

## 조명기구의 신기술

김 운<강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수>  
한중성<강원대학교 전기전자정보통신공학부 계약교수>  
김기운<강원대학교 전기공학과 박사과정>

### 1 서론

최근 국내외적으로 개발 및 상품화되고 있는 조명기구의 신기술 동향을 살펴보면 크게 두 가지 측면으로 요약할 수 있다. 즉 조명기구의 에너지 효율을 더욱 향상시키는 방향으로 나아가는 측면과, 자원의 순환을 고려한 환경친화적인 제품의 개발이 이어지고 있는 추세이다.

먼저 효율의 향상에 대해서 살펴보면, 형광램프용 조명기구 분야에서는 고주파 점등용 전자식 안정기의 효율 향상과 더불어 반사판의 반사율을 개선시켜 조명기구의 효율을 더욱 향상시키고 있다. 이러한 에너지 효율의 향상에 힘입어 전구형, 콤팩트형 및 환형 형광램프를 사용하는 조명기구 사용이 날로 증가하는 추세이다.

또한 HID 조명기구 분야에서도 에너지 절약형 제품의 개발이 활발하며, 고효율, 장수명의 세라믹 메탈 할라이드램프용 조명기구의 사용이 증가하고 있다. 특히 옥내용 조명기구에는 종래의 자기회로식 안정기 대신 전자식 안정기(인버터)를 일체화시킨 인버터 일체형 조명기구의 개발이 더욱 확대되고 있으며, 연속 조광 기능을 갖는 조명기구가 상품화되었다. 옥외용

조명기구에서는 광학적인 연구에 의해 효율적으로 장해 광을 차단할 수 있는 투광기가 개발되었다.

그리고 낮은 소비전력, 장수명의 장점을 갖는 LED를 주택용이나 영상용, 사진용, 방재용, 표시판 등 다양한 분야의 조명기구 및 기기에 사용하고 있으며, LED 자체의 성능 향상도 활발히 진행되고 있다. 또한 에너지절약의 수단으로서의 조명제어 기능에 대한 관심은 계속 되어 센서와 타이머를 내장한 조명기구의 개발이 더욱 확대되고 있다.

다운라이트 분야에서는 주택의 고단열화에 대응한 기구가 등장하고, 표시판 분야에서는 태양광이나 풍력 등의 자연에너지를 동력원으로 활용한 기구가 개발되고 있다.

한편, 자원순환의 관점에서 유해 물질의 저감을 적극적으로 수용한 시설용 조명기구가 개발되었다. 예를 들어 형광램프용 조명기구 분야에서는 사용 재료의 변화로서 염화비닐과 크롬, 납 등의 사용을 줄인 조명기구가 제품화되었다. 또한 유해물질인 카드뮴의 사용을 없애기 위해서 비상용 다운라이트 조명기구에 많이 사용되고 있는 니켈카드뮴전지를 니켈수소축전지로 바꾼 조명기구가 개발되었다.

## 2. 백열등기구

현재 백열등기구 분야에서는 할로젠전구를 광원으로 한 다운라이트나 스포트라이트 조명기구의 개발이 주류를 이루고 있다. 또한 그림 2.1과 같이 수십 개의 백색 LED를 유닛화 한 다운라이트 제품의 개발이 증가하고 있는 추세이다. 백열전구나 할로젠전구 등과 비교하여 소비전력, 수명, 발열량 등에서 우위에 있는 LED가 더욱 저가격화 및 고효율화로 발전됨에 따라 LED를 광원으로 한 백열등기구 분야가 한층 더 발전해 나갈 것으로 생각된다.

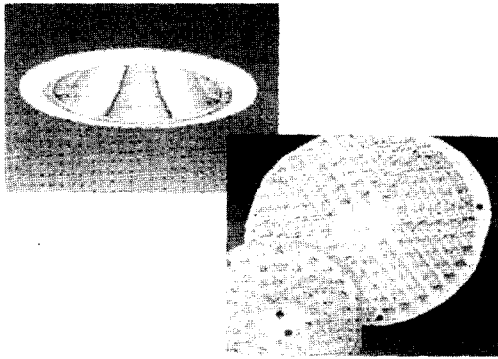


그림 2.1 LED 다운라이트

그림 2.2는 센서가 부착된 백열전구 다운라이트이다. 이 제품은 소형의 적외선 센서를 조명기구에 내장시켜서 사람이 부재중인 것을 검지하여 소등 혹은 25% 정도의 조광을 하는 기능을 지니고 있다. 따라서 퇴실 후에 스위치를 off 시키지 않은 것에 대한 부담도 없으며, 에너지 절약의 효과를 발휘할 수 있다. 소형 적외선 센서의 개발에 의해 센서를 다운라이트에 내장하는 것이 가능하게 되었고, 센서를 별도로 설치하는 경우와 비교하여 배선이나 시공도 용이하다.

