

## 광해에 따른 밤하늘의 밝기 변화를 중심으로 본 천문 관측 환경

이진희 · 최승언\* · 정재훈 · 우홍균

서울대학교 지구과학교육과, 151-748, 서울특별시 관악구 관악로 599

### Astronomical Observation Environment Study focusing on Night Sky Brightness Variation under Light Pollution

Jinhee Lee, Seung-Urn Choe\*, Jae-Hoon Jung, and Hong-Gyun Woo

Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea

**Abstract:** By measuring the brightness of night sky, we have investigated light pollution around the observatory in the College of Education, Seoul National University. As a result of measuring the extinction coefficient and photometric constants by standardization, in January 28, 2009, the extinction coefficient found to be  $k_B=0.359$  and photometric constant was  $C_B=4.397$ . In March 27, 2009, extinction coefficients were  $k_B=0.896$  and  $k_V=0.725$ , and photometric constants were  $C_B=6.235$  and  $C_V=6.027$ . Brightness of the night sky was measured from east, west, south, and north each by altitude of  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  and  $90^\circ$ . Data reduction and analysis was based on IRAF. Seeings for the each day of observation were 5.1 and 5.7 arcseconds in January 28 and March 27, respectively. Night sky spanned the magnitude range of  $16 \leq m_B$ ,  $m_B \leq 18$ . We found that the brightness of night sky located at downtown was twice to four times brighter. On these observational conditions, limiting magnitude within 40 cm-telescope becomes 11-13 magnitudes. Compared with Jan 28 and Mar 27, night sky brightness of January is 1 magnitude fainter than that of March in B filter.

**Keywords:** light pollution, brightness of night sky, limiting magnitude

**요약:** 광해의 정도를 알아보기 위해 서울대 사범대학 주변 밤하늘의 밝기를 측정하였다. 표준성을 이용하여 고도에 따른 소광 계수 및 영점 상수를 구한 결과, 2009년 1월 28일에는 소광계수가  $k_B=0.359$ , 영점상수는  $C_B=4.397$ 이었고, 2009년 3월 27일에는 소광계수가  $k_B=0.896$ ,  $k_V=0.725$ , 영점상수는  $C_B=6.235$ ,  $C_V=6.027$ 이었다. 밤하늘의 밝기는 동, 서, 남, 북 네 방위에 대해 고도  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $90^\circ$ 에서 측정하였다. IRAF를 사용하여 전처리하고 측광한 결과, 1월 28일의 시상은 평균 5.1"였고 3월 27일은 5.7"이었다. 밤하늘의 등급은 방위 및 고도에 따라  $16 \leq m_B$ ,  $m_B \leq 18$ 이었다. 도심 방향의 밤하늘 밝기는 어두운 지역에 비해 2-4배 정도 밝게 나타났다. 이러한 관측 조건에서 구경 40cm인 망원경을 통해 육안으로 관측할 수 있는 한계 등급은 밤하늘의 밝기 정도에 따라 대략 11-13등급이다. 1월과 3월의 밤하늘 밝기를 비교해 본 결과, B필터에서 1월이 3월에 비해 1등급 정도 어두운 것으로 나타났다.

**주요어:** 광해, 밤하늘의 밝기, 한계 등급

## 서론

과학교육에서 실험은 종합적인 사고력과 탐구 능력 향상에 중요한 역할을 하며, 학생들의 과학적 태도 배양에도 도움이 된다(박승재와 조희형, 1995). 과학은 이론과 이를 뒷받침해주는 실험이 병행되는 학문

으로, 학생들은 실험 과정을 익히면서 과학 하는 방법을 습득하게 된다. 실험 환경은 실험 결과에 영향을 주고 이는 결국 학생들이 과학을 대하는 태도에도 영향을 미치므로 과학교육에서 실험 환경은 중요하게 고려되어야 한다. 그러므로 장차 학생들에게 실험 실습을 지도할 예비 교사들을 양성하는 사범대학의 실험 실습 환경 역시 중요하다.

천문학 분야에서의 관측실습은 예비교사를 양성하는 사범대학 지구과학 교육과정에서 가장 중요한 부분에 속한다. 이는 천문 관측이 예비 교사들에게 천

\*Corresponding author: suchoe@snu.ac.kr

Tel: 82-2-880-7781

Fax: 82-2-874-3289

문학자들의 연구와 유사한 경험을 제공해 줄 수 있을 뿐 아니라 천문 관측을 통하여 우주에 대한 관심과 흥미를 갖게 해 주기 때문이다. 김승환 외(2008)는 지구과학의 해양, 대기, 지질학은 교실 수업 내에서 이해하기 어렵고 학생들의 호감도 또한 그리 높지 않지만, 천문학은 학생들이 많은 관심을 가지고 있는 영역으로 간단한 관측 장비만 있으면 다양한 탐구 활동이 이루어 질 수 있다고 하였다.

이처럼 많은 학생들이 관심을 가지고 있는 천문 영역에서의 탐구 방법을 가르치기 위하여, 많은 사범대학의 지구과학교육과는 천문 실습을 위한 장비들이 갖추어져 있고 이를 활용하여 예비 교사들에게 천문 관측 실습을 수행토록 하고 있다. 이러한 천문 관측은 단순한 육안 관측으로부터 망원경과 CCD를 활용한 관측까지 다양한 범위와 깊이로 이루어지고 있다. 특히 한주용과 최승연(2005)은 천문 관측 프로그램의 부재를 인식하고, 천체 관측 활동을 통해 자료를 얻는 방법에서부터 이를 처리하고 분석하여 천문학적으로 의미 있는 자료로 만드는 과정을 자세히 서술한 천문 관측 프로그램을 제시하였다. 이처럼 현재 사범대학의 관측실습은 전문성을 갖춘 영역까지 확장되어 있다.

