AC LED 구동 IC 연구동향

박성미<승강기대학교 교수> · 박성준<전남대학교 교수> · 고재하<전남대학교>

1 서 론

1.1 LED 구동장치의 발전

반도체 소자인 LED는 웨이퍼 및 패키지 관련 기술 신장에 따른 지속적인 가격하락과 부족한 광량을 개선시키고 있어, 일반 조명의 한계를 뛰어넘는 새로운 조명으로 인식되고 있다. 일반적으로 LED는 반도체 소자로 인하여 기존 램프의 수명에 비해 장수명을 보장하고 있으며, 형광등의 수은과 같은 유해성분이 없으며, 취급 및 파손의 위험이 적어 미래 조명으로 주목받고 있으며, 현재는 IT, BT, NT기술 등과 융합되어 기존 조명응용 뿐만 아니라, 의료, 농업, 환경, 디스플레이, 정보가전 등의 넓은 응용 분야로 확대되고 있으며 관련 시장이 점차 커지는 상태이다.

LED는 반도체 소자인 PN접합으로 이루어진 다이오드 특성을 가지고 있으며, 일정한 전압 인가시 빛을 내는 것이 특징이다. 이러한 LED조명을 구동하기 위해서는 LED소자의 직병렬 연결시 요구되는 전압이 각기 다르지만 대략 DC 12V, 24V, 48V의 정격전압을 가지는 형태로 LED모듈을 설계하며, 이를 전원장치를 통해 공급해야 한다. 하지만 일반 가정이나, 상업용으로 사용하기 위해서는 한전에서 오는 계통전압(AC)을 DC 전압으로 변환시켜주는 컨버터 장치 또는 효율적인 SMPS(Switch Mode Power Supply)가 필수적으로 요구된다. 이러한 컨버터 장치는 LED패키지의 지속적인 가격하락에도 불구하고 오히려 LED조명기구의 공간 제약에 따른 슬림 구조 및 보다 높은 전력변환 효율을 요구하므로, 아직도 높은 단가를 유지하고 있는 게 사실이다. 또한 LED는 다이오드 특성에 따른 전압에 의한 제어보다는 전류에 의한 제어가 용이한 상태로서 전압제어용 정전압 구동 장치보다는 전류 제어용 정전류 구동장치가 추가로 요구된다. 이는 그림 1과 같이 LED를 구동하기 위해서는 LED패키지가 직병렬로 조합된 LED Module장치와 AC 전원을 DC전원으로 변환하는 SMPS장치로 LED조명을 구성할 수 있으며, LED 조명의 Dimming 기능 구현 및 입출력 전압 변동 및 온도에 따른 광량 변화를 제어하기 위한 방식으로 정전류 제어 회로를 추가로 삽입하는 형태를 취하며 현재는 대부분 정전류 제어회로가 구비된 형태의 LED 조명기구를 구성한다.

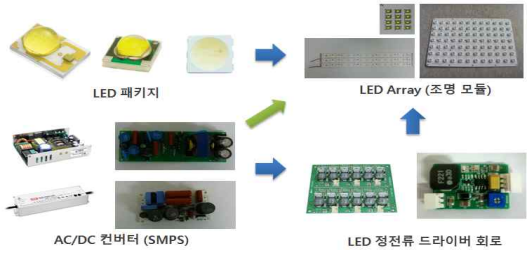
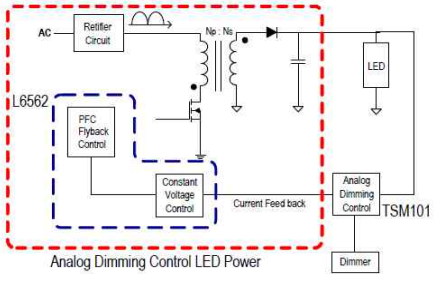
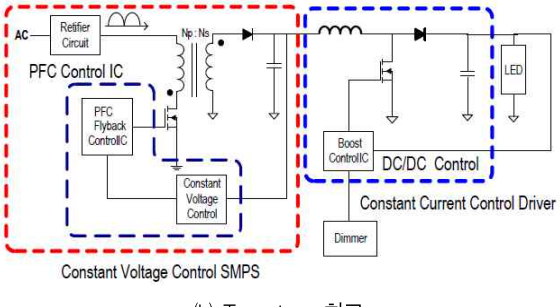


