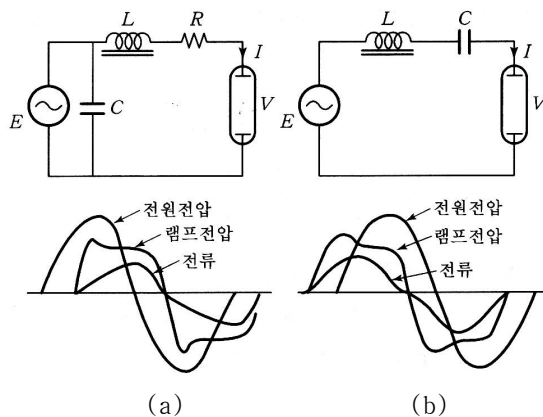
항직선을 시계방향으로 돌리거나 저항을 일정하게하고 전원전압을 내려서 저항직선을 평행 이동시키면, 어느 한 점에서 저항직선은 방전관의 특성 곡선에 접하게 되고 그 이상에서는 교점이 되지 않으며 방전이 멈추게 된다. 또한 저항을 0으로 하면 교차점은 방전관의 전류 용량을 초과하는 곳으로 가게 되므로 방전관은 파괴된다. 따라서 방전관을 점등할 때는 반드시 전류제한장치로 저항을 직렬로 삽입할 필요가 있는데 이 저항을 안정저항 (ballast resistance)이라 한다.

## 2. 교류 점등

방전관을 60 Hz 교류로 점등할 할 경우에는 각 사이클마다 점등과 소등을 반복한다. 따라서 잔광시간이 긴 형광물질을 사용한 것 이외에는 광도파형은 전원 주파수의 2배의 기본 주파수로 변동하여 빛의 어른거림(flicker)이 생긴다. 교류회로에서는 직류회로와는 달리 저항이외에 인덕턴스를 직렬로 삽입하는 경우나 LC의 공진회로 등을 이용하여 점등한다.

### (1) LR 직렬 회로

[그림 2 (a)]의 인덕턴스 직렬회로에서는 저항직렬회로 비하여 전력손실과 빛의 어른거림이 적으므로 현재 널리 사용되고 있으며, 형광등이나 수은등 대부분이 이 방식을 사용한다. 이 회로에서 램프 전압 및 램프 전류는 전원전압에 대하여 매우 늦어지며, 보통 역율은 60 % 정도이다. 안정도나 빛의 어른거림의 정도를 고려하면 램프전압은



[그림 2] 교류방전등 점등회로와 전류 및 전압파형

전원전압의 3/4를 초과하지 않는 것이 바람직하다.

### (2) LC 공진 회로

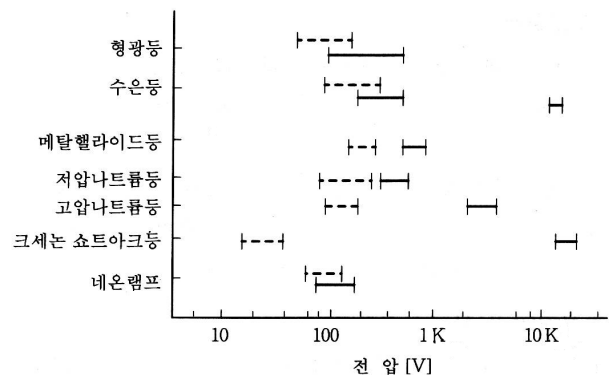
60 Hz 교류전원의 경우 방전관의 안정기로서 커패시터를 단독으로 사용하면 전류 파형이 뾰족하게 되어 바람직하지 않다. 보통은 [그림 2(b)]와 같이 커패시터와 인덕턴스를 직렬로 연결한 것이 사용된다. 이 경우 회로의 LC에 의하여 정해지는 공진 주파수  $\omega_r = 1/\sqrt{LC}$  는 전원 주파수  $\omega$  보다 약간 높게 한다.

