



Globe at Night - Sky
Brightness Monitoring
Network

한국천문연구원 2017년 교원천문연수 - 중급과정 -

별 불일 있는 밤하늘

김용기 교수
충북대학교 천문우주학과
한국천문연구원
2017년 1월 17일



1부: 별불일 있는 밤하늘 그리고 빛 공해
2부: 밤하늘 밝기 측정 모니터링
3부: 빛공해 관련 체험프로그램



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수 -

1부: 별 볼일 있는 밤하늘과 빛공해



별볼일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

빛 공해의 현실



별볼일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

RESEARCH ARTICLE

ENVIRONMENTAL PROTECTION

2016 © The Authors, some rights reserved.
exclusive licensee American Association for
the Advancement of Science. Distributed
under a Creative Commons Attribution
NonCommercial License 4.0 (CC BY-NC).
10.1126/sciadv.1600377

Artificial lights raise night sky luminance, creating the most visible effect of light pollution—artificial skyglow. Despite the increasing interest among scientists in fields such as ecology, astronomy, health care, and land-use planning, light pollution lacks a current quantification of its magnitude on a global scale. To overcome this, we present the world atlas of artificial sky luminance, computed with our light pollution propagation software using new high-resolution satellite data and new precision sky brightness measurements. This atlas shows that more than 80% of the world and more than 99% of the U.S. and European populations live under light-polluted skies. The Milky Way is hidden from more than one-third of humanity, including 60% of Europeans and nearly 80% of North Americans. Moreover, 23% of the world's land surfaces between 75°N and 60°S, 88% of Europe, and almost half of the United States experience light-polluted nights.

INTRODUCTION

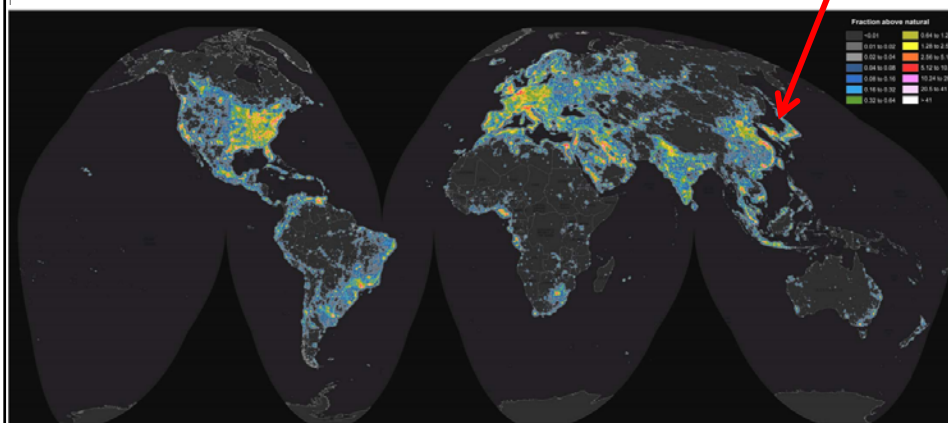
observed during the night hundreds of kilometres from its source in landscapes that seem untouched by humans during the day (6), damaging the nighttime landscapes even in protected areas, such as national parks (for example, the light domes of Las Vegas and Los Angeles as seen from Death Valley National Park). Notwithstanding its global presence, light

Falchi et al. Sci. Adv. 2016;2:e1600377 10 June 2016

1 of 25

별볼일없는박하늘 - 최문연 정교사 연수.

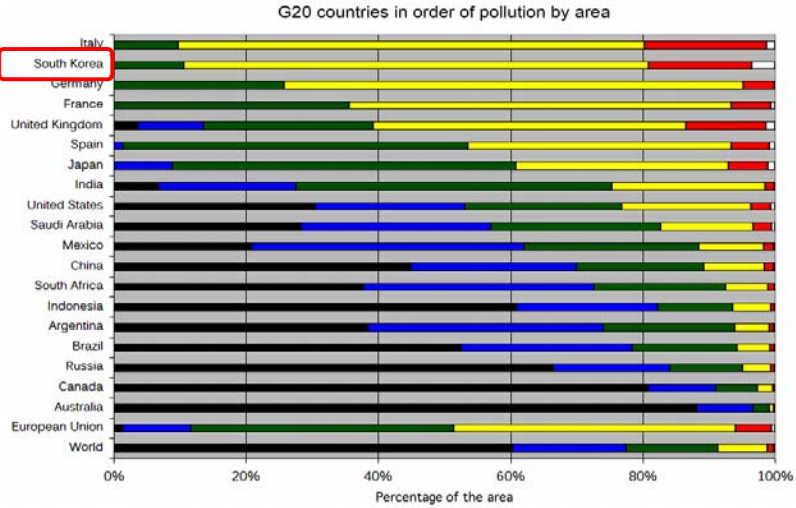
한국



- 인류의 80%가 Skyglow의 영향을 받고 있다
- 인류의 1/3이 은하수를 볼 수 없는 환경에서 살고 있다

별볼일없는밤하늘 - 천문연 정교사 연수.

빛 공해의 현실



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

빛 공해의 현실

별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

야경의 정의

- 수세기 동안 야경은 달과 별들이었다. 보름달일 때 야경은 상당히 밝았을 것이고, 초승달일 때는 약간 어두웠을 것이다
- 지난 100년 동안 도시에 거주하는 사람들에게 야경은 조명이 밝혀진 건물들, 가로등이 비추고 있는 거리들 그리고 빈 공간들로 구성되어졌다
- 절충안이 존재할까?



