고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발에 관한 연구

(연구기획사업 보고서)

2000. 8. 31.

주관기관: 전남대학교 광응용기술연구소

참여기관: 금동조명(주)

LG이노텍(주)

광주과학기술원

광 주 광 역 시

이 보고서는 광주광역시에서 시행한 산업기반기술개발사업의 기술개발 보고서입니다.

고휘도 LED를 이용한 조명제품 기술개발

광주광역시

제 출 문

광 주 광 역 시 장 귀하

본 보고서를 “고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발” 과제의 연구기획사업(개발기간: 2000.8.2 ~ 2000.8.31) 보고서로 제출합니다.

2000. 8. 31.

사업주관기관명: 전남대학교 광응용기술연구소

사업총괄(관리)책임자: 여 인 선

연 구 원: 박래용 (금동조명)
전인석 (금동조명)
정종제 (LG이노텍)
최원택 (LG이노텍)
박성주 (광주과기원)
장우진 (서울산업대)
정봉만 (한국에너지기술연구소)
이성훈 (광주과기원)
김동준 (광주과기원)
김용근 (금동조명)
윤진식 (금동조명)
최성철 (LG이노텍)

연 구 보 조 원: 박준석 (전남대)
유용수 (전남대)
김완호 (전남대)

연구기획사업 보고서 제출서

2000년 산업기반기술개발사업에 의하여 완료한 「고휘도 LED들 이용한 조명제품 개발」에 관한 기술개발사업의 연구기획산업 보고서들 별첨과 같이 제출합니다.

첨　　부: 연구기획사업 보고서 20부

2000.　8.　31.

총괄(관리)책임자:　여　인　선　(인)

주 관 기 관:　전남대학교 광응용기술연구소　직인

광주광역시장 귀하

목　　차

1. 서론 1
가. 연구기획의 목표 1
나. 연구기획의 필요성 2
1) 기술적 측면 2
2) 정책적 측면 4
3) 기 타 4
다. 연구기획의 내용 및 범위 5

2. 국내외 산업기술 동향 7
가. 백색 LED 연구개발 동향 7
1) 백색 LED 제작 방법 소개 7
2) 선진 업체의 백색 LED 제작 소개 11
나. 백색 LED 특성향상 기술 개발 전략 12
1) 적, 녹, 청색의 LED를 조합한 경우와 청색 LED에 형광체를 접목한 두 가지 형태의 백색 LED의 장단점 비교 12
2) 조명용으로 적합한 청색 LED와 형광체를 이용한 백색 LED의 개선 방향 모색 15
다. LED 조명제품 기술 동향 23
1) LED의 광학적 배치 유형 23
2) LED 구동 및 제어회로 29
3) LED 소자 신뢰성 42
4) Packaging 문제 44
5) LED 조명제품 규격화 및 측정기술 표준화 방안 45
라. 시장 동향 및 전망 52
1) 가시 LED 시장 52
2) 일반 조명용 LED 램프 시장 55
바. 관련 기술수준 및 경쟁력 전망 55
1) 국외 기술수준 55
2) 개발 사례 및 주요 응용 분야 56
3) 국내 기술수준 및 경쟁력 전망 61

3. 기술개발 환경분석 65
가. 외부환경 65
1) 거시적인 환경변화 예측 65
2) 고객과 경쟁자의 동향 분석 65
3) 수행기관의 위협 및 기회요인 분석 66

나. 내부환경 68
1) 자원의 가용성 및 내부역량 분석 68
2) 예상 수행기업의 장단점 분석 69

4. 결론 71
가. 과제도출 배경 71
나. 도출과제 72
1) 고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발 RFP 73
2) 고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발 Road-Map 74
3) 고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발 Patent-Map 75

1. 서론

가. 연구기획의 목표

1879년 에디슨의 백열전구 개발로 시작된 전기 조명기구의 등장은 인류의 활동 시간 연장에 따른 사회전반에 걸친 변혁과 발전으로 지난 세기동안 인류 문명을 진일보시키는데 일익을 담당해 왔다. 탄소필라멘트 전구에서 시작된 백열전구는 에디슨에 의한 첫 전구보다 현재 성능이 약 10배 이상 증가했고, 보다 발전된 발광기술인 형광램프의 경우 백열전구보다도 약 5배 정도 개선된 성능을 보이며, 고압방전램프 등 고효율의 광원이 개발되어 널리 사용되고 있다.

최근 들어 사회가 복잡해지고 개성화·다양화됨에 따라, 다양한 종류의 조명 광원이 필요해지게 되었다. 그 결과 새로운 광원의 개발과 함께, 광원기술의 발달에 힘입어, 특수한 광원을 조명 분야에서 활용하게 되는, 즉 새로운 용도를 개척해 나가는 경향이 생겨났다.

그 대표적인 것으로서, 일렉트로루미네선스(Electroluminescence)를 이용한 광원의 일종인 발광 다이오드(LED) 및 EL은, 고체 발광소자로서 저출력, 저휘도 등의 특징 때문에 그동안 표시소자 등에 국한되어 이용되어 왔으나, 최근에는 일부 조명용으로도 이용 가능성을 보이고 있다.

1990년대 초 LED가 상업화된 이후에 최근 10년간 LED에 대한 연구개발이 활발이 이루어졌으며, 특히 고휘도 LED에 대한 연구개발이 2000년 현재 활발하게 진행중이며, 적색 및 호박색의 InGaAlP, 청색 및 녹색의 InGaN, 그리고 InGaN/YAG 형광체 및 ZnSe 백색 고휘도 LED 시장은 점점 확대되고 있다.

LED는 오랫동안 가전제품이나 각종 기계에 들어가는 표시용 소자로서 싸고 흔한 것이 대부분이었다. 하지만 고휘도 LED가 개발되고 생산됨으로써 LED의 사용범위는 더욱 더 확대되고 발전되고 있다. 대부분의 자동차 제조회사들은 차의 외장에 들어가는 조명이나 내부의 각종 기기에 LED를 사용하려 하고 있다. LED는 미학적인 것과 경제적인 것을 모두 만족시켜 주기 때문이다. Infineon사와 Cree사는 폭스바겐과 아우디 모델에 조명장치로서 사용될 청색 및 백색 LED를 공급하고 있다. 최근에는 차의 외장에서도 브레이크등이나, 차 후미등에도 LED 가 사용되고 있다. 이는 LED가 수명이 일반 조명기구보다 좋고, 또한 열에도 강하다는 등의 여러

가지 장점을 가지고 있기 때문이다. 사람들은 이제 더 이상의 부피가 큰 조명기구들을 사용할 필요가 없어졌으며, 효율이나 안정성 등 거의 모든 부분에서 LED를 사용하는 훨씬 더 많은 이익을 가져오기 때문이다.

고휘도 LED의 개발로 인해 차세대 조명의 혁명을 이끌 수 있게 될 뿐 아니라 지금의 수보다 더 많은 조명기기, 가전제품 및 기기에 사용될 LED시장의 확대를 볼 때, 향후의 LED 시장의 미래를 밝다고 할 수 있겠다. 고휘도 백색 LED개발과 그 응용조명기기의 개발로 인해 새로운 산업을 창출할 수 있을 것으로 기대된다. 국내에서도 최근 연구소를 중심으로 대학, 산업체 연구소등에서 활발하게 연구개발이 이루어지고 있으나 아직까지 조명기기의 응용에 대한 종합적인 검토, 즉 기술적 배경, 향후 전망 및 세계적인 경쟁력을 확보하기 위한 전략수립 등이 부족했던 것으로 판단된다.

따라서 본 연구 기획에서는 먼저 고휘도 백색 LED 개발 및 응용조명기기의 개발을 위한 전반적인 사항, 즉 관련산업, 시장, 개발에 필요한 핵심기술 및 국내외 기술 수준을 검토한 다음, 이를 바탕으로 국내 LED 조명기기에 관한 산업의 육성과 국제경쟁력 강화를 위한 핵심기술개발 도출과 향후 추진 전략을 제시하고자 한다. 연구 기획의 최종목표와 내용은 다음과 같다.

○ 최종목표: 지역특화산업으로서의 국산 LED를 이용한 조명기기 산업의 육성과 국제 경쟁력 강화를 위한 핵심 과제 도출과 향후 추진 전략을 제시

- 조명용으로 활용하기 위한 고휘도 LED chip의 성능개선
- 백색 LED 개발 및 응용조명제품의 개발
- 국내외 기술동향 및 경쟁력 분석
- 고휘도 백색 LED를 이용한 조명기기의 개발을 위한 핵심요소 기술 도출
- 핵심과제 도출 및 연구추진체계 확립

나. 연구기획의 필요성

1) 기술적 측면

질화물 반도체와 (Al, Ga, In)P계열의 반도체를 이용하면 400~670nm의 가시광선 전범위에 걸친 파장대의 색을 구현하는 것이 가능하다. 현실적인 측면을 고려하

면 적색, 녹색, 청색의 빛의 삼원색을 이용한 백색 LED 제작이 이상적이고, 이 경우 각각 적색, 녹색, 청색의 파장과 발광 세기를 적절히 조절하면 백색 LED를 제작하는 것이 가능하다.

LED를 이용한 조명용 백색광을 제작할 시에도 CCT와 CRI를 조절하여 태양광에 근사한 백색광원을 제작하는 것이 기존의 백열등 및 형광등으로 대표되는 조명기구 시장에 진입할 수 있는 장벽을 낮추는데 매우 중요하다.

적색, 녹색, 청색의 세 개의 LED를 이용하여 백색 LED를 제작하는 데 있어서 가장 큰 문제점으로 떠오르고 있는 것은 제작비용이다. 각각의 색을 구현하는 LED의 구성 물질들이 다르기 때문에 monolithic 회로를 구성하는데 어려움이 따르게 되고, 결국 세 개의 LED를 각각 제작하여 복잡한 회로 구성을 통하여 백색 LED를 제작해야 하기 때문에 제작 단가의 상승을 피할 수 없다.

질화물 청색 LED와 형광체를 결합한 구조의 조명용 백색 LED의 개발에서 가장 중요한 개발 전략의 하나인 백색 LED의 발광효율을 극대화하기 위해서는 우선 광원으로 사용되는 질화물 청색 LED의 발광효율을 최대화시켜야 하며, 형광체의 광변환효율을 개선하는 연구가 필요하다. 따라서, 조명용으로 적합한 질화물 청색 LED와 형광체를 결합한 형태의 백색 LED를 개발하는데 있어서 요구되는 사항들을 발광효율이 우수한 청색 LED의 성장 및 소자 제작과 광변환효율이 월등한 형광체의 제조 및 도포 기술 개발이 이루어져야 한다.

또한, 질화물 청색 LED에 형광체를 결합하여 백색 LED를 제작하는 경우 질화물 청색 LED 자체만의 수명과 큰 차이가 나는 것으로 보고되고 있기 때문에, 백색 LED 수명개선 대책에 대한 연구 전략의 모색도 필요하다.

LED 자체의 낮은 에너지 소비, 유지·보수, 수명, 환경친화성 등의 우수한 성능을 고려하여 조명광원으로서 기존 조명광원의 대체를 위한 연구·개발 및 상품화가 진행중이다. LED 소자의 기술 개발력은 계속 향상되고 이를 이용한 조명기기의 생산 및 개발이 이루어지고 있다.

한편, 미국, 일본, 유럽국가에서는 아직 LED 조명기기에 대한 규격화에 대한 연구를 진행중이다. 그러나 국내에서는 LED 조명기기의 규격화의 부재로 인하여 체계적인 연구개발과 산업화에 상당한 지장을 초래할 것이다. 그러므로 LED 조명기기의 적용분야의 확대와 규격제정을 확정하면서 부족한 부분을 보충하는 방향으로 연구가 진행되어야 한다. 이와 함께 LED 조명기기의 안정성과 신뢰성 등을 평가할 방법과 기준도 제시되어야 한다. 따라서 세계적인 시장 개방 추세와 향후 국산화

품질 향상과 규격화에 대처하기 위해서는 경쟁력 있는 LED 조명제품 개발은 물론이고, 규격 검토와 특성 평가 기술에 대한 연구가 더욱 더 필요하다고 판단된다.

LED 조명기기 설계 및 제작기술 개발 면에서 국외 LED조명기기 제조업체의 공정변수 및 노하우를 공개하지 않으므로 결국 조명기기설계 및 제작기술을 국내에서 자체적으로 개발해야 한다. 앞으로 LED 조명기기는 조명산업에 막대한 영향을 미칠 것이며, 국가적 차원에서 LED 조명기기의 연구기획 및 이를 위한 국책과제 수행이 시급하다.

2) 정책적 측면

향후 5년동안 (1999-2003)에 조명과 디스플레이 부분의 LED 시장은 현재의 19억불 규모에서 31억 6천만불 규모로 성장할 것이다. Strategies Unlimited의 조사에 따르면, 가시용 LED 시장은 매년 10.4%씩 확장될 것으로 전망했으며, 고휘도의 새로운 제품의 급격한 성장과 함께 기존 제품의 안정적 성장에 따른 지속적 이익 창출을 예견한 바 있다. 1999년 세계 램프 시장의 예측 규모가 84억 달러인 것을 생각했을 때 향후 이들 백열전구 및 형광램프를 대체할 수 있는 백색 LED 소자의 시장도 막대할 것으로 기대된다.

조명기기 부품시장 외에도 일본에서는 2010년에 전체 조명등의 13%가 백색 LED로 대체되어 조명용 원유 소비량의 7% 절감할 것으로 예측하고 있다. 국내에서도 비슷한 효과가 있다고 가정을 하면 2010년에 백색 LED의 개발을 통한 응용조명기기의 개발로 연간 에너지 절감효과가 클 것으로 예상된다.

특히 세계 조명업계의 Big3와 반도체 회사간의 협력을 통해 차세대 조명 시장을 겨냥한 치열한 기술개발 경쟁을 벌이고 있는 상황에서, 국내 기업도 이와 같은 고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발을 통하여 치열하게 전개되고 있는 뉴 밀레니엄의 새로운 조명광원 개발에 동참하여 조명기술 선진화를 달성할 필요가 있다. 특히 국내 조명업계를 대표하는 광주지역 기업체는 이와 같은 새로운 변신의 기회를 적극 활용하는 등 조명기술환경의 변화에 적극 대처하지 않으면 안될 것으로 판단된다. 그리고 지역특화산업을 위한 동일 지역내 기술협력의 기회로서 충분히 활용할 수 있을 것이다.

3) 기타

고휘도 LED의 기술향상에 따른 LED 조명제품의 개발로 인하여 새로운 조명기

슬에 대한 대비 기술 확보 및 변신의 기회로서 활용될 수 있으며, LED 조명제품의 다양한 응용 분야 조사를 통한 시장 확대 및 벤처기업 활성화가 가능하다.

다. 연구기획의 내용 및 범위

본 연구기획 사업을 통해 구성된 국내 산학연 기획그룹에는 기업에서는 LG이노텍(주), 금동조명(주)가 각각 조명용으로 적합한 고휘도 LED Chip 개발과 RGB 3-component 백색 LED 개발 및 응용조명제품의 제작 분야에 참여하고, 국내 연구기관 및 대학으로서 광주과기원, 전남대는 각각 고휘도 LED 성능개선 및 LED 조명기기의 광학적 배치 및 구동회로에 관한 연구그룹을 구성하였다. 외부 위촉 연구원을 제외한 기획위원회의 구성은 다음과 같다.

전남대학교: 여인선
LG이노텍(주): 최원택, 정종제
금동조명(주): 박래용, 전인석
광주과학기술원: 박성주, 이성훈

이러한 전체적인 기획위원회 외에도 각 분야별로 소그룹 모임을 활성화하였으며, 백색 LED의 제조기술 및 응용조명제품에 대한 국내외 현황을 파악하고 기술경쟁력을 극대화하기 위한 전략을 도출하였으며, 그 활동은 다음과 같이 요약하였다.

○ 백색 LED 소자 제작 기술
- 고휘도 Blue 및 백색 LED 기술에 대한 기술개발 수준을 파악하고 이를 토대로 국내 연구기관의 경쟁력강화를 위한 방향을 설정하고 고휘도 백색 LED 제조기술에 대한 선진국의 연구개발 수준을 조사하였다.

○ 백색 LED 특성 향상 기술
- 조명용 관점에서 개선되어야 할 고휘도 LED의 특성을 비교하고, 백색 LED를 위한 최상의 기술을 위한 연구개발 전략 필요성과 중요성을 분석하였다.

○ LED 소자 특성 및 신뢰성 평가 기술
- 조명용으로 사용될 LED 소자 자체 특성과 신뢰성에 대한 평가기술에 대한

규격화 방안에 대해 조사하였다.

○ LED 조명제품 설계 및 제작 기술

- LED 조명 기기 설계 및 제작 기술 개발 전략 몇 이를 통해 세부과제 도출 및 추진전략을 확립하였으며, 광학시스템, LED 구동 및 제어시스템에 대한 기술현황 및 제작 기술 개발을 위해 조사하였다.

○ LED 조명제품 특성 측정 기술

- LED 조명기기 규격 표준화를 위한 측정기술을 파악하기 위한 측정 기술의 표준 동향을 조사하고, 앞으로 LED 조명기기의 규격화를 위한 구체적인 측정 방법에 대해 작성하였다.

○ LED 조명제품 응용 분야의 조사

- 선진국을 중심으로 하여 LED 조명제품 응용 분야를 조사하였으며, 에너지 절약, 고부가가치 기능 및 경쟁력 있는 응용분야 선정 및 효율적인 시제품 개발에 관한 전략을 논의하였다.

○ 기술개발 환경 분석 및 대응 방안

- 향후 연구과제에 대한 기술개발능력 확보 및 기술인프라 구축하고 시장 동향 및 대책방안을 및 관련 산업체의 연계육성 방안을 작성하였다.

○ 기술발전을 위한 산·학·연 협동체제 구축방안

- 관련기술을 분류하여 조사·분석을 통해 관련산업의 발전추이와 연계하여 광주지역여건에 맞는 기술개발모형 제시가 가능한 산학연 협동체제 구축하였다.

2. 국내외 산업기술 동향

가. 백색 LED 연구개발 동향

일본과 미국을 포함한 일부 선진국가에서는 청색 발광소자가 상업화된 단계에 지만, 국내에서는 제품의 생산성과 신뢰성 및 고휘도 청색 발광소자 제작의 안정성 등 기술적으로 낙후되어 있으며, 특히 기판으로 사용되는 사파이어와 GaN 사이의 격자 불일치로 인한 성장중의 결정결함에 따라 소자의 발광효율 및 안정성이 크게 저하되어 있으며, 또한 낮은 정공농도의 p형 GaN는 낮은 저항의 금속 Ohmic 형성을 어렵게 하여 소자의 신뢰성과 휘도를 떨어뜨리며, 기존 패키징 방법에서의 낮은 외부양자효율과 더불어 소자의 발광효율 저하를 일으키는 문제점을 안고 있다.

따라서 homoepitaxy와 새로운 핵 생성층 도입 및 laser lift-off 방법을 사용한 색발광소자 에피구조의 결정결함 억제, 표면개질과 laser annealing 방법을 통한 p형 GaN의 정공농도 증가 및 신뢰성 있는 금속 Ohmic 접합, 그리고 외부양자효율을 증가시킬 수 있는 패키징 구조 및 형광체 개발 등 핵심기술을 통한 고휘도 청색발광소자 개발이 중요하다.

LED의 외부양자효율을 증가시키는 것 외에도 다수의 고휘도 LED를 광학적으로 배치하고 효과적인 배광을 달성할 수 있도록 적합한 렌즈 및 반사판 설계 기술이 요구되며, LED는 전류구동형이므로 안정된 특성을 얻기 위해서는 주위 온도 등 외부 요인 변화에 따른 전류제어가 가능한 구동장치 설계를 비롯하여 다양한 조명환경 효과를 낼 수 있는 가변색 시스템 제어기술 등이 요구된다.

1) 백색 LED 제작 방법 소개

백색 LED 연구개발 동향 파악에 앞서 반도체 LED를 사용하여 백색광원을 창출할 수 있는 방안을 조사해 보면 아래와 같이 세 가지 정도의 방법이 있음을 알 수 있다.

가) 적, 녹, 청색의 LED를 조합한 형태의 백색 LED

현재까지 반도체 LED를 사용하여 제작할 수 있는 가시광선 내의 파장은 다음과 같다. GaN를 기반으로 한 질화물 반도체의 경우 파장이 400 - 580 nm (자색 - 녹

색)의 범위 내에서 빛을 발하는 것이 가능하며, (Al, Ga, In)P를 축으로 하는 반도체에서는 590 - 670 nm(녹색 - 적색)의 파장을 갖는 빛을 구현할 수 있다. 결국, 가시광선 내의 모든 파장(색)을 반도체를 이용하여 구현할 수 있다.

태양광의 스펙트럼을 분석해 놓은 자료를 살펴보면 태양광의 경우 세기의 차이는 존재하지만 전 가시광선 영역에 걸쳐서 고르게 빛이 발산하는 것을 알 수 있다. 반도체 LED를 통해 제작할 수 있는 광의 경우도 가시광선 전 영역을 포함하는 것이고 또한, 각 반도체 LED에서 나오는 주 스펙트럼도 수십 nm 정도의 반치폭을 갖기 때문에 각 영역에서 빛을 발하는 반도체를 조합하여 LED를 제작하면 준연속적인 스펙트럼을 갖는, 태양광 비슷한 백색 LED를 제작하는 것이 가능하리라는 것은 당연하게 생각할 수 있다.

그러나 상기 방법의 경우 제작상의 복잡성 등의 문제점을 내포하고 있기 때문에 현실적으로 보다 가능한 구조는 적색, 녹색, 청색의 세 가지색을 갖는 반도체 LED를 조합하여 백색 LED를 제작하는 것이 된다. 빛의 삼원색은 적색, 녹색, 청색이며 이 색들을 모두 합했을 경우에 백색이 나온다는 것은 과학적으로 알려진 사실이며, 실제로 현재 시판되고 있는 3파장 형광등 램프의 경우 적색, 녹색, 청색의 빛의 삼원색을 이용하여 백색광을 발하는 방식을 채택하고 있다. 반도체 LED를 사용한 경우도 460(청색) nm, 540 nm(녹색), 620 nm(적색)의 빛을 발하는 반도체 LED 세 개를 조합하여 백색 LED를 제작하는 것이 가능한 것으로 판명되었으며, 세 개의 반도체 LED를 조합한 백색 손전등 등의 제품이 판매되고 있다.

나) 형광체와 청색 LED를 접목한 형태의 백색 LED

본 절에서 설명하는 형광체와 청색 LED를 접목한 백색 LED의 경우는 구조가 청색 LED와 형광체로 단순화되기 때문에 여러 개의 LED를 사용하는 경우보다 회로 구성이 간단하고 제작이 용이하여 제작 단가를 낮출 수 있는 장점이 있다.