그리고 램프 자체의 광출력을 정격보다 낮게 설정하여 램프의 수명을 연장시키는 점등 모드를 강압용 변압기에 부가하여 형광램프 못지않게 장수명을 가능

하게 한 장수명 설정 저전압 스포트라이트가 상품화되었다. 램프의 광출력 부족분은 고효율 반사관에 광학적인 설계를 접목시킴으로서 해결하였다. 결과적으로 조명기구의 효율을 향상시킴으로써 광출력을 향상시키는 효과를 얻고, 램프의 수명을 연장시킨 일석이조의 개념을 지닌 제품이다.

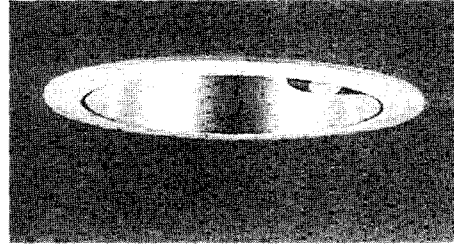


그림 2.2 센서 부착형 백열전구 다운라이트

그림 2.3은 반사형 할로젠전구의 광색 및 배광을 살린 Design Stand라는 이색적인 조명기구이다. 이 제품은 특수 코팅에 사용되는 투명수지에 광원부를 삽입시켜 심플하게 설계한 것이 특징이다. 시각적으로 여유롭고 안락한 분위기의 연출뿐만 아니라 특유의 신비성을 갖고 있다. 명암을 강조하기 위하여 지향성이 높은 미러가 있는 할로젠전구를 광원으로 사용한 상품도 있다.

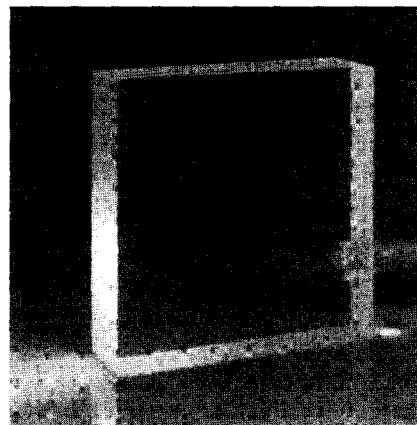


그림 2.3 Design Stand

### 3. 형광등기구

시설용 형광등기구 분야에서는 에너지 절약뿐만 아니라 자원 순환을 고려한 조명기구가 상품화되고 있다. 예를 들어 염화비닐이 없는 전선, 크롬이 없는 동판, 납을 배제한 조립, 납이 없는 전구를 채용한 조명기구 등이 제품화되고 있다. 또한 에너지 절약의 차원에서는 램프의 효율 개선이나 인버터의 소비전력 저감과 함께, 반사판의 반사 효율을 높이는 도장처리를 한 조명기구들도 개발되고 있다. 또한 전자식 안정기의 경우 글로우 스타트식과 래피드 스타트식의 램프가 병용 가능한 인버터의 개발과 함께 조명제어기능이 부가된 조명기구의 개발도 왕성하여, 그림 3.1과 같이 타이머가 내장된 컨트롤러에서 자동적으로 초기 조도의 보정이 실현되는 조명기구도 개발되었다.

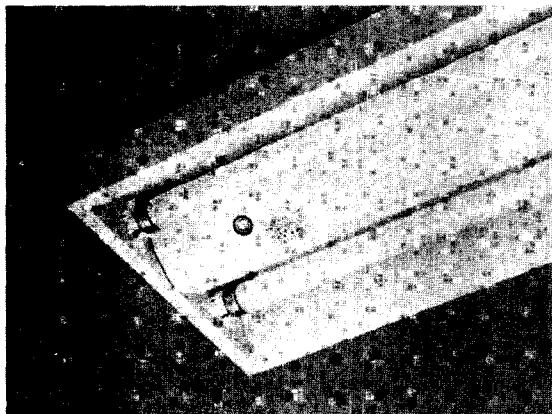


그림 3.1 자동적으로 초기조도가 보정되는 HI형 형광등기구

그림 3.2와 같이 점포용으로 많이 사용하는 사각형의 베이스 조명에서는 고주파 점등용 콤팩트 형광램프(CFL)를 채용한 조명기구의 개발이 확대되고 있으며, 조광이 가능한 인버터를 채용한 조명기구가 시판되었다. 그리고 다운라이트 분야에서는 하나의 조명기구에 고주파 점등용 CFL을 2~4등 내장하여 광

출력을 높인 조명기구가 많이 출시되었다. 그림 3.3은 멀티 콤팩트 형광램프용 조명기구이다. 이 제품은 4개의 57~70(W)급 CFL과 알루미늄 반사판으로 구성되어 있다.

