

## 광공해와 밤하늘 밝기

김 경 주  
세 종 대 학 교

### 1. 서론

오늘날의 지구는 도시화와 산업화로 각종 공해에 시달리고 있다. 급격한 개발로 우리의 환경이 오염되는 예기치 못한 결과를 초래하여 환경에 대한 시급한 대책과 해결 방안이 요구되고 있다. 일반적으로 우리가 접해 온 공해는 주로 수질 오염이나 대기 오염이 주종을 이루고 있으나, 최근에는 거리의 불빛이 필요 이상으로 남용되어 밤하늘의 밝기가 매우 밝아져서 이 또한 심각한 공해로 등장하고 있다. 이러한 현상을 광공해 (Light Pollution)라고 한다.

천체를 관측하고 있는 천문학자들은 이미 1900년도 초부터 하늘이 도시 불빛으로 인하여 밝아지고 있음을 인식하여 왔다 (Sperling, 1986). 현대 도시들은 점차 그 규모가 커짐에 따라 늦은 밤에도 환하게 불빛이 빛나고 있으므로, 그만큼 하늘은 밝아지고 밤하늘로써의 기능을 잃어 가고 있다. 한때 사람들은 수천만 개의 별을 육안으로 볼 수 있었으나, 도시의 가로등이나 그 외 여러 종류의 옥외등의 불빛으로 인하여 지금은 몇몇 행성과 밝은 항성들을 육안으로 볼 수 있을 뿐이다. 미국의 태평양 천문학회에서는 광공해를 천문학의 문제뿐만 아니라 국한시키지 않고, 지구 전체의 환경적인 문제로 부각시켜 일반인에게 광공해를 줄여야겠다는 공감대를 형성하게 하고 있다. 여기서는 광공해의 역사를 알아보고, 학계에서는 이를 위하여 어떠한 일이 수행되고 있는지 알아보자.

### 2. 광공해의 인식

1910년 리에글러 (Gideon Riegler)는 도시에서 발하는 불빛의 영향으로 육안으로는 단지 밝은 별들만 볼 수 있음을 최초로 인식하고, 천체 관측을 위해서는 도시에서 적어도 50-60 km 떨어진 곳 이라야 한다고 지적하였다.

천문학자 바테는 윌슨산에 설치된 100인치 망원경으로 세계 제2차 대전 당시 로스앤젤레스에 실시된 동화관제 기간 동안에 안드로메다 은하에서 각각의 별을 분해하여 관측함으로써 많은 성과를 올렸다. 이는 윌슨산 근처에 있는 로스앤젤레스 도시에서 나오는 불빛이 천문학 연구에 얼마나 심각한 지를 잘 말해 주고 있다.

1985년에 Carnegie Institution of Washington은 윌슨산 천문대를 폐쇄하였다. 물론 여러 가지 이유로 역사와 전통의 천문대가 폐쇄되었지만 그중 가장 큰 이유는 도시의 불빛이 종전 후 급속히 증가하여 마침내 윌슨산의 밤하늘이 그 전보다 6배나 밝아졌다는 것이다. 그밖에도 수많은 천문대가 광공해로 제 기능을 다하지 못하고 그나마 이전할 여건이 되는 천문대는 이전이라는 돌파구로 해결책을 찾고 있다.

광공해의 심각성을 일반인이 인식한 것은 그리 오래된 일이 아니다. 1970년대부터 일부 천문학자들이 일반인의 이해를 위하여 Sky & Telescope, Astronomy, Science 등의 일반 대중 과학 잡지에 통계자료를 제시하며 기사를 투고하기 시작하면서 일반인들에게 알려지기 시작하였다. 특히

1985년과 1986년 사이에 헬리헤성이 지구를 찾아왔을 때 많은 사람들은 하늘이 너무 밝아져서 혜성을 육안으로 관측할 수 없음을 깨닫고 우리의 하늘이 얼마나 불빛으로 시달리고 있는지를 실감하였다. 이리하여 처음으로 일반 대중들은 광공해가 밤하늘의 어두움을 빼앗아 갈 뿐만 아니라 불빛을 원하지 않거나 필요치 않은 장소까지도 불을 밝히므로 국가적으로 에너지를 낭비하고, 남에게 방해를 주는 공해라는 것을 피부로 느끼게 되었다.