하지만 이러한 천체 관측을 통한 실습이 전문성을 좀 더 확보하기 위해서는 적절한 실험환경이 필요하다. 특히 도시의 불빛에 의한 광해는 천체 관측 범위와 관련성이 있는 요인으로, 천체 관측 실습에 적잖은 방해가 되고 있다. 따라서 천체 관측 실습이 좀 더 원활히 이루어지기 위해서는 광해가 관측에 미치는 영향을 사전에 알아야 할 필요성이 있다. 이에 대해 본 연구에서는 도시의 불빛에 의한 광해가 천문대 주위 밤하늘 밝기에 어느 정도 영향을 주는지 알아보고자 한다.

### 관측 장비의 구성과 특성

사용한 망원경은 Meade 사의 LX200GPX-SMT로, Schmidt-Cassegrain 방식이다. 구경은 16인치(40 cm)이고 초점비는 f/10이며 가대는 독일식 적도의식이다.

CCD는 SBIG사의 STL-1001E 이고 화소는 1024×1024개로 배열되어 있다. 각 화소 크기는 24×24 μm이다. 따라서 위 망원경에 장착한 경우, 한 화소 당 약 1.24×1.24"의 각크기를 갖는다. CCD 전체의 시야

(Field of view)는 21.13×21.13"이다. CCD의 이득(Gain)은 2.14 e-/ADU이고, CCD의 최대 양자 효율은 72%이다. 관측 시 전기 냉각 방식을 사용하였다. 필터는 Johnson-Cousins의 표준 UBVRI 필터이고, 이 중에서 B필터와 V필터를 사용하였다. CCD를 이용한 관측과 더불어 사진 관측도 수행하였다. 카메라 기종은 Canon EOS 20D이다. DSLR 방식으로 약 820만 개의 화소를 갖는다.

### 관측 자료 획득

#### 관측 조건

관측은 서울의 서울대학교의 지구과학교육과 소속의 천문대에서 이루어졌다. 서울대학교는 서울의 남부에 위치하고 있고, 천문대 동쪽에는 산이 있다(Fig. 1).

관측은 2009년 1월 23일, 1월 28일 그리고 3월 27일 총 사흘에 걸쳐서 수행하였다. 각 날의 관측 조건은 Table 1과 같다.

#### 전처리 영상

관측된 이미지를 보정할 때 사용할 바닥고르기 영상(Flat)과 암영상(Dark), 영점 영상(Bias)은 어두워지기 전에 얻었고, 암영상은 예상되는 노출시간에 따라 얻었다. 미처 얻지 못한 암영상은 관측을 마치기 전에 얻었다.

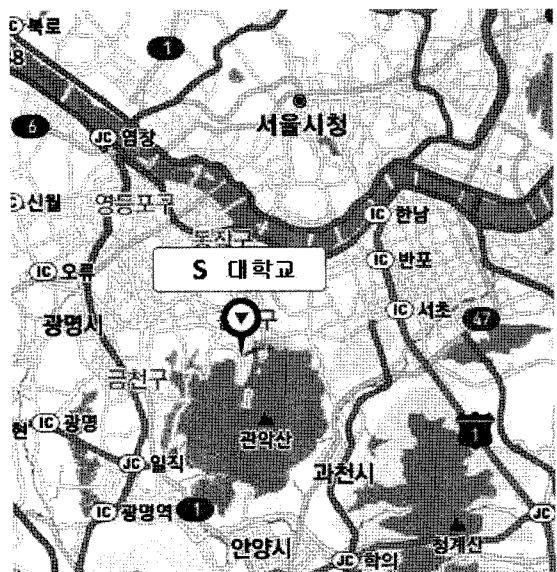


Fig. 1. Location of Seoul National University in Seoul.

Table 1. Condition of the observation

	January 23, 2009	January 28, 2009	March 27, 2009
The age of the moon (days)	27	2.2	0.8
Observation time (hh:mm)	18:00-02:40	18:00-22:00	23:00-06:00
CCD cooling temperature (°C)	-15	-20	-13
Cloudiness	1.8	0	2
Wind speed (m/s)	4.7	1.9	1.4
Relative humidity (%)	38.6	42.1	44.43

**표준성 관측**

기준으로 사용할 별은 육안으로 찾기 쉬우며, 고도가 짧은 시간동안 비교적 많이 변하는 별들로 선택했다. 이들에 대한 정보는 Aladin(Centre de donnees astronomiques de Strasbourg (CDS)에서 제작)이라는 프로그램에서 얻은 것이다(Table 2).

하늘을 관측하는 중간 중간에 별 관측이 이루어졌고, 노출시간은 별의 신호값이 포화되지 않는 범위에서 주었다.

**하늘 관측**

하늘 관측은 4개의 방위각(동, 서, 남, 북)에서 고도 20°, 40°, 60°, 75° 및 천정에서 실시했다. 관측할 수 있는 최대 낮은 고도가 20°였기 때문에 20°부터 관측을 시작하였다. 1월23일과 28일에는 4개의 고도(20°, 40°, 60°, 80°) 및 천정에서 관측하였고, 3월27일에는 고도 75°를 추가하여 5개 고도 및 천정에서 관

측하였다. 각 지점의 영상은 B, V필터로 3장씩 얻었다. 1월 23일에는 10초에서 60초 사이로 노출을 주었고, 1월 28일에는 모두 30초씩 노출을 주었으며, 3월 27일에는 모두 60초씩 노출을 주었다.