별볼일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

조명의 역사

- 거리조명은 약 300년 전부터 시작되었다
- 나무기둥 위에 설치된 기름램프가 사용됨
- 18세기초기: 기둥과 램프가 무쇠로 된 기름램프가 사용됨
- 19세기 초: 가스램프가 사용되기 시작
- 20세기: 전기램프(전등)이 널리 사용됨



별볼일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

현대의 야외조명

- 가로등
- 철로 조명
- 공원
- 운동장
- 주차장
- 조경
- 주택조명
- 빌딩조명
- 횡단보도와 자전거도로 조명



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

야외조명의 목적

- 야간에 안전한 환경을 제공
- 공원과 산책로들을 야간에도 사용가능
- 역사적인 건물이나 주목할 만한 현장들을 더 두드러지게 함
- 도로와 교차로에서 교통을 원활하게 함



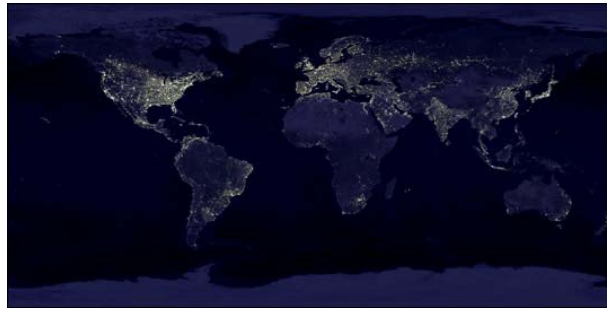
별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

빛 공해 란?

IDA (International Dark-Sky Association)의 정의

<http://darksky.org/lightpollution/>

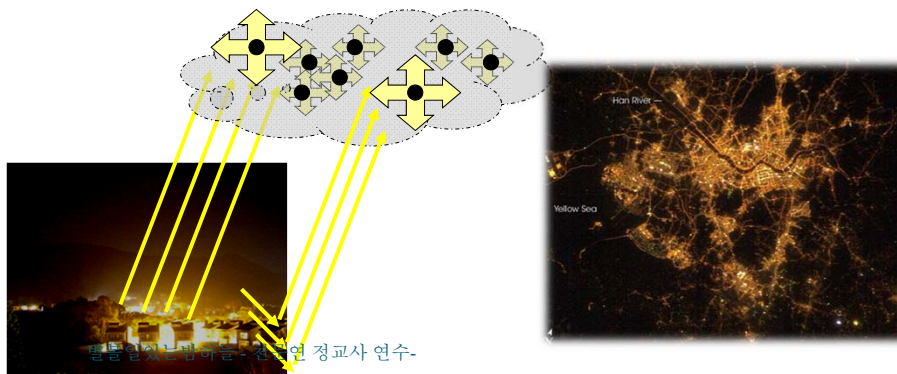
1. 기능을 제대로 하지 못하는 낭비되는 조명
 - Sky Glow (하늘의 밝아짐)
 - Glare (너무 환한 조명)
2. 목적하지 않은 곳으로 향하는 인공조명
 - Trespass (이웃집 창문에서 새어 나오는 불빛)
 - Clutter하늘로 향하는 불빛



별볼일없는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

빛공해

- 인공조명으로부터 직접 위로 향하는 빛 또는 에어로졸(구름, 안개) 또는 대기중의 공해입자에 의해 산란되어 위로 향하는 낭비된 빛



별볼일없는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

야외조명



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

야외조명의 조건

- 가시성을 좋게 해야 한다(시야를 방해하면 안 된다)
- 눈부신 빛을 만들지 말아야 한다
- 야외조명은 야경의 일부이지 전부는 아니다
- 다른 사람의 소유물에 방해하지 않아야 한다
- 기본설계가 종합적으로 되어야 한다



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

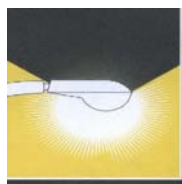
야외조명의 조건

- 안전한 환경을 제공해야 한다
- 자동차, 자전거 그리고 보행에 안전한 경로를 만들어 주어야 한다
- 야외공간을 잘 활용할 수 있도록 도와주어야 한다



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

차폐 조명들



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

차폐조명의 중요성

- 차폐되지 않은 조명이 만들어내는 것들
 - 야광(Sky Glow)
 - 눈부신 빛(Glare)



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

문제가 되는 조명



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

차폐되지 않은 조명은 에너지 낭비

- 필요이상으로 흘러나오는 빛은 에너지를 낭비할 뿐만 아니라 경제적인 손실을 야기한다
- 환경에 대한 책임을 다하는 야외조명은 이런 낭비를 줄여주고 경비도 줄여준다
- 불필요한 조명의 예(↓): 지붕을 비추는 불필요한 조명은 전기료만 많이 나오게 한다 (주차장의 안전을 보장해주지 않는다)



차폐되지 않은 조명은 안전하지 않다

- 밤에 학생들이 안전하게 다닐수 있도록 길의 오른쪽에 눈부신 조명이 설치되었다



학생은 어디로 걸어갔나?



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

야생동물에 부정적인 영향

- 동물과 식물은 24시간 사이클에 근거한 리듬으로 살아간다. 밤에 너무 많은 인공조명은 야생동물과 물고기들의 방향감각을 흐트러뜨리게 된다
- 이동, 짝짓기, 음식을 찾아나서기 그리고 잠자는 것들에 영향을 미친다



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

인간의 건강에 악영향

- 침실에 빛이 들어오면 수면패턴을 방해한다
- 눈에 밝은 빛이 비치면 눈이 부시게 되어 야간식별능력이 감소된다
- 생체시계에 어떤 영향을 주는지에 대한 연구가 진행되고 있다



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

천문학에 부정적인 영향

- 빛 공해는 우리의 가장 큰 자연실험실의 하나인 밤하늘에 부정적인 영향을 끼친다
- 주요 공장들은 유용함을 제공하기도 한다:
 - 휴대폰 기술
 - X-선, MRI 촬영과 의학적 영상
 - 위성통신



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

어떻게 해야 할까?



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

어떻게 해야 할까?