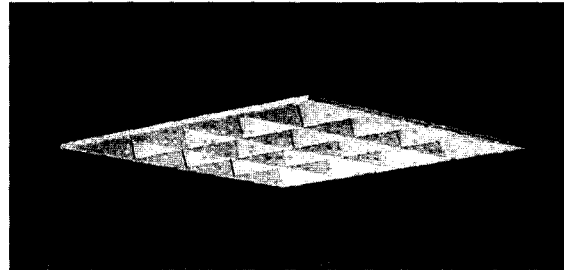


그림 3.2 콤팩트 형광램프를 사용한 스퀘어 명기구

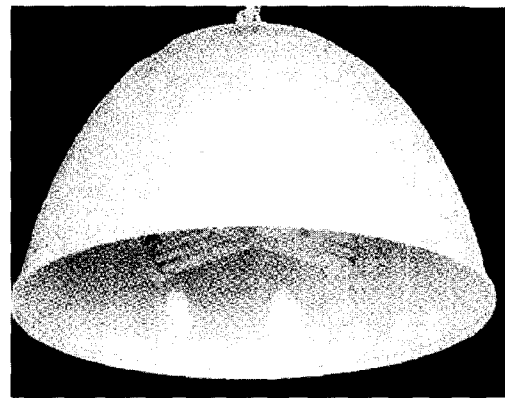


그림 3.3 4등용 멀티 콤팩트 형광등기구

주택용 형광등기구 분야에서는 에너지 절약형 제품과 분위기 조명에 대한 수요가 증가하고 있는 실정이다. 우수한 에너지 절약형 제품인 고주파 점등용 이중환형 형광등기구의 수요가 많은 편이다. 거실에는 연속조광 기능을 갖는 조명기구의 품종 확충이 추진되고 있다. 그리고 그림 3.4와 같이 LED를 이용한 확산형 조명기구가 계속 출시되고 있다. 그림 3.4는 900개의 LED로 3700(K)의 색온도를 실현시킨 확산형 조명기구이다. 이 제품의 전체 소비전력은 50(W) 정도이고, 광학 렌즈로 빛을 넓게 확산시킨다.

#### 4. PLS(Plasma Lighting System)

PLS는 국내외적으로 비교적 근래에 본격적인 연구가 시작되어 상품화 되고 있는 새로운 발광원리를 갖는 조명시스템이다. 고주파에 의해 발생하는 무전극의 플라즈마 방전을 이용한 조명시스템으로서 광원 발광부의 크기가 작고 수명이 길어서 옥외용 투광조명으로 이상적인 조건을 갖추고 있다. 투광조명 외에도 자동차 전조등, 항공유도등, 의학용 등 응용분야가 대단히 넓은 기대가 되는 시스템이다.

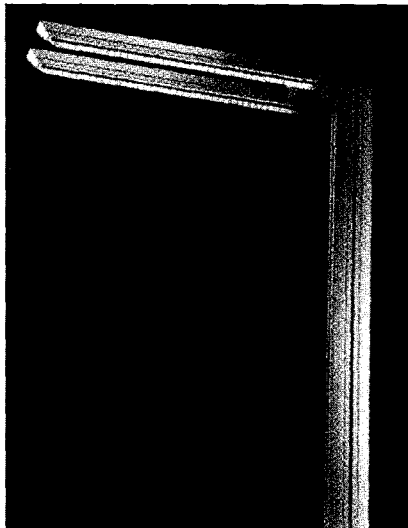


그림 3.4 LED를 이용한 확산형 조명기구

그림 4.1은 위에서 언급한 PLS의 분광에너지분포를 태양광과 메탈헤라이드램프와 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 PLS는 태양광과 매우 유사한 연속스펙트럼의 분광에너지분포를 보이고 있다. 그러면서 태양광보다 자외선과 적외선을 적게 방출하므로 상당히 환경친화적인 광원으로 볼 수 있다. PLS의 색온도는 6000[K] 정도이고, 평균연색지수는 85 이상이다.

그림 4.2는 PLS의 수명을 여러 가지 대표적인 광

원들과 비교하여 나타낸 것이다. PLS는 램프의 수명을 결정짓는 필라멘트 전극이 없으므로 그림에 나와 있는 각 광원 중에서 제일 긴 수명 특성을 갖는다. 보통 20,000시간 이상의 램프 수명을 가지며, 광속유지율도 20,000시간까지 5% 이하를 유지하는 것으로 알려져 있다.