백색광을 구현하기 위해서는 빛의 삼원색인 적색, 녹색, 청색의 세 가지 색의 적절한 혼합이 필요함은 이미 설명한 바 있다. 청색 LED와 형광체를 접목한 백색 LED의 구동 원리는 다음과 같다. 청색 LED에서 나오는 청색광이 형광체에 일부 흡수되어 형광체를 여기 시키고, 여기 된 형광체는 황색 계통의 넓은 파장대의 빛을 발하게 된다. 여기에 일부 형광체에 흡수되지 않은 청색광이 합해져 백색광을 구현하게 된다. 빛의 삼원색 중에서 적색과 녹색을 더했을 경우의 색이 황색이라는 것을 생각한다면 청색 LED와 형광체의 여기광인 황색을 결합하여 백색광을 얻을

수 있다는 것은 쉽게 이해할 수가 있다.

형광체와 청색 LED를 접목한 형태의 백색 LED의 발광효율을 상승시키기 위해서는 청색 LED 자체의 발광효율과 형광체의 광변환효율이 높아야 한다. 따라서, 청색 LED로서는 현재까지 반도체를 사용하여 개발된 청색 LED 중 가장 높은 발광효율을 갖는 질화물 반도체를 이용한 청색 LED가 사용되는 것이 일반적이며, 형광체로서는 YAG계열이 대부분 사용되고 있다. 그러나, YAG 형광체의 광변환효율이 아직은 만족할 만한 수준이 되지 못하기 때문에 광변환효율 향상을 위한 각종 첨가제 및 제조 방법에 관한 연구가 계속되고 있다.

형광체와 청색 LED를 결합한 형태의 백색 LED 개발은 주로 세계 3대 조명기구 회사인 GE, Osram, Philips에 의해서 주도되고 있으며, 질화물 반도체를 이용한 청색 LED 개발의 선두업체인 니치아화학공업과 질화물 반도체 전문 연구 개발 회사인 Nitres도 많은 관심을 가지고 이 방식의 실용화에 매진하고 있다.

다) ZnSe 계 백색 LED

ZnSe를 이용한 백색 LED의 구성은 ZnSe 단결정 기판과 활성층인 ZnSe를 이용하는 것으로 형광체와 청색 LED를 접목하여 백색 LED를 제작하는 것과 비슷한 원리를 이용한다. 즉, ZnSe 활성층에서 나온 청색광을 ZnSe 단결정 기판이 흡수하여 황색계통의 빛을 방사하는 것을 이용하여 백색광을 얻어내는 방식이다.

형광체와 청색 LED를 접목한 형태의 백색 LED와 ZnSe 계 백색 LED의 발광효율을 향상시키기 위해서는 여기광으로 사용되는 형광체 및 ZnSe 단결정 기판의 광변환효율이 매우 중요하게 된다. ZnSe 단결정 기판의 경우 일반적으로 형광체보다 광변환효율이 높은 것으로 알려져 있기 때문에 ZnSe 계 청색 LED의 발광효율이 질화물 반도체를 이용한 청색 LED에 비하여 낮지만 ZnSe 단결정 기판과 결합하여 백색 LED를 제작할 경우 상당부분 발광효율의 상승을 기대할 수 있다.

또한, 청색 LED를 이용하는 경우 니치아화학공업에서 보유하고 있는 특허권을 피하기 위한 많은 연구와 노력이 요구되지만 ZnSe를 이용하는 경우는 이러한 특허권 문제에서 다소나마 해방될 수 있는 장점이 있다.

그러나, ZnSe 계 백색 LED의 경우 아직 발광효율이 질화물 반도체를 이용한 청색 LED와 YAG 형광체를 접목한 형태의 백색 LED의 절반 정도 밖에 되지 못하고, 수명이 비교적 짧기 때문에 백색 LED의 가장 큰 장점 중 하나인 긴 수명시간을 보장하지 못함으로 해서 조명기구업체로서는 실수요자의 관심을 고조시키는데 어려움

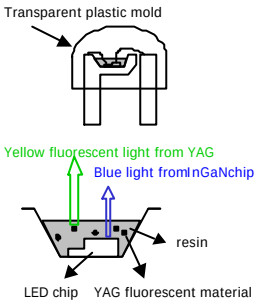
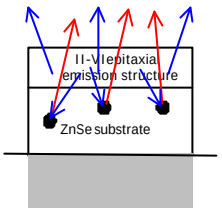
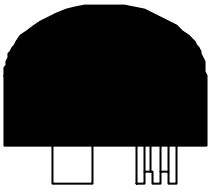
이 있다고 할 수 있다.

본 방식을 이용한 백색 LED 제작의 선두업체는 일본의 Sumitomo로서 계속적인 꾸준한 연구가 진행되고 있다.

이상으로 소개 한 대표적인 백색 LED 제작 방법을 다음 표에 정리하였다.

표. 대표적인 백색 LED 제작 방법

Background on White LED

	YAG-GaN LED	ZnSe Homoepitaxy	Three-component LED
Materials System	InGaN LED + YAG fluorescent	II-VI LED structure ON n-ZnSe sub. doped with I, Cl, Br, Al, Ga, In	- red LED: AlGaAs, GaAsp - green-yellowgreen : GaP - blue LED: SiC, InGaN
Structure			
Problems	- low external quantum efficiency - poor transparency of YAG - low conversion efficiency of YAG phosphorous: 10% - a complicated production step - YAG raises the material cost - the complex shape of the stem for the YAG pond	- expensive substrate - difficult to tune a white color - difficult to control numbers of SA-centers formed by doping	- low power emission of GaP, SiC - enhance the cost of the hybrid LED - consume electric power three times - a sophisticated power balance for suitable white color - a complicated driving electric circuit - enlarge the device size - no merit over prevalent incandescent bulbs or fluorescent lamp

라) 기타 벅색 LED 제작 방법

형광체와 LED를 접목한 구조의 백색 LED의 경우 전술한 바와 같이 청색 LED와 형광체를 결합한 형태 이외에 자외선 LED와 형광체를 결합한 형태도 생각할 수 있다.

청색 LED에 형광체를 접목한 구조의 경우 상기에 설명한 바와 같이 청색 LED의 청색광과 형광체가 청색광을 일부 흡수하여 황색계열의 광을 방사하여 전체적으로 백색의 LED를 완성하는 기술이다. 한편, 자외선 LED를 사용하는 경우는 자외선 LED에서 나오는 자외선을 모두 형광체가 흡수하여 가시광선 전 파장대의 빛을 발

하여 백색광을 만드는 것을 원리로 하게 된다.

자외선 LED를 사용하는 경우 기존의 청색 LED를 사용하는 경우의 YAG 형광체에 비하면 형광등에 사용되고 있는 할로겐산 칼슘 등의 광변환효율이 매우 우수하다고 판명된 형광체를 사용할 수 있는 장점이 있다.

그러나 현재까지 연구되고 있거나 개발된, 반도체를 이용한 자외선 LED의 경우 광효율이 높은 것이 없고, 또한 자외선을 사용하는 경우 LED의 마감재로 사용되는 에폭시의 퇴화에도 영향을 줄 것이 분명하기 때문에 상용화를 위해서는 보다 많은 연구개발이 뒤따라야 한다.

2) 선진 업체의 백색 LED 제작 소개

현재 백열등 및 형광등으로 대표되는 세계 조명기구 시장을 좌우하고 있는 곳은 GE, Osram, Philips의 세 개의 다국적 기업들이다. 따라서, 현재 조명 시장의 강자인 이들 세 개 업체가 차세대의 신조명기술로 백색 LED를 인정하고 고휘도의 청색 LED 기술을 가진 업체와 Joint venture를 결탁하여 백색 LED의 실용화를 선두하고 있다는 것은 매우 주목할 만한 점이다.

이들 세 개 업체의 joint venture 결성 시기와 제휴사를 살펴보면

1997년	Philips	+ Hewlett Packard (HP)	= LumiLeds
1998년	Osram	+ Siemens (Infineon)	= Osram Optoelectronics
1999년	GE Lighting	+ Emcore	= GELcore

으로 특징적으로 나타나는 것은 조명기구업체가 손을 잡은 세 회사가 모두 질화물 반도체를 이용한 청색 LED 제작에 강점을 가진 회사들이라는 것이다. 결국, LumiLeds, Osram Optoelectronics, GELcore 모두 질화물 반도체를 이용한 청색 LED에 형광체를 접목한 기술을 통하여 백색 LED를 제작하려는 의도를 가지고 있음을 엿볼 수 있는 대목이다.

LumiLeds와 GELcore가 사파이어 기판 위에 성장된 질화물 청색 LED에 YAG 계열의 형광체를 접목하여 백색 LED를 제작하는 데 반하여 Osram Optoelectronics의 경우 SiC 위에 증착된 질화물 청색 LED에 Ce^{3+}를 첨가한 YAG:Ce^{3+}를 형광체로 사용한다는 점이 다르다. Osram Optoelectronics의 경우 Siemens의 질화물 청색 LED기술을 사용하여 백색 LED를 제작하고 있는데, Siemens는 SiC 청색 LED 제

작 및 SiC 기판 제작으로 유명한 Cree Research 사의 기술을 도입하여 사용하고 있기 때문에 백색 LED 제작을 위해 SiC 위에 증착된 질화물 청색 LED를 사용하고 있는 것으로 판단된다.

이 외에도 질화물 반도체를 이용한 청색 LED 개발에 선두주자였던 일본의 니치아화학공업에서도 자사의 청색 LED와 니치아화학공업이 강점을 보이는 YAG 형광체를 이용하여 백색 LED 제작에 나서고 있다.(참고로 니치아화학공업은 세계 최대의 브라운관용 형광체 제작 업체이다.)

미국에서는 금속유기화학기상증착법을 이용한 질화물 반도체 성장에서 가장 두드러진 연구 성과를 보이고 있는 Univ. of California at Santa Barbara의 연구진들이 창업한 Nitres라는 질화물 반도체 전문 연구 회사에서 질화물 청색 LED와 형광체를 결합한 형태의 백색 LED를 제작하고 있으며 Agilent(구 HP) 역시 독자적으로 백색 LED를 개발하고 있다.

기타 아시아지역에서는 LED 제작에 관련된 회사가 가장 많이 분포하고 있는 대만에서 청색 질화물 반도체를 기반으로 해서 형광체를 사용한 백색 LED 제작에 관심을 기울이고 있는 상황이다.

나. 백색 LED 특성향상 기술 개발 전략

본 절에서는 적, 녹, 청색의 LED를 조합한 형태의 백색 LED와 질화물 청색 LED에 형광체를 접목한 구조의 백색 LED에 대한 장단점을 비교 분석하고, 현실성과 기술적인 문제점들을 고려할 때 실용화가 보다 용이한 것으로 판단되는 질화물 청색 LED에 형광체를 접목시켜 백색 LED를 제작하는 기술의 개발전략에 대하여 보다 심도 있게 설명하고자 한다.

1) 적, 녹, 청색의 LED를 조합한 경우와 청색 LED에 형광체를 접목한 두 가지 형태의 백색 LED의 장단점 비교

가) 적, 녹, 청색의 LED를 조합한 형태의 백색 LED

위에서 설명한 바와 같이 질화물 반도체와 (Al, Ga, In)P계열의 반도체를 이용하면 400 - 670 nm의 가시광선 전 범위에 걸친 파장대의 색을 구현하는 것이 가능하

다. 현실적인 측면을 고려하면 적색, 녹색, 청색의 빛의 삼원색을 이용한 백색 LED 제작이 이상적이고 이 경우 각각 적색, 녹색, 청색의 파장과 발광 세기를 적절히 조절하면 백색 LED를 제작하는 것이 가능하다.

백색 LED 제작 시 고려해야하는 점으로 Correlated Color Temperature (CCT)와 Color Rendering Index (CRI)가 있다. CCT의 경우는 광원의 색온도를 절대 온도로 나타낸 것으로, 눈으로 보기에는 같은 백색광이라고 하여도 태양광의 경우 위도에 따라 CCT가 조금씩 달라진다. 예를 들면 북구 쪽에는 CCT가 3000K 보다 적은데 비하여 우리 나라에서는 6000K 정도의 값을 갖는다. 따라서, 백색 LED를 제작하는 경우에도 조명용으로의 응용을 고려한다면 CCT를 조절할 수 있는 제작 기술이 필요하게 된다.

CRI는 태양광을 사물에 조사했을 때의 사물의 색상을 기준(CRI: 100)으로 하여, 기타 인공적으로 제작한 조명을 조사했을 때의 사물의 색상이 태양광을 조사했을 때와의 색상과 얼마나 근접한지를 나타내는 지수로서 0 이상 100 까지의 수치를 갖는다. 다시 말해서, CRI가 100에 접근하는 백색광원일수록 태양광 아래서 인간의 눈이 인식하는 사물의 색상과 별반 차이가 없는 색상을 느끼게 되는 것이다.

그러므로, LED를 이용한 조명용 백색광을 제작할 시에도 CCT와 CRI를 조절하여 태양광에 근사한 백색광원을 제작하는 것이 기존의 백열등 및 형광등으로 대표되는 조명 기구 산업이 기득권을 갖고 있는 시장에 진입할 수 있는 장벽을 낮추는데 매우 중요하다.

적색, 녹색, 청색의 광원을 이용하여 구현 가능한 색상은 CIE diagram을 참조하면 추정할 수가 있다. 즉, 적색, 녹색, 청색 각각의 영역에 속하는 다양한 파장들 중에서 각각의 색에 해당하는 특정한 파장을 하나 씩 선택하면 선택된 파장들을 꼭지점으로 하는 삼각형이 그려지게 되고, 이 경우 삼각형 내부에 속하는 색은 어느 것이든 상기에 선택한 세 개의 파장을 갖는 세 개의 독립된 반도체 LED를 조합하여 구현할 수 있는 것이다. 따라서, 세 가지 색상의 반도체 LED를 이용하여 백색 LED를 제작하는 경우 백색 이외의 다른 여러 가지 색상도 구현할 수 있는 장점이 있음은 물론이다. 또한, 세 가지 색상의 LED를 조합하는 백색 LED는 세 가지 색 모두가 직접 발광에 의하여 얻어지는 것으로 여기광을 사용하는 형광체를 접목한 구조의 백색 LED의 경우에서 야기되는 흡수광의 여기광으로의 변환효율인 광변환효율이 100 %에 이르지 못하기 때문에 발생하는 발광 빛의 손실을 최소화할 수 있다. 그러나, 세 가지 색상의 LED를 조합하여 백색광을 구현하는 데는 몇 가지 문제점

이 뒤따르게 되는데 이를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 예를 들어 460 nm(청색), 550 nm(녹색), 610 nm(적색)의 파장을 갖는 세 개의 LED를 사용하여 백색광을 제작하는 경우, CRI가 80 이상 되는 태양광에 가까운 백색광원을 제작할 수가 있다. (참고로 일반 형광등의 경우 CRI 값이 60 -75 정도이다.) 그러나, junction temperature가 상온에서 100 ℃ 정도로 변화되는 경우 CRI 값이 10 이상 변화하게 된다. 이렇게 CRI 값이 변화되는 경우 똑같은 사물의 색상을 인간이 인식하는 데 있어서 혼란이 올 수가 있다는 것이 문제점으로 대두된다.

둘째, junction temperature에 따라서 CRI 값이 변화되는 것을 억제하기 위한 방법으로 청색, 녹색, 적색 각각의 파장의 꼭지점을 CIE diagram에서 연결하여 위에서 구현한 것보다 더 큰 삼각형을 형성하는 방법이 제시될 수 있다. 즉, 460 nm(청색), 530 nm(녹색), 630 nm(적색)의 파장을 갖는 세 개의 LED를 사용하여 백색광을 제작하는 경우는 junction temperature의 변화에 상관없이 CRI 값이 일정한 백색광을 구현할 수가 있다. 그러나, 이번에는 CRI 값이 30 대로 낮아지는 문제점이 발생하게 된다.

이러한 기술적인 문제점들 외에 적색, 녹색, 청색의 세 개의 LED를 이용하여 백색 LED를 제작하는 데 있어서 가장 큰 문제점으로 떠오르고 있는 것은 제작비용이다. 각각의 색을 구현하는 LED의 구성 물질들이 다르기 때문에 monolithic 회로를 구성하는데 어려움이 따르게 되고, 결국 세 개의 LED를 각각 제작하여 복잡한 회로 구성을 통하여 백색 LED를 제작해야 하기 때문에 제작 단가의 상승을 피할 수 없다.

나) 질화물 청색 LED에 형광체를 접목한 구조의 백색 LED

질화물 청색 LED에 형광체를 결합한 구조의 백색 LED는 하나의 LED와 그 위에 도포되는 형광체를 이용하기 때문에 제작 과정이 단순하여 제작비용이 적게 드는 것이 가장 큰 장점으로 부각된다. 반도체를 이용한 LED가 장수명, 저전력 소비, 내구성 등의 우수한 특성을 가짐에도 불구하고 상업화에 가장 큰 걸림돌이 되는 것은 기존의 조명 기구에 비하여 상대적으로 높은 제작비용이다. 따라서, 질화물 청색 LED에 형광체를 접목하는 단순한 구조로 제작비용을 낮출 수 있다는 것은 반도체를 이용한 LED의 조명으로의 응용 실현화에 상당한 가능성을 제시하는 것이라고 할 수 있다.

질화물 청색 LED에 형광체를 결합한 구조의 백색 LED를 CCT와 CRI의 조명용 특성 관점에서 살펴보면 다음과 같다.

질화물 청색 LED에 YAG와 같은 단일 형광체를 이용하는 경우 청색 LED의 청색 빛과 YAG의 여기광에 의한 황색 계열의 빛의 상대 세기를 적절히 조절하면 CCT를 조정하는 것이 가능하다. 그러나, 이 경우 CRI 값이 대체적으로 70 정도의 낮은 값을 갖고 junction temperature에 따라서 10 이상의 CRI 값의 변화를 가져오는 문제점을 드러낸다.

반면에, 청색 LED와 녹색 및 적색의 빛을 각각 발하는 두 개의 형광체를 이용하면 90 이상의 높은 CRI 값을 갖는 백색광을 CCT가 3000 에서 7000 K 이상에 이르는 넓은 범위 내에서 구현하는 것이 가능하며, junction temperature 변화에 따른 CRI 값의 변화도 거의 없는 특성을 보인다.

그러나 질화물 청색 LED와 형광체를 이용하여 백색 LED를 제작하는 경우에 있어서 가장 문제가 되는 것은 현재까지 개발된 형광체의 광변환효율이 높지 않아 발광 빛의 손실이 크다는 것이다.

2) 조명용으로 적합한 청색 LED와 형광체를 이용한 백색 LED의 개선 방향 모색

질화물 청색 LED와 형광체를 결합한 구조의 조명용 백색 LED의 개발에서 가장 중요한 개발 전략의 하나인 백색 LED의 발광효율을 극대화하기 위해서는 우선 광원으로 사용되는 질화물 청색 LED의 발광효율을 최대화시켜야 하며, 형광체의 광변환효율을 개선하는 연구가 필요하다. 따라서, 본 절에서는 조명용으로 적합한 질화물 청색 LED와 형광체를 결합한 형태의 백색 LED를 개발하는데 있어서 요구되는 사항들을 발광효율이 우수한 청색 LED의 성장 및 소자 제작과 광변환효율이 월등한 형광체의 제조 및 도포 기술 개발 측면에서 살펴보고자 한다.

또한, 질화물 청색 LED에 형광체를 결합하여 백색 LED를 제작하는 경우 질화물 청색 LED 자체만의 수명과 큰 차이가 나는 것으로 보고되고 있기 때문에, 백색 LED 수명의 개선책에 대한 연구 전략의 모색도 필요하다.

가) 청색 LED 성장

일반적으로 질화물을 이용한 청색 LED의 에피 구조에서는 빛을 발광하는 활성층으로 InGaN에 Zn와 Si을 동시에 도우핑한 구조나 InGaN/GaN 단일 혹은 다중양

자우물 구조를 활용하는 경우의 두 가지가 있다. 이 중에서 양자효율을 극대화하여 발광효율을 높이기 위해서는 InGaN/GaN로 이루어진 단일 혹은 다중양자우물 구조를 활성층으로 이용하는 것이 보다 유리하리라 생각된다.

형광체와 접목하여 백색 LED를 제작하여 조명으로의 응용을 고려할 때 청색 LED 에피 구조 성장에 있어서 가장 주의해야할 점은 발광 파장과 세기의 균일화이다. 앞선 절에서 설명한 바와 같이 조명용 LED의 경우 CCT를 적절히 조절하면서도 CRI 값이 100에 근접하도록 유도하는 것이 핵심적인 사항으로 떠오른다.

질화물 청색 LED와 형광체를 이용한 백색 LED 제작에서 백색광은 청색 LED에서 방사하는 청색광과 형광체에서 여기되어 나오는 황색계열의 빛의 상대 세기를 조절하여 얻을 수 있다. 따라서, 형광체의 도포를 아무리 균일하게 한다고 하여도 청색 LED에서 방사되어 나오는 청색광 자체의 세기가 변하게 되면 일정한 CCT와 CRI를 갖는 백색광을 제작하는 것이 불가능하다.

또한, 청색 LED의 청색광의 파장이 균일하지 못할 경우 정해진 파장에 적합하게 제조된 형광체의 여기광의 파장 변화가 불가피하게 되고 이는 결국 CCT와 CRI의 변화로 귀결된다.

위에서 지적한 두 가지의 문제점은 결국 한 청색 에피 구조에서 얻을 수 있는 백색 LED의 수율에 관계되는 것으로 반도체를 이용한 백색 LED의 최대 문제점으로 꼽히고 있는 제작단가의 상승을 유발한다는 점에서 매우 민감한 사항이라고 생각된다.

따라서, 청색 LED의 발광 파장 및 세기를 균일하게 조절하기 위한 방법이 필요하게 된다. 청색 LED 에피 구조에서 빛을 발하는 활성층은 InGaN/GaN로 이루어지는 단일 혹은 다중양자우물 구조이다. InGaN/GaN의 활성층의 발광 파장 및 세기를 조절하기 위해서는 청색 LED 에피 구조의 성장방법으로 사용되는 금속유기화학기상증착법에서 성장 온도를 웨이퍼 전체에 균일하게 유지하는 것과 성장기 내부의 가스 흐름을 적절히 제어하는 기술의 개발이 요구된다. 이상의 기술들은 InGaN/GaN 단일 혹은 다중양자우물 구조의 정확한 두께 및 In의 조성 조절에 관한 것이다.