- 야외조명은 차단되거나 또는 차폐되어야 한다. 빛이 90도 이상을 비추게 하면 안된다
- 완전히 차폐된 조명을 새로 구입하거나 보강해야 한다
- 사용자 타이머나 디머 스위치 또는 모션센서 등을 사용한다
- 주차장 또는 가정에서의 모션센서는 해가지고 동이를 때까지 운동이 감지될 때 조명이 켜지게 한다

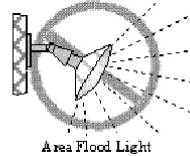
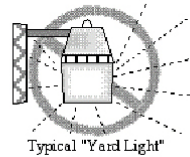
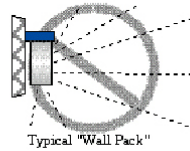


별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

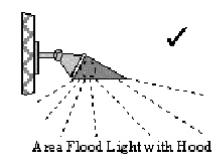
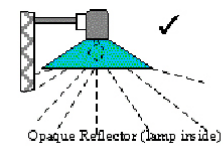
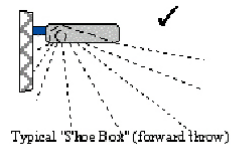
조명

EXAMPLES OF SOME COMMON LIGHTING FIXTURES

POOR

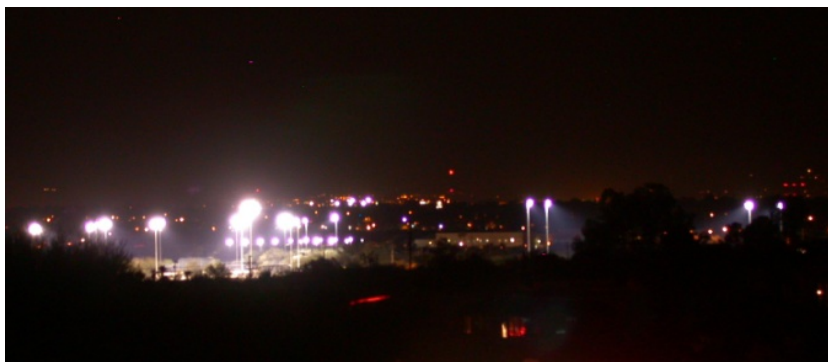


GOOD



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

차폐조명과 차폐되지 않은 조명의 예



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

잘못 매입된 조명과 잘 매입된 조명



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

공항의 완전히 차폐된 조명



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

현금인출기의 차폐되지 않은 조명



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

차폐되지 않은 조명의 전형적인 형태인 수은등 조명



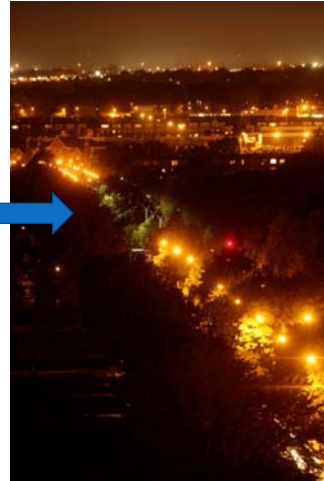
별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

차폐된 조명이 어떻게 눈부심을 작게할까?

- 완전 차폐된 거리조명의 시험장소(모트리올 Ville St-Laurent지역). (→) 차폐되지 않은 조명의 예



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-



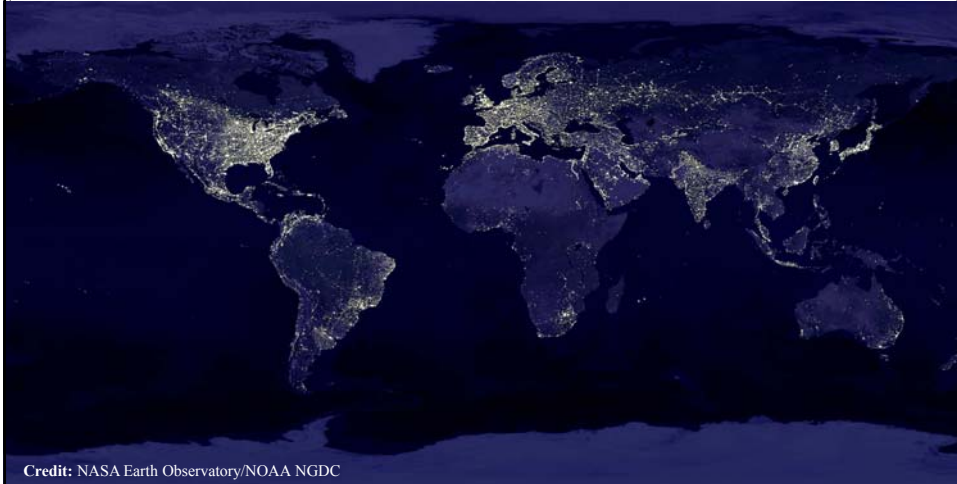
2부: 밤하늘 밝기 측정 모니터링

- SQM이용한 NSB모니터링



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

밤에 본 지구 – 조명으로 밝혀진 세계



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

밤에 본 지구 (2012)



밤에 본 지구 - 한국(2014)



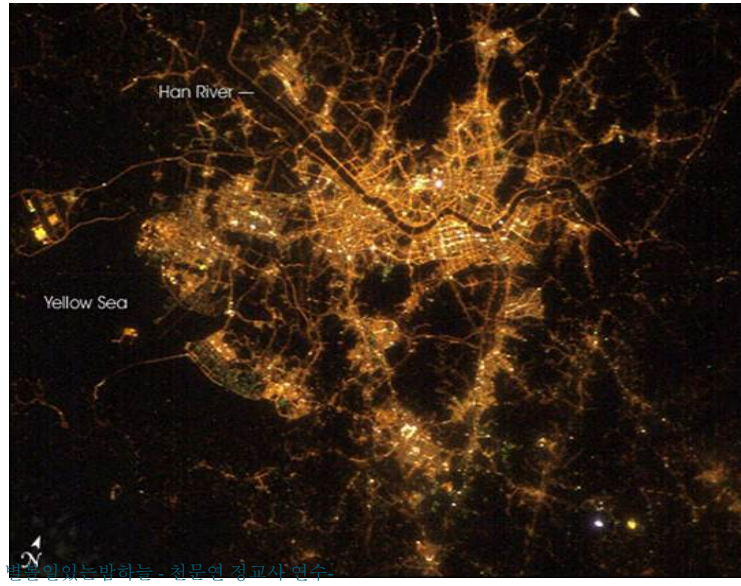
별분일있는바하늘-첨문역 정교사 역수
Credit: Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center, The Gateway to Astronaut Photography of Earth
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83182>

