

충북대학교 천문대 교내관측소에서 측정된 2005년부터 2007년까지의 대기소광계수의 계절별, 년도별 변화

김천휘[†], 차상목, 최영재, 송미화, 박장호, 원장희, 임진선, 조명신, 박은미, 정장해
충북대학교 천문우주학과, 충북대학교 천문대

Seasonal and Yearly Variations of Atmospheric Extinction Coefficient at Campus Station of Chungbuk National University Observatory from 2005 to 2007

Chun-Hwey Kim[†], Sang-Mok Cha, Young-Jae Choi, Mi-Hwa Song, Jang-Ho Park,
Jang-Hee Won, Jin-Sun Yim, Myung-Shin Cho, Eun-Mi Park, and Jang Hae Jeong
Dept. of Astron. and Space Science & Observatory, Chungbuk National Univ. Cheongju 361-763, Korea
E-mail: kimch@chungbuk.ac.kr

(Received May 13, 2008; Accepted May 20, 2008)

요 약

청주 시내에 위치하고 있는 충북대학교 천문대의 교내 관측소에서 2002년부터 2007년까지 5년 간 식쌍성들의 극심시각 결정을 위한 조직적인 CCD 관측이 수행되었다. 그 관측의 부산물로 우리는 2005년부터 2007년까지 CCD 영상 내에 있는 별들의 측광자료를 이용하여 백색광에 대한 1차 대기소광계수들을 결정하였고, 대기소광계수의 계절별, 년도별 변화 특성을 조사하였다. 대기소광계수를 결정하는데 사용한 관측일수는 2005년, 2006년, 그리고 2007년에 각각 57일, 51일, 그리고 63일이다. 분석 결과, 2005년, 2006년, 그리고 2007년의 년도별 평균 대기소광계수와 그 표준편차는 대기질량(airmass) 당 각각 $0.^m34 \pm 0.^m18$, $0.^m38 \pm 0.^m19$, 그리고 $0.^m45 \pm 0.^m20$ 으로, 도심에 위치하지 않은 정상적인 천문대에 비해 대기소광계수는 약 2배 정도 크며, 표준편차는 약 4배 정도 큰 것으로 나타났다. 한편, 대기미세 먼지농도와 대기소광계수를 비교해 본 결과, 대기미세 먼지농도와 대기소광계수가 비슷한 양상으로 변화하고 있어 두 양 사이는 강한 상관관계가 있는 것으로 보인다. 또한, 충북대학교 교내 관측소의 동쪽하늘의 소광계수가 서쪽하늘에 비하여 더 큰 것으로 나타났는데 이는 동쪽 지역이 서쪽 지역보다 더 개발되어 대기소광 공해 물질이 동쪽 하늘에 더 잔존하여 있기 때문으로 설명할 수 있다. 결론적으로 청주 지역 도심 하늘의 대기소광은 매년 $0.^m06/\text{airmass}$ 정도 증가하는 추세에 있다. 이는 현재의 청주 밤하늘이 2배로 밝아지는데에 약 13년 밖에 걸리지 않는다는 것을 의미한다. 이 연구는 대기소광계수의 변화가 한 지역의 공해의 정도를 가늠하는 지수로 중요하게 사용될 수 있음을 보여주고 있다.

Abstract

Systematic CCD observations of times of minimum lights for eclipsing binaries has been carried out from 2002 to 2007 at Campus Station of Chungbuk National University Observatory which is located in Cheongju city, Korea. As a by-product of our observations, photometric data for stars in CCD images taken from 2005 to 2007 were used to determine 1st order atmospheric extinction coefficient (hereafter AEC)