그림 1. LED 구동 방법

이렇게 LED를 구동하기 위해서는 AC를 DC로 변환하는 정류부, 바뀐 DC를 LED에서 요구되는 전압 및 정전류를 공급하는 Driver부로 구분 지을 수 있으며, 여기에는 기본적으로 Buck, Boost, Buck-Boost, Flyback 등의 Topology 방식이 적용된다. 이러한 컨버터와 정전류 제어회로를 구성하는 방식은 그림 2와 같이 Single-Stage 방식과, Two-Stage 방식 또는 그 이상으로 구분 지을 수 있으며, (a)의 방식은 LED bulb 및 MR16과 같은 25W급 이하의 조명 장치에 적용할 만한 방식이며, 25W급 이상의 LED가로등, 보안등, 투광등 등에서는 (b)와 같은 방식이 IEC 61000-3-2 class C 고조파 규제와 절연문제 및 안전규제를 모두 만족할 수 있는 방식이다. IEC 61000-3-2 class C 규격은 미국 UL 1310, 유럽 CE 인증, 국내 KS 기준과 동일하게 적용되므로, 표준화된 적용 방식으로 볼 수 있다[1].



(a) Single-stage 회로



(b) Two-stage 회로

그림 2. LED용 AC-DC 컨버터 방식

현재는 LED전용 정전류 구동 IC 칩의 발전에 따라 AC-DC컨버터와 정전류 드라이버 구성 또는 AC-DC컨버터에 정전류 구동 IC 칩을 추가한 일체화된 모듈 방식이 적용하고 있다. 하지만 이러한 방식은 필연적으로 AC-DC컨버터 장치가 수반되어야 하는 방식이며, LED조명의 소비전력이 높을수록 고출력용 AC-DC컨버터 장치가 요구되므로, LED 조명 단가 하락에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 문제로 인하여 AC-DC컨버터 장치를 사용하지 않고 LED를 구동하여 가격을 하락시키는 연구 등이 논의되고 있으며, 본 논고에서는 AC로 구동되는 AC LED패키지와, AC LED 구동 기술 및 IC 등을 살펴본다.

2. AC LED

2.1 AC 구동 방식

일반 조명의 경우 백열등, 형광등과 같이 AC 상용전원을 그대로 사용하며 램프 교체만으로 사용한데 반해, LED조명은 정류기, DC-DC 컨버터 장치와 정전류 구동장치 등을 구비해야 하므로, 기존 조명 설비를 그대로 사용할 수 없으므로, 주로 신축 건물 등을 대상으로 적용되고 있으며, 기축 건물의 경우 기존 조명 설비를 교체해야 하는 비용이 추가로 발생하므로, 구매자에게는 여전히 LED조명이 고가의 조명이 되고 있으며, 신뢰성 부분에서도 기존 조명과 비교하여 고장요소가 빛을 내는 LED모듈뿐만 아니라 DC 전원을 공급하기 위한 전력변환장치 및 정전류 구동회로까지 구성되므로 사용자가 백열전구가 수명이 다해 간단히 교체만으로 사용하는 것과 다르게 LED는 다른 형태의 고장요소를 가지고 있어 일반 사용자에게 취급이 어려운 조명으로 인식된다. 이러한 LED조명 활성화에 걸림돌이 되고 있는 가격문제와 취급의 용이성을 개선하기 위하여 많은 노력이 이루어지고

있다.

이러한 LED조명의 활성화를 위해 AC-DC컨버터의 저가격화, 작은 부피, 장수명이 요구되고 있으며, 근래에 장수명을 위하여 수명에 직접적인 연관이 있는 콘덴서를 배제하는 형태의 컨버터 기술 등이 선보이고 있다. 최근에는 고가의 SMPS장치를 배제하고 AC 상용전원을 그대로 사용하여 기존 조명 설비 교체 없이 LED조명을 구동하는 기술이 AC LED라는 용어로 선보이고 있다.

AC LED라는 용어는 약간의 모순이 있지만, 일반 상용전원을 그대로 LED에 공급하여 구동하는 방식이 일컫는 것이지만, 실제 내부적으로는 직류구동 방식과 비슷하다. 크게 정류부품인 다이오드와 전류를 제한하는 방식의 부품 등이 교류 전압 220V의 내압을 가지는 형태가 되고, 기존 DC 구동 방식과 다르게 AC 주파수에 의한 플리커 현상을 가지는 것이 특징으로 적은 부품 사용으로 인한 저가격화 이점과 복잡한 컨버터 장치 배제에 따른 조명기구의 공간 활용 이점, 기존 조명기구에서 요구되는 규격화를 통한 손쉬운 취급 등의 이점을 가져올 수 있다.