나) 질화물 청색 LED의 발광효율 극대화 시키는 소자 제작 기술

제조 공정은 전류 신호를 빛으로 변환시키는 LED를 얻기 위한 아주 중요한 마지막 단계이다. 제조 공정은 최적화 된 소자 디자인을 바탕으로 식각 공정, 금속 접

합 공정 및 조립 등의 공정 단계를 거쳐 하나의 완성된 제품이 만들어진다.

LED의 구조 설계를 할 때는 칩 사이즈, 전극형태 및 면적과 칩 높이, 가공공정에서의 작업성 등을 고려하여 최적의 칩을 제작하여야 한다. 질화물 계열의 LED가 기존의 AlGaAs, InP, 그리고 ZnSe등과 같은 물질로써 만드는 LED와 다른 점은 질화물 계열을 성장시키는 기판이 주로 사파이어(sapphire, Al_2O_3)와 같은 절연체 위에 질화물 반도체를 성장한다는 점이다. 즉, LED 제작 시 AlGaAs, InP, 그리고 ZnSe 등은 기판이 전기적으로 전도성을 가지므로 수직 주입형 LED를 제작할 수 있는 반면, GaN를 위시한 질화물 반도체 계열은 기판이 전기적으로 전도성을 가지지 못하는 절연체이기 때문에 수직 주입 LED를 제작할 수 없고 수평 주입형 LED를 제작해야 한다는 점이다. 수직 주입 LED는 수평 주입 LED보다 제조공정이 간단하고 소자의 저항을 작게 할 수 있으며 LED 전체에 균일한 전류 분포를 만들 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나, GaN 계열의 LED는 수평 주입형으로 제작해야 하기 때문에 소자 구조 설계과정에서 LED가 최적의 발광 효율과 수명 시간을 가지도록 소자를 디자인 할 때 사이즈, 전극형태 및 면적 등을 고려하여 최적의 소자를 만들 수 있도록 하여야 한다.

일반적으로 질화물 청색 LED는 측면전류주입 방식으로 제작되며 따라서 효율적인 전류의 확산이 이루어지기 위해서는 고농도의 n- 및 p-형 GaN 박막성장이 필수적인 요소이다. 그러나 특히 높은 정공농도 및 낮은 비저항값을 갖는 p-형 GaN 박막은 생산이 어렵기 때문에 발광소자의 구동 시 p-형 GaN 박막 층에서 전류의 확산이 어려워져서 결국 발광소자의 전기적 및 발광특성이 크게 저하되는 문제점이 있다. 결국 p-형 박막에서의 높은 비저항 성분에 의한 열 발생은 소자 수명의 단축을 가져오는 문제점을 야기 시킨다. 이러한 높은 비저항값을 가지는 p-형 GaN 박막층의 전류 확산을 용이하게 하기 위해서 종래에는 p-형 GaN 박막 위에 얇은 금속투명전극을 사용하여 발광소자의 특성을 향상시켜 왔다. 그러나 투명전극금속의 저항도 무시할 수는 없으므로 높은 비저항을 갖는 p-형 GaN 층위에 투명전극 금속층을 사용한 후에 전류확산에 유리한 전극구조를 적용하여 전류확산효율을 극대화 시켜서 최종적으로 질화물 청색 LED의 제작에 적용하는 방향으로 연구를 진행한다면 전기적 특성과 특히, LED 소자의 발광효율을 향상시키고 우수한 신뢰성을 확보하는데 많은 도움을 주리라 생각한다.

GaN 계열의 화합물 반도체를 이용하여 LED를 제작하기 위해서는 식각 공정을 거쳐야 하는데, 질화물 반도체는 화학적으로 매우 안정하기 때문에 습식 식각 방법

에 의해서는 만족할 만한 효과를 얻을 수 없어 건식 플라즈마 식각 방법이 일반적으로 사용되어지고 있다. 플라즈마 식각 공정은 물리적 스퍼터링, 화학적 반응, 또는 이 두 가지가 혼합되어 이루어지는 ion-assisted 플라즈마 식각 공정을 통해서 이루어진다. 질화물 반도체의 건식 식각 기술로써 사용되는 방법에는 reactive ion etching(RIE), chemically assisted ion beam etching(CAIBE), magnetron reactive ion etching(MRIE), electron cyclotron resonance etching(ECR), 그리고 inductively coupled plasma etching(ICP)등이 있다. 이러한 방법 중에서 질화물 반도체의 경우 고밀도 플라즈마를 사용한 식각 공정이 좋은 식각 특성을 나타내므로 MRIE, ECR 그리고 ICP등의 건식 플라즈마 식각 방법을 이용하고 있다. 건식 식각 공정은 식각률, 이방성 식각, 평탄한 측면벽, 식각된 표면의 평탄한 구조 및 플라즈마에 의해서 생기는 결함 등을 최대한 억제시키는 방법으로 이루어져야 한다. 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등의 3족 원소와 5족 원소인 질소가 강하게 결합된 질화물 반도체의 건식 식각 공정에는 염소(Cl_2), 브롬(Br_2) 및 요오드(I_2)와 같은 할로겐 기체 플라즈마와 아르곤과 같은 불활성 기체 플라즈마 또는 이들의 혼합기체가 사용된다. 또한, 질화물 반도체를 건식 식각 하는 공정에서는 위에서 열거한 기체이외에 식각률, 선택비, 평탄한 측면벽, 이방성 식각 특성, 플라즈마에 의한 결함 등이 식각 공정에 사용하는 기체 플라즈마에 매우 민감하게 대응하므로 이러한 식각 특성 등을 전반적으로 향상시킬 수 있는 연구가 진행되어야 소자 제작 광정에서 유발될 수 있는 소자 수명 단축 결함이나 발광효율을 저하시키는 요소들을 최소화할 수 있다.

질화물 청색 LED 제작에는 소자의 발광효율과 수명 시간의 향상을 위하여 질화물 반도체와 금속과의 접합 시 높은 품질을 갖는 오믹 접촉이 필수적이다. n-형 질화물 반도체의 경우에는 타이타늄(Ti)과 알루미늄(Al) 계열의 금속을 이용하여 접촉저항이 매우 낮고 안정성이 뛰어난 우수한 오믹 접촉을 쉽게 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 반면에 p-형 GaN의 경우에는 높은 정공 농도를 갖는 p-형 GaN를 얻기가 어렵고 GaN의 일함수에 비하여 높은 일함수를 갖는 금속이 없기 때문에 매우 낮은 접촉 저항을 가지며 안정성이 매우 우수한 금속 접합을 얻기가 어렵다고 알려져 있다. 일반적으로 p-형 GaN의 오믹 접합시 사용되고 있는 금속은 니켈(Ni)을 기본으로 한 금속 접합이 주로 사용되고 있다. 그러나, 이러한 금속 접합이 만족할 만한 낮은 접촉 저항을 보여주지 못하므로 크롬(Cr), 백금(Pt), 팔라디움(Pd), 루세늄(Ru) 코발트(Co) 등 다른 금속 접합이나 금속 전극 대용으로 이용할 수 있는 산화물 반도체 혹은 전도성이 좋은 고분자 전극에 관한 연구가 진행되어야 한다.

또한, p-형 GaN와 금속과의 접합 시 오믹 접촉 특성을 향상시키기 위하여 p-형 GaN 표면에 질소와 같은 기체 플라즈마를 사용하거나 또는 여러 가지 화학 용액을 사용하여 GaN 표면에서의 정공 농도를 높이고 자연 산화층이나 오염층을 효과적으로 제거하여 오믹 접촉을 형성하는데 유리한 특성을 갖도록 금속 박막 형성 전에 표면개질 공정을 도입함으로써 전기적, 열적, 구조적으로 특성이 우수한 오믹 접합을 위한 연구도 병행되어 수행해야 한다.

GaN 계열의 LED는 일반적으로 표면 LED 형태로 제작되기 때문에 p-형 GaN위에 오믹 접촉으로 사용되는 금속의 전기적 특성뿐만 아니라 LED의 활성층에서 발광되어 나오는 빛에 대한 투과도 또한 우수해야 LED의 발광효율이 우수해진다. 그러므로, 질화물 반도체 계열의 청색 LED 제작에는 p-형 GaN와의 금속 접합 시 전기적 특성이 매우 우수하고 발광되어 나오는 빛에 대한 투과도가 우수한 투명전극 개발이 필수적이다. 질화물 반도체를 이용하여 LED를 제작할 때 얇은 금속 박막을 이용하여 LED 구조에 균일하게 전류가 주입되도록 제작된다. 때문에 투명전극을 사용하여 p-GaN와 금속 접합을 형성시킬 때 우수한 전기적 특성뿐만 아니라 발광소자의 활성층에서 발광되어 나오는 빛에 대한 투과도 또한 우수하여야 LED의 발광효율이 우수해진다.

일반적으로 질화물 반도체를 이용하여 LED를 제작하기 위해서 와이어 접촉을 목적으로 두꺼운 금속을 투명전극 위에 증착 시킨다. 이와 같이 두꺼운 금속층은 LED 소자 구조의 활성층에서 발광되어 나오는 빛의 대부분을 흡수해 버리기 때문에 발광소자의 발광효율을 떨어뜨리는 원인이 된다. 때문에 이러한 빛의 흡수를 줄이기 위하여 두꺼운 금속 층 아래에 반사도가 뛰어난 여분의 층을 삽입하여 활성층에서 발광되어 나오는 빛을 반사시켜 다시 활성층으로 보내고 반사되어 보내어진 빛에 의해서 활성층에서 여분의 전자와 정공이 만들어져 결합하게 함으로써 발광되는 효율을 보다 높게 할 수 있다고 판단된다.

다) 형광체의 제조 기술

일반적으로 질화물 청색 LED와 결합하여 백색을 만드는 형광체로는 YAG 계열이 주로 이용되고 있다. 형광체를 제조하는 기술은 기존의 형광등용 형광체 및 브라운관용 형광체나 요즈음 각광받고 있는 FED(field emission display)용의 형광체 등 각각의 응용에 가장 적합한 다양한 종류의 제조 기술이 개발되어 있고 연구되고 있는 중이다.

특히 앞으로 관심을 갖고 개발하려고 하는 기술은 질화물 청색 LED와 형광체를 이용한 백색 LED의 제조에서 가장 큰 어려움으로 대두하고 있는 형광체의 광변환 효율 향상 문제와 형광체의 발광 파장 조절 방법 등이다. 또한, 산업체와 연관하여 상업생산을 고려한다면 기존의 선진 업체들이 제시하고 있는 백색광용 형광체의 제조 방법에 관한 특허를 피해나가는 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

형광체의 광변환효율은 기본적으로 백색 LED용 형광체로 인정받고 있는 YAG 형광체에 플럭스를 첨가하여 개선하는 것이 가능하다. 본 연구의 참여기관인 광주과학기술원의 연구 결과에 의하면 YAG 형광체 제작 과정에서 불화물 플럭스를 첨가하여 소결하는 경우 발광세기가 증가하는 것을 보고하고 있다. 따라서, 보다 다양한 종류의 첨가물들을 개발하고 실험하는 방향으로 연구를 진행한다면 YAG 형광체의 광변환효율을 향상시키는데 크게 기여할 것으로 생각된다.

아울러, YAG 형광체의 경우 청색 LED와 접목하여 백색 LED를 제작하는 용도로의 제조 방법에 관한 여러 가지 특허가 이미 걸려 있는 관계로 인하여 YAG 형광체를 제작하는 새로운 방법을 모색하는 것 또한 필요하다.

또한, 조명용 백색광으로 꼭 필요한 CCT와 CRI의 조정을 위해서 앞서 설명한 두 가지 이상의 형광체를 이용한 백색 LED의 제작에도 관심을 기울일 필요가 있다.

최근에 선진 대학 연구 기관들을 중심으로 나노형광체에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 나노형광체의 경우 발광효율이 뛰어나고 나노형광체의 크기 조절에 의해서 발광 파장을 조절하는 것이 가능하기 때문에 기존의 YAG를 중심으로 하는 형광체의 대안으로서 기능을 할 수 있을 것이라 기대된다. 특히, 본 연구과제에 참여하고 있는 광주과학기술원에서는 ZnSe(ZnS), CdSe(CdS)의 코어-쉘 양자점을 제조하는 데 성공한 바 있다. 따라서, 나노형광체와 청색 LED를 접목한 구조의 백색 LED 개발에 관한 연구도 병행하는 것이 가능하다.

라) 형광체의 도포 방법

질화물 청색 LED와 형광체를 이용하여 고효율의 백색 LED를 제작하는 경우 형광체를 청색 LED칩 위에 균일하게 도포 하는 것이 광효율의 손실을 최소화하는 방안이 된다.

따라서, 형광체를 청색 LED칩 위에 코팅하는 여러 가지 방법을 고려해야 하는데, 대표적으로 Slurry법, settling법, 전기영동법 (EPD, electrophoretic deposition)

등을 들 수가 있다.

Slurry 법의 경우는 기존의 후막의 형광막에 주로 사용되던 방법으로 백색 LED에 적용할 경우 발광효율이 35 % 이상 저하되는 결과를 가져온다. 전기영동법의 경우 차세대 FED의 형광체 코팅 법으로 제시되고 있는 방법으로, 매우 얇은 막의 형광체를 코팅하는 것이 가능한 장점이 있다.

전기영동법으로 형광체를 코팅하는 경우 후공정으로 어닐링이나 자외선 curing 등이 사용되는데 자외선 curing을 한 경우 잔류 형광체의 양이 크게 증가하는 경향을 보이기 때문에 질화물 청색 LED칩 위에 균일한 형광막의 형성에 있어서 어닐링보다 우수한 특성을 보인다. 따라서, 형광체의 도포 기술을 형광체 잔존량을 최대화하면서 균일한 형광막을 형성할 수 있는 쪽으로 기존의 기술들을 개량하고 개선시키는 방향으로의 연구가 필요하다.

마) 질화물 청색 LED와 형광체를 접목한 형태의 백색 LED 수명 연장 연구

일반적으로 반도체를 이용한 LED의 경우 구동전류를 20 mA 이하로 하는 것이 보통인데, 이는 LED의 수명과 기타 여러 가지 이유로 인하여 발생할 수 있는 LED 파괴를 줄이기 위한 것이다. 질화물 반도체를 이용한 청색 LED 제작 판매 업체들도 청색 LED의 수명 및 기타 광학적 특성을 기존의 반도체 LED와 마찬가지로 구동전류 20 mA를 기준으로 하여 평가하고 제시하고 있다.

반도체 LED의 구동전류를 증가시키게 되면 발생되는 열량의 증가로 인하여 발광효율은 저하되지만 발광세기 자체는 일정 전류값 까지는 증가하는 경향을 나타낸다. 조명용으로 개발되고 있는 백색 LED의 경우 현재 문제가 되고 있는 것은 기존의 형광등 및 백열등으로 대표되고 있는 조명기구에 비해서 제작 단가가 높다는 것과 발광세기가 낮다는 것이다. 따라서, 일부 백색 LED제조 업체의 경우 구동전류를 20 mA 이상으로 조절하여 발광세기를 증가시키는 경우도 발생하고 있다. 물론 구동전류를 높이기 위해서는 구동전압의 증가도 필연적으로 뒤따르게 된다.

문제는 구동전류를 증가시켰을 경우 발광세기를 증가시킬 수 있는 장점은 있지만(실제로 한 연구 보고에 의하면 20 mA의 구동전류를 60 mA로 증가시켰을 경우 발광세기가 약 65 % 증가하는 것을 보고하고 있다.) 그와 비례하여 수명이 저하되는 단점이 있다. 특히, 조명용으로 사용되는 백색 LED의 경우 전술한 바와 같이 CCT와 CRI 값이 사용시간에 따라서 일정하게 유지되는 것이 중요하기 때문에 단파장의 LED와 비교해서 수명이 짧을 수밖에 없다. 따라서, 구동전류 증가에 의한

발광세기 증가는 심각한 수명의 단축을 초래할 수 있다.

질화물 반도체 청색 LED의 파괴 기구를 살펴보면 금속 접합 부분에서 금속의 질화물 반도체 내부로 이동하는 소위 electromigration에 의한 파괴가 큰 부분을 차지한다. 금속의 electromigration은 반도체의 결함을 따라서 일어나는 것이 일반적인 것으로 반도체 내부에 결함 밀도가 높을 경우 쉽게 파괴가 일어난다. 특히, 구동전류를 높였을 경우 접합 금속과 반도체와의 계면에서 발생하는 열에너지의 증가로 인하여 electromigration이 촉진되어 소자 파괴를 급진전시키는 경우가 발생한다. 따라서, 접합 금속의 질화물 반도체 내부로의 electromigration을 억제하기 위해서는 질화물 반도체 내부의 결함 밀도를 최소화하는 것과 특히 migration이 쉬운 접합 금속의 이동을 제한할 수 있는 방안을 모색하는 것이 필요하다.

질화물 반도체의 결함 구조를 살펴보면, 대부분의 질화물 반도체의 기판으로 사용되는 사파이어와의 큰 격자상수 및 열팽창계수 차이에 의해서 야기되는 전위가 주를 이룬다. 현재 질화물 반도체 내부의 전위 밀도를 줄이기 위한 연구는 LEO(lateral epitaxial overgrowth)나 MBL(multiple buffer layer)등의 새로운 성장 방법들을 도입하여 전위 밀도를 줄여 질화물 반도체의 결정성을 개선하고 있는 단계에 있다. 따라서, 본 조명용 백색 LED 개발 과제에서는 LEO, MBL 등의 질화물 반도체 내부의 결정 결함 밀도를 줄일 수 있는 방법을 개발하는 것이 필요하다.

또한, 궁극적으로는 질화물 반도체 내부의 결함 밀도를 최소화하기 위해서는 질화물 반도체 기판을 사용하는 homoepitaxy 방법을 개발하여 결정 결함의 생성 유발 원인 자체를 제거하는 방향으로의 연구가 진행되어야 한다고 생각한다.

질화물 반도체의 오믹 접합 금속에 관한 보고는 플라티늄(Pt), 팔라디움(Pd), 니켁(Ni), 루세늄(Ru), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 금(Au) 등을 사용한 많은 연구가 이루어져 있다. 특히, 높은 구동전류에서의 소자 파괴를 방지하기 위해서는 열적 안정성이 우수하여 고온에서도 안정한 오믹 금속 접합을 이루는 금속 접합 기구의 개발이 절대적이다. 금속의 electromigration은 Au 등의 특정 금속을 사용하는 경우 쉽게 발생하는데 Au 사용이 불가피한 경우에서는 Au의 확산을 억제할 수 있는 확산 방지층으로 작용하는 금속층을 삽입하는 방향으로의 연구가 필요하리라 생각된다.

마지막으로 질화물 청색 LED에 형광체를 접목한 형태의 백색 LED의 경우 청색 LED 소자 파괴 이외에 형광체 자체의 변형에 의해서도 백색 LED의 CCT나 CRI 등에 큰 영향을 미칠 수 있다. 조명용 백색 LED가 기존의 조명기구에 대하여 우월한 점의 대표적인 것이 긴 수명이기 때문에 형광체의 변형과 백색 LED의 수명에

관한 상관관계에 대한 연구 개발이 절실한 형편이다. 청색 반도체와 형광체를 이용한 구조의 백색 LED에 관한 연구는 이제 시작한지가 일천하여 이러한 세세한 부분까지의 연구 내용은 발표된 바가 없다. 따라서, 앞으로는 장시간에 걸친 백색 LED 특성 및 수명에 관한 연구를 수행하여 백색 LED의 수명 저하 기구를 밝혀내는 것이 필요하고, 수명 저하에 일정 부분을 담당할 것으로 예상되는 형광체 자체의 변형에 대해서는 형광체 변형을 완화시킬 수 있는 제조 방법과 청색 LED 소자 위로의 도포 및 코팅 문제를 함께 고려하여 연구하여야 한다.

다. LED 조명제품 기술 동향

최근 들어 고휘도 LED를 이용한 응용제품이 다양화되어 가고 있으며, 이를 이용한 조명제품을 볼 때 "Digital Lighting"시대가 도래하고 있다고 해도 과언은 아니다. 특히, 고휘도 LED 조명기기의 개발은 아직까지는 신규성을 갖고 있으므로 모델별 특허전략이 무엇보다 빨리 이뤄져야 한다. 고휘도 LED의 소자 자체의 개발이 급진적으로 이뤄지고 있고, 고휘도화 되어 갈수록 이를 이용한 응용분야를 찾고 있으며, 그 일면으로 반도체업체와 조명업체가 고휘도 LED를 조명기기에 응용하기 위해 제휴를 하고 있는 실정이다.

고휘도 LED 소자 자체의 기술은 장기간의 연구에 의해 개발되어 왔기 때문에 그에 대한 자료나 노하우는 월등하지만, 고휘도 LED를 이용한 조명기기의 제품화는 아직 초기 단계인 관계로 미비하다고 할 수 있다. 예를 들면, 일부 업체에서 고휘도 LED를 이용한 조명기기의 제품을 출시하고 있지만, 광학적 설계나 디자인 면에선 아직 미진한 상태이다. 지금 고휘도 LED를 이용한 조명기기의 출시되는 제품을 볼 때 기존 텅스텐 필라멘트와 유리 Bulb로 구성되어 있는 에디슨형 백열전구를 대체하기 위한 고휘도 LED 조명제품이 개발·판매되고 있으며 다양한 응용분야를 찾고 있는 정도이다. 여기에는 국외 조명업계의 빅 3가 반도체업체와의 제휴를 통해 LED 조명시장을 선도하고 있으며, 여러 개의 신규 업체들이 LED 조명제품 개발 및 생산을 앞다투어 진행하고 있다.

1) LED의 광학적 배치 유형

고휘도 LED 조명제품의 광학적 설계에 있어서는 LED 소자가 갖고 있는 자체의

방사각(15°, 30° 등)을 이용한 광학적 설계가 이뤄져야 한다. 여기에서 광학적 설계라 함은, 아직까지는 고휘도 LED를 이용한 반사판 설계를 하기에는 효율이 낮으므로, LED 소자의 방사각에 의해 정해지는 직접광을 이용한 설계가 이뤄지기 때문에 LED의 광학적 배치 정도의 수준이라고 할 수 있다. 물론 LED 조명제품의 Bulb 설계도 동시에 이루어질 필요가 있다. LED의 배치 형태는 대체로 용도에 따라서 정해지는데, 최근 제품화되고 있는 여러 모델을 유형별로 분류해 보면 다음과 같이 크게 4가지의 공통된 형태로 나눌 수 있다.