$\frac{1}{\omega C} - \omega L > 0$  로하고 회로의 임피던스가 전원주파수에 대하여 용량성이 되도록 한다.

이와 같이 하면 램프전류는 [그림 2(b)]에서와 같이 전원전압에 대하여 앞서게 되어 제 3고조파 이상의 고조파에 대해서는 회로의 임피던스가 유도성으로되고 그 값이 매우 커지게 되므로 전류에는 고조파 성분이 많이 포함되지 않고 파형이 개선된다.

## 3. 점등회로의 구현 및 기술 동향

방전등은 [그림 3]과 같이 시동 전압이 높고, 방전유지 전압은 전원전압과 비슷하므로 적당한 시동장치를 고려하여야 한다. 시동장치로는 방전등 자체의 전극구조나 봉입가스 등을 연구하여 별다른 시동회로를 필요로 하지 않는 것도 있지만 일반적으로 [표 1]에 나타난 바와 같이 여러 방식의 안정화 시스템(안정기)외에 시동 시스템(시동기 또는 시동회로)을 조합하여 점등 시스템(점등장치)을 구성하고 있다. 시동을 위해서는 램프의 고유한 최소 시



[그림 3] 방전등의 전압 특성 시동전압(실선)과 유지전압(점선)

[표 1] 방전등의 점등 시스템

점등 시스템	시동 시스템	펄스 발생기, 승압변압기, LC 공진기 전자 시동기(반도체 스타터)
	안정화 시스템	직렬 안정 임피던스 (저항, 초크코일, 커패시터), 누설 변압기, 초크 코일과 가포화 트랜스, 고주파 점등 (인버터 회로, 스위치 회로)

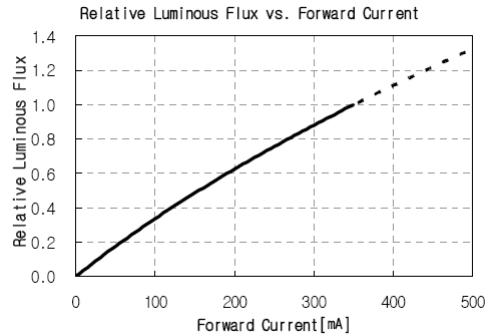
등 에너지 및 최소 시동 전력이 필요하다 예를 들면 400 W 메탈할라이드 램프에서는 약 280 J의 시동 에너지, 약 42 W의 시동 전력을 필요로 한다. 시동 시스템에서는 시동 시에 필요한 전압을 발생시키기 위하여 여러 가지 방식이 쓰이지만, 전력전자기술의 비약적인 발전으로 점등 장치가 전자화 되어서 전자식 시동 시스템(안정기)의 보급이 활성화 되고 있다. 그러나 출력 전력이 큰 조명시스템의 경우 종래의 자기식 방식의 안정기에 비해 높은 가격, 높은 고장율, 내환경 특성 등은 앞으로 해결되어야 할 과제이다.

### III. LED 광원용 점등 회로

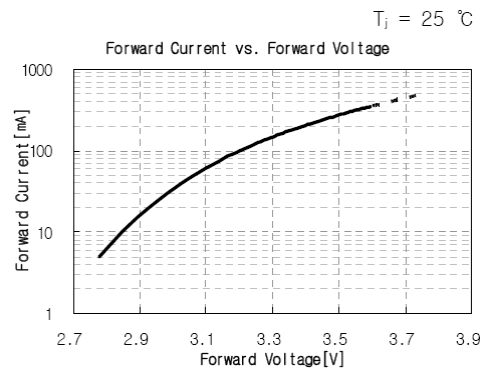
LED는 극성에 적합하게 전원을 인가하면 발광을 하지만, 출력광은 전압 및 주변 온도의 변화 등에 의하여 변화하게 된다. 그리고 종래의 광원에 비하여 상당히 낮은 전압과 작은 전류로 점등하며, 고속 점멸이 가능하다는 장점이 있다. LED 점등회로에는 반드시 전원장치(회로)가 필요하다. 이 전원회로는 기구 또는 장치 전체의 성능을 크게 좌우하게 되기 때문에 전원장치 설계 시는 LED 점등회로와의 매칭을 고려하여야 하며, 인가되는 전원 방식에 따라 직류 구동 방식, 교류 구동 방식과 펄스 구동 방식, 그리고 제어 방식에 따라 정전압 제어방식과 정전류 제어방식으로 구분된다.