LED에 AC상용전원을 직접 구동하는 방식은 그림 3과 같이 나타낼 수 있으며, 크게 2가지 주요점을 찾을 수 있다. 먼저 교류전압에 따른 순방향 역방향에 LED를 구동하기 위한 방법과, 전류를 제한하는 장치 구성으로 볼 수 있다. 그림 3 (a)와 같이 Anti-Parallel 방식은 교류 입력전압에 맞게 순방향에 맞는 LED 배열과, 역방향에 맞는 LED를 배열하여 구동하는 것이다. 이때 LED는 60Hz로 On/Off를 반복하며, 입력전압에 대하여 약 50%의 광이용률을 보여주는 특성을 가진다. 그림 3 (b)는 Ladder 방식으로 순방향과, 역방향에서도 동작하게끔 LED를 구조적으로 배치하여 약 67%의 광이용률을 보여주는 것이며, 그림 3 (c)의 방식은 브리지 다이오드를 추가하여 순방향 및 역방향에 관계없이 정류된 전압으로 LED를 구동하는 방식으로 광이용률 100%와, 기존 주파수 60Hz에서 정류된 2배의 주파수 120Hz를 가지므로 플리커 현상에 기존 방식보다 유리하다고 할 수 있다. 그러므로 AC 직접 구동 방식에서는 정류기를 추가한 회로가 좋으며 이러한 방식은 일반적인 설계방식의 LED모듈을 직접 연결하여 구동시킬 수 있다.

그림 3과 같이 LED의 전류를 제한하는 Current Limiter장치의 구성과 LED모듈의 정격전압(V_f)에 의해서 전반적인 회로의 역률(PF: Power Factor), 고조파왜곡(THD : Total Harmonic Distortion), 효율 등이 결정된다고 볼 수 있다. Current Limiter 장치로 쉽게 고려할 수 있는 것이 수동소자인 저항과 콘덴서와 능동소자 등으로 구성할 수 있다.

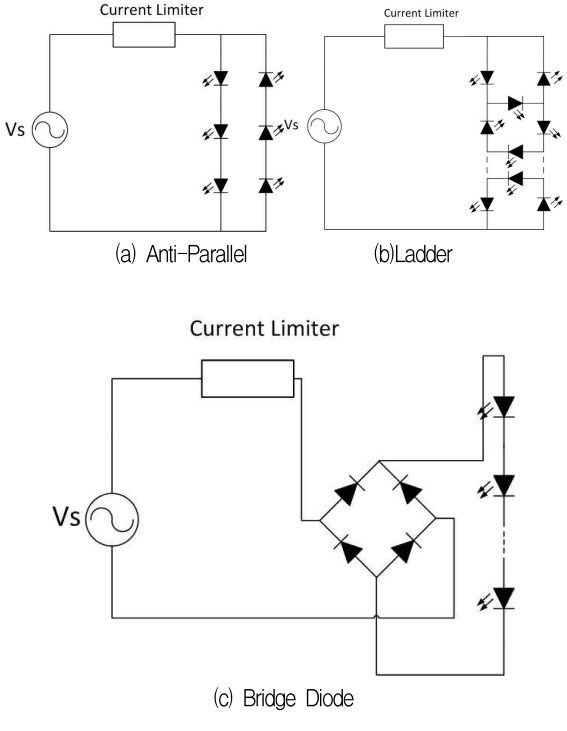
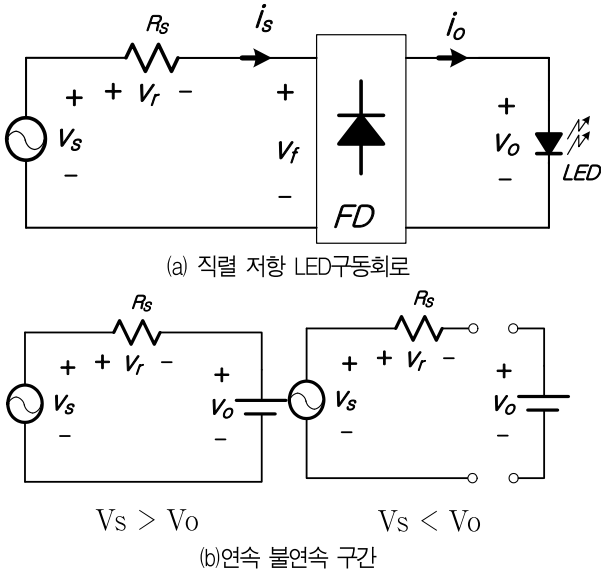


그림 3. AC 직접 구동 방식

Current Limiter 장치로 수동소자인 저항을 이용할 경우 그림 4 (a)와 같이 직렬로 연결된 저항을

삽입하여 전류를 제한할 수 있으나, 저항을 통해 불필요한 전력이 낭비되는 것을 알 수 있다. 그림 4 (b)는 AC 입력전압에 의한 LED 구동 특성으로 입력전압이 LED의 정격전압(Threshold Voltage)보다 높은 경우는 도통이 되지만, 낮은 경우는 도통이 되지 않아 개방되는 것을 알 수 있다. 이러한 개방구간의 전류파형에 불연속 구간을 생성되어 THD가 나빠지게 된다. 또한 LED의 정격전압(V_f)이 높으면 높을수록 불연속 구간이 더 많이 존재하게 되어 역률이 나빠지게 된다.