밤에 본 지구 - 한국(2014)



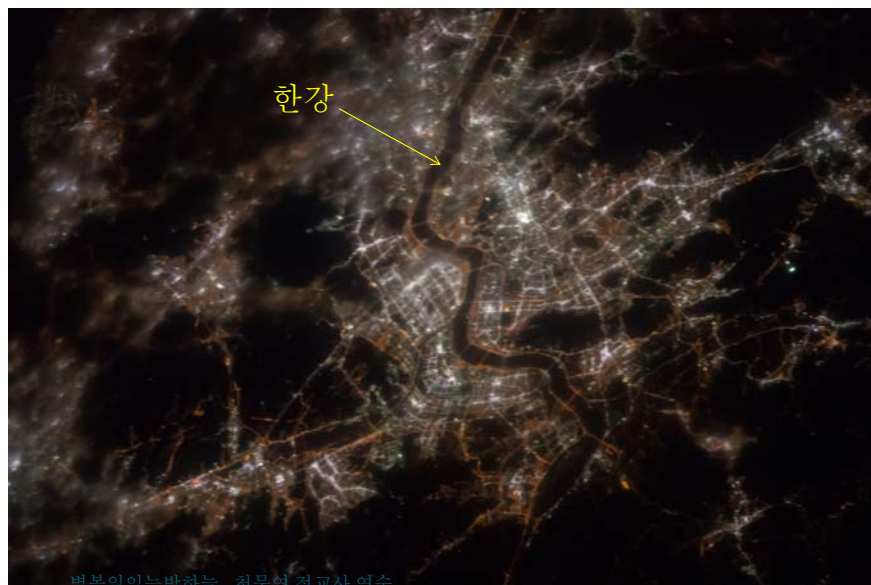
별분일있는바하늘-첨문역 정교사 역수
Credit: Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center, The Gateway to Astronaut Photography of Earth
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83182>

밤에 본 지구 – 한국, 서울(2014)



Credit: Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center, The Gateway to Astronaut Photography of Earth

밤에 본 지구 – 한국, 서울(2016년 4월)



Credit: Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center, The Gateway to Astronaut Photography of Earth

밤에 본 지구 – 한국, 부산(2012)



별볼일없는 밤하늘 - 천문연 정교사 연구-

Credit: Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center, The Gateway to Astronaut Photography of Earth

밤에 본 지구 – 한국, 제주(2011)



별볼일없는 밤하늘 - 천문연 정교사 연구-

Credit: Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center, The Gateway to Astronaut Photography of Earth



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

빛 공해와 밤하늘 밝기 (Night Sky Brightness, NSB)

- Sky glow
 - Scattering of artificial light by cloud, aerosol, and suspended particulates in the atmosphere
 - Spreading light pollution effects to greater distance
 - Decreasing the brightness contrast of night sky
- NSB:
 - **Measured light intensity of the zenith sky at night**
 - Combination of the scattered light from artificial lighting sources and natural emissions (airglow, zodiacal/star/Galactic light, etc)

별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

밤하늘 밝기 (NSB)

- **인공조명:**
 - Follow routine pattern of operations nightly
 - Vary according to land utilization, population, etc
 - Scattered city light from cloud
- **자연방출:**
 - Moonlight: major natural light source
 - Low in intensity: airglow (emissions from atoms and molecules ionized by solar radiation), integrated starlight, diffuse galactic light, extragalactic background light, etc

별볼일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

밤하늘 밝기 측정

1. Astronomical photometry

- Traditional way: telescope + CCD sensor
- NSB is estimated by brightness of star-free regions on CCD images
- **Advantages:**
 - Small photometric error ($\leq \pm 0.1 \text{ mag arcsec}^{-2}$)
 - Multiple bands measurement
 - Wide range of field-of-view
- **Disadvantages:**
 - Highest cost (personnel, equipment)
 - Low geographical (at the observatory) & temporal (relatively few observations per nights) coverages

별볼일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

밤하늘 밝기 측정

2. Night-time remote sensing data:

- Operational Linescan System, Defense Meteorological Satellite System (OLD-DMSP)
- Day-Night Band, Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (DNB-VIIRS, Suomi National Polar-orbiting Partnership)
- International Space Station (ISS)
- Aerial photos by aircrafts
- **Advantages:**
 - Identify sources of light pollution
 - Large geographic coverage (from regional to global scale)
- **Disadvantages:**
 - Low temporal coverage
 - Challenging absolute/relative calibration over the large spatial coverage and over time

International Workshop on Night Sky
Brightness Measurements
Korea, 2.5.2016



Globe at Night - Sky
Brightness Monitoring
Network



밤하늘 밝기 측정

3. Dedicated devices

- DigiLum luminance meter, Mark Light Meter, Sky Quality Meter (SQM), etc
- **Advantages:**
 - Balance between accuracy (± 0.1 mag arcsec⁻²) and cost (~USD 300 per unit)
 - Easy to use
 - High data sampling frequency (several seconds)
- **Disadvantages:**
 - Single band measurement
 - An average of the spatial variations of night sky