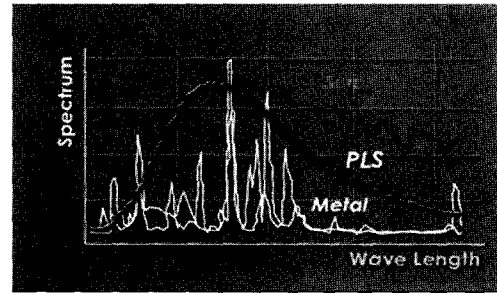


그림 4.1 PLS의 분광에너지분포

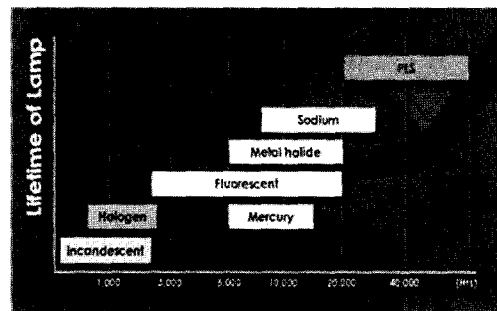


그림 4.2 PLS의 수명 비교

그림 4.3은 900[W]급 옥외 투광조명용 PLS이다. 이 제품의 주요 구성요소를 살펴보면, 알루미늄 재질의 사각형(Beam Angle 60°) 및 원형(Beam Angle 12°)의 반사판, 27mm 플라즈마 방전관, 마이크로웨이브 발생장치, 방수가 되는 커버 하우스, 조광이 가능한 인버터회로와 과전압 보호회로가 있는 파워 서플라이 등으로 구성되어 있다. 그림 4.4는 PLS로 조명한 실제의 광경을 보인 것으로 약간 녹색의 기운을 띄고 있다.

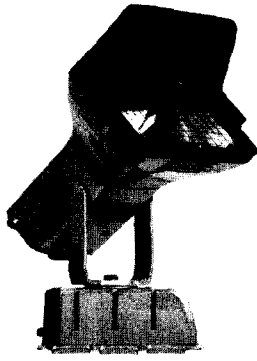


그림 4.3 900(W)급 투광용 PLS



그림 4.4 PLS 조명의 실제 광경

## 5. HID용 조명기구

HID용 옥내 조명기구 분야에서는 인버터(전자안정기)의 보급이 현저히 증가하고 있으며, 앞으로 이들 인버터와 조명기구의 일체화가 더욱 가속될 것으로 예측된다. 광원은 저전력의 세라믹 발광관을 갖는 메탈헬라이드 램프가 점포용으로 상품화되었고, 종래의 석영 발광관에 비해 발광효율과 수명특성에서 성능을 더욱 향상을 실현시켰다.

그림 5.1은 전동승강장치의 조명용인 인버터를 내장한 천정매입형 조명기구를 나타낸 것이다. 이 시스템은 25~100%의 연속조광 특성을 갖는다. 광센서와 조합시켜서 에너지 절약의 효과도 얻을 수 있다. 또한 250(W)/300(W)/400(W) 램프전력에 대해

프리 인버터 특성을 갖도록 설계되어 있으므로 램프의 정격전력이 변경되어도 안정기의 교환이 불필요한 시스템이다.

HID용 옥외조명기구 분야에서는 최근 에너지 절약의 문제와 더불어 광해에 대한 인식이 고조되면서 환경친화형 조명기구로의 전환이 진행되고 있다. 그림 5.2는 광해 대책 투광기로서 선형 다이캐스팅 내면에 증착을 행하고, 정밀도가 높은 광학적 성능을 실현하고 있다. 경기장 조명에 있어서 광해가 되기 쉬운 상방향의 광을 차단하여 광의 누설을 저감시키고 있다.