즉 적절한 저항값과 낮은 LED 정격전압으로 LED를 구동할 수 있는 장점이 있지만, 낮은 역률과 효율 높은 THD 등의 지표들이 사실상 좋지 못한 값을 보여준다.



(a) 직렬 저항 LED구동회로

(b)연속 불연속 구간

그림 4. 직렬저항 LED구동회로

그림 5의 m_0 구간은 입력전압이 0~311V로 순시적으로 변할 때 고정된 LED의 정격전압 이상으로 입력전압이 나오는 경우로서 전류가 흐르는 것을 의미하며, m_1의 구간은 입력전압이 LED의 정격전압 이하로 떨어져 도통이 되지 않은 전류가 흐르지 않은 것을 의미한다. LED의 정격전압이 낮은 경우가 불연속 구간이 적어 역률과, THD 등의 지표에서 좋은 결과를 보여주나, 전류를 제한하는 저항을 통해 별도의 소비전력이 소모되므로, 전체적인 효율적인 측면에서는 단점을 가지고 있다.

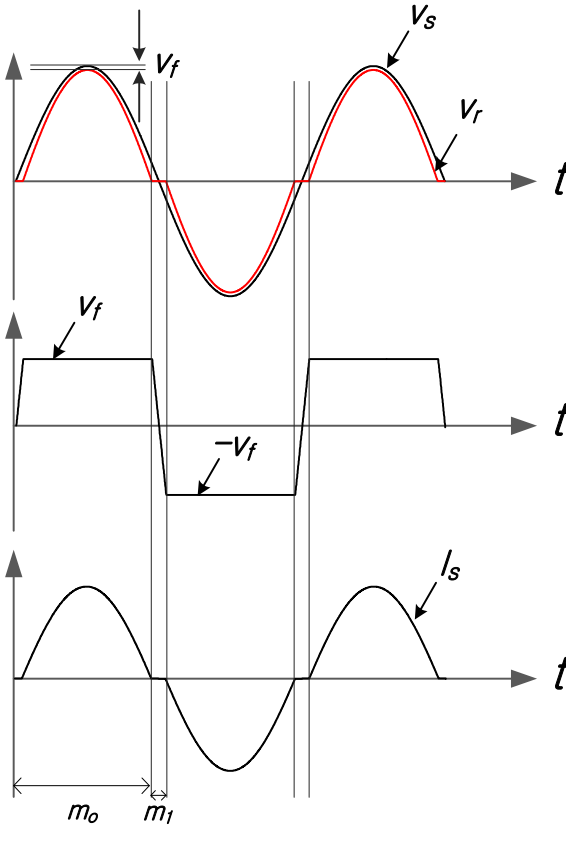


그림 5. 직렬저항 LED구동회로 파형

그림 6의 경우는 직렬 저항을 대신하여 직렬 콘덴서를 결합한 것으로 저항을 통해 소비되는 전력 낭비를 방지할 수 있으면서 전류를 제한할 수 있다는 이점이 있지만, 이러한 형태는 직렬 콘덴서로 인해 진상역률이 발생하므로, 역률이 나쁘다. 이는 조명기구에서 제한하는 역률 0.9 이상을 만족하지 못하여 이러한 구조에서 역률을 개선하는 방법 등이 필요하다.

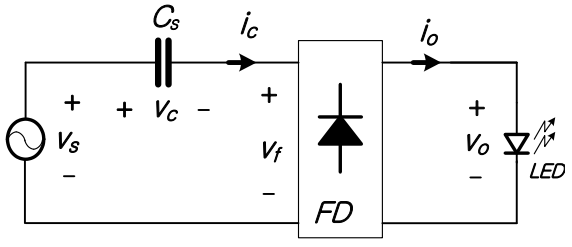


그림 6. 직렬콘덴서 LED구동회로

2.2 AC LED 패키지

AC LED라는 용어는 S社에서 출시한 LED패키지의 명칭으로도 사용되는데, 이는 위에서 언급한 회로의 구조를 LED패키지에 실장시켜 출시한 것이다. 그림 7은 AC LED패키지 이미지와 내부 등가회로로서, 그림 3 (a)와 같은 구조로서 순방향일 때 일정한 순방향에 결선된 LED가 구동되며, 역방향일 때 역방향에 결선된 LED가 구동되는 것을 의미한다. 그림 8은 점등이미지를 나타낸 것으로 순방향과 역방향일 때의 점등을 알 수 있다. 기존 LED패키지의 경우 220V의 높은 전압을 줄 경우 LED가 파손이 되는데, 이를 해결하기 위하여 하나의 셀이 아닌 여러 개의 셀을 하나의 패키지로 집적화 시켜 220V의 전압을 견딜 수 있도록 설계한 것이다.