### 3. 각국의 활동

미국에서는 1988년에 International Dark-sky Association이 창단되어 광공해로부터 밤하늘을 보호하는데 적극적인 활동을 하고 있다. 그들은 광공해의 문제를 사람들에게 인식시키고, 심각해진 도시의 불빛에 대한 정보들을 교환하며, 이러한 문제를 다루는 기관들을 보조하는 일들을 담당하고 있다.

일본에서는 거의 10년이상 동안 일본 환경청과 국립천문대가 연합하여 밤하늘의 밝기를 측정하고 그 결과를 발표하였다. 특히 일반 대중들에게도 이를 홍보하여 매년 35 mm 카메라로 밝은 별을 찍어 기관에 보내면 이를 전문가들이 밤하늘의 밝기의 변화를 비교 분석하고 있다.

### 4. 국내의 활동

우리 나라에서도 이와 비슷한 작업이 대학 소속의 천문대와 전국대학생 아마추어 천문회 등에서 수행되었다.

김경주와 장영운 (1995)은 세종대학교 지구과학과에서 1993년부터 매년 서울 지역과 경기도, 강원도 일대의 밤하늘을 촬영한 필름으로 서울 지역의 밤하늘의 밝기 분포를 구하였다. 밤하늘의 밝기는 천정부근의 밝은 별을 사진 관측하여 별의 밝기를 기준으로 하늘의 밝기를 결정하였다. 이들은 밤하늘의 밝기를 측정하기 위해 35mm 카메라와 ISO 100 negative 필름을 사용하였다. 카메라의 초점 길이는 50 mm이고, F ratio는 3.5 또는 4를 사용하여 밝은 별인 아크투루스, 베가, 데네브, 카펠라, 시리우스 등이 포함된 하늘을 촬영하였다. 촬영시 별의 위치는 자오선 상에서 30분 전후에 있으며, 노출 시간은 80초, 150초, 300초이다.

2년간 관측한 장소는 서울에서 7지역, 경기도와 강원도에서는 17지역에 해당한다. 두 해 동안에 찍은 모든 필름들을 두 가지 관측기기로 분석하였다. 첫 번째는 서울대학교의 기초과학 연구 센터에 있는 미세 농도 측정기인 Photometric Data System (PDS 2020GMS)을 이용하였다. 필름에서 밝은 별과 배경 하늘을 포함한 영역의 농도를 PDS로 읽었다. 이때 한 Pixel당 간격은 X와 Y축 모두 20  $\mu\text{m}$ 이다. 두 번째 방법은 코니카사의 농도 측정기인 PDA-15를 이용하여 필름을 읽었다. PDA의 경우는 우선 기계 자체의 농도보정을 한 후, 0.5 mm의 구경으로 별의 농도를 읽고, 그 다음 필름에서 별이 하나도 없는 배경 하늘의 농도를 읽었다.

PDS로 읽은 필름들의 농도 값은 IRAF를 이용하여 등급으로 나타내었으며, PDA에서 읽은 농도 값은 다음 공식에 따라서 밤하늘의 밝기를 등급으로 나타내었다. 밤하늘의 밝기는 1 arc square second에 해당하는 등급으로 아래와 같이 표현되었다.

$$m_2 = 2.5 \log \frac{10^{D_1}}{10^{D_2}} - 1 + 16.3 + m_1$$

여기서  $m_1$ 은 별의 등급이며,  $m_2$ 는 하늘의 등급,  $D_1$ 과  $D_2$ 는 각각 별과 하늘의 농도 값이다. 이 공식으로 구한 밤하늘의 밝기를 3차원의 그림으로 나타내었다. 그림 1로부터 그 결과를 살펴보면, 노출 시각이 80초인 경우에 서울의 밤하늘의 밝기는 13.7 - 14.6등급이고, 경기도와 강원도 지역에서는 몇몇 장소를 제외하고는 밤하늘의 밝기가 14.2 - 16.0등급이다. 일본의 경우 오사카의 토요나카지역의 밝기는 16등급이고, 도시에서 벗어난 오카야마의 밝기는 20등급으로 우리의 결과와 다소 차이가 났다 (Kosai *et al.*, 1992). 등급으로 환산하는 과정 중에 보정인자를 일정한 상수로 두었고, 일본은 positive 필름을 사용한 반면 우리는 negative 필름을 사용하였기 때문에 이를 보완 작업한다면, 다음 관측에서 비슷한 결론을 얻으리라 본다.