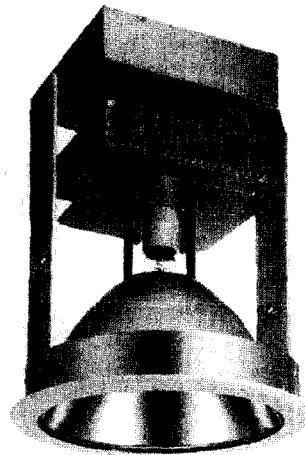


그림 5.1 인버터 일체 천정매입형 HID 조명기구

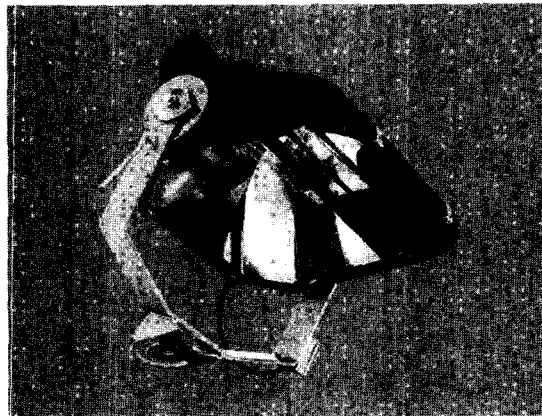


그림 5.2 광해 대책 HID 투광용 조명기구

그림 5.3은 국내에서 최근에 출시된 투광용 조명기구이다. 이 제품은 등기구의 각도 조절을 위한 눈금 표시가 되어있으며 5종의 빔각을 얻을 수 있다. 원터치 클립으로 개폐조작이 용이하며, 인체공학적 설계를 도입하여 유지보수가 편리하다. 사용 램프는 HQI-TS 2000[W], MHN-SA 2000[W], MHD 1000[W], HQI\_TS 1000[W] 이고 알루미늄 다이캐스팅 재질로 방수등급은 IP 65이다. 램프의 교환, 청소, 기구의 aiming 등이 편리하도록 각 부분의 설계에 신경을 쓴 제품으로서 각 부분의 사진을 그림 5.4에, 배광을 그림 5.5에 보였다.

그림 5.6은 역시 국내에서 최근 개발된 HID용 가로등기구이다. 배광은 한국공업규격(KS)과 국제조명위원회(CIE), 북미조명학회(IESNA)에서 규정하는 도로조명용 가로등기구 권고에 따라 설계하였으며, 광도분포는 수직각 30°~60° 방향에서 최대의 광도를 갖는다. 그리고 도로의 차선축 규제도 권고치인

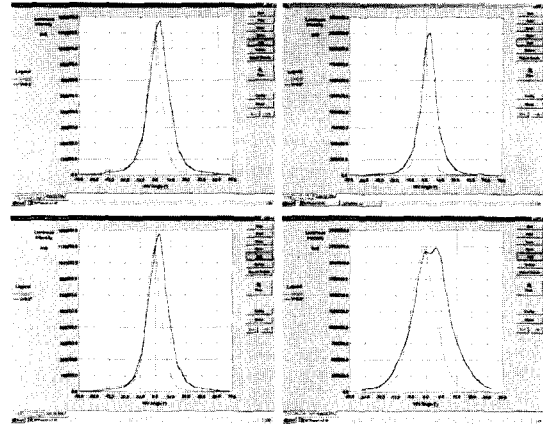


그림 5.5 국내개발 투광기의 배광 예

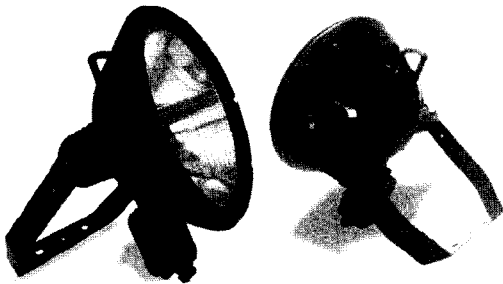


그림 5.3 국내에서 개발된 투광용 조명기구



그림 5.4 국내 개발 투광기의 각 부분

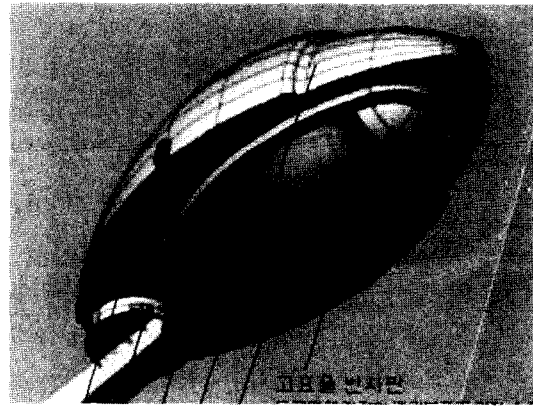


그림 5.6 컷 오프형 HID용 가로등기구



그림 5.7 컷 오프형 HID용 가로등기구의 시공 광경 (광안대교)

0.5 이상을 실현하였으며, 도로면의 종합균제도 역시 권고치인 0.4 이상을 실현시켰다. 이 제품은 Deep Drawing 반사판을 이용하여 등기구 효율을 10% 이상 개선하였으며, 컷 오프형 등기구로서 글레어를 최소화시켰다. HID램프 150(W)~400(W)까지 사용할 수 있으며, 1등용~4등용까지 다양하다. 그림 5.7은 이 가로등기구를 교량에 실제 사용한 광경을 나타낸 것이다. 디자인적인 측면에서도 세련된 느낌을 주고 있으며, 다양한 색상을 적용시킬 수 있어 이색적인 연출 효과도 얻을 수 있다.