① 입체형 구조

② 평면형 구조

③ 원통형 구조

④ 선형 구조

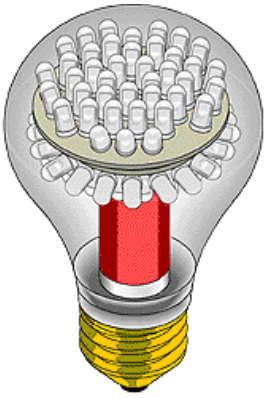
가) 입체형 구조

입체형 구조는 백열전구 대체용을 겨냥하여 기존의 텅스텐 필라멘트 부분을 고휘도 LED로 대체한 형태로서, PCB를 두 개의 층 구조로 하여 LED를 윗면과 아래면으로 향하도록 배치하였으며, LED의 입체적인 배치에 의해 방사각이 280°로 거의 사방으로 방사되는 특징을 갖는다.

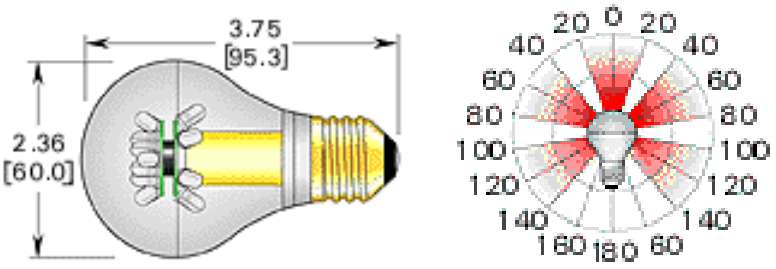
한편, LED 소자 자체에 두 개의 렌즈를 이용한 방법과 LED 조명 전구에서 나온 빛을 반사판으로 반사시켜 발광효율을 향상하는 방법도 사용하고 있지만, 대부분이 LED 조명 전구는 반사광을 이용하기보다는 직사광을 이용하고 있어 고휘도 LED를 사용한 LED 조명 전구를 나안으로 직접 보게 되면 눈부심을 일으키게 된다. 이를 방지하기 위해서 LED 조명제품에 필터를 사용하는 방법이 있으나, 이는 효율 저하의 원인이 되기 때문에 대신 반사판을 이용한 방법을 제안할 수 있다. 아직까지는 반사판을 사용해야 할 정도로 휘도가 높지 않아 반사판을 사용한 방법은 많이 사용하는 편은 아니다. 그러나 LED의 휘도는 계속적으로 높아지고 있기 때문에 반사판을 이용한 LED 조명제품을 설계하여 나아가는 것이 기존 LED 조명제품의 광학적 설계를 피해 갈 수 있는 방법이며, 기존의 것보다 더 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

현재 출시되고 있는 LED 조명제품의 발광색은 대부분 단색광으로 발광하는 종류와 RGB LED를 혼합한 조명제품이 있다. 주요 응용분야는 Garden lighting, Offshore oil platforms, Solar lighting, Stage accent lighting, Theme park lighting

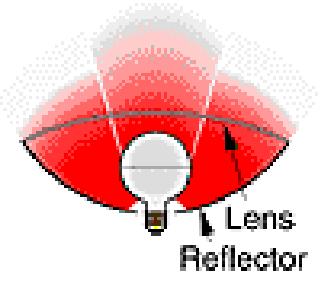
등이다.



(a) 입체형 구조의 예



(b) LED 배치 형태 및 방사각 범위



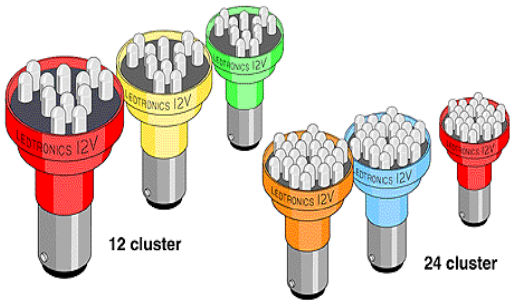
(c) 렌즈 및 반사판을 이용한 효율 향상

그림 1. 입체형 구조의 LED 조명 전구 [출처: LEDTronics 社]

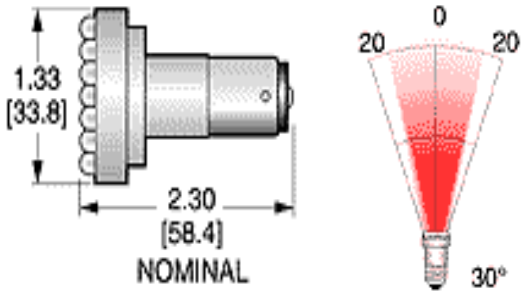
나) 평면형 구조

평면형 구조는 별다른 Bulb를 사용하지 않아 LED 조명 전구의 방사각이 30°로 작으며 LED가 평면에 수직인 방향만을 향하도록 배치되어 있어 국부조명용으로 적

합하다. 특히, LED의 개수와 배치에 따라서 LED 조명제품의 배광곡선이 정해지기 때문에 LED의 개수와 배치를 할 때에는 사용 장소에 맞게 광학장비의 측정을 통해서 설계를 해야 한다. 기존 제품들은 LED 소자 자체의 방사각을 그대로 적용하여 LED 조명제품에서 방사되는데 반해, LED 조명제품을 통해서 방사각을 조절할 수 있는 조절기를 설치한다면 방사각을 임의로 조절 가능하여 기존 제품보다 더 응용범위를 넓힐 수 있으며 기존 제품의 방식에서 벗어날 수 있다. 주요 응용분야는 Boat cabin lighting, Recreational vehicle cabin lighting, Telephone lighting, Remote locations, Traffic warning lights 등이다.



(a) 평면형 구조의 예



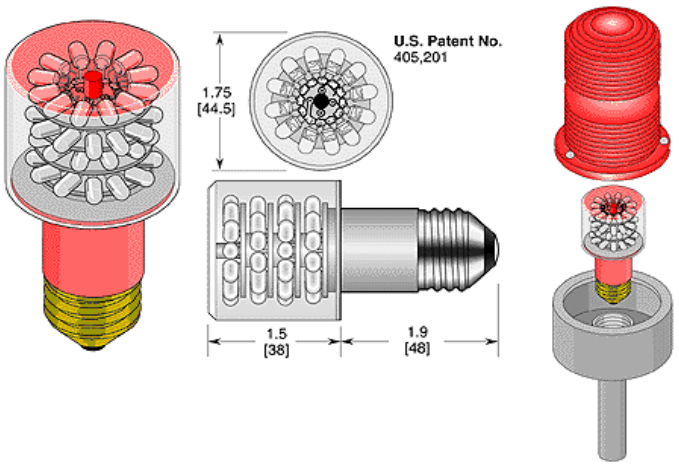
(b) LED 배치 형태 및 방사각 범위

그림 2 평면형 구조의 LED 조명 전구 [출처: LEDTronics 社]

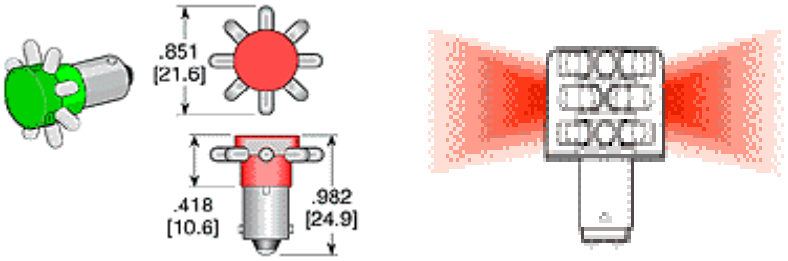
다) 원통형 구조

원통형 구조는 LED를 원통형으로 배치한 형태로 등근 원통의 옆면에서 빛이 방

사되며 안전등/경고등으로 사용된다. 또한, 원통형 구조의 LED 조명제품에 필터형 Bulb를 씌워서 색깔을 선명하게 하여 안전등/경고등의 의미를 강조하고 있다. LED 소자 자체가 정해진 방사각을 벗어날 경우 빛을 비추지 못하기 때문에 빛을 확산시키는 필터형 Bulb를 사용하여야 방사각에서 벗어난 부분까지도 빛을 내부에서 확산하여 비출 수 있다. 또한, 필터를 사용하지 않을 경우 고휘도에 따른 단점인 눈부심으로 인한 사고 유발을 일으킬 수 있다는 점이다. 주요 응용분야는 Beacon light, Machine tool marker lights, Architectural lighting, Industrial automation, Security warning 등이다.



(a) 원통형 구조의 예



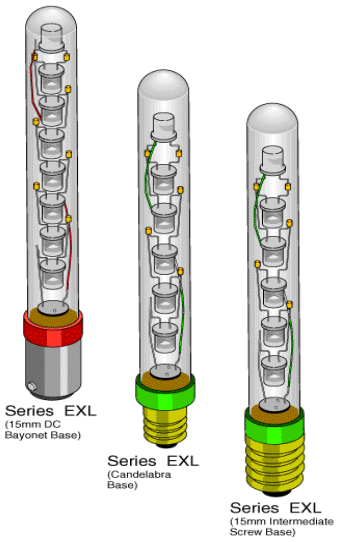
(b) LED 배치 형태 및 방사각 범위

그림 3. 원통형 구조의 LED 조명 전구 [출처: LEDTronics 社]

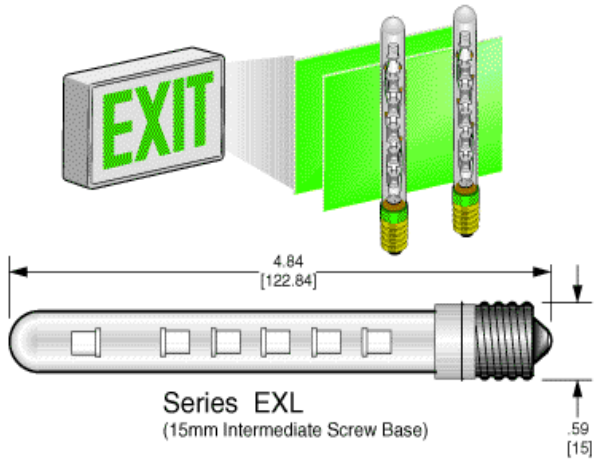
라) 직선형 구조

마지막으로 직선형 구조는 LED를 선형적으로 직렬 연결하여 발광형태가 선형적으로 이루어지도록 하였으며, 지금은 대부분이 EXIT Sign용으로 사용하고 있다. 직선형 구조의 형태는 LED를 층층이 쌓아올려 끝 부분을 전선으로 연결하여 베이스단에 연결하였다. LED의 배치 형태를 살펴보면, 아래 그림에서와 같이 대부분의 LED를 아래 방향으로 향하도록 배치하되 맨 위의 LED 만을 반대 방향인 위로 향하도록 배치하였다.

이들 제품은 일반적으로 반사판을 고려한 제품이 아니기 때문에 배광분포가 좋지 못하나, 별다른 기판을 필요로 하지 않아 가격 절감의 특징을 가지고 있다. 두께는 1.5㎝ 정도이며 주로 EXIT Sign용으로 사용한다. 광색은 Red와 Green 2가지색을 나타내며, 2개를 기본으로 사용하고 있다. 하지만, 앞으로는 면 발광하는 EL의 연구개발로 EXIT Sign용의 광원은 EL로 대체될 것으로 예상된다.



(a) 직선형 구조의 예



(b) EXIT Sign용

그림 4 직선형 구조의 LED 조명 전구 [출처: LEDTronics 社]

2) LED 구동 및 제어회로

최근 발광소자에 대한 활발한 연구가 진행되면서 고휘도 발광소자를 이용한 응용제품들의 개발이 빠르게 이루어지고 있으며, 그 중에서도 고휘도 LED를 이용한 실용화제품들이 두각을 나타내고 있다. 지금까지 LED가 가지고 있던 저휘도의 단점 때문에 LED를 조명광원으로 사용하는 것은 불가능한 것으로 생각되었으나, 고휘도 LED의 연구개발에 힘입어 LED가 기존의 백열전구를 대치할 수 있을 정도의 휘도를 갖게 되면서 LED를 이용한 조명제품에 대한 실용화가 급속히 이루어지고 있다. 이에 따라 LED를 조명광원으로서 구동하기 위한 구동회로, 보상회로, 제어회로 등이 함께 개발되고 있다.

고휘도 LED를 조명광원으로 사용하는 조명제품에 대한 회로를 살펴보면 다음과 같다.

① LED 구동회로
② LED 온도보상회로
③ 광출력 보상회로
④ 색유지 제어회로
⑤ 정전압·정전류 회로

가) LED 구동회로

LED구동회로는 크게 DC를 이용한 구동회로와 교류를 이용한 구동회로, 그리고 Pulse로 구동하는 방법이 있다. LED램프를 구동하는 방법은 이러한 회로를 기본으로 하고 있는데, IC를 사용하여 LED램프를 구동하는 경우에는 주로 DC를 전원으로 사용하며, 교류를 사용하여 LED램프를 구동하는 경우에는 상용 전원을 구동 전원으로 사용한다. 상용 전원으로 LED램프를 구동하는 회로는 정류 또는 전압분배를 이용하여 전원을 LED램프가 구동할 수 있는 전압으로 만든 후에 저항을 이용하여 전류를 제한하는 방법을 사용한다.

(1) 기본 구동회로

① DC 구동회로

그림 5는 DC전원을 인가하여 LED를 구동하는 기본적인 회로이다. 이 회로에서 LED에 흐르는 전류는 다음 방정식으로 표현할 수 있다.

$$I_F = \frac{V_\infty - V_F}{R}$$

여기에서,

V_∞ = 공급전압

V_F = LED의 순방향전압

I_F = LED를 흐르는 순방향 전류

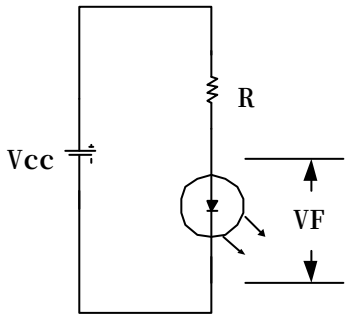


그림 5. LED DC 구동회로

그림 6은 일정한 출력광을 유지하기 위한 보상용 트랜지스터가 있는 LED의 회

로이다. 이러한 경우의 I_F는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$I_F = \frac{V_B - V_{BE}}{R_3}$$

여기에서,
V_B = 베이스전압
V_{BE} = 베이스와 에미터 사이의 전압
R_3 = 에미터 저항

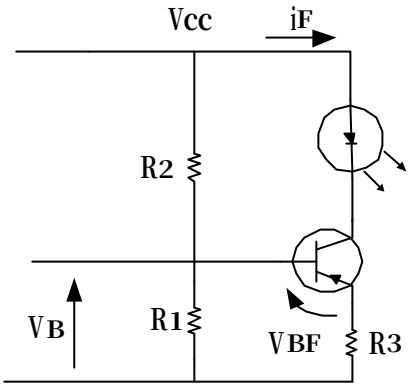


그림 6. 일정 출력광 유지회로

이 회로에서 광출력의 온도 의존성은 V_{BE}와 V_B에 의하여 대략적으로 설정될 수 있다. 또한 광출력이 충분하지 않으면 다음 그림에서 보는 바와 같이 직렬이나 병렬로 다이오드를 연결하여 해결 할 수 있다.

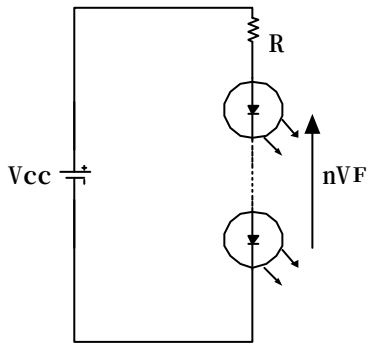


그림 7. 직렬 광출력 증배회로

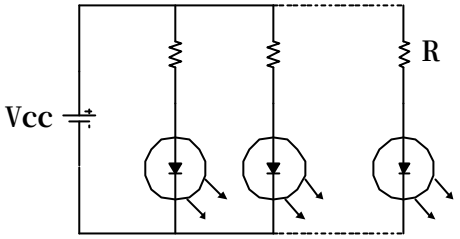


그림 8. 병렬 광출력 증배회로

이러한 경우의 I_F는 다음 식으로 표현된다.

$$I_F = (V_{cc} - nV_F)/R \quad \text{:직렬 연결}$$
$$I_F = (V_{cc} - V_F)/R \quad \text{:병렬 연결}$$

② 교류 구동회로

교류를 이용한 구동은 다음 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로 2가지 방법이 있으며, 이러한 경우에 LED를 보호하기 위하여 보호다이오드를 결합시킨다. 이 보호다이오드는 LED가 갖는 역방향 전압보다 큰 전압이 걸리는 경우에 LED를 보호한다. 그림 9의 보호다이오드는 공급전압에 부합하는 역전압을 가져야 하는 반면, 그림 10의 다이오드는 LED의 순방향전압의 두 배에 견딜 수 있는 역전압을 가져야 한다. 여기에서 회로저항 R은 공급전압을 알맞게 제한할 수 있는 값을 갖는 것이어야 하는데, LED의 순방향 전류가 만일 공급전압이 최대인 점에서 규정된 값 이내를 유지한다면 그 때의 값으로 정의된다.

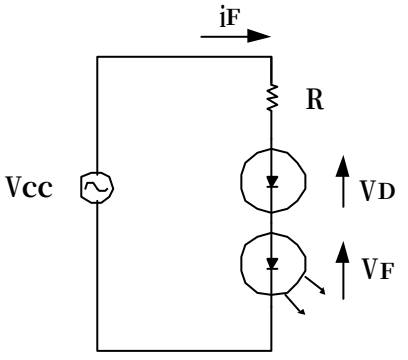


그림 9. LED 교류 구동회로

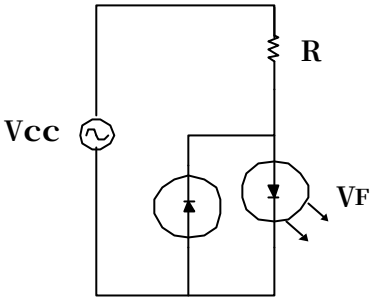


그림 10. LED 교류 구동회로

③ 펄스 구동회로

펄스를 이용한 구동에 의하여 변조된 펄스를 광신호로 바꾸는 회로의 이점은 만일 변조회로가 전지에 의하여 전력을 공급 받을 경우 변조회로의 전력소모가 감소될 수 있기 때문에 전지가 갖고 있는 유효 수명을 늘릴 수 있는 점이다.

펄스로 구동하는 방법은 TTL 게이트나 CMOS, 트랜지스터의 조합을 사용하여 설계된다.

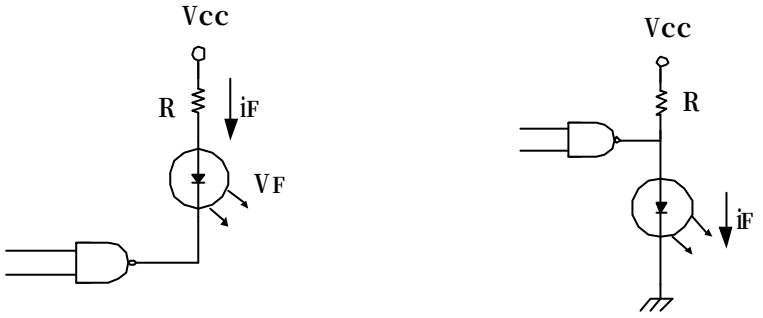


그림 11. IC를 이용한 LED 광출력 회로

위와 같은 회로에서 LED에 흐르는 전류 I_F는 다음과 같다.

$$I_F = \frac{V_{CC} - V_F - V_{OL}}{R} \quad : \text{LOW}$$

$$I_F = \frac{V_{CC} - V_F}{R} \quad : \text{HIGH}$$

그런데 이러한 회로는 많은 양의 전류를 흘려줄 수 없기 때문에 구동회로의 전류를 증가 시켜주기 위하여 훨씬 큰 전류 용량을 가진 버퍼 IC나 외부 트랜지스터

를 연결하여 사용할 필요가 있다.

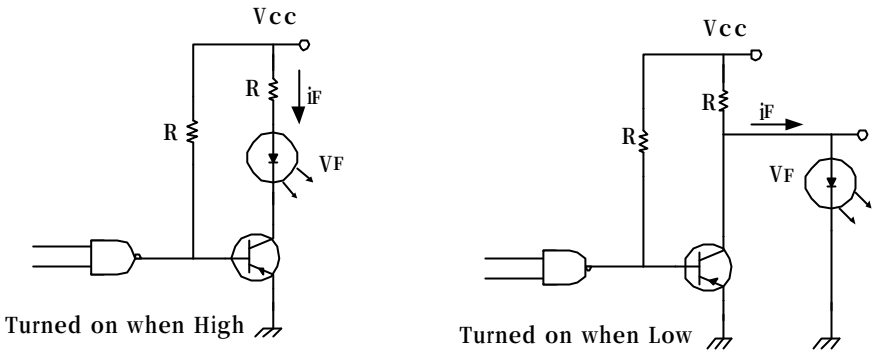


그림 12. IC와 버퍼, 트랜지스터를 이용한 LED 광출력회로

그림 12의 회로는 버퍼, 트랜지스터 그리고 IC를 이용하여 전류를 증가시킨 회로이며, 이 경우의 I_F는 다음과 같다.

$$I_F = \frac{V_{CC} - V_F - V_{CE(SAT)}}{R} \quad : \text{HIGH}$$

$$I_F = \frac{V_{CC} - V_F}{R} \quad : \text{LOW}$$

(2) 실제 구동회로

백열전구를 대체하기 위한 LED램프 구동회로는 전원(120AC/220AC)을 LED램프가 안정적으로 구동할 수 있는 전압까지 강하시키고 정류하여 구동하는 형태를 가지며, LED의 연결형태에 의하여 다음과 같이 구분된다.

① 직렬 LED 구동회로

LED를 직렬로 연결하고, 저항을 이용하여 전류를 제한하는 방식이다. 직렬회로의 구동회로는 입력 커패시터와 정류다이오드로 구성되며, 교류입력을 정류하여 LED가 구동할 수 있는 직류로 변환하기 위한 AC/DC converter역할을 한다. 이 회로는 미국의 Cooper Industries사에서 특허를 가지고 있다.

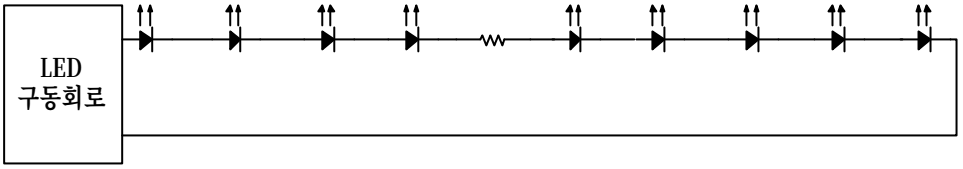


그림 13. 직렬 LED 구동회로

② 병렬 LED 구동회로

LED를 병렬로 연결하고, 구동회로는 DC전원으로 구동하며, 전원에서 공급되는 전류는 LED에 직렬로 연결되어 있는 저항에 의하여 제한된다.