[†]corresponding author

and seasonal and yearly variations of the AECs were studied. Total nights used for determination of AECs were 57 days in 2005, 51 days in 2006, and 63 days in 2007. As a result the annual mean value of the AECs per air mass is calculated as $0.^m34 \pm 0.^m18$ for 2005, $0.^m38 \pm 0.^m19$ for 2006, and $0.^m45 \pm 0.^m20$ for 2007. These values show that the AECs and their standard deviations are two and four times, respectively, larger than those of normal observatories which are not located near large cities. Annual comparison between concentration of atmospheric fine dust and coefficient of atmospheric extinction show strong correlation between two quantities of which time variations show similar patterns. The AECs for the east sky show larger than those for the west sky. It can be easily understood by the reasonable possibility that air pollutants remain more in the east sky than in the west because the east area of Cheongju city has been more developed than the west one. In conclusion the atmospheric extinction of the night sky of Cheongju city has an annual trend of increase of $0.^m06 \text{ airmass}^{-1} \text{ year}^{-1}$ implying that it may take only about 13 years for Cheongju city to have 2 times brighter night sky than the present one. Our study highlights that variations of AEC can be used as an important indicator of air pollution to monitor night skies.

Keywords: CCD observations, atmospheric extinction coefficient, atmospheric fine dust.

1. 서 론

별을 포함한 다른 여러 천체들에서 방출된 빛은 지구 대기를 통과한 후 지상에 도달한다. 빛은 대기를 통과할 때 대기에 있는 여러 물질들에 의하여 산란되고 흡수되기때문에 지상에 도달한 빛의 세기는 대기 통과 전보다 현저히 감소되는데, 이 현상을 대기소광이라 한다. 대기조건, 관측소의 고도, 빛의 파장 등 다양한 인자들에 의하여 영향을 받는 대기소광은 대기소광계수를 측정함으로써 파악될 수 있다. 대기소광계수의 단위는 대기질량 당 등급(magnitude/airmass)으로 기상학적 대기조건(밀도, 온도, 습도 등), 그리고 관측소 주변 환경(공해, 광해 등)에 크게 영향을 받기때문에 날마다 변한다. 천문대에서는 천체의 표준화 작업을 하거나, 대기상태나 천문대 주변 환경의 변화 등을 감시(monitoring)하기 위하여 대기소광계수를 관측한다. 통상 전문 천문대의 대기소광계수는 UBV 파장대에서 대략 $k_U = 0.50 \sim 0.80$, $k_B = 0.2 \sim 0.40$, 그리고 $k_V = 0.1 \sim 0.3$ 의 값을 갖는 것으로 보고되고 있다(Mohan et al. 1999, Irvine & Peterson 1969).

충북대학교 천문대(Chungbuk National University Observatory, 이하 CbNUO로 약함)는 교내 두 곳에서 운영되는 교내 관측소와 교외 관측소로 이루어져 있다. 충청북도 진천군 문백면 은탄리에 위치($\lambda = 127^\circ 28' 31''$, $\phi = 36^\circ 46' 54''$, $h = 87\text{m}$)한 교외 관측소는 1m 반사망원경을 보유하고 있고, 청주 시내에 가까이 위치한 교내 관측소는 40cm와 35cm 반사망원경 두 기를 운영하고 있는데, 각각 충북대학교 43동 건물($\lambda = 127^\circ 27' 22''$, $\phi = 36^\circ 37' 32''$, $h = 110\text{m}$)과 41동($\lambda = 127^\circ 27' 24''$, $\phi = 36^\circ 38' 22''$, $h = 110\text{m}$)에 위치하고 있다. 41동 옥상에 설치된 교내 관측소는 지붕식(roof type) 돔 안에 구경 35cm Celestron 광학계, 독일식 마운트의 Paramount GT-1100s 구동계, SBIG ST-8 CCD