## 6. 방재용 조명기구

최근에 개발되는 방재용 조명기구의 광원으로 LED의 사용이 점차 늘어나고 있는 추세이다. 방재용 유도등 분야의 경우, 현재까지 많이 사용되고 있는 직관형 형광램프는 램프의 직경이 2.6(mm)로 더욱 가늘어진 것이 개발되었다. 백색 LED는 그림 6.1과 같은 통로유도등에 많이 사용되고 있으며, 최근에 바닥매입형 통로유도등도 개발되었다.

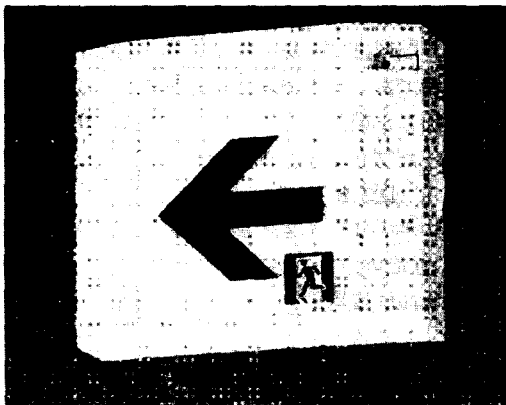


그림 6.1 백색 LED를 사용한 통로유도등

비상등 분야에서도 LED를 이용한 조명기구가 많이 개발되고 있다. 그림 6.2는 LED를 사용한 비상등

용 조명기구이다. 소비전력은 1(W) 이하이고 비상 모드에서 2시간정도 작동이 가능한 시스템이다.

또한 그림 6.3과 같이 4(V) 13(W) 미니할로겐전구를 사용한 비상용 다운라이트 조명기구는 일반의 미니전구의 것과 비교하여 소형이면서 고효율인 장점이 있어 많이 보급되고 있으며, 에너지 소비를 많이 줄임으로써 비상시의 점등시간이 종래의 30분을 훨씬 초과하여 60분까지 장시간 가능하게 되었다.

같은 미니할로겐 비상등에서도 특히 환경면을 고려하여 전원용 축전지에 니켈수소전지를 사용한 것이

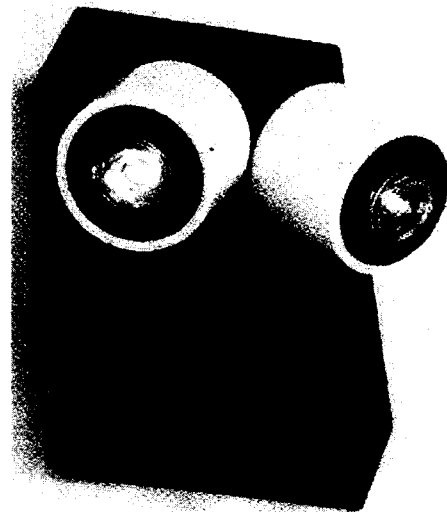


그림 6.2 LED를 사용한 비상용 조명기구

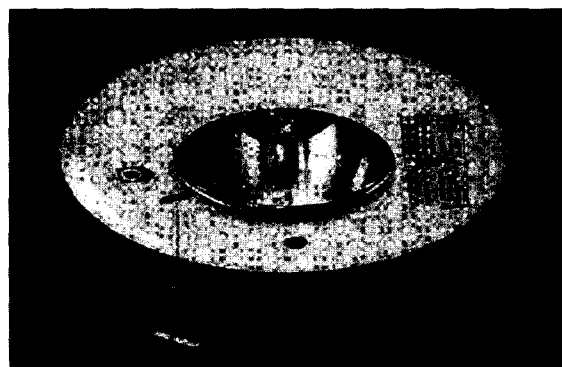


그림 6.3 장시간 사용이 가능한 미니할로겐 비상등

개발되었다. 방재용 조명기구는 어느 정도 고온에서 사용됨과 동시에 연속 충전이 가능한 축전지가 필요하다. 지금까지는 충전용 니켈카드뮴 전지가 사용되었지만 최근에 동등의 성능을 발휘하는 새로운 니켈 수소전지가 개발되었다. 이 새로운 축전지는 유해한 물질인 카드뮴의 사용을 억제한 것이다. 또한 충전방식도 종래의 연속적인 충전에서 간헐적인 충전이므로 전력이 약 60% 정도 저감되는 환경친화적인 에너지 절약형 축전지이다.