#### 1. 점등회로의 전원 방식

LED 점등회로를 설계하기 위해서는 요구되는 밝기와 거기에 필요한 순전류( $I_F$ )의 크기를 결정해야한다. 순전류는 점등시킬 밝기(광도  $I_V$ )에 의해 설정할 필요가 있고, 메이커의 데이터 시트상의  $I_F - I_V$  특성 곡선을 참조하여 관계를 확인한다[그림 4]. LED에 순전류를 흘리면



[그림 4] LED 순전류-광속( $I_F - I_V$ ) 특성 곡선

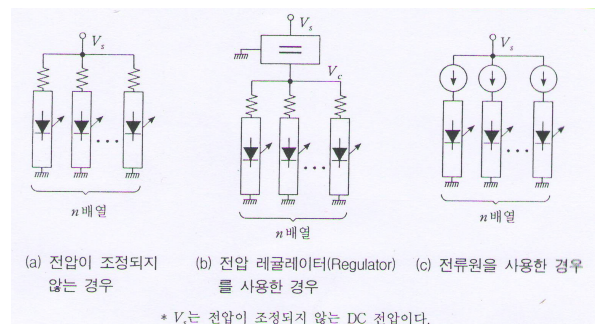


[그림 5] LED 순전류-순전압( $I_F - V_F$ ) 특성 곡선

그 크기에 대응하여 LED 접합부에 수 V의 순전압( $V_F$ )이 발생한다.  $I_F - V_F$  특성 역시 메이커의 데이터 시트상의  $I_F - V_F$  특성 곡선으로부터 구할 수 있다[그림 5].

#### (1) 직류 구동 회로

직류 전원을 인가하여 LED를 구동하는 방식이며[그림 6]에 기본 회로를 보여주고 있다. LED는 전압의 작은 변



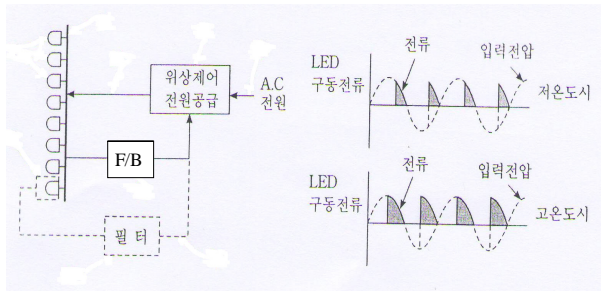
[그림 6] LED 직류 구동회로(예)

화에 큰 전류의 변화를 나타내기 때문에 전압 제어 시는 정확한 설계가 필요하다.

(2) 교류 구동 회로

교류를 이용한 구동회로는 [그림 7]과 같이 상용전압을 직접 제어하며 사용하는 방법이다. 이 경우에는 LED에 순간적으로 높은 전압이 공급되기 때문에 LED를 보호하기 위한 수단이 필요하다. 보통 보호 다이오드를 채용하여 LED의 역방향 전압보다 큰 전압이 걸리는 경우에 LED를 보호한다.