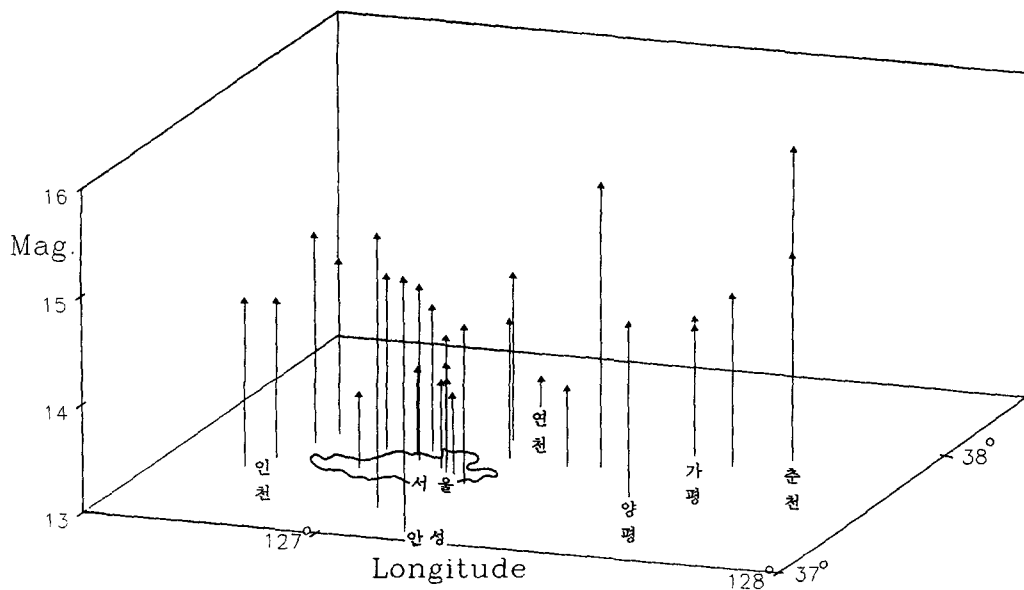


그림 1. 수도권 지역의 밤하늘 밝기

나사라와 김진영 (1995)은 연희동천문대에서 1994년 1월부터 1995년 4월 사이에 관측한 표준성  $\lambda$  Aur (4.71등급)의 관측 자료를 분석하여 연희동 지역의 밤하늘의 밝기를 계산하였다. 밤하늘의 밝기는 약 16등급이었으며, 월별 변화를 살펴본 결과 4월에 밤하늘이 가장 밝고, 9월의 밤하늘이 가장 어둡게 나타났다. 이는 우리나라에서 9월에는 하늘이 청명하고 깨끗하고, 4월에는 황사 현상에 의해서 대기가 뿌연해지기 때문인 것이다.

정장해 (1995)는 1990년부터 1994년까지 충북대 천문대에서 총 150일 동안 관측한 자료로부터 166개의 대기감광계수를 구하였다. 또한 1982년에서 1989년까지의 관측 자료를 합쳐서 10여년 동안의 감광계수를 분석하였다. 그 결과를 그래프로 나타내었는데, 그림 2에서처럼 감광계수는 해마다 증가하고 있으며, 대기감광계수가 3-4월이 12-1월보다 약 0.3등급 정도 큰 값을 가짐을 알 수

있었다. 특히 1994년 3월에는 대기감광계수가 가장 큰 것으로 드러났다. 그 이유는 3월에는 중국으로부터 날아오는 먼지의 영향이 상당하기 때문에 기인한 것으로 추정된다.