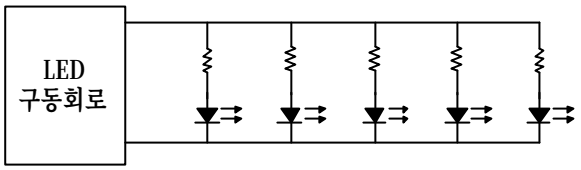


그림 14. 병렬 LED 구동회로

③ 직병렬 LED 구동회로

직렬과 병렬을 혼합하여 LED를 연결한 것으로, 구동회로는 교류전원을 정류하여 직류로 변환하고, 전압분배 커패시터에 의해 저항에 분배된 전압으로 LED가 구동되는데, 미국 R&M Deese에서 특허를 가지고 있다.

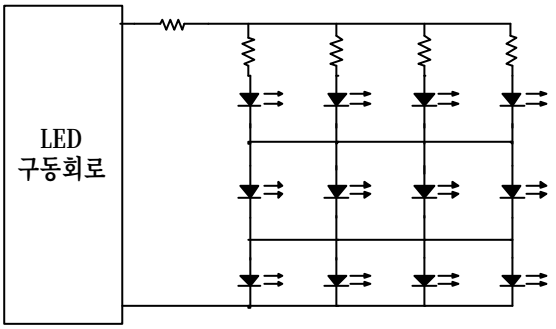


그림 15. 직병렬 LED 구동회로

나) LED 온도 보상회로

PCB에 LED와 회로소자를 함께 연결하여 사용하게 되는 경우, 외부온도나 회로소자의 발열에 의하여 LED램프 자체의 온도가 변하게 되어, LED자체의 특성에 변

화가 발생하게 된다. 그러므로, 이러한 온도변화에 의한 특성변화를 보상하는 회로가 필요하게 된다.

기본적인 온도보상회로는, LED에 흐르는 전류를 피드백하여 비교기의 한쪽 입력측에 연결하고 비교기의 비교전압과 비교하여, 비교기의 출력이 LED를 동작시키는 트랜지스터의 게이트전류를 조절함으로써 LED에 흐르는 전류를 보상하는 회로이다. 이것은 Nederlandse Centrale Organisatie voor에서 보유하고 있으며, 미국 Agilent Technology사에서 응용제품에 사용되고 있다.

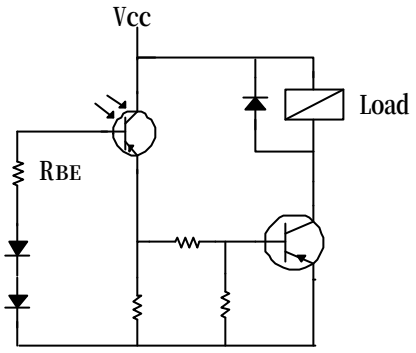


그림 16. 저항과 다이오드를 사용한 온도보상회로

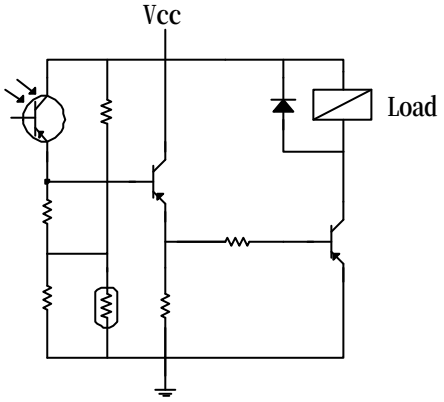


그림 17. 써미스터를 사용한 온도보상회로

그림 16은 다이오드의 순방향전압에 의하여 유지되는 부 온도 계수를 사용한 온도보상회로이다. 이 회로는 포토트랜지스터에 흐르는 전류에 의하여 부하에 흐르는 전류를 보상하게 되며, 사용된 저항 및 다이오드는 온도가 상승함에 따라 다이오드에 흐르는 전류가 증가하여 포토트랜지스터에 흐르는 전류의 양을 증가시키고 그 결과 부하에 흐르는 전류를 감소하게 한다.

그림 17의 회로는 부하에 걸리는 전압이 써미스터의 사용에 의하여 포토트랜지스터의 부하 저항을 감소하게 하는 방법으로 보상하는 회로이다. 이 회로를 응용한 것을 미국 Agilent Technology가 보유하고 있다.

다) 광출력 보상회로

LED를 장시간 사용하거나 회로소자의 노후에 의하여 LED램프의 광출력 특성이 변화하는 것을 보상하기 위한 회로이다. 이러한 회로에는 LED의 광출력을 검출하여 보상하는 회로와 일정한 광출력을 유지하는 회로, 그리고 LED에 흐르는 전류의 주파수를 제어하여 밝기를 보상하는 회로가 있다.

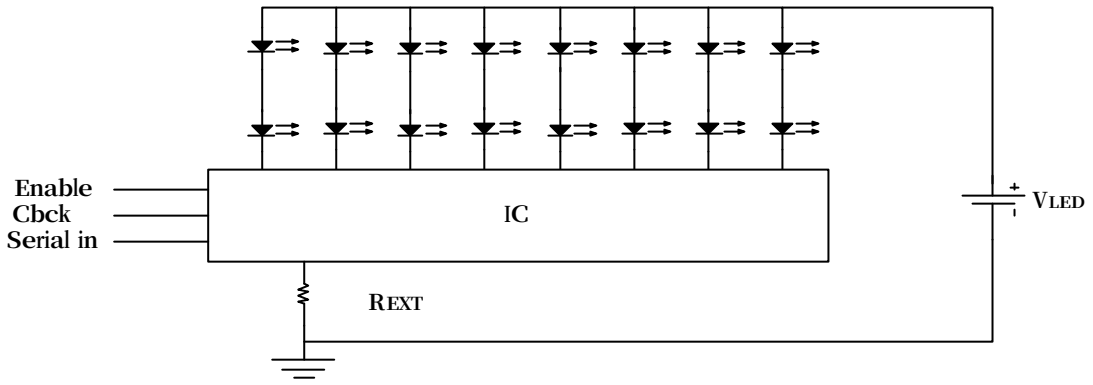


그림 18. 정전류 LED 구동회로

위 그림은 저항(R_{EXT})에 의하여 정전류를 공급하는 정전류 구동회로서, 사용자가 R_{EXT}를 조정하여 LED의 밝기를 조절할 수 있도록 한 구동회로이다. 이 회로는 여러 개의 구동부가 연결되어 있을 때 구동부 끝 부분의 밝기를 보상할 수 있는 것으로, 일본 도시바의 구동 IC를 채용한 LED 제어회로를 예로 든 것이다. 이러한 IC 및 회로는 단색이나 multicolor 모듈에 사용될 수 있으며 그러한 응용회로의 예를 다음 그림에 나타내었다.

아래 그림 19의 구동회로는 단색 디스플레이 모듈의 밝기를 조절할 수 있는 것으로서, 이 드라이브 모듈은 R_{ADJUST}를 통하여 전체 모듈의 밝기를 조절할 수 있도록 한다. 일본 도시바의 IC는 주로 디스플레이용으로서, 정전류 구동회로를 조명용이나 광색변환을 위한 응용에 사용되거나, 다른 마이크로컨트롤러나 마이크로프로세서와 연결하여 LED 램프의 제어에 사용될 수 있다. 그리고 그림 20에 보이는 구동회로는 두 가지 색을 디스플레이할 수 있는 모듈의 구동회로이다.

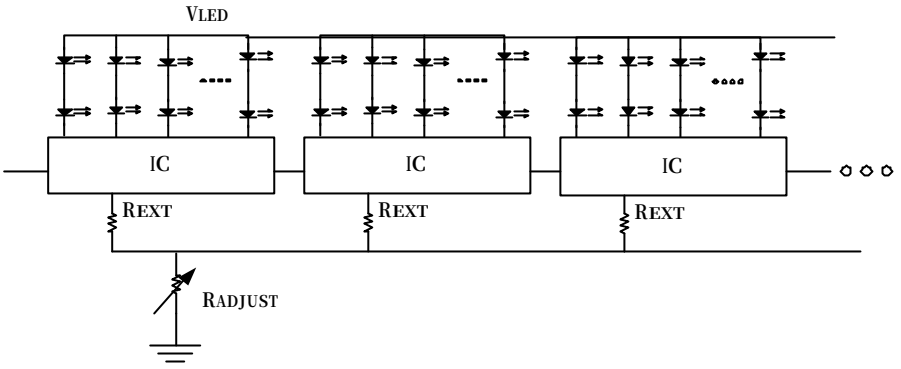


그림 19. 단색 디스플레이 모듈

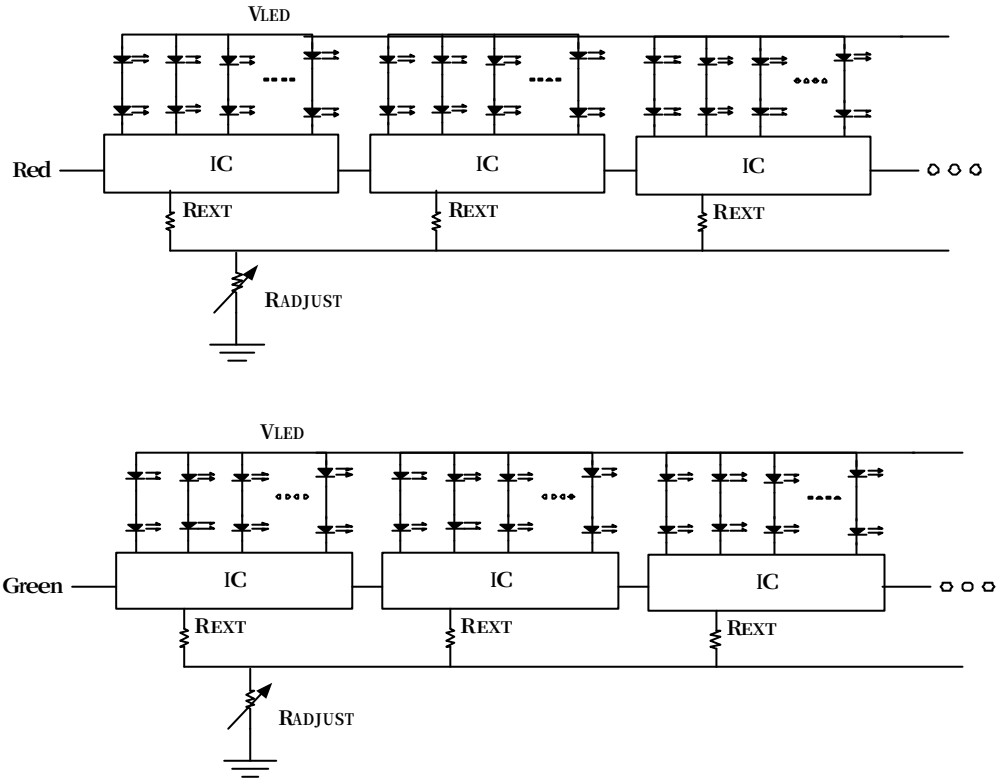


그림 20. 두가지색 디스플레이 모듈

다음 회로는 정전류 구동회로로서, 그라운드와 저항에 걸리는 전압 V_{CE}에 의하여 일정한 전류를 공급하는 회로이나, V_{CE}에 의해 다음과 같은 전력손실이 발생한다.

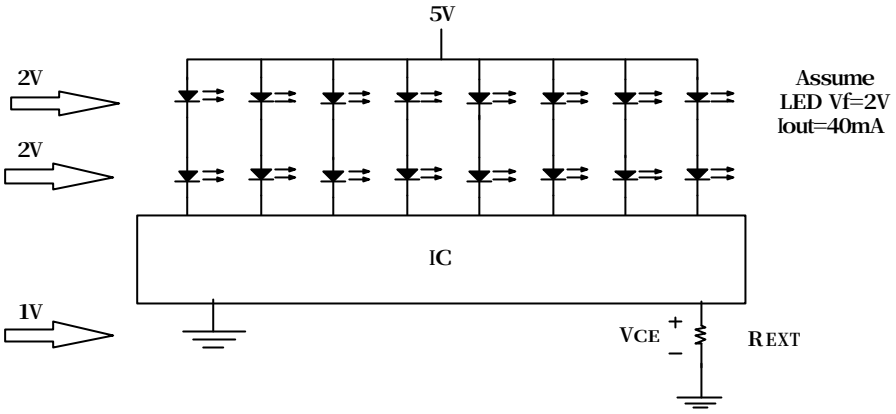


그림 21. 정전류 LED 구동회로의 전력손실회로

○ 전체적인 전력손실 = $I_{LED} \times V_{CE} \times$(LED의 출력 개수)+부가 장치의 전력손실

부가적인 장치들의 전력손실은 구동회로가 동작할 때 생기는 전력손실로서, 일반적으로 50~100mW 정도이다. 예를 들어 장치의 전력손실이 12mA에 해당하는 경우, 부가 장치의 전력손실은 12mA×5V = 60mW 가 되며, 전체적인 전력손실은

전체적인 전력손실 = 40mA×1V×(출력하는 LED의 수) + 60mW

로 된다. 단, 이 장치의 V_{CE}는 규정된 전류범위 내에서 동작할 수 있도록 저항을 통하여 조절한다.

라) 색유지 제어회로

색유지 제어회로는 백색 LED를 이용한 조명 전구에 있어서 백색 LED가 가지고 있는 광학적 특성, 즉 특정한 선스펙트럼을 갖게 되어 연색성이 떨어지는 단점을 보완하기 위하여, RGB LED의 색을 혼합하여 완전한 백색을 만들기 위한 회로이다.

그림 22에 보이는 Multicolor LED 구동회로는 외부의 sensing 회로가 검출한 신호를 A/D변환한 후에 마이크로컨트롤러를 이용하여 RGB LED의 전류를 스위칭을 통해 제어하여 백색을 만든다. 전류제어는 RGB LED 각각의 전기적·광학적 특성을 고려하여 PWM방식으로 RGB LED를 통하여 흐르는 전류량을 조절하여 백색을 만드는 방식을 사용한다. 이러한 색유지 제어회로는 마이크로컨트롤러를 이용하

여 LED를 제어하기 때문에 광색 가변을 통하여 full color 구현이 가능하다. 이러한 회로는 미국의 Color Kinetics사의 특허 내용으로서, 다른 디스플레이 회로에서도 볼 수 있다.

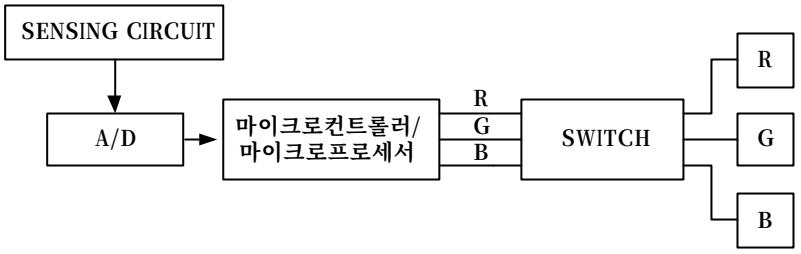


그림 22. Multicolor LED 구동회로

마이크로프로세서를 이용한 제어회로는 조명용에서보다 디스플레이용으로 많이 개발되어 있다. 그러나 조명용 LED 램프 제어회로는 LED의 전기적·광학적 변화를 고려하여 설계하여야 한다는 점에서 디스플레이 제어회로와는 다른 면이 존재하게 된다. 디스플레이용 제어회로는 LED의 특성에 대한 회로의 설계보다는 LED를 연출하는 부분에 중점을 두고 설계하는 반면, LED 램프 제어회로는 LED의 특성에 맞는 회로를 구성하도록 한다.

마) 정전압·정전류회로

이 회로는 부하에 흐르는 전류나 전압을 피드백 받아서 비교기에 의하여 일정 전압이나 전류와 비교하도록 하여 부하에 흐르는 전류나 전압을 일정하게 한 것이다. 부하에 입력으로 들어오는 전압이나 전류의 조절은 스위칭에 의하여 이루어진다.

전압·전류 regulator는 공급되는 전압이나 부하의 변동에 영향을 받지 않고 일정한 전류나 전압을 유지함으로써 과전압이나 과전류를 방지한다. 또한 LED 램프의 전력 손실을 감소시켜 LED 램프의 온도특성을 향상시킨다. 기본적으로 전체 LED array에 하나의 regulator가 연결된다. LED는 전류제어 소자이기 때문에 전압 regulator회로는 LED에 직렬이나 병렬 또는 직·병렬로 전류제한 저항을 연결하여 사용하여야 한다.

① Shunt regulator

이 경우에는 부하와 직렬로 전력저항이 연결되어 있다. 전력저항 값은 입력전압의 최소값과 부하의 최대값, 그리고 무부하로 될 경우의 전류에 의하여 결정된다.

높은 입력전압이나 낮은 부하에서 비교기와 트랜지스터가 연결된 회로를 통하여 흐르는 전류는 증가하게 되고 이러한 증가 때문에 부하의 전류나 전압을 일정하게 유지하기 위하여 전력저항의 전압이 감소하게 된다. 즉, 부하에 흐르는 전류가 감소하게 된다. 이러한 방식으로 전류나 전압의 진동을 알맞게 유지시킨다.

② Sense Pass회로

이 회로는 입력전압 값이 높아지면 비교기와 트랜지스터가 연결된 회로의 전압값은 부하전류나 부하전압을 유지하기 위하여 감소하게 되며, 입력전압 값이 떨어지면 반대로 증가하여 어느 정도의 전류나 전압의 변화를 감소시킨다.

③ Switching regulator

다양한 duty cycle에서 매우 높은 주파수로 ON/OFF의 스위칭동작에 의하여 동적 부하의 값을 조절한다. 이러한 동적 부하는 전기적인 에너지를 축적하는 커패시터나 인덕터 또는 둘 모두에 전력을 공급하게 된다. 이러한 에너지 축적소자는 부하에 다시 전력을 공급하게 된다.

Switching regulator는 다른 두 회로보다 아주 높은 전력 효율을 제공한다. 그러나 높은 스위칭과 많은 소자를 사용하기 때문에 높은 EMI를 발생하는 문제를 가지고 있다.

전류 regulator는 전체 array 전류가 전류 regulator의 동작영역 안에서 동작된다면, 공급전압이나 온도, 순방향전압에 독립적이다. 반면에, 전압 regulator는 LED array에 공급되는 순방향전압이 전압 regulator의 동작영역 안에서 동작된다면, 공급전압의 변동에 독립적이다. 그러나 주위 온도변화와 다른 순방향 전압이 사용되면 LED array를 통하여 흐르는 순방향 전류에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 회로의 응용은 LumiLeds사의 기술 내용으로 이를 적용한 제품이 상품화 되고 있다.

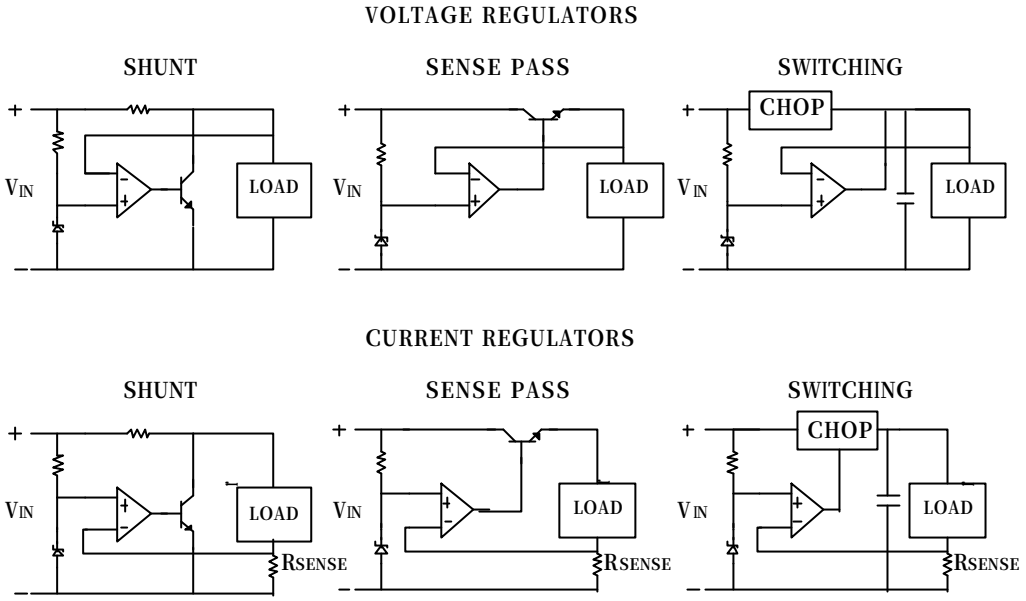
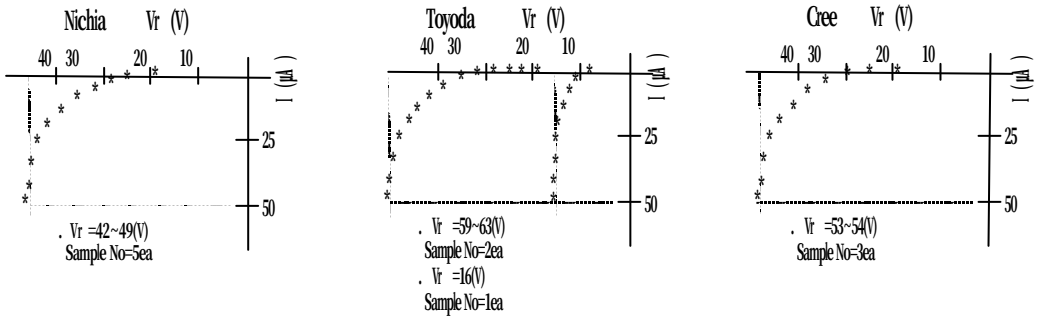


그림 23. LED 신호용 램프를 위한 구동회로 다이어그램

3) LED 소자 신뢰성

가) 품질향상 방안

LED 소자 신뢰성과 관련하여 최근 가장 큰 이슈로 대두되고 있는 I_r, V_f에 관하여는 선진 생산업체를 제외하고는 V_f개시 전압이 -5[V]에서 시작되고 있으며, Passivation 유무와는 무관한 경향을 보이고 있다. 따라서 V_f의 근본적인 개선 (Point/Line defect로 인한 Dislocation elongation 차단)을 위한 Buffer layer, QW 성장시 우선적 품질 향상이 필요할 것으로 사료된다.