**사진 관측**

각 방위별 밝기를 육안으로 확인하기 위해, 사진기를 이용하여 방위별 밤하늘 사진을 얻었다.

**관측 자료 분석 및 결과**

이들간의 관측 자료를 분석한 결과, 1월 23의 자료와 1월 28일의 V필터 자료는 표준성 관측이 제대로 되지 않아 사용할 수가 없었다. 따라서 결과가 제대로 나온 1월 28일의 B필터 자료와 3월 27일의 자료를 결과 분석에 사용하였다.

Table 2. Information of the stars

January 23, 2009								
Obj. name	UT h m	R.A. h m	Dec. ° ' "	n <sub>B</sub>	n <sub>V</sub>	B	V	Spectral Type
Megrez	14 01	12 15	+57 02	3	3	3.395	3.304	A3 V
Megrez	15 10	12 15	+57 02	3	3	3.395	3.304	A3 V
Megrez	17 00	12 15	+57 02	3	3	3.395	3.304	A3 V
Talitha	17 34	08 59	+48 02	3	3	3.33	3.10	A7 V
January 28, 2009								
Talitha	11 46	08 59	+48 02	3	3	3.33	3.10	A7 V
Talitha	12 53	08 59	+48 02	3	3	3.33	3.10	A7 V
March 27, 2009								
SAO 81260	23 40	10 16	+23 30	3	3	6.64	5.90	G1.5IV-V
PPM 100214	23 40	10 16	+23 18	3	3	9.84	9.64	A2
SAO 139420	00 15	13 34	-00 35	3	3	3.48	3.40	A3 V
SAO 81260	01 47	10 16	+23 30	3	3	6.64	5.90	G1.5IV-V
PPM 100214	01 47	10 16	+23 18	3	3	9.84	9.64	A2
SAO 81260	03 45	10 16	+23 30	3	3	6.64	5.90	G1.5IV-V
PPM 100214	03 45	10 16	+23 18	3	3	9.84	9.64	A2
SAO 139420	05 10	13 34	-00 35	3	3	3.48	3.40	A3 V

**전처리 및 측광**

CCD관측을 통해 얻은 자료는 IRAF를 이용하여 처리하였다. 영상에서 암영상과 영점영상을 빼고 바닥고르기 영상으로 나누어서 순수하게 하늘에서 온 영상을 얻었다. 3장씩 촬영된 영상들을 정확히 같은 위치에 오도록 정렬하고 합친 후, PHOT task를 이용, 구경 측광을 하여 별들의 기기등급을 구하였다.

**시상**

태양을 제외한 모든 별들은 우리로부터 매우 멀리 떨어져 있으므로 지구에서 관측 시 점으로 관측되어야 한다. 그러나 빛이 가지는 파동의 성질 때문에 빛이 회절 되어 약간 퍼져 보이게 된다. 이로 인해 각 거리가 매우 작은 두 별이 구별되어 보이지 않기도 한다. 따라서 인접한 두 별을 구별하여 볼 수 있는 최소 각도가 존재하고 이를 분해능이라 하는데, 이는 망원경의 구경과 관측하는 파장의 길이에 의존한다. 그러나 망원경의 구경이 매우 작지 않다면, 우리가 지구에서 가시광 영역의 빛을 관측 할 때, 분해능은 별로 문제가 되지 않는다. 이보다 더 별빛을 퍼뜨리는 것은 지구 대기의 움직임이다. 지구 대기로 인해 별빛이 산란되기도 하고 상이 흔들려서 크게 퍼져 보인다. 별빛은 가우시안 분포와 거의 비슷한 형태로 퍼지는데, 밝기가 반이 되는 부분의 폭을 FWHM (Full Width at Half Maximum)이라 하고, 이 값을 시상(seeing)으로 정의한다.

관측 날 시간에 따른 시상의 변화는 Fig. 2, 3과 같다.

- ① 1월 28일(Fig. 2)
- ② 3월 27일(Fig. 3)

1월 28일의 관측 결과를 보면, 시간에 따라 시상의 변동이 나타나고 있다. 이 날의 평균 시상은 5.1"이었다.

3월 27일의 시상은 V 필터에서는 균일하게 나타난 반면, B 필터에서는 시간에 따라 약간의 변동을 보였다. 이 날의 평균 시상은 B필터에서 5.8", V필터에서 5.7"이었다.

성환경(1995)에 따르면, S대 에서의 평균 시상은 기상 상태에 따라 3-8" 가량 된다. 위의 결과는 이에 부합하며, 관측 당시의 시상이 관측 장소(서울대학교)의 평균적인 수준이었음을 나타낸다.

**소광계수 및 영점 상수 구하기**

같은 별을 같은 노출시간 동안 찍는다 하더라도

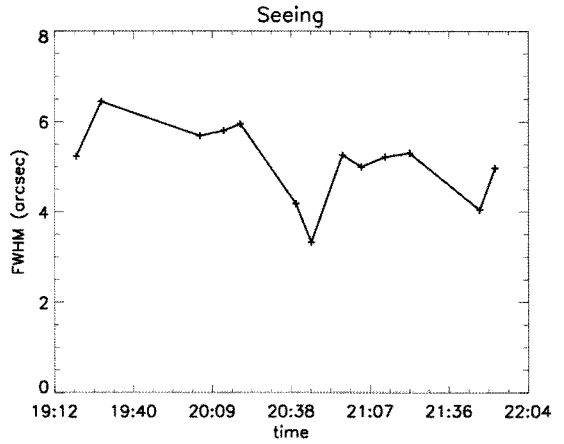


Fig. 2. Variation of sky seeing with time (Jan 28).