대학생 아마추어 천문회에서는 1992년부터 과학동아 주최와 쌍용의 후원으로 밤하늘을 관측하는 행사를 개최하고 있다. 1992년부터 매해 여름 기간 동안에 쌍안경을 이용하여 거문고 자리에서 보이는 별의 수를 세는 방법과 슬라이드 필름과 카메라를 사용하여 별을 찍는 두 가지 방법을 병행하였다. 첫해에는 60명이 참가하여 총 10지역에서 관측을 하였다. 1993년에는 80명이 참석하였고 총 24지역에서 관측을 하였으며, 1994년에는 40명이 참석하였고, 10지역에서 관측을 하였다. 이들 관측자료 중에서 1994년도의 별가를 찍은 슬라이드 필름을 PDA로 별과 배경 하늘의 농도를 읽은 후 등급으로 환산하였다. 그 결과 불빛의 영향을 거의 받지 않는 지리산의 밤하늘의 밝기는 20등급이고, 부산의 밤하늘의 밝기는 16등급이었다 (김경주 외, 1995).

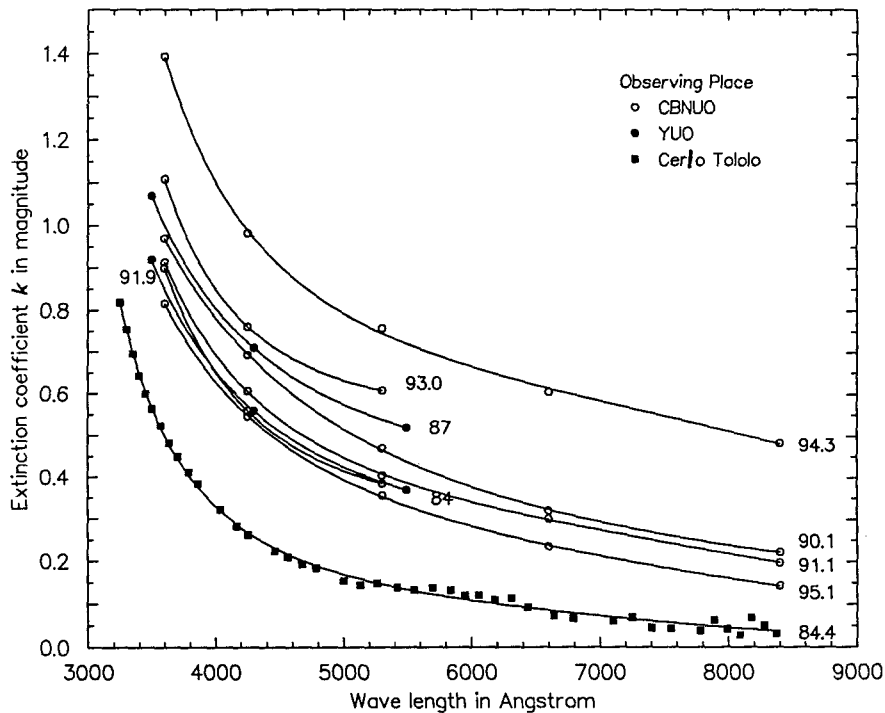


그림 2. 1982년부터 1994년까지 대기감광계수의 변화

### 5. 광공해의 주원인과 그 해결 방안

아리조나 주립대의 버스테인 (David Burstein)은 천문학에서 빛을 감지하는 기기의 효율성을 조사하였다 (Sperling, 1986). 1870년대부터 사용되던 사진건판은 건판을 때린 광자 중에 단지 3%만을 받아들인다. 1940년대에 개발된 광전증배관은 20%, 1970년대의 Silicon diode arrays는 40%, 그리고 오늘날 사용되는 CCD는 광자의 75%를 받아들인다. 이러한 관측기기들은 별에서 오

는 광자를 받아들일 수 있지만, 광공해가 심해지면서 희미한 천체들에서 나오는 광자를 제대로 받아들이지 못한다. 천문학적으로 가장 나쁜 형태의 옥외등은 여러 색의 파장을 지니고 있으며, 희미한 천체의 분광학적인 정보를 차단시키는 연속스펙트럼 형태의 옥외등이다. 연속스펙트럼을 내는 광원으로는 백열등, 형광등, 분홍빛의 고압나트륨 (High pressure sodium)이 있다. 저압나트륨 (low pressure sodium)과 수은 (mercury vapor)은 스펙트럼선에서 방출선을 나타낸다. 고압나트륨은 가시광선 파장 영역의 빛을 42% 정도로 차단하며, 수은은 전등의 모양에 따라 3%에 30%까지 빛을 차단한다. 그러나 저압나트륨인 경우에는 단지 1%만을 차단한다.