* I_r측정조건: CW 5[V] 인가 시 흐르는 역전류, V_f측정조건: 역전류 50[㎂] 발생시 인가된

전압

나) 신뢰성 평가 위한 샘플 테스트 항목

※ 측정근거 : AQL1.0 보통검사 적용항목 : Breakdown Voltage(V_{br}), ESD Level

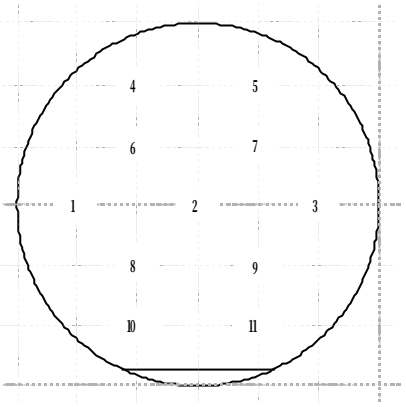


그림 24. Sample 측정 위치

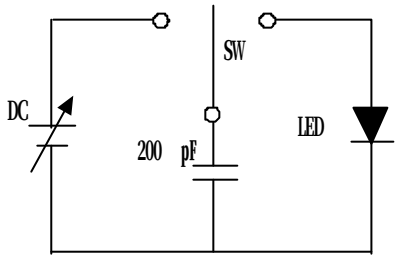


그림 25. 측정 회로

① Breakdown Voltage (V_{br})

- 전압인가 형태 : Continuous Wave 0.0 ~ 30.0[V]
- Reverse Current Measure Scale : 0.0 ~ 100.0[㎂]
- Target Value : V_{br} > 25[V] at 50[㎂]

② ESD Level

- Condition : 200[pF], 0[Ω], Forward Surge
- Pulse Period : 0.4[sec], 3 Pulses supply at 50[V] Step
- Failure Criteria : ESD Level > 300[V]

V_f[V], P_o[mW], I_r[㎂], V_{br}[V] < Initial Values x 20(%)

③ High Temperature Storage

• Test Conditions : +110[℃], 200[hr] (Storage종료 후 20[hr] 상온방치)

• Failure Criteria : V_f[V], P_o[mW], I_r[㎂], V_{br}[V] < Initial Values x 20(%)

④ Low Temperature Storage

• Test Conditions : -40℃, 200[hr] (Storage종료 후 20[hr] 상온방치)

• Failure Criteria : V_f[V], P_o[mW], I_r[㎂], V_{br}[V] < Initial Values x 20(%)

⑤ Temperature Cycle

• Test Conditions : -40[℃](30[min]) ⇒ +25[℃](30[min]) ⇒ +110[℃](30[min])로 20[cycle] (Storage종료 후 20[hr] 상온방치)

• Failure Criteria : V_f[V], P_o[mW], I_r[㎂], V_{br}[V] < Initial Values x 20(%)

⑥ Damp Heat

• Test Conditions : Storage Temperature +60[℃], 90%RH, 100[hr] (Storage종료 후 20[hr] 상온방치)

• Failure Criteria : V_f[V], P_o[mW], I_r[㎂], V_{br}[V] < Initial Values x 20(%)

⑦ High Temperature Operation

• Test Conditions : +90[℃], 1000[hr] (Test종료 후 20[hr] 상온방치)

• Failure Criteria : V_f[V], P_o[mW], I_r[㎂], V_{br}[V] < Initial Values x 20(%)

⑧ 개발 제품의 사양

• Passivation : 적용

• 측정조건 : Forward Bias : CW 20[mA], I_r : Reverse Bias V_r 5[V]

4) Packaging 문제

LED에 있어서 없어서는 안될 중요한 부분인 패키징 과정은 LED의 신뢰성을 결정해 주는 중대한 작업과정이다. White LED에 있어서, 형광체가 색깔과 수행능력을 결정해 준다. 뉴욕의 한 조명연구기관은 5mm의 White LED는 현재 의존도면에서 조명으로서의 역할에 손색이 없다고 발표했다. 조명산업에 주어진 일반적인 인식은 이러한 LED 램프들이 100,000 시간동안 작동될 수 있느냐 하는 것니데, 한 조명연구기관은 과도한 빛의 손실은 아마도 LED안에 칩을 감싸고 있는 에폭시에 의해 빛의 전달이 줄어들고 형광체의 품질을 떨어뜨리는 데 있다고 밝혔다.

Gentex는 최근 LED의 휘도를 10배나 증가시킬 수 있는 패키징 방법을 발표했는데, 더욱 더 흥미로운 사실은 이 패키징 방법으로 White LED의 빛의 강도가 더욱 더 증가했으며 앞으로 더 효율적인 제품들을 만들 수 있다는 것이다. 특허의 이유

가 된 이러한 세부적인 패키징 방법은 현재는 비밀 유지가 되어 있다. 그러나 Gentex는 곧 일반 LED에 적용될 것이며, blue 나 green, amber 등을 더욱 더 나은 휘도를 가질 수 있는 소스를 통해 생산할 것이라고 말했다. 이러한 제품들은 각종 가전제품, 자동차의 조명기구, 건축용 램프, 비행기의 내부 조명등으로 적용될 것이다.

5) LED 조명제품 규격화 및 측정기술 표준화 방안

가) 조명제품 규격화 동향

LED 자체의 낮은 에너지 소비, 유지·보수, 수명, 환경친화성 등의 우수한 성능을 고려하여 조명광원으로서 기존 조명광원의 대체를 위한 연구·개발 및 상품화가 진행중이다. LED 소자의 기술개발력은 계속 향상되고 있지만, 실제 LED 조명기기를 상품화한 미국, 일본, 유럽국가에서도 아직 LED 조명기기에 대한 규격화에 대한 연구가 진행중이다.

① 국내

국내에서 LED를 이용한 기술분야는 디스플레이, 표시소자 등에 사용되고 있다. LED 소자개발 및 생산 기술은 선진 외국에 비해 떨어지나 광학적 배치나 회로설계에 있어서는 상당한 기술력을 가지고 있으며, 산업체, 학계, 연구소 등에서 연구개발이 활발히 진행중이다. 특히 LED를 이용한 제품 중 신호등의 백열전구를 LED 램프로 대체하기 위한 제품개발 및 규격화가 활발하게 진행되고 있다. 1997년 LED 교통신호등 보급 타당성 연구를 시작으로 한국에너지 기술연구소, 도로교통 안전관리공단의 주관으로 규격 및 표준 시스템 연구, 국내 보급 기반 구축을 위한 시범운전, 평가 및 제도화가 진행중이며 1999~2001년까지 규격 제정 계획을 위한 방안을 세워놓고 있다. 이처럼 최근 LED에 의한 조명기술의 개발로 5~10년 후면 효율, 밝기면에서 현재 사용되고 조명기구들을 대체할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 이를 위해 LED를 이용하여 백열전구나 형광램프를 대체하기 위한 LED 조명기기의 제품화와 규격화에 대한 계획이 수립될 필요성이 있다고 판단된다.

② 국외

미국의 전체 전력 소비 중 20%가 조명에 사용되고 있으며 전세계적으로 그 비율은 비슷하다. 이 때문에 조명에 사용되는 전력소비를 절감시키기 위한 에너지소

비 효율 향상에 각국이 큰 관심을 가지고 있다. 특히 세계적인 조명회사들이 앞장서서 LED를 이용한 조명기기의 제품화 및 연구개발을 활발하게 진행시키고 있으며 이에 따른 조명기기 제품에 대한 규격화가 진행되고 있다.

1997년 CIE(국제 조명위원회) 심포지엄에서는 LED를 이용한 조명광원의 측정기술, 측정 장치, 측정 방법 등에 대한 논의와 이를 바탕으로 LED 조명제품의 규격화에 대한 논의가 이루어 졌다. LED를 이용한 제품 중 규격화가 가장 활발하게 진행되고 있는 LED 신호등의 경우 미국, 독일, 스웨덴 등 여러 나라에서 실용화 및 규격화가 진행되고 있다. 조명기기의 경우, 크기, 광도, 휘도 등 광학적 특성, 물리적·전기적인 규정 등의 평가기준 및 평가항목을 설정하여 규격제정을 제시한 바 있다.

나) 규격제정의 원칙

① 대체성

기존 조명기기의 대체용으로 제작 설치하여 조명기구의 변형 없이 램프 교체만으로 기존 조명기기의 기능을 발휘할 수 있는 대체성을 고려하여야 한다.

② 안정성

LED 조명기기를 실내 및 실외에 설치하여 사용하기 위해서는 제품의 안정성이 중요하다. 제품의 안정성을 확보할 수 있는 실험 항목, 기준값, 실험 방법, 인증 절차 등에 관한 내용 규격화가 필요하다.

③ 활용성

기존의 조명기기에 비하여 에너지 소비, 유지보수, 수명 등의 측면에서 상당한 효과를 얻을 수 있도록 규정할 필요가 있다. 전기·전자적 특성, 빛의 밝기(광도, 휘도), 색도 등 최대 기능을 구현할 수 있는 기준값을 정하여야 한다.

④ 현 기술수준의 적합성

국내 LED 제조기술, 회로설계 수준, 전기·전자 기술, 광학장치 제작기술 등의 수준을 고려하여 그 적합성을 판단한다.

⑤ 실용성

LED 조명기기는 설치 후 반영구적으로 사용이 가능하고 광도, 색도의 변화에 대한 유지·보수 및 보증기간 등을 규정하여 실용성을 극대화 시킨다.

⑥ 환경친화성

온도 상승에 따른 LED의 정상 작동 여부 및 전자파 방출 규제 및 실험방법 규정한다.

다) 규격제정을 위한 특성평가 항목

LED 조명기기의 규격제정을 위한 특성평가 항목을 설정하여 기존 조명기기의 특성을 비교한 예를 정리하였다. 기존 조명램프(백열등)과 LED 램프의 전기·광학적 특성, 규격의 적합성 그리고 안정성 측면을 비교한다.

표. 일반 조명기기와 LED 조명기기의 특성 비교

구 분	백 열 등	LED 조명기기
내구수명	1,500-2,000 hr	반영구적(10,000 hr 이상)
유지비용	과다	적음
전력소모	0.5W-1,500W (종류다양, 크다)	적음
환경친화성	열 많이 발생 봉입가스 노출로 공기오염	자체 발열이 적음 환경친화적
외부전압변화	전압 5% 변화에 광속 15~20%, 수명 1.5~2배로 변화	대처 능력 강함
설치비용	적음	많음
열저항	강함	약함
광학적원리	(반)투명, 색유리 및 필터 사용	색상: 단일색, 풀칼라 가변
안정성	기술적 안정성 공인	기술적 안정성 인증(외국) 국내 인증 필요

라) 규격제정을 위한 특성 측정 항목

현재 사용중인 조명광원의 대체가 가능해야 하므로 조명분야 규격 및 외국의 LED 조명기기의 규격안 제정과 관련된 자료를 바탕으로 규격서의 주요 항목의 기준값을 정하여야 한다.

※ LED 조명기기의 특성 측정 항목의 예

광도[cd], LED type, LED 개수, 작동전압[V], 소비전력[W], 수명[hr] 등 LED 조명기기에 따른 크기, 성능 및 용도에 따른 평가항목을 바탕으로 측정한다.

■ LED 전기적·광학적 특징

① LED 소자 특성

발 광 색(Color)	원소화합물결정 종류	피크 발광파장[nm]	효율
Red	GaAsP/GaAS	650	0.35
	GaA1As/GaA1As	660	5.3
	GapZnO/GaP	700	3.0
	GaA1As/GaAS	660	2.0
Green	GaAsP/GaP	565	4.3
	GaPN/GaP	555	1.3
Blue	SiC/SiC	480	0.02
	SiC/사파이어	490	0.14

② LED의 다양한 스펙트럼 분포도

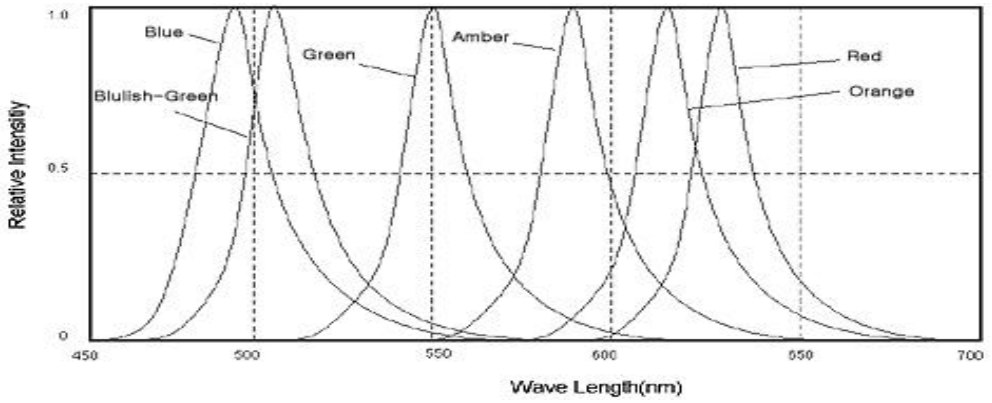


그림 26. 각종 LED 스펙트럼 분포

③ Absolute Maximum Rating (Ta=25 °C)

측 정 항 목	기호	색 깔				단위
		Red	Green	Blue	White	
Forward Current	I_f	50	30	30	30	mA
Power Dissipation	P_d	125	120	125	120	mW
Pulsed Power Current	I_{fp}	-	-	100	100	mA
Reverse Voltage	V_r	4	5	5	5	V
Operating Temperature	T_{opr}	-35~85	-30~80	-25~80	-30~70	℃
Storage Temperature	T_{stg}	-40~120	-40~100	-30~100	-30~80	℃

④ Electrical/Optical Characteristics. (T_{amb}=25 °C, Angle=30°)

측 정 항 목		색 깔				단위
		Red	Green	Blue	White	
Luminous Intensity	Typ	2400	1200	550	800	mcd
	Min	1800	680	360	400	
	I_f(mA)	20	10	20	20	
Forward Voltage	Typ	1.97	3.3	3.5	3.5	V
	Max	2.3	3.7	4.0	4.0	
	I_f(mA)	20	10	20	20	
Reverse Current	Max	50	10	50	50	μA
	V_r(V)	4	5	5	5	
Wavelength Characteristics	$\lambda_{d,Max}$	619~627	500~510	465		nm
	$\lambda_{d,Min}$	629~637	495~505	476		
	$\Delta\lambda$	20	35	35		
	I_f(mA)	20	10	20	20	

■ 측정방법

① 측정조건

온도(Ta = 25 °C), 습도 등 주위환경에 대한 기준을 정한다. LED 소자 자체의

특성을 비교 평가하여 그 기준을 정한다.

② 측정기기 및 장치

측정 전원, 전기적 특성 측정기, 광도 측정, 발광 스펙트럼 측정용 분광기등 LED 조명기기의 특성을 충분히 측정할 수 있는 측정장비를 사용한다.

③ 측정조건에 관한 기본 요구사항

측정시 측정치에 영향을 받지 않는 조건하에서 측정한다.

④ 일반 주의 사항

측정시 측정자에 의한 오차범위를 최소화한다.

⑤ 전기•광학적 특성 측정

입력전압, 방사각, 수명, 소비전력 및 광도, 외부충격이나 진동에 영향, LED 소자특성 등 LED 조명기기의 구조적 요건, 광학장치, 물리적·기계적·전기적 요건 등을 측정한다.

⑥ 렌즈

LED 조명기기의 크기와 모양을 고려하고 광도와 색도에 영향을 주지 않아야 한다. 휘도 및 광도의 효율 증가 등 그 이용 범위를 명시한다.

⑦ 색도(Chromaticity)

국제조명위원회(CIE)에 정한 색상의 색도는 적, 녹, 청의 함량에 따라 x, y, z 의 숫자로 주어진다. 이를 바탕으로 일반 조명용으로 사용 가능한 최대 , 최소의 색도값을 표현한다.

⑧ 광도(Luminous intensity)

상온에서의 LED 조명기기의 최소 광도값을 명시한다. LED 조명기기의 작동온도범위에서 작동할 때 광도값은 ±10% 이상 변화를 가져서는 안된다.

⑨ 환경적 측면

LED 조명기기의 전기·전자 부품을 보호하기 위한 내진성 및 내수성측면을 고려한다.

⑩ 전기적 특성

전압 범위와 전류범위를 정하고 허용범위 내에서 광도의 변화값을 정하고 과도전압방지, 구동 회로, 전자파 방출 규제 등 전기적인 측정범위를 정한다.

- LED 구동회로
- LED 온도보상회로
- 광출력 보상회로
- 색유지 제어회로
- 정전압·정전류회로

⑪ 품질보증

신뢰성 시험(가속시험(AT), 수명시험(LT), 신뢰도 성장 시험(RGT), 신뢰도 적합시험(RCT), 환경시험(ET), 환경스트레스 크리닝(ESS) 등)을 통한 품질보증 및 품질보증기간이 설정되어야 한다.

마) 규격화 연구 수행 절차

현재 수행되고 있는 LED 신호등 규격화 연구 수행 절차를 참고하도록 한다.(그림 27)

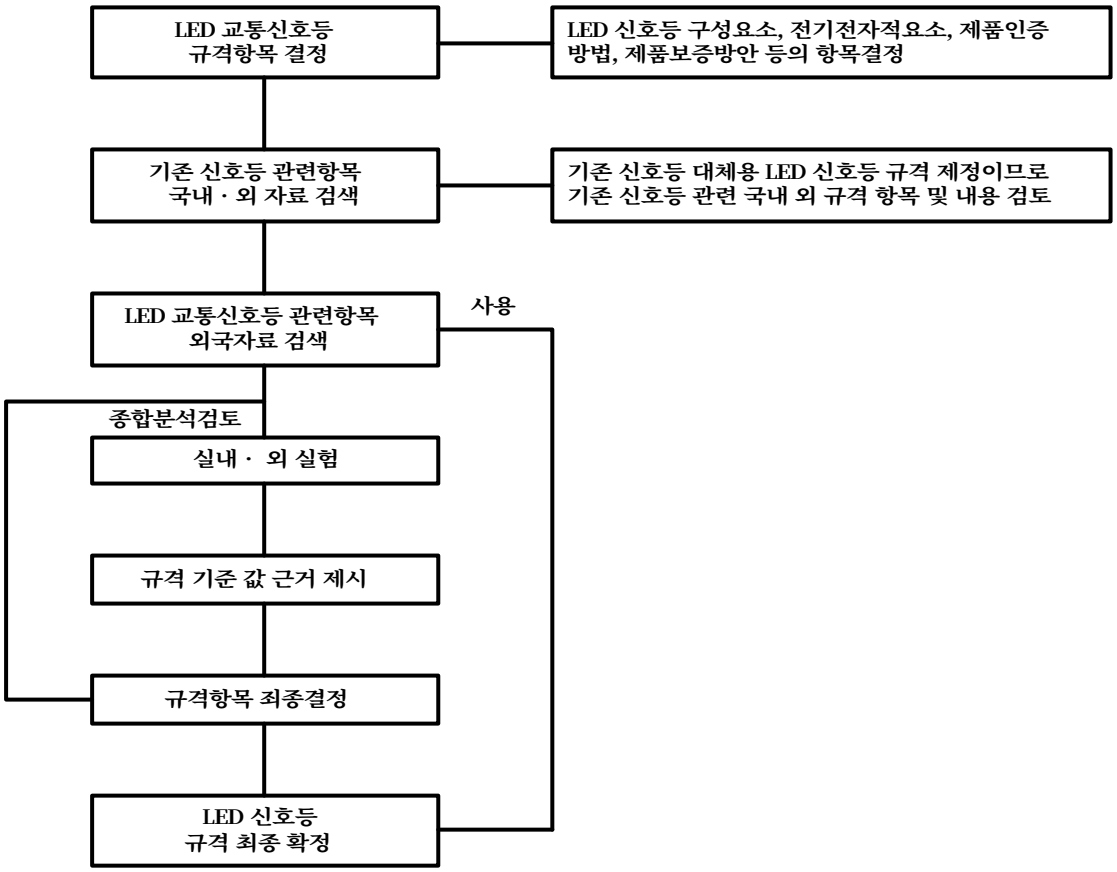


그림 27. LED 신호등 규격화 연구 수행 절차

라. 시장 동향 및 전망

1) 가시 LED 시장

일반적으로 가시용 LED는 저휘도와 고휘도(1 cd 이상)와 같이 두 범주로 나눌 수 있다. Strategies Unlimited 조사에 따르면 LED 시장의 77%를 일반 LED가 차지하고 있는데, 이것은 수 mcd에서 수십 mcd의 광도값을 가지며 휴대전화용, 장비의 On/Off의 표시기, 디스플레이용으로 사용되고 그밖에 통신용(컴퓨터, 네트웍 장비)에 이용되고 있다. 이 시장은 2003년까지 2억 9백만달러 규모로 매년 7.1%의 성장률을 나타내고 있다.

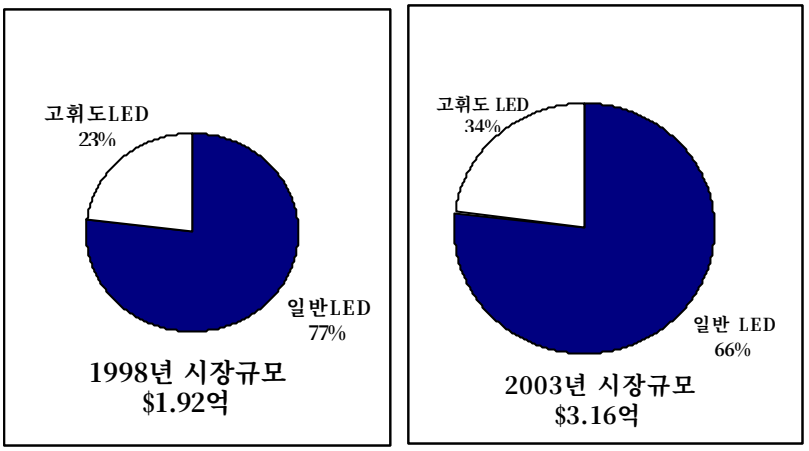


그림 28. 가시 LED 시장 규모

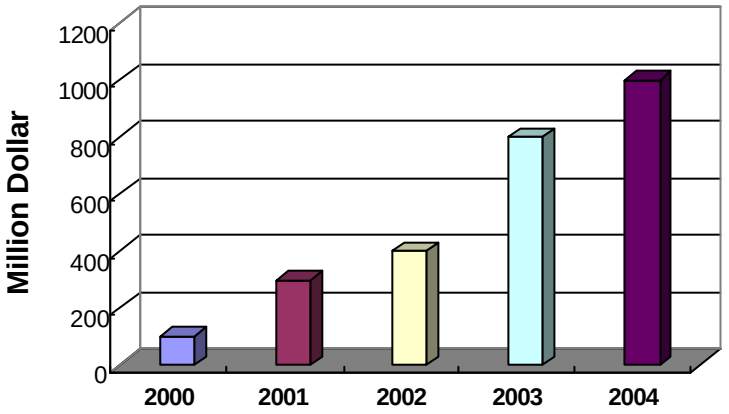


그림 29. 연도별 가시 LED 시장 예측

한편, 고휘도 LED의 경우 1998년 판매량은 440만 달러에 달해 60%의 증가를 보였다. 고휘도 LED의 성장률은 일반 LED의 두배에 달하는 19.5%의 증가율을 계속하여 2003년에는 1억 달러 약 34%의 시장성장률을 전망하게 한다. AlGaAs, AlInGaP, InGaN를 기본구조로 소비전력이 적으며 신뢰성, 무게 등 많은 이점이 있어 Full Color Sign, 비행장 활주로, 광고용 디스플레이, 교통 신호등, 자동차용 램프로 고휘도 LED의 사용이 증가하고 있다.