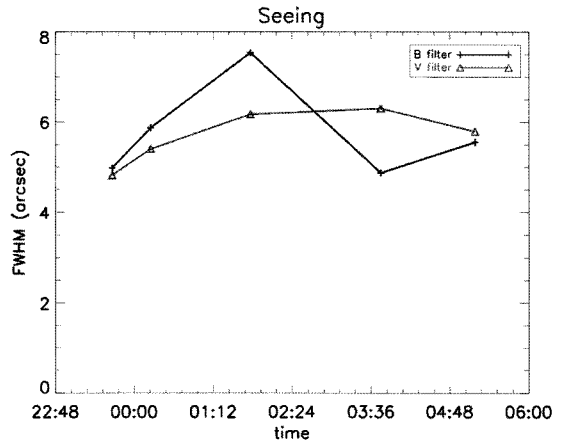


Fig. 3. Variation of sky seeing with time (Mar 27).

사용한 기기가 무엇인지, 대기 상태가 어떠한지, 별의 고도가 얼마나 되는지에 따라 기기에 검출되는 신호는 다르다. 따라서 많은 별들의 표준 등급이 구해져 있다. 관측한 별들은 이 표준등급과의 비교를 통해 고도에 따른 대기 소광 계수 및 기기특성을 나타내는 값을 구하는데 사용된다.

V 필터에서 기기등급을  $m_V$ , 소광이 없는 경우의 기기등급을  $m_{V0}$ , 표준등급을  $M_V$ 라 하면, 기기등급은 다음과 같이 구해진다.

$$m_V = -2.5 \log \left( \frac{\text{count}}{\text{exp.time}} \right) + 25.0 \quad (1)$$

여기에서 count는 구경 안에 들어온 총 신호 값 중

1) IRAF에서 등급을 구할 때, 기본적으로 25.0을 더해준다.

별에서 온 것만을 말한다. 구경의 크기는 상황에 따라 다르게 정할 수 있지만, 대개 FWHM의 2.4배 가량으로 정한다. 본 연구에서는 구경의 지름을 FWHM의 2배로 하였고, 그 값이 5화소를 넘지 않는 경우에는 5화소를 구경의 크기로 하였다. 구경 안에는 별에서 온 값만 포함되는 것이 아니라 하늘에서 오는 값도 더해진다. 하늘에서 온 바탕 값은 별의 밝기가 최대인 곳을 중심으로 FWHM의 4배가 되는 원을 안쪽원으로 하고, 여기에서 3FWHM만큼 떨어진 원을 바깥원으로 하여 그 사이의 값을 평균하여 구하였다. 그래서 count는 구경 안에 들어온 총 신호에서 하늘의 값을 빼 주어서 계산한다. 위의 과정은 IRAF의 PHOT task를 사용하여 해결하였다. 그 결과 나온 기기등급( $m_V$ )을 가지고 우리가 알고 있는 표준등급( $M_V$ )과의 선형 회귀 맞춤을 통해 소광계수( $k_V$ ) 및 영점상수( $C_V$ )를 구하였다.

$$m_V = m_{V0} + k_V X \text{ 이고, } m_{V0} - M_V = C_V \text{ 이므로,}$$

$$m_V - M_V = k_V X + C_V \quad (2)$$

- 여기서,
- $m_V$  = 기기등급
- $m_{V0}$  = 소광이 없는 경우의 기기등급
- $M_V$  = 표준등급
- exp.time = 노출시간
- count = 구경 안으로 들어온 별의 신호값
- $k_V$  = 소광 계수
- $X$  = 투과대기량 (airmass)
- $C_V$  = 영점상수
- 이다.

B 필터에서도 위와 동일한 과정을 거쳐 소광계수 및 영점상수를 구하였다. 결과는 Fig. 4와 같다.

① 1월 28일(Fig. 4)

1월 28일은 표준성 자료가 충분하지는 않았지만, 소광계수 값이 1보다 작은 유의미한 값으로 나타났다. 표준등급과 기기등급 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$m_B = M_B + 0.359X + 4.397 \quad (3)$$

② 3월 27일(Fig. 5, 6)

좀 더 정확한 결과를 위해 표준성을 넓은 범위의 고도에서 관측하였다.

위의 결과는 다음의 식으로 나타난다.

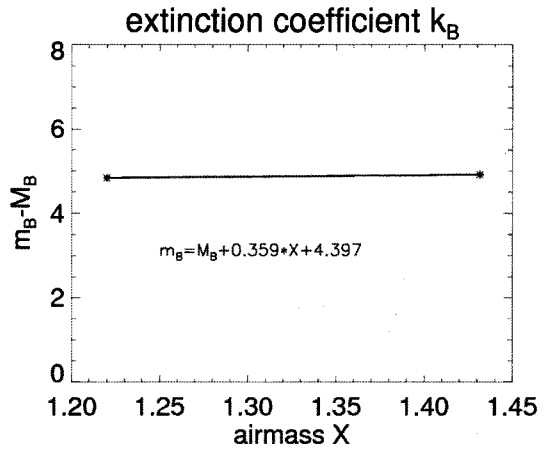


Fig. 4. Extinction coefficient  $k_B$  (Jan 28).

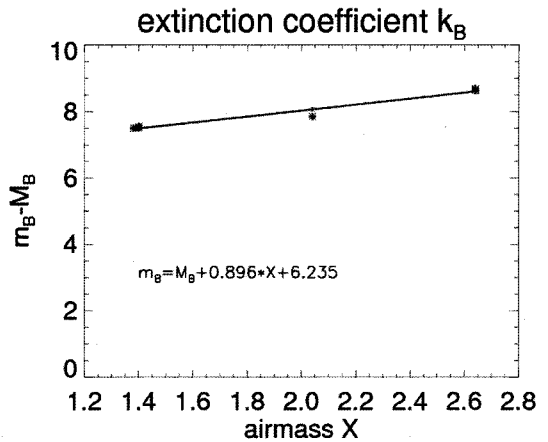


Fig. 5. Extinction coefficient  $k_B$ , using linear regression method (Mar 27).