International Workshop on Night Sky
Brightness Measurements
Korea, 2.5.2016



Globe at Night - Sky
Brightness Monitoring
Network



SQM-LE를 이용한 NSB측정

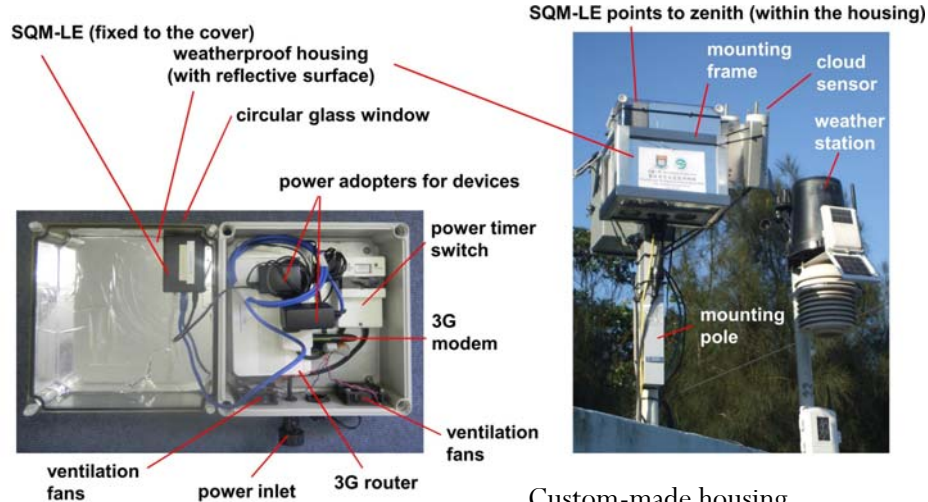


Credit: UniHedron

- Sky Quality Meter – Lens Ethernet (SQM-LE)
- Gives NSB in the unit of mag arcsec^{-2}
- Claimed accuracy of $\pm 0.1 \text{ mag arcsec}^{-2}$

별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

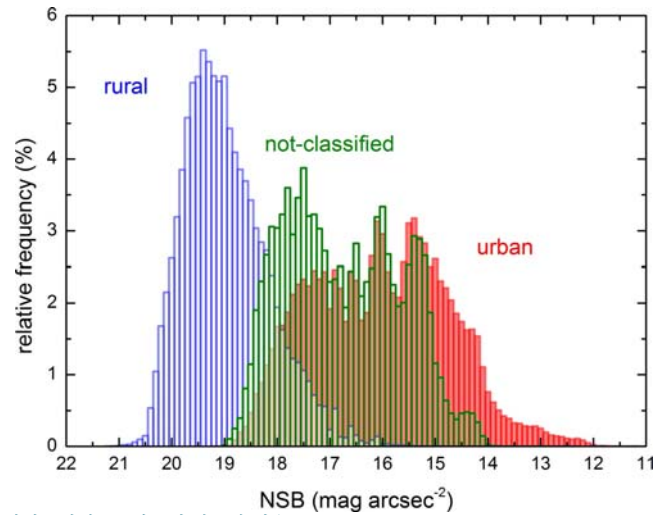
Measuring NSB by SQM-LE



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

Result highlights

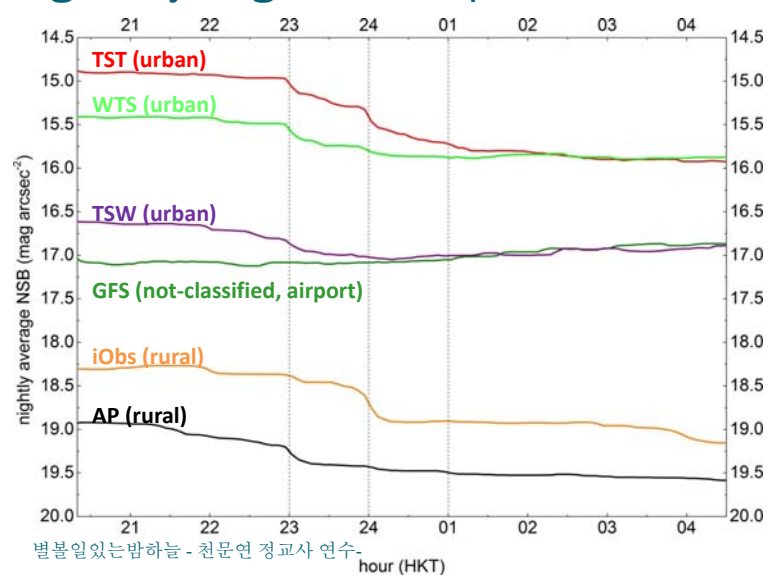
- Night sky brightness depends on location



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

Result highlights

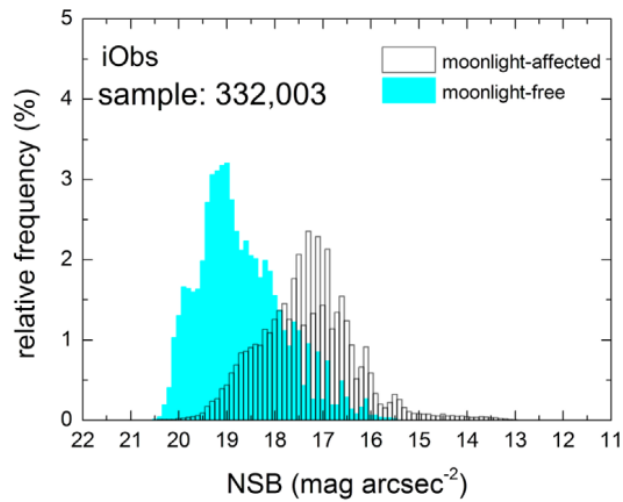
- Night sky brightness depends on time



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

Result highlights

- moonlight impacts on rural NSB observations



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

밤하늘 밝기측정

- 홍콩대학의 모니터링 네트워크의 확장:
 - 다른 지역에서 NSB를 측정
 - 측정자료를 이용하여 한가지 방법으로 분석
 - 자연적인 요소와 인공적인 요소들에 대해 NSB가 어떤 의존성을 보이는지 연구
 - 지역에서 측정된 관측자료를 가지고 지역적인 문제로서 빛공해를 연구하고, 그 해결책을 강구하기를 바라는 마음으로 . . .