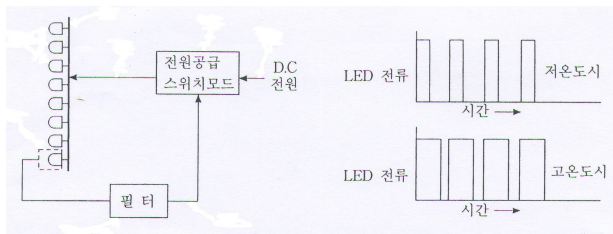
이러한 회로는 간단하면서도 조광이 가능하기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다.



[그림 7] LED 교류 구동회로(예)

(3) 펄스 구동 회로

[그림 8]과 같이 변조된 펄스를 광 신호로 바꾸는 회로는 용도에 따라 LED의 접합 온도가 감소되어 LED광속 유지율의 향상을 가져오고, 변조회로가 전지에 의하여 전력을 공급받을 경우에 변조회로의 전력소모가 감소하기 때문에 전지가 가지고 있는 유효 수명을 늘릴 수 있는 이점이 있다. 따라서 광범위하게 활용하고 있는 방법이며, 온도 보상 및 광 출력 제어가 간단하고 세밀한 제어가 가능하지만 상용 저압에서는 회로가 복잡하다는 단점이



[그림 8] LED 펄스 구동회로(예)

있다.

2. LED 동작 제어 방식

(1) 정전압제어방식

LED에 가하는 전압을 일정하게 제어함으로써 원하는 순 방향 전류( $I_F$ )를 확보하는 방식으로 제한 저항식이라고도 한다. 회로가 간단하고 저비용으로 구현이 가능한 전통적인 방법이다. 다만 순전압  $V_F$  가 한결 같지 않거나 자기 발열에 의하여 변화하는 경우, 순전류  $I_F$  도 변화하기 때문에 밝기에 영향을 미친다. 그리고 전류 제한저항  $R$  에서의 열 손실 발생도 고려할 필요가 있다. 저항 값의 결정은 인가 전원 전압  $E = I_F R + V_F$ 의 관계에서 구한다.

(2) 정전류 제어 방식

정전류회로를 사용하여 LED의 순전류  $I_F$  를 일정하게 제어하는 방식이다. 회로 구성은 다소 복잡해지지만 열손실을 억제할 수 있어서 점등효율의 향상을 기대할 수 있다. 또 LED의 순전압  $V_F$  가 일정하지 않음이나 온도 변화로 인한 영향도 저감시킬 수 있다. 이 방식에서는 정전류회로를 어떻게 구성하는가가 핵심요소가 된다.

(3) 펄스폭(PWM) 제어방식

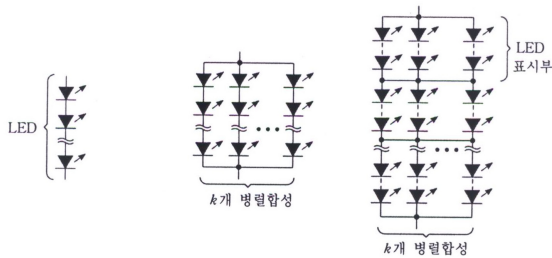
LED 밝기를 제어하는 방식의 하나이다. LED의 밝기는 순전류  $I_F$  의 값에 의해 설정될 수 있다. 그러나 아주 약간의 순전류의 변화에 의해 밝기가 크게 변화하므로 밝기의 제어가 어려운 경우가 있어서, 일정한 순전류로 점등하고 있는 LED를 고속으로 점멸시키는 방법으로 눈에 비치는 밝기를 제어하는 것이 펄스폭 제어 방식이다. 사람의 눈에는 잔상 효과가 있기 때문에 약 10 mS 미만의 주기로 점멸하는 불빛을 연속하는 불빛으로서 보이게 하는 것이 가능하다. 정전압방식과 정전류방식 모두에 응용할 수 있으며, 점멸주기(점등시간  $T_{ON}$  + 소등 시간  $T_{OFF}$ )에 대한 점등시간  $T_{ON}$  의 비율을 제어하여 밝기를 변경한다. 또 LED에는 벽열전구와 같은 잔광현상이 없기 때문에 점멸주기를 길게 하면 반짝임을 인식해 버리는 경우가 있다. 반대로 점멸주기를 짧게 하는 경우에는

LED의 응답속도를 확인할 필요가 있다.