## 7. 신호·표식·디스플레이용 조명기구

도로의 교통상황에 대한 적절한 정보의 제공은 운전자에게 많은 도움을 준다. 특히, 겨울철 노면 상태나 기상 정보의 제공은 대단히 중요하다. 근래에 LED를 이용한 도로교통표시판으로 도로교통 및 기상 정보를 제공하여 안전운전에 크게 공헌하고 있는 실정이다. 또한 이 정보는 인터넷과 휴대폰으로도 제공되어 많은 운전자에게 이용되고 있으며, 운전자는 사전에 생생한 도로상황을 영상으로 확인할 수 있다.

커브도로의 선형표시 등에 사용되고 있는 시선유도용 조명으로 반사식이나 스스로 발광하는 타입이 많이 사용되었다. 근래에 그림 7.1과 같이 LFS(Light Fiber System)가 시선유도등으로 개발되어 사용되고 있다. 이 LFS는 커브도로변에 설치되어 굴곡을 따라 연속적으로 발광하기 때문에 운전자는 도로의 선형을 더욱 쉽게 파악할 수 있다. 최근에는 LED의 급진적인 발전에 힘입어서, 고휘도 LED와 광파이버를 조합시킨 장수명의 에너지 절약형 시선유도등의 개발이 이루어지고 있다. 이 기구는 구조물 내에 내장되므로 눈에 띄이지 않아 미관상 좋으며, 시선유도 효과에 뛰어나고 주위 환경과도 잘 조화를 이룬다.

앞으로는 자연에너지를 유효하게 이용한 에너지 절약형 조명기구 제품이 많이 개발되리라 생각된다. 하이브리드형 LED식 표시판은 태양전지와 미풍에서도

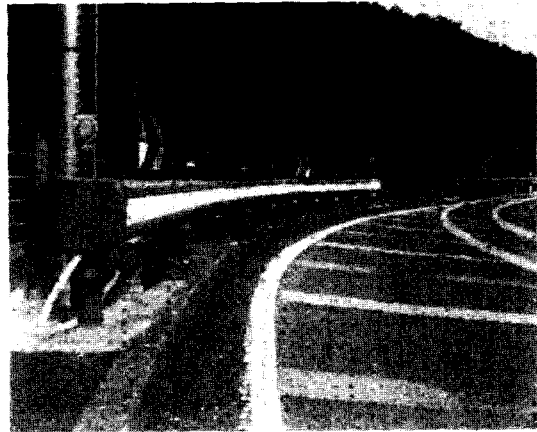


그림 7.1 LFS를 이용한 시선유도 조명시스템

발전 가능한 풍력발전을 자원으로 하여 자연에너지를 활용한 것이다. 또한 표시부는 고휘도, 고효율인 LED를 사용하여 표시의 가시적인 인식도를 높였다.

## 8. 영상 및 사진 촬영용 조명기구

TV 촬영용 스튜디오의 기본 조명으로서 형광램프를 사용한 고주파 점등용 조명기구가 상품화되고 있다. 또한 촬영 조명에서 중요한 기본 요소의 하나인 색온도를 액정 필터를 사용하여 가변시킬 수 있는 색온도 가변 조명시스템이 개발되었다. 특히, 영상촬영용 LED 조명장치가 최근에 발표되었다. 이 LED 조명시스템은 발열량이 적으므로 생물, 회화 등과 같은 열의 영향을 받기 쉬운 피사체와 차량의 내부 등 협소한 장소의 촬영에 적합하다. 고휘도 백색 LED를 사용한 조명기구는 저온에서 발광효율이 높고, 장수명에 보수가 불필요하다는 장점 등으로 인하여 남극과 같은 극지에서의 사용이나 TV 카메라용 조명기구로서 폭 넓게 응용되고 있다.

최근 디지털 카메라의 수요가 늘어나면서, 그림 8.1과 같은 디지털 카메라 촬영용 조명장치의 개발이 활발히 진행되고 있다. 현재 판매되고 있는 스트로보는 필름 내장 카메라를 대상으로 개발된 것이 대부분



이며, 디지털 카메라에 사용하기에는 사이즈가 약간 크다. 그러나 최근에 출시되는 제품은 디지털 카메라의 작은 형상에 알맞은 소형이 많다. 또한 통상의 스트로보는 1.5(V) 전지를 사용하는 경우 4개의 전지가 필요하지만 최근 발표된 제품은 2개의 전지로도 가능하고, 카메라 렌즈를 피사체에 근접하여 찍는 접사(接寫)용 조명기구 등은 휘도분포를 고려하여 빛을 보다 확산시키는 소재를 발광부분에 삽입한 제품이 많다.