초기 AC LED는 SMPS를 사용하지 않고 구동할 수 있다는 장점으로 각광을 받았지만, 기존 LED 패키지에 비하여 낮은 광효율(lm/W), 비싼 가격으로 많은 활성화가 이루어지지 못했다. 이렇게 낮은 광효율을 보여주는 것은 AC LED의 내부 등가회로가 광이용률을 50%밖에 이루지 못한 것에 기인하겠다. 하지만 이렇게 AC로 구동할 수 있는 LED패키지를 선도하였다는 것에 큰 의의가 있으며, 현재는 다양한 기술들을 조합하여 초기 AC LED보다 개선된 방향으로 나아가고 있다. AC LED의 광효율을 높이기 위하여 그림 9와 같이 주로 정류기를 내부에 실장하여 광이용률을 100%가 되게 하는 것으로 다이오드를 브리지 다이오드 형태로 배열하는 것과, 그림 10과 같이 LED소자를 정류기의 역할이 되도록 구성하는 기술 등이 나오고 있다. 이는 패키지 실장 관련 성장에 따른 충분히 구현이 가능하며, 향후 AC LED 패키지에 입출력전압 변동에 따른 일정한 광출력을 하나의 패키지로 구현하는 것도 가능할 것이다. 이는 백열등과 같이 AC LED를 AC 220V 소켓에 연결만을 통해 조명을 사용할 수 있을 것이다.

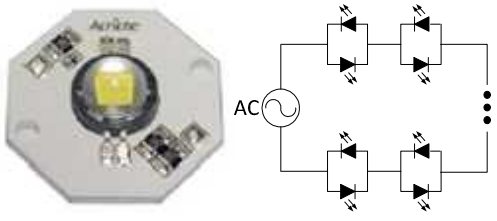


그림 7. AC LED 패키지 이미지 및 등가회로

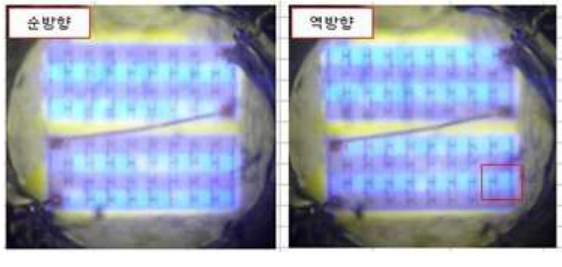


그림 8. AC LED 점등 이미지

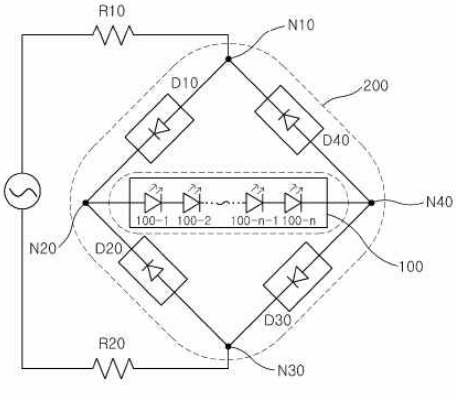


그림 9. AC LED패키지 기술 #1

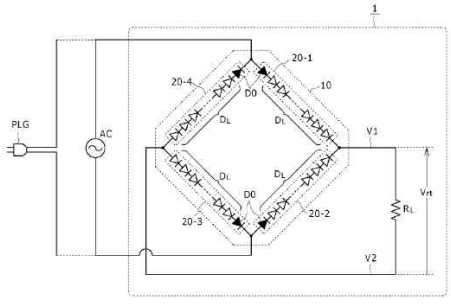


그림 10. AC LED패키지 기술 #2

2.3 AC LED 구동회로 기술

AC LED는 LED패키지로 구현할 수 있지만 높은 가격과 기존 LED대비 낮은 광효율로 LED조명에 많이 응용되지 않고 있다. 오히려 기존 LED조명에 AC LED 구동회로를 적용한 형태가 이루어지고 있다. 이처럼 기존 LED모듈에 AC로 구동하기 위해서는 앞에서 언급한 것처럼 불연속 구간을 없애거나 적게 하여 역률, THD, 효율 등을 높여야 하며, 전류를 제한하는 방법 등이 제시되어야 한다.