별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

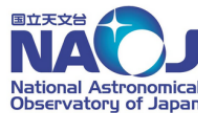
The Globe at Night - Sky Brightness Monitoring Network (GaN-MN)

- Co-organizers:

- Office of Astronomy Outreach, International Astronomy Union (IAU)
- National Astronomical Observatory of Japan
- The University of Hong Kong
- The Globe at Night project, National Optical Astronomical Observatory (NOAO)



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

The Global at Night - Sky Brightness Monitoring Network in Korea



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

밤하늘 밝기 측정 기기 (SQM-LE)를 이용한 모니터링

1 밤하늘 밝기 측정 기계



SQM-LE

• 장비 : Sky Quality Meter – Lens Ethernet (SQM-LE)

• 사양

- Ethernet 연결 (LAN으로 연결가능)
- 광센서 : TAOS TSL237 Light-to-Frequency Converter (320 ~ 700nm 파장대의 빛 감지)
- 근적외선 차단 필터 : Hoya CM-500
- 크기 : 3.6 × 2.6 × 1.1 in. (9.1 × 6.6 × 2.8 cm)
- 5-6V DC adapter 사용
- mag arcsec-2 범위의 밤하늘 밝기 측정
- 오차 ±0.1 mag arcsec-2의 정확성
- SQM-LE는 특정 파장대역(320~700nm)의 빛을 감지하는데 스펙트럼에 반응하는 SQM의 함수그래프와 양자효율, 필터 투과율 등을 비교 정밀함 확인.



SQM-L : \$134.99US

SQM-LE : \$249.99US, \$289.94US, \$349.94US

<http://unihedron.com/>



2 SQM-LE 설치

데이터 수집을 위한 3G모바일 네트워크 사용

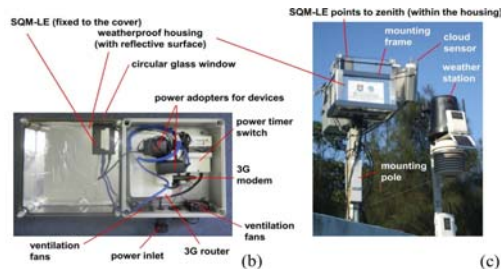
• 3G SIM card (고정 IP 필요) + 모뎀 + 공유기

• 장점

- 서버로부터 실시간으로 데이터 저장
- 비용 절감 : 야외에서 데이터 전송, 컴퓨터로 측정 가능

• 단점

- 큰 하우징 시스템 구축 필요. (방수 등)
- 높은 설치비용 (고정IP, 하우징 시스템 구축)
- 네트워크 범위가 필요하며, 기상이변에 따른 네트워크의 불안정

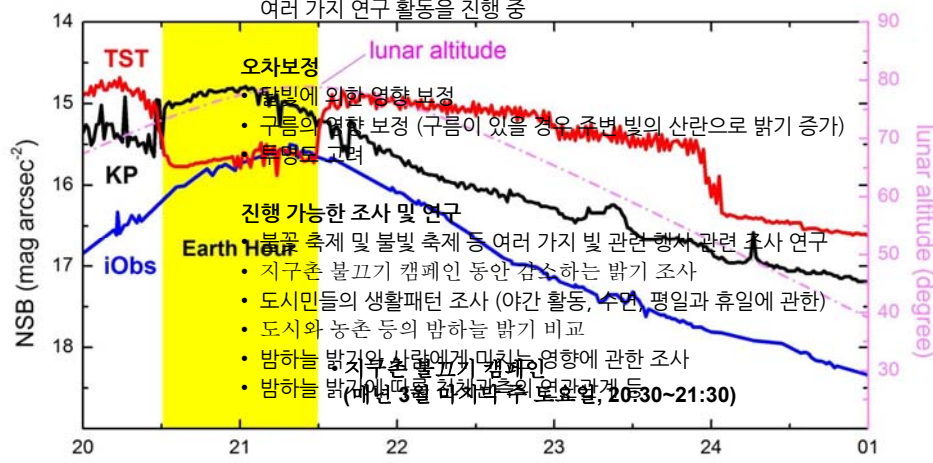


홍콩대학의 측정 데이터 활용

1 홍콩대학 연구팀 (Hong Kong Night Sky Brightness Monitoring Network)