도시의 가로등과 같은 용도로 사용되는 여러 가지 광원들이 광공해의 주요 원인이 되고 있다. 각 광원들의 특징들을 살펴보고, 광공해를 줄이기 위한 방안으로 어떤 형태의 광원이 효율적인지를 알아보고자 한다.

- 백열등 (Incandescent Lamps)은 얇은 필라멘트선 (wire filament)으로 이루어져 있다. 이 필라멘트에 전류가 흐르면 서서히 붉게 달아오르면서 여러 파장 영역에 빛을 발하기 시작한다. 백열등에서 방출하는 빛이 프리즘을 통과하면 연속스펙트럼이 나타난다. 이 등의 연속스펙트럼으로 인하여 별에서 방출되는 빛이 거의 차단시키므로 별을 관측하는 천문학에는 해로운 광원에 해당된다.
- 수은등 (Mercury-Vapor Lamp)는 고에너지 방출 램프로서, 수은 가스를 사용한다. 수은등에서 발하는 빛은 푸른색과 흰색으로 보이고 자색의 후광이 생기며 자외선을 방출한다. 자외선은 인체에 해로운 빛이므로 수은등을 사용하려면 이 자외선을 막기 위한 필터가 필요하다. 즉 수은등의 겉표면에 자외선을 가시광선으로 변하게 하는 인 (phosphor)물질로 코팅하여 사용하게 된다. 이 등은 비싸지 않아 값싼 에너지로 사용된다.
- 고압나트륨 (High-Pressure Sodium Lamp)은 고에너지를 방출하는 램프이다. 고압 (100 torr)상태에서 나트륨에 전류가 통과할 때 빛이 생성된다. 넓은 범위의 파장 영역에서 빛을 방출하며, 가시광선의 스펙트럼을 40%이상이나 차단한다.
- 저압나트륨 (Low-Pressure Sodium Lamp)은 낮은 압력 (0.0001 torr)에서 나트륨에 전류가 통과할 때 이 나트륨등이 노란 색으로 달아오르면서 좁은 파장 영역에서 빛을 발생한다. 저압나트륨등은 단색 파장에서 빛을 발하므로 99%의 별빛을 받아들일 수 있는 이점이 있다. 이 나트륨등은 비싸지도 않으므로 효율적인 대처 방안 중의 하나라고 여겨진다.

표 1. 여러 가지 형태의 광원 (lighting sources)의 특징 (Crawford *et al.* 1990)

등이름	발광 원리	파장 영역	효 율 (lumen/watt)
백 열 등	필라멘트에 전류가 흐를 때	가시광선이 강한 연속스펙트럼	20
수 은 등	수은에 전류가 흐를 때	자외선이 강한 연속스펙트럼	54
고압나트륨등	고압상태에서 나트륨에 전류가 흐를 때	자외선이 강한 연속스펙트럼	125
저압나트륨등	저압상태에서 나트륨에 전류가 흐를 때	단색파장	183

다음으로 중요한 요인은 전등의 형태(fixture)이다. 대부분의 사람들은 밤에 거리가 환하게 비추어야 한다고 생각하므로 사람들이 많이 모여드는 도로, 인도, 주차장 등에 많은 조명들이 빛을 내고 있다. 여기서 광공해를 줄이기 위한 목적은 모든 불빛을 없애는 것이 아니라 가까이서 필요한 만큼의 빛만을 사용하는데 있다. 그러므로 빛을 잘 이용하는 방법은 불빛이 하늘로 향하게 하는 것이 아니라 빛을 필요로 하는 지표면만을 향하도록 하는 것이다 (Bunge, 1995). 우리가 어디에서 볼 수 있듯이 대부분의 가로등이나 전등은 그림 3에서와 같이 갓이 없고 360도 방향으로 빛이 퍼져 나가는 형태이다. 이렇게 등에 갓이 쓰여 있지 않게 디자인된 광원들을 갓이 없는 등 (non-cutoff fixture)라고 하며, 불필요한 에너지의 손실과 함께 상당한 액수를 낭비하게 되는 셈이다.