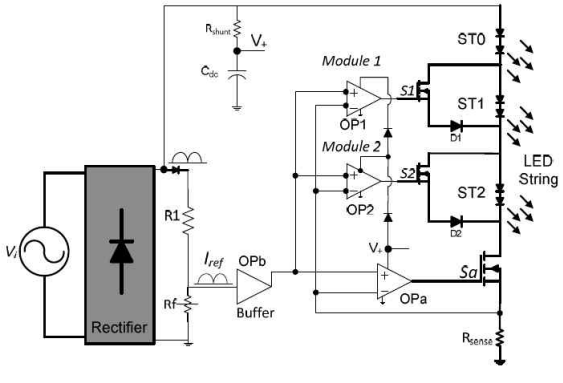


그림 11. AC LED 구동 회로

그림 11은 AC LED를 구동하기 위한 회로도로서, 핵심은 LED의 정격전압을 가변시키는 것으로, LED 모듈을 그룹별로 구분하여 모든 그룹을 ON 시키는 것과 일부의 LED를 OFF 시켜 정격전압을 가변시키는 것이다. 교류전압이 높을 경우 모든 LED를 구동하고, 전압이 낮아질 경우 일부의 LED를 스위치로 OFF시켜 LED의 걸리는 정격전압을 낮추어 불연속 구간을 최대한 없애는 것으로 그림 12는 이를 나타낸 것이다[2].

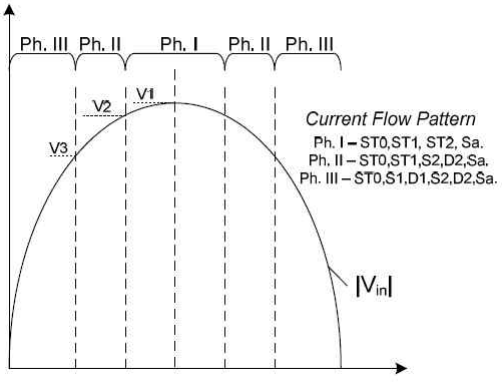


그림 12. AC LED 구동 회로 파형

이렇게 불연속구간을 없애는 형태의 기술은 정류기와 OP-amp, 스위칭 소자 등의 추가를 통해 구성할 수 있으므로, 기존의 SMPS의 부품 수에 비해 적은 수로 구성할 수 있으며, 다이오드, OP-amp, 스위칭소자 등은 IC집적화로 구현이 가능하므로, 원칩(One-chip) 형태로 발전이 가능하다. 하지만 이러한 구동회로는 LED모듈의 설계방식이 기존의 설계방식이 아닌, 구동 전압범위에 맞게 LED모듈을 설계해야 하면, 구동회로의 복잡한 입출력 배선을 요구하는 단점이 있을 수 있다. 그러므로 LED모듈에 구동회로를 삽입하는 형태를 추구하면 복잡한 배선 없이 하나의 PCB상에서 구현할 수 있으므로, 향후 LED모듈과 구동회로를 동시에 설계하는 능력이 요구된다.

이처럼 불연속구간을 최대한 없애면 역률과, 효율, THD의 지표를 좋게 되므로, AC LED 구동기술은 SMPS보다 적은 부품수로 LED를 구동하며, 향후 IC칩으로 구현할 수 있는 것이 중요하다. 또

하나 고려해야 하는 것이 기존 LED 구동 회로 기술은 상당히 발전하여 입출력 전압 변동에도 일정한 광출력을 낼 수 있도록 회로의 발전이 상당히 이루어진 수준이므로, AC LED 구동회로 기술 역시 단순히 적은 부품으로 LED를 구동하는 수준에서 더 나아가 Dimming 기능구현, 입출력 변동에 대한 일정한 정전류 구현 등의 기능을 확보해야 할 것이다.

3. AC LED 구동 IC 업체 현황

국내의 AC LED 구동 IC는 상당히 발전된 상태로서, 초기 LED조명 시장 발전에 따른 기대효과로 다수의 업체가 AC LED를 구동하는 IC를 제품화거나, 구현하는 형태로 발전되어 있다. 특히 형광등의 설비를 교체하지 않고 구현하기 위한 AC 직결형 LED Tube라든가, LED Bulb에서의 공간 확보를 위한 방법으로 AC LED 구동 IC가 적용되고 있는 수준이다. AC LED 구동 IC를 사용할 경우 역시 LED모듈별 그룹 지정에 따른 LED모듈 회로 설계가 별도로 필요하며, 각 업체별 구동 IC별 주변회로를 구성해야 한다.