고휘도 LED의 효율이 이미 백열전구 수준을 넘어서고 있어서, 교통신호등을 LED로 교체할 경우 일반 백열등의 20%정도의 전력을 사용하므로 에너지 절감이

가능할 뿐만 아니라 5년 이상 긴 수명이 보장된다.

자동차용 LED 램프 시장은 잠재력이 매우 크다. Siemens사는 Cree사에 개발한 청색 LED를 이용하여 독일의 자동차 회사에 내부 조명용으로 공급하고 있다. 또 다른 큰 시장은 자동차의 정지등 분야인데, SnapLED의 패키지로서 일반 LED의 반만 필요할 정도로 Agilent사(구 HP)가 이 시장을 거의 독점하고 있다.

미국에서는 유지비용이 적게 드는 LED신호등 시장에 큰 관심을 가지고 있으며 1998년에는 캘리포나아의 많은 도시에서 평균 200달러의 비용을 들여 LED 신호등으로 교체했다. 또한 오렌지색 LED를 이용한 보행자용 신호등 미국에서 사용되고 있다. 일본에서는 LED 신호등의 사용은 늦지만 광고용, 풀컬러 디스플레이용으로 큰 인기를 얻고 있으며, 내수시장을 진작하기 위해 교통 프로젝트로서 실외용 LED가 사용되고 있다.

향후 5년동안(1999-2003)에 조명과 디스플레이 부분의 LED 시장은 현재의 19억불 규모에서 31억 6천만불 규모로 성장할 것이다. Strategies Unlimited의 조사에 따르면, 가시용 LED 시장은 매년 10.4%씩 확장될 것으로 전망한 바 있으며, 고휘도 LED에 있어서 새로운 제품의 급격한 성장과 함께 기존 제품의 안정적 성장에 따른 지속적 이익 창출을 예견했다.

일본은 전세계 모든 가시용 LED 시장의 54%를 차지하고 있으며, 총 판매가격에 의한 전세계 10개의 회사들 중에 7개의 업체가 랭크되어 있다. 그 중 대표적인 것이 Nichia사이다.

Strategies Unlimited에 따르면, 일본이 차지하고 남은 이외의 세계시장은 아시아 태평양 지역과 미국과 유럽사이에서 공유한다. 그 중 Hewlett-Packard는 미국의 업체들 중 최고일 뿐만 아니라, 세계적인 LED 회사이다.

아시아·태평양지역에서는 대만에 본사를 두고 있는 Lite-On Electronics사가 Everlight, Kingbright와 많은 수의 다른 LED 회사들을 이끌고 있으며, 한국에서는 Optel사와 삼성 그리고 LG이노텍이 주목받고 있다. 또한 Siemens와 Vishay Telefunken은 세계 시장의 10%를 책임지고 있는 유럽의 중요한 공급자들이다.

고휘도 LED의 발전을 발판으로 앞으로의 LED 시장은 더욱 더 확대될 전망이다. 차세대 조명의 혁명이라고도 불리워질 만큼의 LED의 효율과 안정성에 대해서는 어느 누구도 의문을 제기할 수 없을 정도가 되었다. 이제는 LED가 단순한 표시용 반도체 소자에서 벗어나 조명의 제 2의 혁명을 몰고 올 것이다. 세계적인 조명회사 General Electric, Philips 그리고 Osram 사들이 각각 LED를 이용한 조명기구

생산에 박차를 가하고 있는 것을 보면 앞으로 상당한 조명기기가 LED 조명제품으로 대체된다고 봐도 과언이 아닐 것이다.

2) 일반 조명용 LED 램프 시장

일반 조명용으로서 백색 LED의 개발이 큰 인기를 얻고 있다. 백색 LED의 효율은 백열드의 3배, 수명은 10배 길다. 그러나 문제점은 일반조명용으로 사용하기에는 너무 비싸다. 일례로서, 기존의 등기구에 장식조명용으로 설치하는데 비용이 30~60 달러가 든다. 현재의 일반조명기구 보다 가격이 비싸지만, 앞으로 5년내에 조명용으로 적용이 가능할 것이다.

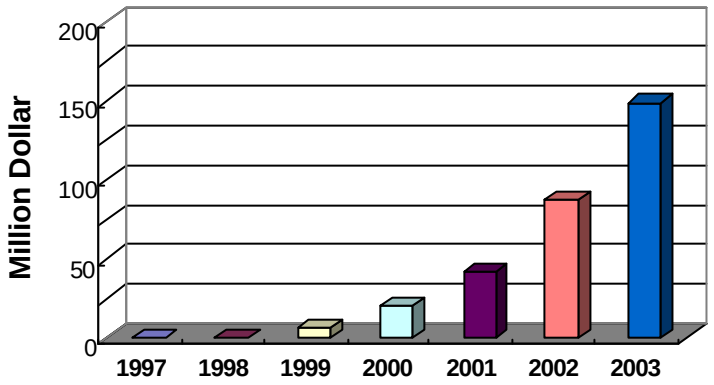


그림 30. 일반 조명용 LED 시장 동향 예측

현재 형광등 및 백열전구로 대표되는 조명용 벌브 시장은 세계적으로 11조원 규모와 국내 조명시장에서 3000억원 정도로 평가되고 있다. 또한 일본의 경우, 2010년에 전체조명의 13%를 대체하고, 원유소비 7%를 절감하며, 국내의 경우, 역시 2010년에 에너지절감 3.5조원, 발전소 건설비 8조원을 절감할 수 있는 것으로 기대된다. 그러나 LED를 이용하여 이 같은 시장에서 경쟁력을 키우기 위해서는 LED 소자의 광출력 향상이나 형광체 코팅 기술과 같은 많은 기술적인 문제를 극복하여야 한다.

바. 관련 기술수준 및 경쟁력 전망

1) 국외 기술수준

① GELcore: GE lighting과 EMcore 사와의 조인트 벤처 기업으로 자동차 및 디스플레이용으로 고휘도 LED와 청색 LED를 조합한 백색 LED로 세계시장에 진출할 전망이다. 현재 효율, 연색성, 광학적 설계 및 온도 특성의 개선을 위한 연구가 진행중이며 수년 내에 그 성과가 나타날 것이나, 아직까지 실내, 실외용 LED 램프의 응용이 부족하다.

② Osram Opto Semiconductors: Osram과 Infineon 사와의 조인트 벤처 기업으로 LED, LD, IR LED와 최근에는 디스플레이용 사업에 역점을 두고 있다. OS-LM이라는 백라이트용으로 광고용 패널에 이용하는 제품을 생산하고 있으며, 앞으로는 15-20%의 지속적인 성장이 이루어 질 것이다. 최근 세계 최초로 LED를 채용하여 실내 전반 조명을 실시한 시범 시설을 선보인 바 있다.

③ LumiLeds Lighting: Philps와 Agilent 사와의 조인트 벤처 기업으로 적색, 청색, 녹색, 백색 LED를 제작하고 다양한 광원 및 조명 시스템을 개발 제작하고 있으며, 자동차 및 LED의 실내외에 응용, 교통 신호등에 개발을 꾀하고 있다.

그림 31. Osram사가 실현한 LED Room lighting

2) 개발 사례 및 주요 응용 분야

LED 조명회사로서 가장 대표적인 LumiLeds와 LEDtronics, Advancde Lighting, Holly Solar, Mule Lighting 순으로 각 회사의 개발 사례를 살펴본다.

가) LumiLeds Lighting

LumiLeds Lighting은 Agilent Technologies & Philips Lighting의 합자회사로서 일반조명용 실내조명등에서부터 자동차 후미등 등 다양하며, 홈페이지를 통해 관련 내용을 비교적 상세히 설명을 해놓고 있다. LumiLeds의 조명제품의 광학적 설계를 살펴보면, 아래 그림에서와 같이 SMT(Surface Mount Technology)-Type의 LED인 캡슐 모양의 구조로 고휘도 LED 위에 두 개의 렌즈를 결합하여 PCB 보드에 배열해 놓은 형태로 18개의 LED를 사용시 휘도값은 200[lm], 소비전력은 12[W]를 나타낸다. 신호등과 자동차 제동등/후미등에는 LED를 평면형 구조로 배치하여 사용하고 있으며, LED 신호등에 이어 차량용 제동등/후미등에 실질적인 적용을 하고 있다. 이와 같이 LumiLeds의 조명응용분야를 다시 정리해 보면 크게 다음과 같이 5개의 분야로 나누어 개발하고 있다.

그림 32. LumiLeds Lighting 제품 예

① Custom Lighting: 하트모양의 구조로 컴펙트한 형태로 구성되어 있다. LED 배치 개수는 1개, 2개, 12개, 18개를 기본으로 하고 있다.

② Signaling: LED를 이용한 조명기기로서, 효율성을 검증 받은 LED를 이용한 신호등으로 많은 연구 개발이 이루어져 있으며, 여러 국가에서 에너지 절약과 장수명의 장점에 시범적으로 설치를 하고 있다. LED 신호등을 사용함으로 인한 절약을 쉽게 알아 볼 수 있도록 홈페이지 상에서 쉽게 계산 가능하도록 하여 효율성을 강조하고 있다.

③ Automotive Lighting: 기존에는 차량의 내부에 LED를 설치하여 계기판을 보기 위한 조명으로 사용되었으나, 지금은 차량의 제동등, 후미등 등 다양하게 응용하여 사용하고 있다.

④ Signage & Contour: 건축물 외벽 조명이나 광고 싸인용 조명으로 네온등을

이용하고 있으나 전력소비량과 수명이 짧은점을 개선하기 위해서 고휘도 LED를 이용한 방법을 제안하고 있다.

⑤ Illumination: 실내·외 조명등의 제품을 선보이고 있으며, 앞으로 터널조명, 도로조명, 스포트라이트 등 다양한 응용분야를 제시하고 있다.

나) LEDtronics

LEDtronics는 16년 이상의 개발기술을 가지고 있고 LED를 이용한 조명기기에 중점을 두고 개발하고 있으며, 활발한 인터넷 사업을 펼치는 곳으로 홈페이지를 통해서 LED 조명기기를 상세한 설명과 Spec을 제공하여 판매하고 있다. 앞에서 설명한 LED의 광학적 배치 유형에서 설명한 내용들이 LEDtronics에서 홈페이지를 통해서 공개하는 자료들로써 유형에 따른 모든 부분을 제시하고 있다. 또한, 다양한 응용분야로 Based LED Lamps(일반조명등에 사용하는 형태), Panel-Mount LED Lamps(계기판/지시조명에 사용하는 형태), PCB LED Lamps(회로 동작상태의 지시등 형태), RGB LEDs(색가변이 가능하며 dot-matrix의 형태), Discrete LEDs, Safety/Emergency Products(손전등, 안전복 등에 사용하는 형태) 등에 LED 조명을 적용하고 있으며 그 대표적인 조명 적용분야는 다음과 같다.

① Task Lighting & Spotlight Light

② Beacon Light(Safety/Warning Lights)

③ Traffic Light(Signal/Warning Lights)

④ Miniature Light

⑤ Solid-State Light

⑥ Exit-Sign Light & Flashlight

다) Advanced Lighting

Advanced Lighting(Lumeneering)은 다양한 백열전구형 LED 조명기기 뿐만 아니라 RGB LED 각각 1개씩을 하나의 모듈로 광색 가변이 가능한 직선형 형태의 조명기기와 백열전구형 LED 조명기기 등 다양한 구성으로 되어 있으며, LED 램프의 장점 중 하나인 열이 거의 없기 때문에 Bulb 표면이 기존 백열전구처럼 뜨겁지 않다. 아래 그림에서와 같이 다양한 Bulb 형태의 모델로 왼쪽 그림은 일반적인 LED Bulb 형태의 모델이고, 오른쪽 그림은 직선형의 LED Boards 형태의 모델을 생산하고 있으며, 발광색은 Red, Amber, Green, Blue의 종류가 있으며, 응용분야는

다양하다.

① Decorative Lighting

② Animated Signs

③ Scoreboards

④ Chase Lighting

⑤ Amusement Industry

⑥ Time/Temperature Signs

⑦ Message Centers

⑧ Display Lighting

⑨ Stage Lighting

LED Bulbs in traditional housings.

LED Strip-Lighting, Rotating Bulbs & LED Boards

그림 33. Advanced Lighting 제품 예

라) Holly Solar

Holly Solar의 특징적인 사항은 LED의 평면형 배치구조에서 다양한 구성을 나타내고 있다는 것이다. 여러 가지 배치형태에 따른 응용기술을 가지고 있으며, 3개의 White LEDs에 AA형 건전지 3개를 넣어 휴대할 수 있는 모델도 있으며, 6각형 구조의 LED 배치는 이를 최소 모듈로 하여 여러 개를 연결하여 배치 할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, LED를 배치한 면에 저항을 설치한 형태를 볼 수 있는데 이는 타제품과 다른 형태의 설계를 보여주는 부분이다. 이와 같이 아래와 같은 배치는 단순히 다양한 형태의 배치 패턴만을 갖는다는 의미가 아닌, 광학적 설계에 따른 LED 조명기기의 장점을 측정을 통해서 확인을 하여야 할 것이다.

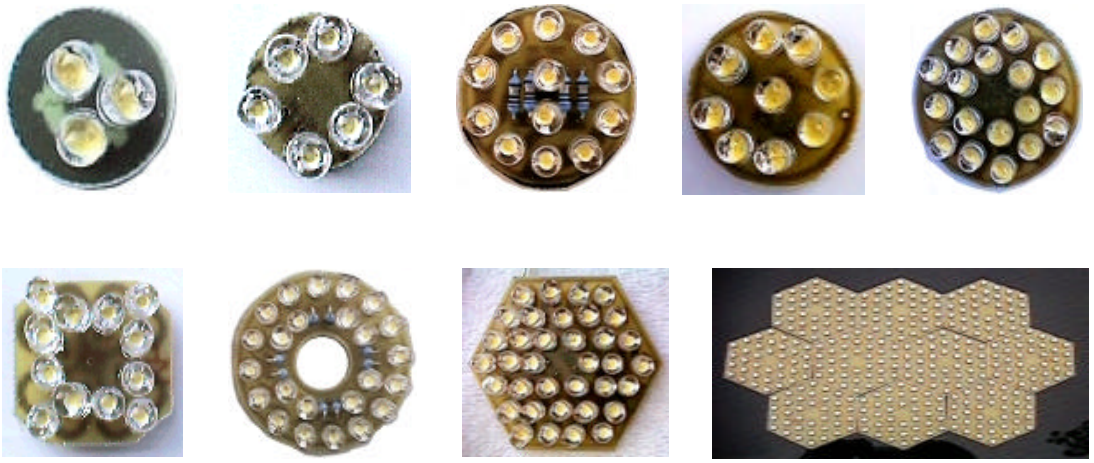


그림 34. Holly Solar 제품 예

마) Mule Lighting

Mule Lighting(Lightworld)이 개발한 제품은 백열전구형으로 사용전압은 110-130[V]이고, 360° 방사특성과 소켓의 형태는 에디슨 E-26 베이스를 기본으로 하며 소비전력은 1.9[W]의 제품을 생산하고 있다. 여러 가지의 색을 나타내는데, 이것은 LED에서 발광하는 색과 Bulb 자체의 색을 같게 하여 발광색을 강조하였다. 다른 특징적인 사항은 LED 조명기기의 Bulb의 형태가 에디슨형 백열전구에서 사용하는 유리 재질의 Bulb가 아닌 플라스틱 재질의 Bulb를 사용하였다는 점이다. 쉽게 분리할 수 있어 제조 공정작업이 쉬우며, 플라스틱 재질이라서 취급도 간편하다는 특징이 있다. 이 제품들은 호텔, 사무실, 박물관 등에 판매하고 있다. 앞으로 LED 조명기기의 Bulb 설계의 다양화 역시 중요한 과제이며, LED배치의 광학적 설계와 병행해서 이뤄져야 할 것이다.

그림 35. Mule Lighting 제품의 예

바) R&M Deese, Inc

LED 조명기기의 LED를 배치하는 광학적 설계뿐만 아니라 조명기구인 Bulb나 Connector방식 등의 연구가 있어야 한다. 가장 좋은 방법은 기존 조명등의 사용제품과 호환성을 갖는 것이라 할 수 있다. 다음 그림은 IBM특허 자료로써(출원인: R&M Deese, Inc., Anaheim, CA) LED 조명기기의 대표적인 백열전구 소켓과 호환이 되도록 기존 백열전구의 베이스를 이용하여 백열등을 대체하기에 손쉽게 하였다. 아래 그림은 원통형 구조의 LED 조명기기를 나타내고 있다. 왼쪽은 백열전구의 전체 그림을 나타내고 있으며, 오른쪽은 소켓부분을 일부 확대한 그림이다. 사용전압은 120[V]이며 회로 부분은 LED를 배치한 원통형 구조 내부에 설치되어 있다. 백열전구의 베이스를 이용한 LED 조명기기 중에는 Bulb를 사용하지 않고 단지 베이스 부분만을 이용하여 LED를 배치하는 방식의 컴팩트한 형태의 모델을 제시하기도 한다.

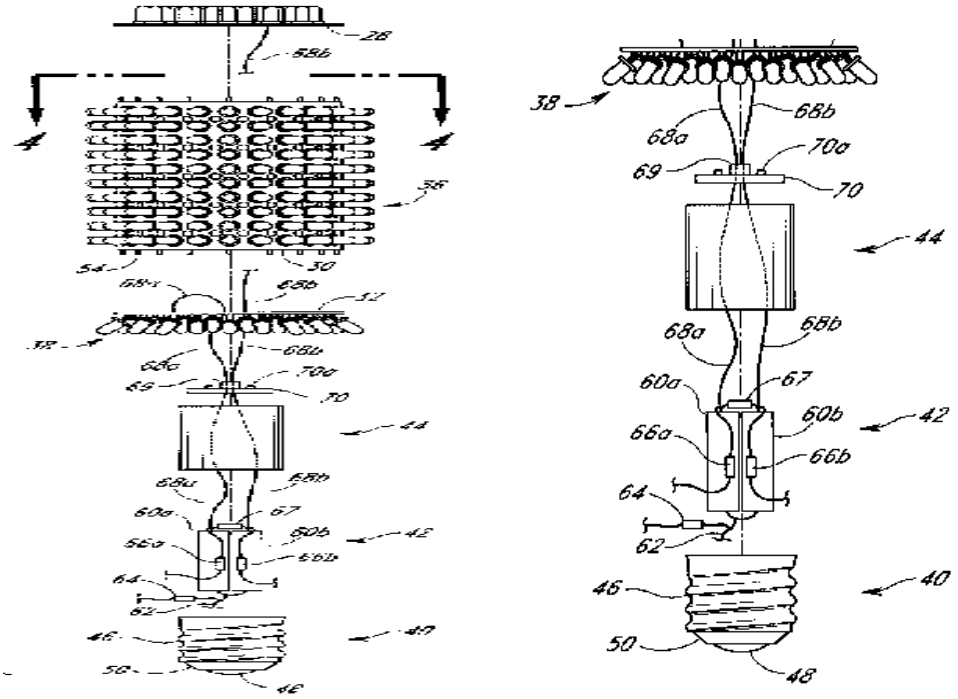


그림 36. R&M Deese, Inc 의 제품 예

3) 국내 기술수준 및 경쟁력 전망

국내의 조명산업은 어느 때보다도 환경의 심한 변화를 겪고 있으며, 변화에 대부분은 국내 조명산업에 대하여 부정적인 방향으로 향하고 있다. 현재 국내에 시설용 조명기구는 수입되고 있는 것이 적지만, 고가의 장식용 조명기구나 특수조명기구,

형광램프나 백열전구류의 광원에서는 상당량의 외국 제품이 수입되고 있으며 일반인이 쉽게 접할 수 있는 조명상점에서도 국산보다는 외산의 조명상품을 전면에 진열해 놓는 실정이다.

국내에서는 현재 Knowledge-On을 비롯하여 AUK 등이 대표적인 LED 생산업체이며, 그밖에 조명업체들은 외국에서 칩 및 램프를 직접 수입해서 판매하는 현실이다. 또한, 벅라이트 제조업체 우영은 Philips와 합작으로 LED응용 조명기기를 개발중이나, 국내 생산된 LED를 활용 못하는 단점을 가질 수 있다.

따라서 기술개발 잠재력이 우수함에도 불구하고, 비록 현재 상태에서는 외국 업체에 비해 경쟁력이 뒤지는 형편이지만, 이 기회를 활용하지 않으면 국내 조명업계는 상당수가 경쟁력 회복은 불가능하게 되는 한편, LED 생산업체는 칩 형태의 공급에 그쳐 보다 부가가치화된 제품생산기능을 고스란히 넘겨주는 형편이 될 것이다.

한편, LED 개발 및 특성 개선 등이 연색성이나 광속유지율과 같은 조명공학적 관점에서 이루어지지 못해 실제 적용시에 많은 문제점이 있다. 특히, 조명용으로 적합하도록 LED 특성을 대폭 개선할 필요가 있으며, 제품의 규격화 및 표준화 기술 확보가 필수적이다. 이를 달성하기 위해 아직 국제적으로도 준비 단계에 있는 LED 조명램프의 특성평가법을 개발할 필요가 있다. 그리고 외국의 조명업체-반도체업체의 Joint venture 전략에 대한 대비책을 세울 필요가 있다.