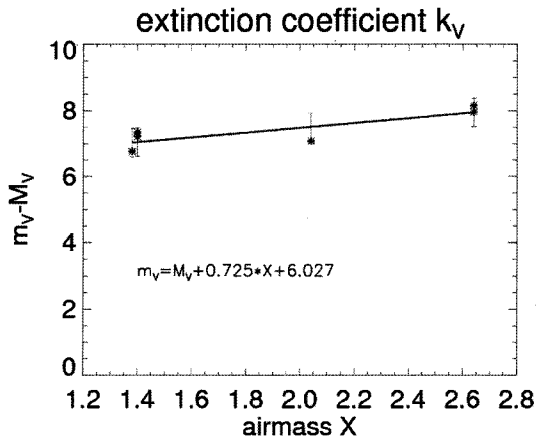


Fig. 6. Extinction coefficient  $k_V$  using linear regression method (Mar 27).

**Table 3.** Night sky brightness (mag/arcsec<sup>2</sup>, Jan 28)

Azimuth Altitude	B filter			
	0°	90°	180°	270°
20°	16.651±0.005	17.401±0.007	17.333±0.007	16.730±0.005
40°	17.251±0.006	17.725±0.008	17.826±0.008	17.397±0.007
60°	17.707±0.008	17.981±0.009	18.074±0.009	17.845±0.008
90°	18.103±0.010			

$$m_B = M_B + 0.896X + 6.235 \quad (4-1)$$

$$m_V = M_V + 0.725X + 6.027 \quad (4-2)$$

B필터에서의 소광계수는 0.896, V필터에서는 0.725로 B필터의 소광계수가 더 크다. 이는 파장이 짧은 B필터에서 소광이 더 많이 일어난다는 사실과 일치한다. 여기에서 구한 영점 상수는 하늘의 등급을 구하는데 사용된다.

**하늘의 등급 구하기**

하늘의 등급은 다음과 같이 구하였다.

$$m_{sky} = -2.5 \log \left( \frac{count}{exp.time \times area} \right) + 25.0 \quad (5)$$

여기서,

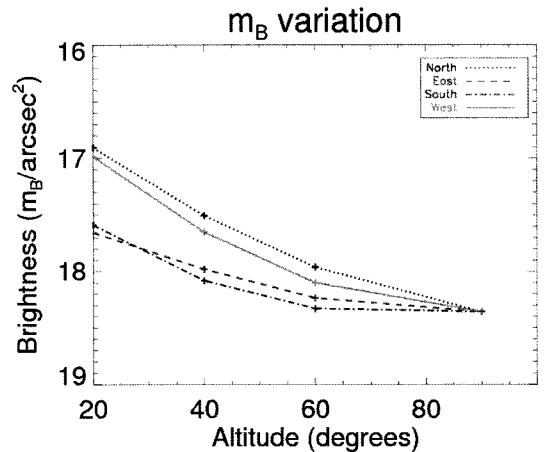
*m<sub>sky</sub>*: 하늘의 등급

*area*: 화소 한 개의 크기에 해당하는 면적=1.24×1.24"이다.

각 지점의 신호 값을 별이 없는 지점을 선택하여 10번 측정(1월 28일에는 30번 측정)하였고, 이것의 평균값을 사용하였다. 오차는 Poisson 분포를 따르는 가정 하에 오차 전달 방정식을 따라 계산하였다. 그 결과 나온 하늘의 등급은 다음과 같다.

① 1월 28일(Fig. 7, Table 3)

방위에 관계없이 고도가 감소함에 따라 하늘의 밝기가 증가함을 볼 수 있다. 방위별로 비교해 보면, 동일한 고도에서 북쪽이 가장 밝고, 서쪽, 동쪽, 남쪽 순으로 밝기가 감소하고 있다. 또한, 고도가 낮아질수록 방위각에 따른 밝기의 차가 커짐을 확인할 수 있다. 20° 부근에서는 가장 밝은 곳(북쪽)과 어두운 곳(동쪽)의 차가 약 0.8등급 정도 나타난다. 이는 약 2.1배의 밝기 차이이다. 네 방위 중 고도에 따른 등급차이가 가장 큰 쪽은 북쪽이다. 가장 밝은 지점인 북쪽 고도 20° 지점과 가장 어두운 지점인 천정은 1.45등급 차이 나는데, 이는 밝기로 3.81배이다.



**Fig. 7.** Variation of sky brightness (B filter, Jan 28).

② 3월 27일(Fig. 8, Table 4)

- B 필터

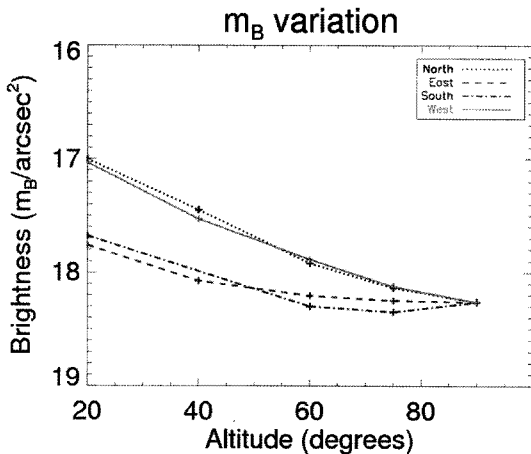
1월 28일과 마찬가지로, 방위에 관계없이 고도가 감소함에 따라 하늘의 밝기가 증가하고 있다. 방위별로 비교해 보면, 동일한 고도에서 북쪽과 서쪽이 확실히 밝게 나타난다. 또한, 고도가 낮아질수록 방위에 따른 밝기의 차가 커지는 경향이 보인다. 가장 낮은 고도인 20° 부근에서는 가장 밝은 곳(북쪽)과 어두운 곳(동쪽)의 차가 약 0.8등급 정도 나타난다. 이는 약 2.1배의 밝기 차이이다. 동일 방위에서 고도에 따른 등급차이 역시 북쪽이 가장 크게 나타났다. 북쪽은 고도 20°가 천정의 등급차이가 약 1.26등급이고 밝기로는 약 3.2배이다.