Login Digital社의 AC LED 구동 IC는 그림 13, 14처럼 일반적인 AC LED 구동회로 기술과 비슷한 형태이며, 그룹별 스위칭을 통해 최소한의 불연속구간을 두어 효율과 역률, THD등을 좋게 하는 것이며, 일부 능동 소자 설계를 통해 입출력 변동에 관계없이 일정한 정전류를 공급할 수 있도록 설계된 형태이다. 이처럼 AC LED구동 IC를 적용한 LED 조명의 경우 일반 SMPS에서 사용하는 인덕터나 콘덴서 부품 없이 사용하므로 SMPS에서의 발생하는 수명 문제를 해결할 수 있다[3].

Pytech社 역시 AC LED 구동 IC 칩을 상품화 하고 있으며, 비슷한 방식으로 LED의 정격전압을 가변시킬 수 있도록 IC 칩을 구성하고 있다. 그림 15는 구동 IC의 응용 회로도를 나타내고 있다[4].

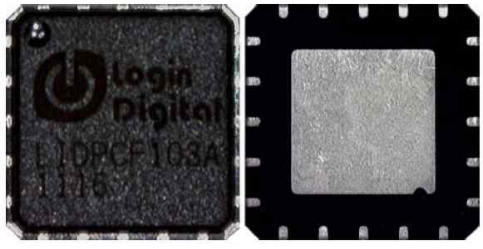


그림 13. AC LED 구동 IC(Login Digital社)

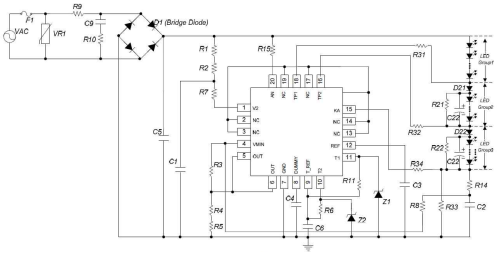


그림 14. Login Digital社 구동 IC Block diagram

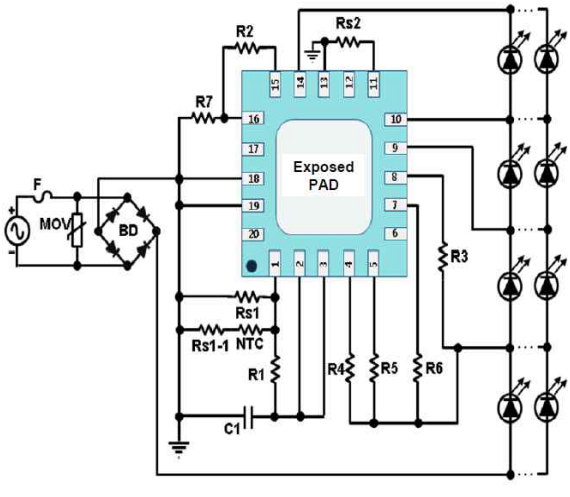


그림 15. Pytech社 구동 IC Block diagram

그 외 다양한 업체가 AC LED 구동 IC 칩을 상품화 하고 있으며, 차별화 포인트는 얼마나 높은 효율을 구현하는 것과, 역률, THD, EMI 특성 등의 지표를 좋게 구현하는 것과, 아직까지 AC LED 구동 IC 칩 출시가 대중화가 된 상태가 아니므로 가격이 높은 수

준을 유지하고 있으므로, 주변회로 구성시 얼마나 적은 부품으로 구현이 가능한지가 AC LED 구동 IC 칩을 결정하는 주요 요소가 되겠다.

AC LED 구동 IC 칩은 교류의 높은 전압을 견딜 수 있는 내압을 가진 형태로 IC 칩을 구현해야 하므로, 일반적인 DC에서 구동되는 LED 구동 IC 칩보다는 높은 패키지 기술이 요구되며, 이러한 이유로 일반적인 LED 구동 IC 칩보다는 비싼 가격대를 형성한다. 또한 AC LED 구동 IC 칩은 AC LED 회로 구현의 필수적인 요소인 정류기(BD) 부품을 내장하지 못하고 별도로 구성해야 하므로, 향후 AC LED 구동 IC 칩에 실장하여 일체화된 구동 IC 칩을 구현하는 것도 고려해볼만 하다.