연구활동

- 일본 및 홍콩, 유럽, 미국에서 밤하늘 밝기를 조사하여 밝기 데이터를 이용한 여러 가지 연구 활동을 진행 중



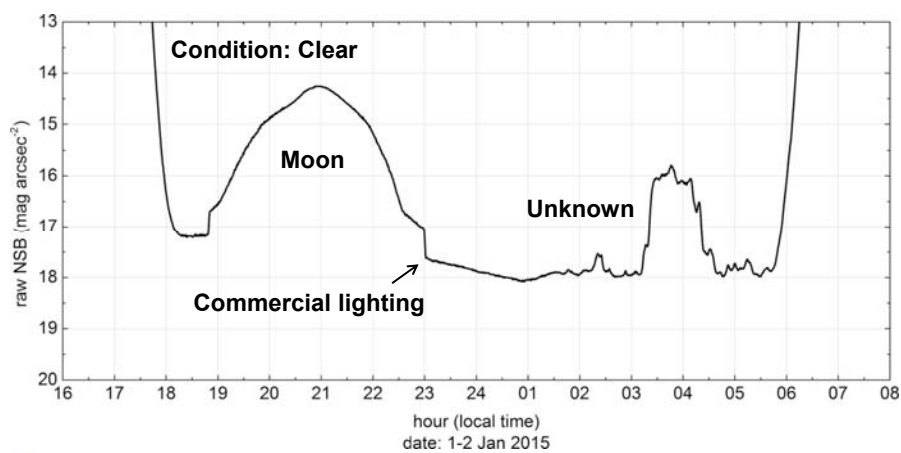
각국의 설치 장소 및 측

1 아시아 각국의



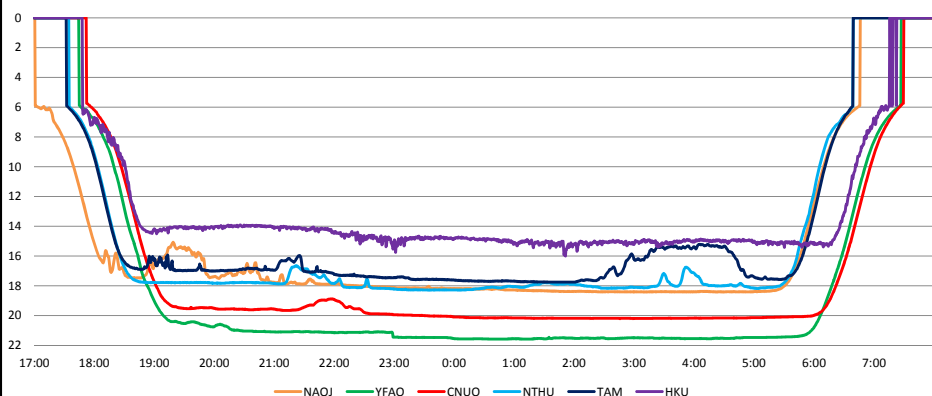
각국의 설치 장소 및 측정 데이터

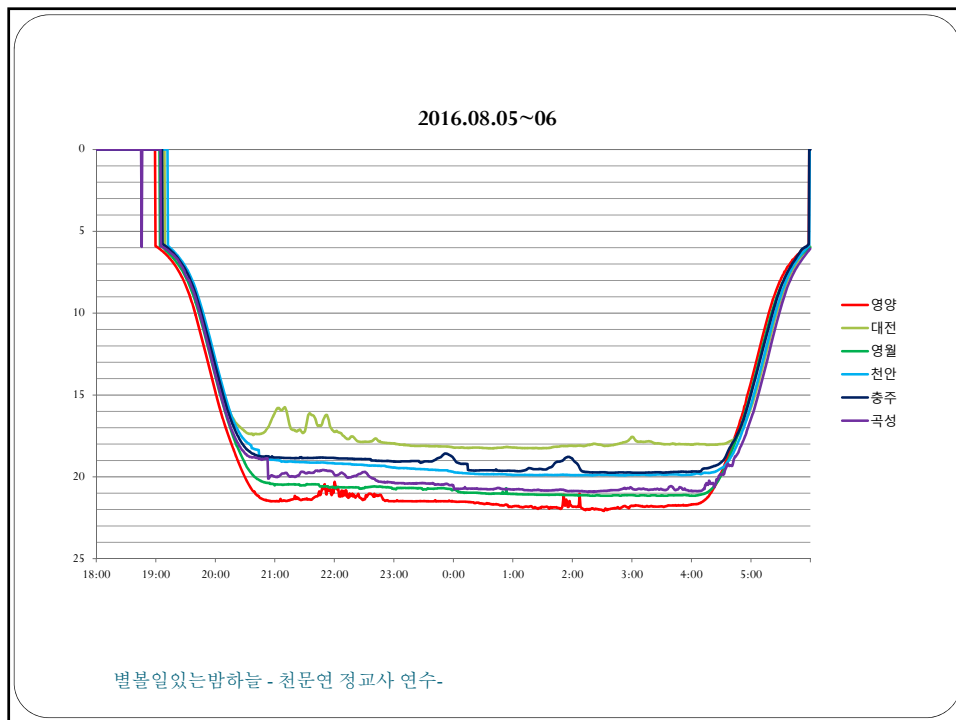
1 아시아 각국의 사례



영양반딧불이천문대 밤하늘 밝기 측정 데이터

NSB (2015-02-04 ~ 2015-02-05, NEWMOON)





3부: 빛 공해와 NSB관련 체험프로그램



별 불일 있는 밤하늘을 위하여 . . .

- GlobeatNight 캠페인 프로그램
- SQM이용한 NSB 측정 체험프로그램

별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

밤하늘 밝기 측정 체험프로그램

1. GlobeatNight 캠페인 프로그램

- Globe at Night(www.globeatnight.org ,USA)
: Globe at Night 캠페인 번역
- 체험 프로그램 개발
: Globe at Night의 Dark Skies Rangers를 활용한 빛공해
체험 프로그램 개발

별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-



체험 프로그램 개발의 예

강의 진행 과정	강의 내용	강의 시간
Dark skies Awareness	위성 사진 및 상황 별 관측 결과를 활용하여 밤하늘에 대한 인식 고찰	10분
빛공해	‘빛공해’의 이론 설명과 빛공해 방지 대책의 소개	10분
Globe at Night	활동 방법 소개	5분
별자리	스카이프로그램을 활용하여 별자리 찾는 법 교육	10분
실습 진행	활동지를 배부하여 별자리 찾기 및 실제 Globe at Night 활동 진행	30분
결과 보고	실습 결과를 보고하고 다른 보고 자료와의 비교 및 분석을 통해 Dark Sky와 빛공해를 경험적으로 인지	15분

별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

Globe at Night 보고 자료

2015: Globe at Night Real-time Interactive Infographic

So far in 2015, Globe at Night has received

12,040 Observations

from **77** Countries

& **47** US states



별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

Globe at Night 보고 자료

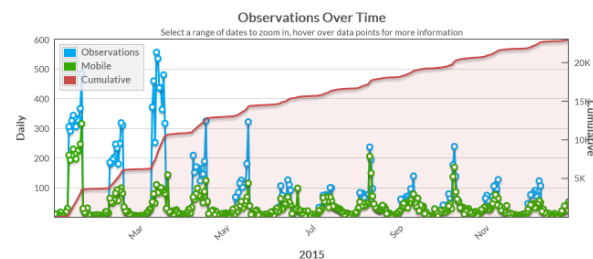
2015: Globe at Night Real-time Interactive Infographic