- V 필터(Fig. 9, Table 5)

V 필터도 B 필터와 마찬가지로 방위각에 관계없이 고도가 높아짐에 따라 밝기가 감소함을 볼 수 있다. 방위별로 살펴보면, 위의 결과들과 마찬가지로 서쪽과 북쪽이 밝고 남쪽과 동쪽이 어둡다. 가장 낮은 고도인 20°에서 가장 밝은 곳과 어두운 곳 간의 등급차

**Table 4.** Night sky brightness (mag/arcsec<sup>2</sup>, Mar 27)

Azimuth Altitude	B filter			
	0°	90°	180°	270°
20°	17.003±0.004	17.762±0.048	17.680±0.007	17.034±0.006
40°	17.450±0.006	18.074±0.008	17.700±0.007	17.530±0.006
60°	17.920±0.008	18.205±0.009	18.298±0.010	17.885±0.007
75°	18.134±0.009	18.247±0.012	18.347±0.009	18.123±0.009
90°	18.261±0.009			



**Fig. 8.** Variation of sky brightness (B filter, Mar 27).

이는 약 0.8등급이다. 이는 밝기로 약 2.1배의 차이이다. 고도에 따른 밝기차이가 가장 큰 방위는 서쪽으로, 약 1.58등급이 차이난다. 이들 간의 밝기차이는 약 4.3배이다.

**사진 관측 결과(Fig. 10, 11, 12, 13)**

동, 서, 남, 북 네 개의 방위의 밤하늘 밝기를 눈으로 비교하기 위해 사진 관측을 수행하였다. 네 사진 모두 거의 같은 고도(약 20°)에서 촬영하였고, 노출시간은 모두 2.5초로 같다.

CCD 관측 결과와 마찬가지로, 북쪽과 서쪽 하늘이 남쪽과 동쪽에 비해 환하게 나타난다.

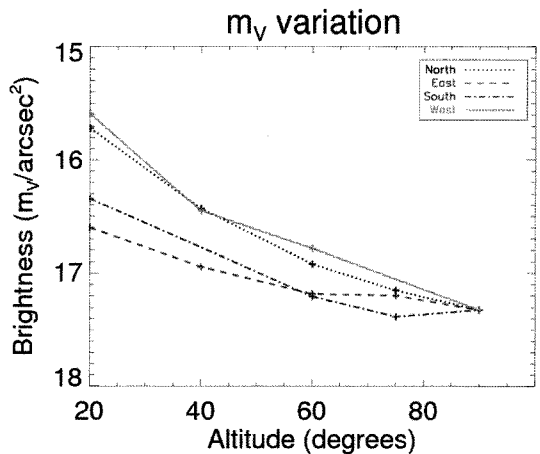
**Table 5.** Night sky brightness (mag/arcsec<sup>2</sup>, Mar 27)

Azimuth Altitude	V filter			
	0°	90°	180°	270°
20°	15.720±0.004	16.602±0.004	16.346±0.003	15.594±0.003
40°	16.433±0.003	16.946±0.005	16.140±0.003	16.452±0.003
60°	16.921±0.004	17.181±0.004	17.205±0.004	16.784±0.004
75°	17.151±0.004	17.197±0.005	17.380±0.005	16.713±0.004
90°	17.322±0.008			

**토 의**

CCD를 가지고 천체 관측을 할 때, 검출되는 신호에는 천체에서 오는 신호뿐 아니라 그 외의 잡음도 포함된다. 잡음에는 암전류, 읽기 잡음, 하늘에서 오는 바탕 값 등이 있다. 이러한 잡음과 천체에서만 오는 신호의 비를 신호대잡음비(Signal to noise ratio)라고 한다. 이 값의 역수는 관측 값의 등급 오차에 대응되므로, 신호 대 잡음비의 값은 클수록 좋으며, 최소한 5 이상이 되는 것이 좋다.

$$\frac{S}{N} = \frac{f_{obj}t}{\sqrt{(f_{obj} + f_{dark} + f_{sky})t + \sigma_{RN}^2}} \quad (6)$$



**Fig. 9.** Variation of sky brightness (V filter, Mar 27).

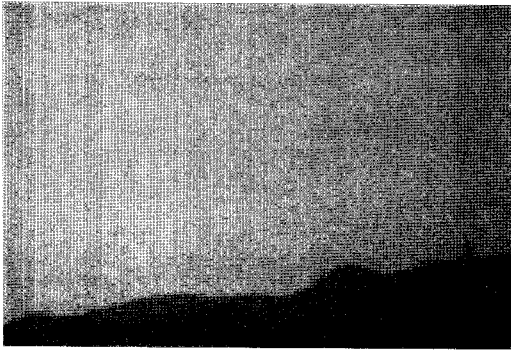


Fig. 10. Eastern sky.