카메라, *UBVRI* 표준 필터 시스템 그리고 구동컴퓨터를 이용하여 개발된 반자동 관측시스템을 갖추고 있다. 이 시스템은 돔과 분리된 관측실에서 CbNUO에서 자체 개발된 OBSTOOL로 제어된다. 반자동 관측시스템에 대한 자세한 내용은 이충욱 등(2003b)과 윤요나 등(2006)의 논문에 자세히 기술되어 있다. 여기서 반자동이란 명칭을 사용한 것은 돔의 개폐, 망원경의 구동, 관측의 시작과 끝이 모두 관측실의 컴퓨터로 제어되지만, 관측자가 관측실의 모니터를 보면서 관측시스템을 총괄적으로 제어하기 때문이다. 우리는 2002년 11월부터 현재까지 이 반자동 관측시스템을 주로 식쌍성의 극심시각을 측정하기 위한 측광 관측을 수행하는데 사용하여 왔고, 간간히 식쌍성의 광도곡선을 획득하는데 이용하기도 하였다. 관측결과의 일부는 몇 편의 논문(이충욱 등 2003a, 김천휘 등 2006, Kim *et al.* 2006, Lee *et al.* 2008)으로 발표된 바 있다. 우리는 극심시각을 측정할 때는 청주시내에서 35cm 망원경으로 관측 가능한 어두운 별(최대 약 13등급)까지 관측하기 위하여 필터를 사용하지 않은 반면, 광도곡선을 획득을 할 때는 *BV* 필터를 사용한다.

이 논문은 2005년부터 2007년까지 3년간 35cm 반자동 관측시스템으로 측광된 근접쌍성의 극심부근의 관측자료를 이용하여 관측한 날들의 1차 대기소광계수를 결정하였고, 교내관측소 지역 하늘에 대한 대기소광계수의 계절별, 년도별 변화 특성을 살펴보았다. 이와 더불어 대기미세먼지농도와 대기소광계수와의 상호관계에 대해서도 논의한다.

2. 관측과 대기소광계수의 결정

2.1 관측

서론에서 언급하였듯이 41동 옥상에 설치된 교내 관측소의 35cm 반자동 관측시스템으로 근접쌍성의 측광관측(주로 극심 부근 관측)을 2002년 11월부터 수행하였다. 주 광학계는 $f/11$ 의 Schmidt-Casegrain 형태로 $12' \times 8'$ 의 시야각을 갖고 있으나, 관측시야를 좀 더 확보하기 위하여 $f/7$ 의 focal reducer를 사용하여 시야각을 약 $19' \times 13'$ 정도로 넓혔다. 구동계는 Paramount GT-1100s 독일식 마운트를 채택하여 망원경의 추적과 지향 정밀도는 각각 ± 1 분각/시간 및 2분각 RMS 정도이다. 사용된 검출기는 SBIG ST-8 CCD 카메라으로 53초각/mm의 건관척도를 갖고 있으며, *UBVRI* 필터계가 장착되어 있으나 극심시각 관측을 할 때는 최대 약 13등급까지 어두운 별을 관측하기 위하여 필터를 사용하지 않은 반면, 광도곡선을 획득을 할 때는 *BV* 필터를 사용한다. 관측지 시상은 $2.''5 \sim 4.''0$ 정도이다. CCD의 픽셀크기는 $9\mu\text{m}$ 이며, 교내의 시상이 좋지 않은 까닭에 보통 3×3 binning 모드로 사용하며, 이때 한 픽셀에 들어오는 시야는 약 $2''$ 정도이다. 변광성을 효율적으로 관측하기 위하여 OBSTOOL이라는 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램은 망원경을 변광성, 비교성, 검토성 사이로 움직이며 CCD와 필터를 제어하는 프로그램으로써, 이 프로그램을 통하여 관측자는 관측에 사용할 필터의 선택 및 각각 필터에 따른 노출시간 등을 조정할 수 있다. 획득한 관측 자료는 하드디스크의 data라는 디렉토리에 저장되며, IRAF를 이용하여 관측 자료의 처리를 수행한다. 이때, 관측한 날의 모든 자료를 일괄적으로 동시 처리하기 위하여 IRAF 환경에서 스크립트(script)를 작성하여 이용하였다. 관측시스템의 구성과 특성, 관측 자료의 처리과정의 더 세부적인 내용은 이충욱 등(2003b)과 윤요나 등(2006)의 논문에 자세히 기술되어 있다.