국외의 기술개발 사례를 조사한 결과, 세계의 조명시장은 고휘도 LED의 개발로 조명기기에 응용이 보다 쉬워졌으며, 앞으로의 조명시장은 다양한 고휘도 LED 조명제품이 좌우할 것이다. 또한, 선진국은 LED를 이용한 조명제품에 각 부분에 자사의 특허 출원으로 신규 개발업체는 특허를 피해 새로운 모델을 제시해야 하는 부담을 안고 있다. 특히, 광학적 설계 측면은 구성 자체에 한계가 있기 때문에 보다 발빠른 대응이 필요하다. 몇몇 국내 조명 업체에서도 고휘도 LED를 이용한 조명 제품은 개발, 판매하고 있지만, 아직 국내 기술은 미비할 뿐만 아니라 소규모이며, 다양한 광학적 설계가 이루어지고 있지 않다. 지금 시작해도 늦었지만, 앞으로 LED 조명기기 시장을 해외 업체에 빼앗기지 않기 위해서는 고휘도 LED를 이용한 조명기기 생산 업체가 필요하다.

이와 같이, 고휘도 LED 소자 생산 업체가 있는 곳에서 LED 조명기기 생산을 하는 것이 경제적이며, 그곳이 바로 광주광역시라고 생각한다. 여기에는 고휘도 LED를 개발 생산하는 LG 이노텍(주)가 있으며, 조명제품을 생산하는 금동조명(주)가 있

어 LED 조명기기의 생산 여건이 충분하다고 생각하는 바이며, 머지 않아 국제적인 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

3. 기술개발 환경분석

가. 외부환경

1) 거시적인 환경변화 예측

최근 삶의 질을 추구하는 경향에 따라 쾌적한 조명 환경이 요구되고 있으며, 안전성, 지구환경 보호를 주제로 하는 상품 개발이 이루어지고 있다. 특히, 기후변화 협약 등 지구 환경 보전 및 에너지·자원 절약이라는 전세계적인 명제 아래, 고효율 조명을 위한 광원 개발 및 전자회로 응용기술이 속속 개발되고 있다. 또한, 고령화 사회로의 진행과 함께 미래가 더욱 복잡해짐에 따라 다기능적인 환경 조성이 필요하므로, 조명의 질적 측면과 다양한 능력의 측면이 더욱 요구되어, 새로운 조명기술 및 차세대 조명을 위한 각종 광원 및 점등 시스템이 연구·개발 중에 있다.

LED는 기존의 단순한 디스플레이용 소자로서의 응용에서 탈피하여, 내구성, 장수명, 경량·소형, 에너지 절약 등의 이점을 갖는 차세대 Solid-state lighting 용으로 관심이 집중되고 있다. 특히, 고휘도 Blue LED 개발에 이은 백색 LED의 출현 및 고출력화를 통하여 기존의 백열전구 등을 대체할 수 있는 조명제품을 개발함으로써 에너지 절약 및 녹색 환경 조성에 앞장설 수 있는 대표적 방안으로서 떠오르고 있다.

특히, LED는 건물의 피난유도등 조명에 사용되어 우수한 내구성 및 뛰어난 에너지 절약효과를 입증한 이래, 미국의 경우 대다수의 건물이 이를 채용하고 있을 정도이다. 그리고 유럽을 중심으로 하여 기존 교통 신호등 조명에 사용된 백열전구를 대체하기 위한 연구개발 성과 발표, 시범 사업, 규격 표준화 및 특성 평가 기술에 관한 국제적 합의가 이루어지고 있는 중이다. 그리고 이제는 일반조명용 램프를 대체하기 위한 각국의 관심과 노력이 치열해지고 있는 실정이고, 앞으로 5~10년 정도 후에는 성능이 우수한 LED 조명제품이 개발되어 상당수의 기존 조명광원을 대체할 수 있을 정도로 되고 Solid state lighting의 시대가 도래할 것으로 전문가들은 내다 보고 있다.

2) 고객과 경쟁자의 동향 분석

앞에서 언급한 바와 같이 앞으로의 사회는 다기능적인 환경 조성 필요성 때문에

조명의 질적 측면과 다양한 능력의 측면이 더욱 요구될 것이므로 이에 가장 적합한 Solid state lighting의 시대가 도래하리라는 것은 당연한 것으로 받아들여지고 있다. 특히 세계 조명업계의 선두 주자인 GE, Philips, Osram 등이 각각 EmCore, Agilent, Infineon 등 반도체 회사들과 손잡고 GelCore, LumiLeds, Osram Opto Semiconductors 라는 Joint venture를 구성하여 개발 리스크를 줄이는 등 차세대 조명 시장을 겨냥하여 치열한 기술 개발 경쟁을 벌이고 있다. 그 외에도, wide-bandgap 소자 제조 전문회사인 **Cree**는 저휘도 옥내용 중심으로 1998년 초부터 사업화하여, 최근 Nitres를 흡수한 바 있다.

일본의 Nichia사는 그들이 5년 전에 Blue LED를 생산한 이래로 매우 크고 매우 빠르게 성장하고 있으며, 현재 43%의 M/S 점유하고 있다. 안정된 다른 큰 공급자들과는 대조적으로 Nichia사는 오직 GaN에 기초를 둔 LED만을 생산한다. 그들 제품의 높은 가격에도 불구하고 Blue 및 Green LED에 대한 Nichia사의 인지도에 의해 상업적인 성공을 거두고 있다.

따라서 국내 기업도 이와 같은 고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발을 통하여 치열하게 전개되고 있는 뉴 밀레니엄의 새로운 조명광원 개발에 동참하여 조명기술 선진화를 달성할 필요가 있으며, 특히 국내 조명업계를 대표하는 광주지역 기업체는 이와 같은 새로운 변신의 기회를 적극 활용하는 등 조명기술환경의 변화에 적극 대처하지 않으면 안될 것으로 판단된다. 그리고 외국의 Joint venture 처럼 발광소자업체-조명업체로서 상호 보완 협력이 가능한 상황이다.

3) 수행기관의 위협 및 기회요인 분석

① 기회요인

금동 조명(주)는 광주지역 조명 업체를 대표하는 기업으로, 일본 도시바라이테크와 협력관계에 있으며, 형광등, 안정기 및 등기구 등의 분야에서 수출 1000만불 탑을 수상하는 등 수출기반이 탄탄하다 할 수 있다. 또한 그 동안 조명시장에서 쌓아온 Know-How를 활용하여 LED를 이용한 조명 기기 설계 및 제작기술 그리고 LED 패키징을 충분히 완수할 수 있으리라 사료된다. 금동조명(주)의 합자회사인 일본 도시바는 고휘도 LED사업에 활발하게 진행중에 있으며, 1998년 당시부터 금동조명(주)와 LED에 관한 기술적 협력을 꾸준히 진행해 왔고, 앞으로도 시험 장비와 기술 인력지원을 적극적으로 지원할 수 있을 것으로 예상된다.

조명에서 가장 중점적으로 생각해야 할 것은 광원에서 확산되어 나오는 광의 양과 연색성 및 광원의 색도 적용장소에 알맞는 조명제품의 선택이 무엇보다도 중요하다. 국산 RGB 3 components chip 소자의 연구개발 및 특성향상과 함께 이를 제품화하기 위해서는 조명의 특성에 맞는 적절한 광학적 설계로 제품의 실용화가 이루어질 필요가 있다. RGB 3 components chip에서 발광되어 나오는 광을 원활하게 조합해야하는 문제와 조합된 백색광의 반사로 효율을 극대화 할 수 있는 반사판 설계의 연구도 추진되어야 할 것이다. 만약 이러한 문제점들을 해결해 나아간다면, 기존의 백열 전구형 LED조명 제품의 개발기간이 훨씬 앞당겨 실현 가능할 것으로 판단된다.

LG이노텍(주)는 Blue LED 및 백색 LED 제조기술이 개발되어 있으며 올 9월 현재 수출 증대를 위한 생산시설을 확충 완료하였다. 현재는 Wafer 가공품을 전량 대만 Chip업체에 공급하고 있으나, 생산되는 LED의 용도 확대를 적극적으로 모색하고 있고, 조명용으로 적합한 LED 기술개발을 꾀하고 있다.

한편, 위 회사들은 동일한 산업단지 내에서도 바로 이웃하여 위치하므로 이번 산학연 협력이 양사간 기술협력의 좋은 기회로서 활용 가능하고, 외국의 Joint venture 처럼 발광소자업체-조명업체로서 상호 보완 협력이 가능한 상황이다.

② 위협 요인

현 국내 조명업계의 실태는 기존의 백열전구, 전구식 형광등기구, 형광램프의 제조 방식에서 크게 변화되지 않은 제품 생산과 신광원의 연구개발분야에 너무나도 무관심한 형태의 퇴색적인 산업의 일환이 되었으며, 여기에 기술력과 탄탄한 자본금을 보유한 외국 선진 조명업체의 국내 조명시장의 잠식과 저가의 중국제품의 시장 공략으로 내수시장의 침체 및 이로 인한 국내 조명업체들간의 치열한 저가정책으로 운영자금 조달의 어려움 등, 국내 조명업체의 위험수위는 극에 달하고 있는 실정이다.

금동조명(주)의 경우, 현재 LED연구를 수행할 인력이 부족하며, 활발한 연구활동이 이루어지지 못하고 있으나, 이러한 문제는 앞으로 연구·개발 인력의 충원을 통해 해결될 수 있으리라 전망된다.

나. 내부환경

1) 자원의 가용성 및 내부역량 분석

현재 국내 몇몇 조명 기기 업체들이 LED를 이용한 Sign, 교통신호등 및 Back light를 생산 공급하고 있으나, 대부분 chip과 완제품 형태인 램프를 수입하여 공급하는 실정이다. 그러나 본 사업에 들어갈 경우 그 동안 형광등기구 및 조명 기기 생산의 Know-How를 바탕으로 LED를 이용한 조명제품을 생산할 수 있을 것이다. 이를 위해 현재 협력관계인 일본 도시바는 활발하게 LED사업을 전개해 나가고 있으며, 이러한 LED 제조 및 생산 설비 기술을 이전 받을 수 있을 것으로 기대된다. 또한 금동조명(주)가 국내에 가지고 있는 시장과 수출시장을 거점으로 하여 시장에서 나름대로 인지도를 획득하리라 예상된다. 그러나 아직까지 전통적인 조명 기기의 생산 형태를 벗어나지 못하고 있으며, 전문적인 생산 설비 및 시험 기자재가 부족한 실정이나 시설투자 및 협력사의 도움으로 충분히 해결해 나갈 것이다.

한편, 앞에서도 언급했지만 LG이노텍(주)는 외국 유수기업의 수준으로 화합물 반도체(GaAs, GaN, InGaAsP) 결정성장 및 제조 기술을 확보하고 있으며, 청색 GaN 레이저 다이오드 제조 방법 및 GaN 기판 제조 방법의 특허를 해외에서 각각 7건 및 3건, 국내에서 8건 및 2건을 확보하고 있다. 또한 GaN Buffer 관련 Nichia 특허에 대해 일본 도꾸시마 대학과 SiNx Buffer를 사용한 GaN Blue LED 제작 관련 공동연구 추진하고 있으며, p-type activation 및 p-type 전극 관련 특허와 관련, 현재 Nichia 특허를 회피할 수 있는 특허를 갖고 있다. 주요 장비로는, 결정성장장비 MOCVD 5대, 제조장비로서 RIE 1대, PECVD 1대, 전극 증착장비 3대, SiO_2 증착 1대, Photo Mask Aligner 2대, 조립 및 신뢰성 측정장비로서 Wire Bonder 3대, Die Bonder 3대, Probing Machine 1대, Sorting Machine 3대, 고온고습 테스트 장비 1대 등을 보유하고 있다.

광주과기원은 다음 표에서 보는 바와 같이 GaN 관련 제조 특허를 다수 보유하고 있고, MOCVD, RTA, PECVD, E-Beam Evaporator, ICP Etching System 장비 및 소자특성 장비를 보유하고 있다. 그리고 전남대학교는 LED 소자 분석 기술, LED 광학 설계 및 구동회로 분야에 있어서 장비 보유 및 기술 확보가 이루어져 있다.

표. GaN LED 관련 지적소유권 (광주과기원 박성주 교수)

종 류	제 목	출원 또는 등록일자	출원 또는 등록번호	출원 또는 등록국가
특허	Method for manufacturing p-type GaN based thin film using nitridation,	10/20/99	09/421,028	미국
특허	Method for fabricating white light emitting diode using InGaN phase separation	05/28/99	09/322,393	미국
특허	Metal thin film ohmic contact for light emit diodes and method of producing such film	12/17/98	09/213,735	미국
특허	레이저를 이용한 질화물 반도체의 억셉터 활성화 방법	8/25/2000		한국
특허	p-GaN 박막 제조방법	07/16/99	99-28944	한국
특허	N_2O 플라즈마 처리를 이용한 n-형 질화갈륨 계열 박막의 제조방법	3/4/00		한국
특허	백색 발광다이오드용 형광체 개발	4/26/20	00-22089	한국
특허	개조된 p-형 전극구조를 이용한 질화갈륨계 발광다이오드	5/08/20	00-24466	한국
특허	RF-sputtering과 화학기상증착법을 이용한 절연 질화갈륨의 성장법	02/23/00	00-08808	한국
특허	고품질 GaN/InGaN 다중양자우물 구조층의 제작 방법	11/26/99	99-52898,	한국
특허	광전자/전자 소자의 오믹접촉 향상을 위한 2단계 하이브리드 표면개질 방법	05/13/99	99-17111	한국
특허	질화인듐갈륨 활성 우물을 포함하는 양자우물 구조를 이용한 백색 발광 다이오드 및 그의 제조방법	5/26/99	99-19065	한국
특허	질화갈륨 고 선택비의 이방성 건식 식각방법	04/23/99	99-14637	한국
특허	질화인듐갈륨 상분리를 이용한 백색 발광 다이오드의 제조방법	3/30/99	99-11032	한국
특허	질화처리를 이용한 p-형 질화갈륨 계열의 박막 제조방법	10/18/99	99-45136	한국
특허	Mg이 도핑된 p-형 질화갈륨 박막의 제조 방법	07/16/98	98-28944	한국
특허	오믹접촉 형성을 이용한 다이오드용 금속박막 및 그의 제조 방법	12/23/97	97-72150	한국

2) 예상 수행기업의 장단점 분석

금동조명(주)는 '고객 만족'이라는 슬로건 아래 국제적 품질임을 입증하는 'ISO 9002 품질인증 및 ISO 14001환경 System'을 가동하고 있으며, 최고의 제품인 절전

형 형광램프, 형광등기구, 전자안정기, 전구식 형광등기구 등을 제조, 판매하는 조명 종합 전문메이커로서, 국내 내수품 브랜드로는 금동라이트, TOSHIBA, Looksy의 상표로 제품을 공급하고 있다. 또한 생산제품을 동남아, 홍콩, 브라질, 일본, 미국, 이집트 등지로 수출하고 있고, 이미 수출국에서 뛰어난 품질을 인정받고 있으며, 1999년에는 수출 1000만불탑을 수상할 만큼 탄탄한 수출기반을 형성하고 있다.

현재 금동조명(주)와 합자관계에 있는 일본 도시바는 LED부분에 있어서 국제 시장에서 상당한 시장을 점유하고 있고, 1987년도부터 형광램프, 전자안정기, 형광등기구사업분야에 많은 기술 및 시설투자자금 지원 등 금동조명(주)와 밀접한 관계를 유지하고 있다.

한편, 현재로서는 연구 인력과 연구 자재 등이 부족한 실정이지만, 그러나 이러한 문제점은 연구 인력 충원과 시설 투자로 충분히 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

가. 과제도출 배경

앞 장들에서 조사한 기술 및 시장 정보 등을 바탕으로 하여 본 기획사업 참여 기관들의 연구개발 특화 분야를 선정하여 분야별로 과제를 도출하였으며, 위원회 위원들의 의견 검토를 종합하여 단일 과제로서 과제를 도출하게 되었다.

특히, 조명용으로서 고출력을 낼 수 있어야 하며, 개발될 제품의 응용분야가 다양하고 활용성이 큰 방향으로 제품개발을 고려한 결과, 현 참여 기관의 기술로서 경쟁력 확보가 쉬운 RGB 3-component 백색 LED 램프를 활용하여 LED 조명제품을 개발하기로 의견을 모았다.

각 분야의 핵심 요소 기술은 다음과 같다.

○ 고휘도 LED Chip 성능 개선
- 고품위의 GaN성장 및 양자효율이 높은 InGaN 성장 연구
- 소자 수명과 신뢰성 향상을 위한 청색 및 녹색 LED 소자 구조 개선
- 저접촉 저항을 갖는 전극 재료 개발
- 조명용 고휘도 청색(6 cd 이상) 및 녹색 (15 cd 이상) LED 제작
- 소자 신뢰도 평가 및 공정 안정화와 수율 개선 연구
- 소자 특성 평가 기술

○ 백색 LED 램프 개발
- 청색, 녹색, 적색의 이종 칩들의 조합 기술 개발
- 청색, 녹색, 적색 LED가 결합된 백색 LED 램프 안정화 기술 개발
- 청색, 녹색, 적색 LED 각각의 시간에 따른 소자 특성 퇴화 연구
- 백색 LED 램프의 연색성 개선 연구(청색, 녹색, 적색 각각의 상대 밝기 조절)
- LED 램프 패키징 기술

○ 일반조명용 및 부가가치화 고효율 조명제품 개발
- 반사판 설계
- LED 광학 배치 및 입체형 구조 설계

- 최적의 Bulb 형태 설계
- 일반조명용 LED 조명제품 패키징 기술
- 고휘도 LED 구동회로 개발
- 고휘도 LED 온도 및 광출력 보상회로 개발

○ LED 조명제품 특성 측정 기술 및 규격 표준화 연구
- LED 조명제품 특성측정 기술 표준화
- LED 조명제품 규격 표준화 연구

나. 도출과제

고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발

1) 고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발 RFP

과 제 명	고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발	
개발기간	1 단계	2000. 11. . ~ 2004. 10. . (48개월)
추정개발사업비(천원)	정부: 3,960,000 민간: 1,640,000 계: 5,600,000	
1. 연구과제의 목표		
	고휘도 LED 성능향상 및 고휘도 RGB LED Chip을 이용한 일반조명용 고효율 조명제품 개발 ◇ 10~60W급 백열 전구 대체를 위한 일반조명용 제품 개발(효율: 20lm/W) ◇ 수명: 30,000 시간 이상 ◇ 제품 표준화 및 규격화	
연도별 목 표	1차년도: - 고품위의 GaN성장 연구(결함밀도 < 10^8 /cm^2), 양자효율이 높은 InGaN 성장 연구(InGaN 사용시 30 % 이상) - RGB 이종 칩들의 조합 기술 개발 - 고휘도 LED 구동회로 개발	
	2차년도: - 청색 및 녹색 LED 소자구조 개선 및 저접촉 저항 전극재료 개발 - 광출력 2.5 mW급 (효율 7lm/W) Blue LED 개발 - 고휘도 LED 온도 및 광출력 보상회로 개발 - LED 조명제품 특성 측정 기술	
	3차년도: - 조명용 고휘도 청색(6 cd 이상) 및 녹색 (15 cd 이상) LED 제작 - 광출력 3.5 mW급 (효율 13lm/W) Blue LED 개발 - 30W 백열전구 대체품 개발 - LED 조명제품 규격 표준화 연구	
	4차년도: - 소자 신뢰도 평가 및 공정 안정화와 수율 개선 연구 - 광 출력 5.0 mW급 (효율 20lm/W) Blue LED 개발 - 60W 백열전구 대체품 개발 - 상품 전시조명용 제품(소형 스포트라이트)개발	
2. 연구과제의 주요 내용		
- 고휘도 Blue 및 Green LED Chip 성능 개선 - RGB 3-component 백색 LED 램프 개발 - 고휘도 LED 배치 및 광학 설계 - 고휘도 LED 구동회로 및 온도·광출력 보상회로 개발 - 일반조명용 LED 조명제품 패키징 기술 - LED 조명제품 특성측정 기술 및 규격표준화 연구		
3. 연구과제의 추진방법		
※산.학.연 공동연구 - 학연 : 고휘도 LED Chip 성능 개선, LED 배치 및 광학 설계, LED 조명제품 특성측정 기술 및 규격표준화 연구 - 기업 : 고휘도 LED Chip 및 백색 LED 램프 개발, LED 조명제품 개발		
4. 기타 연구과제 신청시 고려사항		
지역특화과제, GaN 반도체설비 보유, Blue 및 백색 LED 기술 보유		

2) 고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발 Road-Map

일련번호	항 목		(1) 단 계 추 진 일 정								비고
			1 년		2 년		3 년		4 년		
1	**고휘도 LED를 이용한 조명제품개발**	고휘도 LED Chip 성능 개선	◀	―	―	―	▶				
		고휘도 청색 및 녹색 LED 제작		◀	―	―	―	▶			
		소자수율 개선							◀	▶	
		백색 LED 램프 개발				◀	―	―	―	▶	
		LED 구동회로 개발		◀	―	―	―	▶			
		LED 광학구조 설계	◀	―	―	―	▶				
		LED 조명제품 개발				◀	―	―	―	▶	
		LED 조명제품 특성측정 기술 및 규격표준화	◀	―	―	▶		◀	―	▶	

3) 고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발 Patent Map

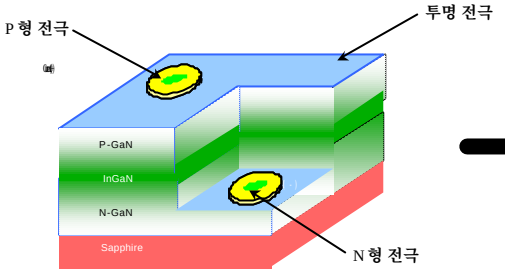


그림 37. Blue, Green LEDs

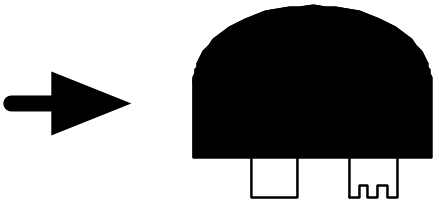


그림 38. 3-component White LED

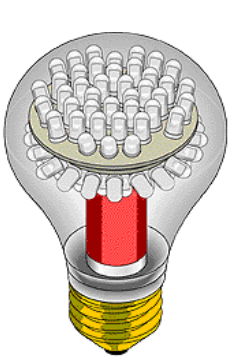


그림 39. LED 조명전구

일련번호	특허명	1년	2년	3년	4년	5년	비고
1	GaN 성장 기술		←	→			
	고휘도 청색 및 녹색 LED 제조			←	→		
	광학 구조 설계		←	→	→		
	구동 회로 및 보상회로 설계			←	→	→	
	백색 LED 제조			←	→	→	
	LED Lamp Packaging 기술		←	→	→		
	LED 조명전구 제조			←	→	→	