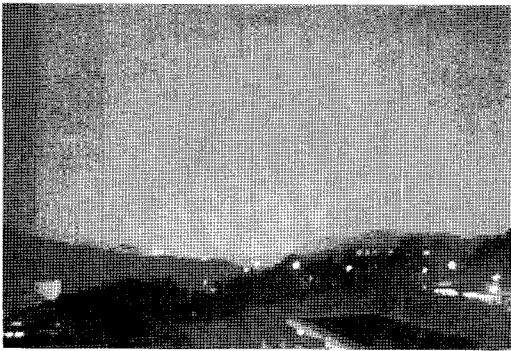


Fig. 11. Western sky.



Fig. 12. Southern sky.



Fig. 13. Northern sky.

여기서,  
 $f_{obj}$  = 천체에서 오는 신호  
 $f_{dark}$  = 암전류  
 $f_{sky}$  = 하늘에서 오는 바탕값  
 $t$  = 노출시간  
 $\sigma_{RN}$  = 읽기 잡음 (readout noise)  
 이다.

희미한 천체를 관측 하는 경우, 잡음의 대부분은 하늘에서 오는 바탕 값이므로  $\frac{S}{N} = f_{obj} \sqrt{\frac{t}{f_{sky}}}$  가 된다.

따라서 밤하늘의 밝기가 n배만큼 증가한 경우, 동일한 S/N비를 얻으려면 노출시간을 n배만큼 더 주어야 한다. 고도 20°에서 가장 밝은 곳과 어두운 곳의 밝기 차이는 2.1배로 나타났다. 이는 같은 천체를 관측 할 때, 동일한 신호 대 잡음비를 얻으려면 하늘이 밝은 곳에서는 2배 정도 더 오래 노출을 주어야 한다는 뜻이다.

한편, 육안 관측의 경우 Garstang(1999)에 의하면 한계등급은 다음과 같이 정해진다.

$$m = 7.59 + 5\log D + 2.5\log t - 7.5\log(1 + 0.00106D^{2/3}t^{1/3}b^{1/3}\theta^{2/3}) \quad (7)$$

여기서,  
 $D$  = 망원경의 구경 (cm)  
 $t$  = 망원경의 투과율 (반사망원경은 반사율)  
 (대개의 망원경은  $0.91 < \tau^{61} < 0.99$ 이다(Garstang, 1999)).  
 $b$  = 밤하늘의 밝기(단위 nL = nanolamberts)  
 $\theta$  = 시상  
 이다.

앞에서 구한 밤하늘의 밝기는 등급을 단위로 하므로, 다음의 식을 사용하여 등급을 nL로 바꾸었다.

$$b = 34.08\exp(20.7233 - 0.92104m_V) \quad (\text{Allen, 1973}) \quad (8)$$

여기서  
 $m_V$  = 밤하늘의 밝기(mag/arcsec<sup>2</sup>)  
 이다.

이 식을 이용하여 구한 관측 가능한 한계 등급은 Table 6, 7과 같다.

그러나 이 한계 등급은 단순히 위의 식을 적용한 것으로, 대기의 소광을 고려하지 않은 것이다. 고도에 따른 소광을 고려한 한계등급은 Table 8, 9와 같다.



**Table 6.** Limiting Magnitudes, Garstang's formula (Jan 28)

Azimuth Altitude	B filter			
	0°	90°	180°	270°
20°	13.37	13.65	13.62	13.40
40°	13.59	13.75	13.78	13.64
60°	13.75	13.83	13.86	13.79
90°	13.87			

**Table 8.** Limiting Magnitudes, Garstang's formula considering extinction (Jan 28)

Azimuth Altitude	B filter			
	0°	90°	180°	270°
20°	12.00	12.28	12.25	12.03
40°	12.86	13.02	13.05	12.91
60°	13.20	13.28	13.31	13.24
90°	13.39			

**Table 7.** Limiting Magnitudes, Garstang's formula (Mar 27)

Azimuth Altitude	B filter				V filter			
	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
20°	13.76	13.52	13.74	13.51	13.35	12.92	13.25	12.98
40°	13.86	13.69	13.74	13.66	13.49	13.29	13.16	13.29
60°	13.90	13.80	13.92	13.81	13.57	13.42	13.58	13.48
75°	13.91	13.87	13.94	13.88	13.58	13.40	13.64	13.56
90°	13.91				13.62			

**Table 9.** Limiting Magnitudes, Garstang's formula considering extinction (Mar 27)

Azimuth Altitude	B filter				V filter			
	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
20°	11.17	10.92	11.14	10.91	11.25	10.81	11.15	10.88
40°	12.47	12.30	12.35	12.27	12.36	12.17	12.04	12.16
60°	12.86	12.77	12.89	12.78	12.73	12.59	12.74	12.64
75°	12.98	12.94	13.01	12.95	12.83	12.65	12.89	12.81
90°	13.02				12.89			

## 결론

천문 관측에 영향을 미치는 요소는 운량, 풍속, 습도, 대기의 오염물질 양, 광해 정도, 기상 등이 있다. 천문 관측소를 지을 부지를 선정할 때, 이러한 요소들을 고려하여야만 한다. 또한 이미 지어진 관측소에서도 현재의 관측환경에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 위의 요소 중 기상과 광해에 초점을 맞추어, 서울에 위치한 서울대학교에서의 관측 환경을 알아보았다.