또한 부분적으로 갓을 단 가로등도 또한 거의 모든 방향으로 불빛을 방출한다. 빛은 지면에 도달하는 양만큼 옆과 위로도 퍼져 나가기 때문이다. 그러므로 가장 좋은 해결책은 그림 3의 아래 모양과 같이 완전히 갓을 씌운 등(fully shielded light fixture)을 권장하는 것이다. 이것을 갓을 씌운 등(full-cutoff fixture)이라고 한다. 이 형태는 모든 방향으로 빛을 방출하면서도 하늘로 향해 비추지 않고 필요한 지역만을 비추므로 불필요한 빛을 낭비하지 않아도 된다.

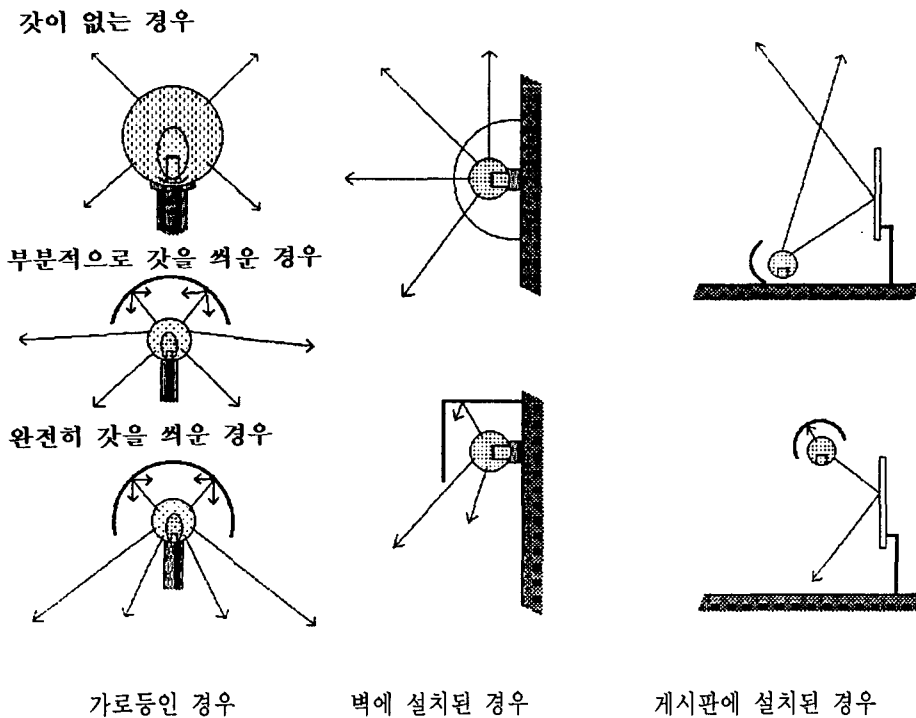


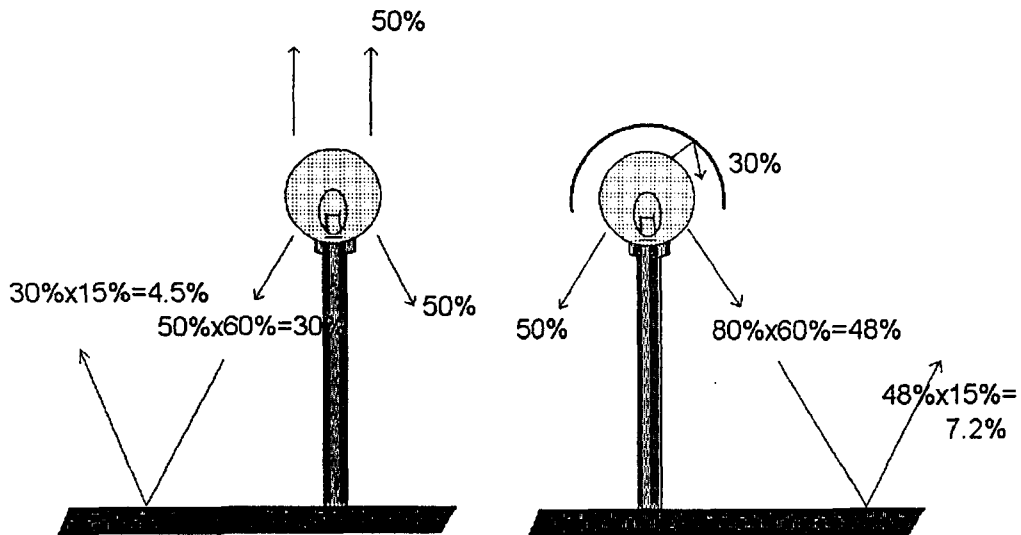
그림 3. 여러 형태의 전등

나리사다 (Narisada, 1995)는 갓이 없는 전등과 갓이 있는 전등에서 방출하는 빛이 지표면과 하늘을 향하는 양이 얼마만큼 되는지를 비교하여 갓의 유무에 따른 효율을 살펴보았다 (그림 4). 갓이 있는 전등과 갓이 없는 전등이 모두 100%의 빛을 방출한다고 가정하였다. 광원에서 나오는 총 에너지와 하늘로 방출되는 양을 살펴보기 위하여 우선 갓이 없는 전등의 경우에 50%는 하늘로, 나머

지 50%는 지표면을 향하여 방출된다. 지표면으로 방출된 50% 전부를 우리가 볼 수 있는 것이 아니라 그 양의 60%에 해당하는 양, 즉 30%가 실제로 물체를 비추는데 사용된다. 그리고 이 빛이 지표면에서 15%가 반사되어 다시 위로 방출된다고 가정하면 30%의 15%에 해당하는 4.5%가 된다. 그러므로 갓이 없는 전등에서 하늘로 방출하는 빛의 총량은 54.5%가 되는 것이다.

다음은 갓이 있는 전등의 경우로 지표면으로 방출하는 양은 50%로 같지만, 갓이 있기 때문에 위로 향한 50%는 갓에 반사되어 30%가 지표면으로 향한다. 그러므로 총 80%가 지표면을 비추게 된다. 실제로 우리가 받아들이는 양은 60%에 해당하는 48%이다. 또한 이 48%에 해당하는 빛의 양이 되반사되어 위로 방출하는 양은 7.2%가 된다. 갓이 있는 전등에서 하늘로 방출하는 빛은 7.2%로서 갓이 없는 전등이 하늘로 방출하는 양의 약 1/7의 빛만이 하늘로 향할 뿐이다.