현재까지 업체들이 출시한 제품들은 주로 20W급 미만의 소비전력을 담당하는 IC 칩으로 백열등 대체형 LED Bulb, 형광등 대체형 LED Tube, MR16용 LED, 8″급 LED매입 등의 제품에 적용할 만하지만, LED투광등 및 LED가로등의 경우에는 LED출력이 맞지 않아서 문제가 될 수 있다. AC LED 구동 IC를 제품화하는 업체들의 이러한 문제에 대하여 20W급 LED 구동 IC를 다수개 구성하여 고출력 LED조명 제품 구현을 제시하지만 현실적인 대안으로는 문제가 있어 보인다. 향후 업체들은 고출력 AC LED 구동 IC칩 출시 목표로 개발하고 있으므로

4. 결 론

LED조명은 비싸고, 사용하기 까다로운 조명으로 인식되고 있는 부분이 사실이다. 이는 LED조명의 다양한 기능구현이 가능한 이점으로 기술 발전을 형성하다 보니 일반조명과 다른 형태의 조명 시장을 창출하고 있고, 이 부분이 현재의 조명을 인식하고 있는 소비자에게 어필이 되지 않는 부분이다. 하지만 현재 LED조명을 선도하는 시장은 백열등 대체형 LED벌브, 형광등 대체형 LED튜브, 상업용 LED MR16 등으로 일반소비자가 생각하는 조명처럼 단순히 교체만으로 LED조명을 사용하기를 원하므로, AC LED 구동 기술이 좋은 대안이 될 수 있다.

그림 16. Indoor용 LED조명 제품

하지만 AC LED 구동 기술의 가장 큰 단점은 AC 전압에 따른 안전성 문제를 들 수 있다. 이는 제품 인증시 좀 더 까다로운 조건이 요구되므로, 기구적인 절연이나 안전성에 대한 부분을 확보해야 하므로, 이는 곧 중소업체에 대한 부담으로 작용될 수 있다. 그러므로 AC LED 구동 기술을 적용한 조명제품의 광의적인 제품 규격을 제정하여 국내에서 상당히 발전된 AC LED 구동 IC 기술이 다양한 LED조명기구에 적용될 수 있도록 제도적, 기술적 확보가 될 수 있도록 해야 한다. 현재는 AC LED 만의 관련된 규격이 존재하지 않고 있다.

마지막으로 AC LED 구동 IC 기술은 기존 SMPS와 같은 부피를 요구하지 않으므로, LED bulb와 같이 작은 기구에서 발생되는 공간에 대한 문제점을 해

결할 수 있으므로, 기존의 백열전구 형태의 디자인이 아닌 새로운 형태의 조명기구를 파생시킬 수 있는 있고, 이는 LED Bulb 뿐만 아니라, 다양한 LED조명의 새로운 디자인을 구현할 수 있는 이점이 있으므로, 향후 이러한 공간적인 이점을 충분히 살리는 조명기구 발전을 예상해 본다.

향후 AC LED 구동 IC 칩은 미래 LED조명에서 요구하는 지능형 조명 및 스마트 조명을 하나의 칩으로 구현하는 SoC(System on Chip)가 가능하므로, 국내 업체에서는 기존 AC LED 구동회로 뿐만 아니라, 통신 기능 및 스마트 기능 구현이 가능한 기술을 개발 및 적목하여 미래의 LED조명 기술을 선점할 수 있는 노력이 필요하겠다.

그림 17. 미래 스마트 LED조명

참 고 문 헌

[1] 이상훈, "LED 조명 시스템을 위한 LED 및 직류전원 기술", 전력전자학회지, 제14권 제3호 2009.6, page(s):29-35

[2] Dayal, R.; Modepalli, K.; Parsa, L, "A direct AC LED driver with high power factor without the use of passive components" Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2012 IEEE, 15-20 Sept. 2012.

[3] Technical application note of Login Digital, "AN003 LID-PC-F203A_KOR_Rev025, 2012-R201B Packing Specification," 2010.

[4] Technical application note of Pytech, "Pytech Overview for KIC_20130408", 2013.

◇ 저 자 소 개 ◇

박성미(朴成美)
1963년 6월 20일생. 1986년 전남대 계산통계학과 졸업. 2001년 전남대 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2011년 전남대 컴퓨터정보통신공학과 졸업(박사). 현재 한국승강기대학교 메카트로닉스 조교수.

박성준(朴晟濬)
1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년 동 대학원 지능 기계공학과 졸업(박사). 1996년 3월~2000년 2월 거제대학 전기과 조교수. 2000년 3월~2003년 8월 동명대학 전기공학과 조교수. 2003년 8월~현재 전남대학교 전기공학과 교수.

고재하(高在夏)
1979년 6월 21일생. 2005년 조선대 제어계측공학과 졸업. 2007년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2007년 3월~2012년 10월 (주)오픈테크놀러지 책임연구원. 2009년~현재 전남대 전기공학과 박사수료.