CCD와 사진기를 이용하여 표준성 및 방위에 따른 고도별 관측 자료를 얻어서 분석한 결과, 기상은 평균 5-6" 정도로 나타났다. 밤하늘의 밝기는 고도가 낮아질수록 증가하고 있었다. 이는 낮은 고도에서 광해의 영향이 증가하고 있음을 나타내는 것이다. 또한, 방위에 따른 밝기 차이 또한 고도가 낮아질수록 두드러졌는데, 이는 광해가 주로 도심 불빛에 의한 것임을 나타내는 것이다. 사진 관측 결과에서는 그 차이를 육안으로 확인할 수 있었다. CCD 관측으로 얻

은 자료를 정량적으로 분석해 본 결과, 하늘의 밝기 차이는 최대 4배였다. 동일한 고도에서는 최대 2배의 밝기 차이를 보였다. 배경 하늘의 밝기가 n배 증가하면, 동일한 S/N비를 얻기 위해서 광해가 있는 곳에서는 노출시간을 n배만큼 더 주어야 어두운 천체를 구별해 낼 수 있다. 따라서 본 연구의 결과를 바탕으로 어두운 별을 관측 할 때, 동일 밝기의 별을 광해가 심한 고도 20°의 북쪽 하늘에서 관찰하는 경우 동쪽 하늘에서 실시하는 것보다 2배의 시간이 필요함을 알 수 있다.

또한 Garstang이 제시한 식에 따르면, 이 관측이 수행된 조건에서 육안으로 관측할 수 있는 별의 한계 등급은 대기의 소광을 고려했을 때 11-13등급 정도 이다.

3월 27일의 결과에서 B필터와 V필터를 비교해 보면, V필터에서 1등급 정도 더 밝다. 이는 B필터 영역 범위보다 V필터 범위에서 하늘이 더 밝다는 일반적인 경향과 일치한다. 한편, 1월 28일과 3월 27일의 관측결과를 비교해 보면, B필터에서 1월 28일의 밤

하늘이 3월 27일보다 1등급 가량 더 어두운 것으로 나타났다.

관측할 당시에는 하늘에 구름이 없었고, 그 외의 특별한 기상 상황이 없었으므로, 전 하늘의 기상 조건은 균일하다고 볼 수 있다. 따라서 관측 시기에 따라 밤하늘의 등급은 다르더라도, 방위별 밝기의 차이는 크게 변하지 않을 것이다. 다만, 같은 날이라도 시간에 따라 도심의 밝기는 변할 수 있을 것이며, 특히 자정을 전후로 해서 변화가 나타날 것이라 예상된다. 따라서 추후에 자정 전과 후의 광해 정도의 차이를 비교해 보고, 계절에 따른 밤하늘의 등급 변화에 대해 알아보는 연구가 필요할 것이다.

### 참고문헌

강용희 외, 1996, 최정산 위성추적소의 천체관측 환경에 관한 조사 연구 1. SEEING 및 야천광 관측과 위성추적소의 활용 방안. 천문학논총, 11, 177-196.

곽영순, 이양락, 김동영, 2006, 고교 선택과목 지구과학 I, II 교육과정 개정 방향. 제50차 한국과학교육학회 하계 학술대회 및 전국과학교사 현장연구 워크숍, 97-112.

김승환 외, 2008, 고등학교 천체 관측 동아리를 위한 방과 후 학교 프로그램 개발 및 적용: 관측지 주변 환경을 고려한 표준화 계수 결정 프로그램. 한국지구과학회지, 29, 495-505.

류주현, 유계화, 1997, 고등학교 과학 I (하) 천문영역에 대한 STS 프로그램 적용이 학생들의 과학적 태도와 학업 성취도에 미치는 효과. 한국지구과학회지, 18, 473-479.

박승재, 조희형, 1995, MBL의 적용이 초등학교의 학업성취도 및 과학관련 정의적 특성에 미치는 효과. 초등과학교육, 25, 454-464.

성환경, 1995, 8개 젊은 산개성단의 UBВ CCD 측광. 서울대학교 이학박사학위 논문, 30 p.

한주용, 최승언, 2005, CCD를 이용한 천체관측 프로그램의

개발-서울대학교 사범대학 지구과학교육과 학부생을 대상으로-. 한국지구과학회 2005년도 추계학술발표회 및 정기총회, 188-195.

Allen, C.W., 1973, *Astrophysical Quantities* (3rd ed.). Athlone Press, London, UK, 26 p.

Bowen, I.S., 1947, Notes from observatories: Limiting visual magnitude. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 59, 253-256.

Dennefeld, M., 2002, Sky brightness variations, limiting magnitudes and exposure times with large telescopes. In Vernin, J., Benkhaldoun, Z., Muñoz-Tunón, C. (eds.), *Astronomical Site Evaluation in the Visible and Radio Range*, vol. 266. Astronomical Society of the Pacific conference, San Francisco, USA, 540-545.

Duriscoe, D.M., Luginbuhl, C.B., and Moore, C.A., 2007, Measuring night-sky brightness with a wide-field CCD camera. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 119, 192-213.

Favero, G., Federici, A., and Blanco, A.R., 2000, Measurements of light pollution of Pauda. *Memorie della Societa Astronomia Italiana*, 71, 223-230.

Garstang, R.H., 2000, Limiting visual magnitude and night sky brightness. *Memorie della Societa Astronomia Italiana*, 71, 83-92.

Garstang, R.H., 1999, New Formula for Optimum Magnification and Telescopic Limiting Magnitude. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 93, 80-83.

Garstang, R.H., 1999, New formula for telescopic limiting magnitudes. *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 27, p. 80.

Walker, M.F., 1973, Light pollution in California and Arizona. *Publication of the Astronomical society of the Pacific*, 85, 508-519.

기상청 홈페이지: <http://www.kma.go.kr/intro.html> (검색일: 2009. 3. 29.)

네이버 지도: <http://map.naver.com> (검색일: 2009. 2. 5.)

2009년 2월 24일 접수  
 2009년 4월 7일 수정원고 접수  
 2009년 6월 15일 채택