In 2015, Globe at Night received

23,052 Observations

from **104** Countries

& **50** US states

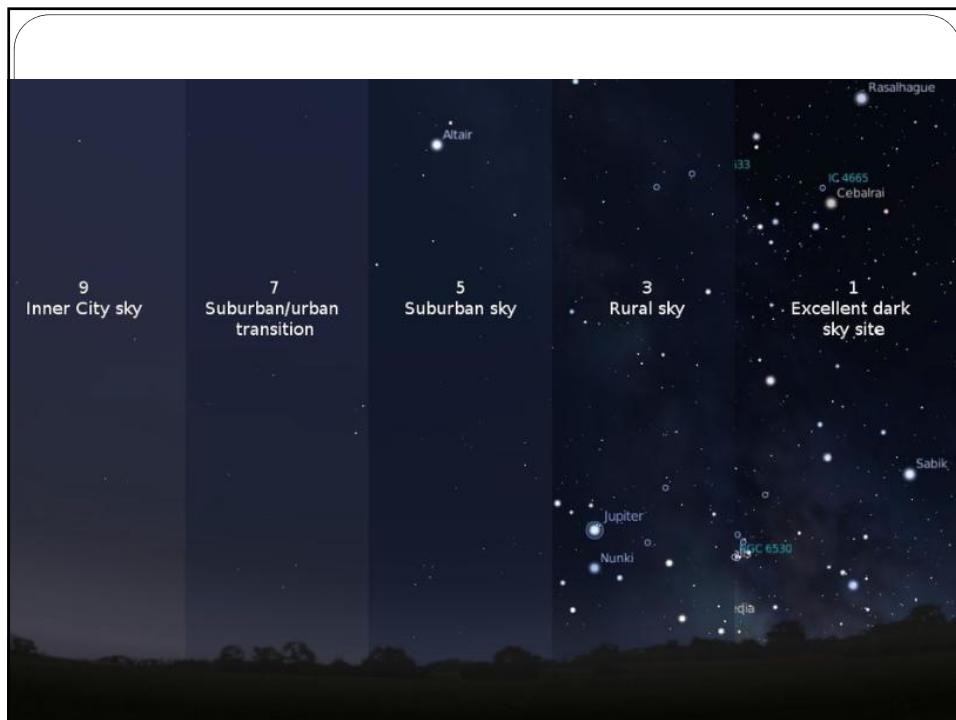


별불일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-

Globe at Night 보고 자료



별볼일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-



Globe at Night 보고


Globe at Night

[About](#)
[Learn](#)
[Observe](#)
[Report](#)
[Maps & Data](#)
[Resources](#)

[Resources](#)
[Postcards](#)
[Activity Guides - North](#)
[Activity Guides - South](#)

Globe at Night Downloadable Resources

Printable Magnitude Charts

Star Charts for [Globe at Night](#) provided by [Jan Hollan](#), of the [Global Change Research Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic](#).

Dark Skies Rangers

The [Dark Skies Rangers](#) program provides ways to visualize the problem of light pollution with simple, easy-to-grasp, and fun activities. Click on the link for more information!

Quality Lighting Teaching Kit

The [Quality Lighting Teaching Kit](#) provides six activities which use quality lighting to solve realistic cases on how light pollution affects wildlife, the night sky, our eyes, energy consumption, safety and light trespass into buildings.

Data Reporting Webapp Translations

- [Catalan](#)
- [Chinese \(simplified\)](#)
- [Chinese \(traditional\)](#)
- [Chilean Spanish](#)
- [Czech](#)
- [English](#)
- [Finnish](#)
- [French](#)
- [Galician](#)
- [German](#)
- [Greek](#)
- [Icelandic](#)
- [Indonesian](#)
- [Italian](#)
- [Japanese](#)
- [Persian](#)
- [Polish](#)
- [Portuguese](#)
- [Romanian](#)
- [Serbian](#)
- [Slovenian](#)
- [Slovak](#)
- [Spanish](#)
- [Swedish](#)
- [Swiss French](#)
- [Swiss German](#)
- [Thai](#)
- [Turkish](#)

We would like to graciously acknowledge our translators!

• A. Azadegan	• B. Garcia	• J. Vogel	• S. Hu
• A. Costa	• B. Haenel	• K. Czart	• S. Klotz
• A. Eklöf	• C. Ibarlucea	• M. Metaxa	• S. Ribas
• A. Grigore	• G. Pavicic	• N. Ochi	• S. You
• A. Le Gué	• H. Guo	• O. Onal	• T. Lixthierameth
• A. Nieminen	• I. Ugarte	• P. Horalek	• V. Bianchi
• A. Pace	• J. Merc	• R. Snoj	• V. Grigore
• A. Risi	• J. Pišala	• S. Bará	• Y. Kim
• A. Wisniewska	• J. Romanowska	• S. Gudmundsson	• Z. Kollath
• A. Yamani			

Globe at Night Websites from Around the World

- [Greece](#)
- [Japan](#)
- [Slovakia](#)

Globe at Night 활동 방법

Northern Constellations	Southern Constellations
2016  Perseus December 20-30, 2016	2016  Orion December 20-30, 2016
2017  Orion January 19-28, February 18-27, 2017	2017  Orion January 19-28, February 18-27, 2017
 Leo March 20-29, April 18-27, May 17-26, 2017	 Canis Major March 20-29, 2017
 Hercules June 16-25, July 15-24, August 14-23, 2017	 Crux April 18-27, May 17-26, 2017
 Cygnus September 12-21, October 11-20, 2017	 Scorpius June 16-25, July 15-24, 2017
 Pegasus November 10-19, December 9-18, 2017	 Sagittarius August 14-23, September 12-21, 2017
	 Crus October 11-20, November 10-19, December 9-18, 2017

별볼일있는밤하늘 - 천문연 정교사 연수-