광공해에 대한 인식이 확대되어 가지만 아직은 일반인들뿐만 아니라 별을 바라보는 대부분의 천문학자들도 밤하늘이 점차 밝아지는 광공해에 대해 그렇게 절실히 느끼지 못하고 있음은 분명하다. 천문학자들은 관측을 위해서 별빛이 없는 곳에 천문대를 설치하고 일반 사람들은 그들의 안전을 위하여 더욱더 밤을 밝힐 것이다. 결국 미래에는 밤하늘이 매우 밝아져서 전혀 육안으로 별을 볼 수 없게 될 것이다. 그러므로 적절하게 필요한 빛을 밝히면서도 불필요한 빛을 줄일 수 있는 가능한 한 방법은 거의 모든 장소에서 사용되는 전등의 모양을 갓이 있는 전등으로 바꾸고, 광원을 저압나트륨 등으로 대체시키는 것이다. 그러면 우리는 에너지의 낭비를 대폭 줄이면서 동시에 밤하늘을 바라보는 사람들에게 꿈과 쾌적한 환경을 유지시킬 수 있을 것이다.



하늘로 향하는 빛의 양	54.5%	하늘로 향하는 빛의 양	7.2%
실제로 물체를 비추는 양	30%	실제로 물체를 비추는 양	48%

그림 4. 갓이 없는 전등과 갓이 있는 전등에 대한 빛의 효율성 비교

6. 참고문헌

- 김경주 강영운, 1995, the proceedings of East Asian Meeting on Astronomy in press.  
나사라 김진영, 1995, the proceedings of East Asian Meeting on Astronomy in press.  
정장해, 1995, the proceedings of East Asian Meeting on Astronomy in press.  
Bunge, R. "How to Bear Light Pollution" in Astronomy, September 1995, p.44  
Kosai, H., Isobe, S., and Nakayama, H. 1992, A Global Network Observation of Night  
Sky Brightness in Japan, proceeding of International Dark Sky Association  
Narisada, K. 1995, the proceedings of East Asian Meeting on Astronomy in  
press.  
Sperling, N. "Light Pollution: A Challenge for Astronomers" in Mercury,  
Sep/Oct, 1986, p144