### 3. LED 스트링 (LED String)

조명 분야에서는 다수의 LED소자를 포함할 수 있으며, LED는 한 개나 여러 개의 스트링(String)안에 배열(Array)된다. 각 스트링(String)은 [그림 9]와 같이  $m$ 개의 LED( $m = 1, 2, 3, \dots$ )를 직렬 연결한 형태로 나타낼 수 있고,  $k$  개의 병렬 서브스트링( $k = 1, 2, 3, \dots$ )을 포함한다. 이때 LED의 총 개수는  $mk$  이며 전체 동작 전류는  $kI_F$ 이다. LED 배열내의 소자의 수를 감소시키기 위하여, 간단한 스트링에 병렬 서브스트링을 포함한 합성 스트링으로 대체되고 있다. 이러한 합성 스트링을 사용할 경우에는 서브스트링(Substring)사이의 전류 분포의 균일도를 유지하기 위하여 순방향 전압 특성이 매우 유사한 LED 칩을 사용한다.

그리고 유도성 부하에 빠른 스위칭이 발생하는 전기시스템에 LED 소자가 사용될 경우에는 순방향 과부하와 역방향 항복 전압에 대한 적절한 보호 수단이 외부 회로에 강구되어야 한다.



(a)  $m$ 개의 LED 단일 String (b)  $k$ 개 병렬 서브스트링 (Substring)의 합성 스트링 (c) LED의 가로단을 형성하는 교차 연결 합성 스트링

[그림 9] 정전류에 의한 LED String 구동(예)

### 4. 조광

제어 방식에서 전술한 바와 같이 LED 구동 전류를 원하는 밝기와 연동시켜 LED 구동 전류를 제어하는 방법이다. 펄스폭 변조 방법의 스위칭 방식과 직렬 또는 병렬 리니어 방식으로 나눌 수 있다. 일반적으로 많이 사용하는 펄스폭 변조 방법으로 최대 광출력에 대해 수 % 범위까지 조광할 수 있다.

## IV. 결 론

전력 전자 기술의 발전으로 광원용 점등 시스템은 전자화 되어가고 있으며, 고체 LED 광원의 경우는 점등용 제어 회로가 필수적이다. 전자식 점등회로는 재래식 점등회로에 비하여 회로를 구성하는 부품 수가 많아지는 경향이 있기 때문에 실제 현장에서 사용 시 MTBF (Mean Time before Failure)가 짧아질 가능성이 높다. 따라서 광원의 광특성 뿐만 아니라 수명, 고장율 등 필드특성을 세심하게 고려하여 회로를 설계하여야 한다.

특히 LED 광원의 경우에는 대안이 없기 때문에 LED 광원의 필드특성에 부합하는 점등회로에 대한 기술 개발 뿐만 아니라 사후 제품의 품질을 유지 관리하는 국가 차원의 시스템의 준비가 필요하다. 초기에는 품질 유지에 따르는 제품 가격 상승으로 많은 어려움이 예상되지만 신기술 개발 및 그에 따른 시장 활성화로 극복이 가능할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] <http://www.samsungled.com>
- [2] 국제조명위원회 한국위원회, 조명 디자인 입문, 기다리, 2009.
- [3] 강형식, 황의천, LED 조명 기술, 태영문화사, 2008.

### 저 자 약 력

#### 박 지 식



- 서울대학교 공과대학 전기공학과 공학박사
- 1980년~2003년: 삼성전기 전력전자 팀장
- 2004년~현재: 한국산업기술대학교, 지식기반기술·에너지대학원 연구교수
- 관심분야: 전력변환, 전력선 통신, 스마트그리드, 기타 전기 에너지와 IT의 융합분야