그리고 카메라 부착 휴대전화의 사진촬영용 조명기구로서 LED를 내장한 제품이 출시되었다. 이전에는 전용의 외부 스트로보를 사용하는 제품이 있었지만 조명장치의 내장화와 저소비전력의 차원에서 LED로 대체되었다. 이 LED 조명은 광량은 적지만 소비전력이 작아서 휴대전화에 적합하다. 또한 촬영 소자의 수광 감도도 상승하고 있으므로 앞으로 휴대전화의 카메라용 조명은 LED로 통일되리라 생각된다. 또한 최근에 LED 조명이 비디오카메라의 조명으로도 채용되고 있으며, LED 조명으로 2(m)까지 촬영이 가능하다는 보고도 있다. 향후 가격이 낮아지고 광학적인 성능이 지금보다 향상된다면, 현재 사진용 조명기구에 탑재되고 있는 여러 가지 발광소자들을 밀어내고 그 자리를 LED가 차지하게 될 것으로 생각된다.

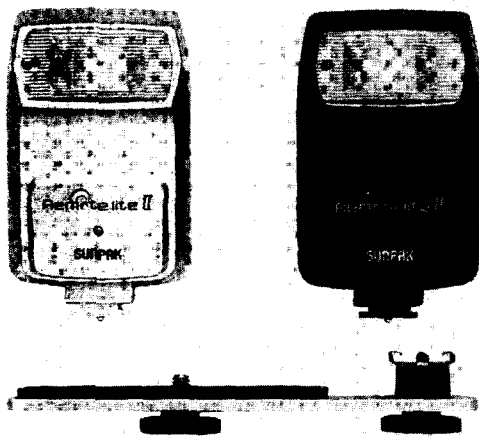


그림 8.1 디지털 카메라용 Grip형 스트로브

## 9. 결론

최근에 국내외적으로 활발히 수행되고 있는 조명기구 분야의 각종 신기술 개발 사례를 여러 분야에 걸쳐 살펴보았다. 신기술 개발의 기본적인 흐름은 역시 고효율과 장수명의 에너지 절약형 기구의 상용화로 집약할 수 있을 것 같다. 새로운 조명기구를 창출하는 신기술도 있고, 새로운 기구의 창출보다는 기존 제품의 점진적인 효율 향상이나 기능성을 부가하여 좀 더 좋은 제품을 만드는 방법도 있다. 조명기구 자체의 개선과 함께 사용 램프에 의해 많은 영향을 받기 때문에 결국 램프의 교체나 개량과 같은 방법에 의한 신기술 개발이 이루어지고 있다. 따라서 여러 가지 장점이 있는 LED가 여러 분야에 걸쳐 대체 광원의 역할이나 새로운 신제품의 동력원으로서의 지속적인 발전을 하리라고 생각된다.

그리고 형광등기구 분야나 HID 조명기구 분야에서는 전자식안정기의 사용이 더욱 늘어나리라 생각된다. 소비전력이 다른 램프를 다 같이 수용할 수 있는 Free Power 개념의 안정기가 머지않아 상용화되리라 생각되며, 투광기 분야에서 PLS의 발전이 기대된다.

앞으로는 자연환경에 대한 관심이 늘어나고 점차 규제가 강화될 것이므로 이에 대응한 조명기구가 많이 개발되리라 사료된다. 이를 적극 수용하려는 자세를 조명기구 생산자나 소비자가 다함께 가져야 할 때인 것 같다.

## 참 고 문 헌

- [1] 遠藤 吉見, "照明器具および機器", 照明學會誌, Vol. 86, No. 8B, 2002, pp. 596-603
- [2] 遠藤 吉見, "照明器具および機器", 照明學會誌, Vol. 87, No. 8B, 2003, pp. 643-649
- [3] IESNA, "Lighting Design + Application". IESNA, Vol. 32, No. 11, 2002. 11.
- [4] IESNA, "Lighting Design + Application". IESNA, Vol. 33, No. 11, 2003. 11.
- [5] <http://www.taetang.co.kr/kintro.htm>

◇ 저자 소개 ◇



김 훈(金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1983년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸(석사). 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸(박사). 1993년 호주국립대학 방문교수. 현재 강원대 공대 전기전자 정보통신공학부 교수. 본 학회 총무이사.



한중성(韓鍾聲)

1960년 6월 27일생. 1988년 2월 강원대학교 전기공학과 학사 졸. 1993년 2월 강원대학교 전기공학과 석사 졸. 2000년 2월 강원대학교 전기공학과 박사 졸. 1996년 3월 ~ 2004년 2월, 세경대학 전기과 조교수, 현 강원대학교 전기전자정보통신공학부 계약교수.



김기훈(金紀勳)

1970년 4월 24일생. 1997년 2월 강원대학교 전기공학과 학사 졸. 1999년 2월 강원대학교 전기공학과 석사 졸. 2001년 8월 강원대학교 전기공학과 박사과정 수료. 2001년 8월~현재, 강원대학교 전기공학과 박사과정.