관측을 조직적으로 수행하기 위하여 월요일부터 일요일까지 7명의 관측자가 한 날에 한명씩 배치되었다. 각 관측자는 본인이 맡은 날이 돌아오면 먼저 그 날 밤 동안에 식(eclipse)이 일어나는 근

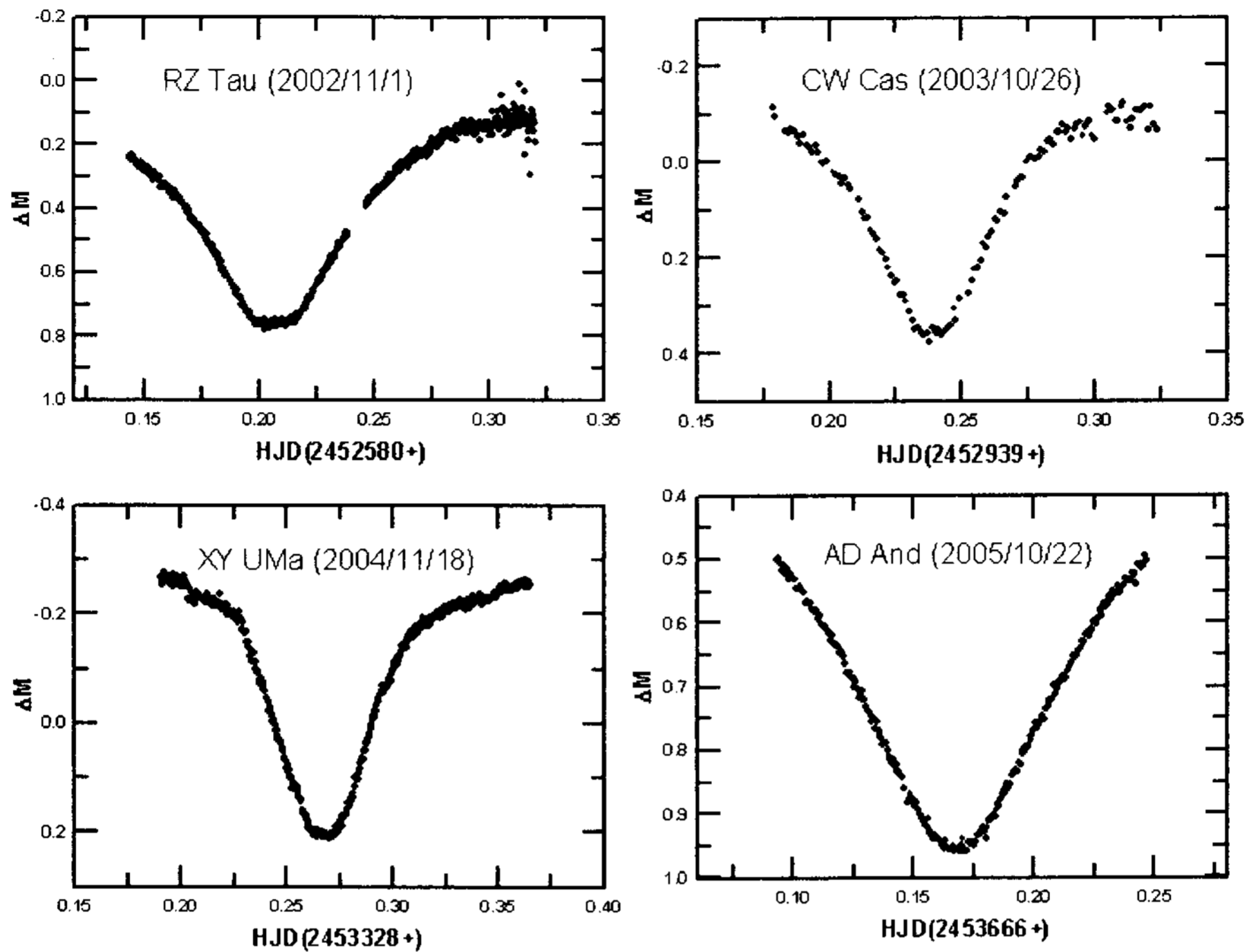


그림 1. 관측된 식쌍성의 극심 부근의 광도곡선 예.

접쌍성을 계산하여 그 중에서 식심 부근을 전후하여 대칭으로 광도곡선을 잘 얻을 수 있는 근접쌍성을 약 2-3개(또는 3-5개)정도 선택한 후, 근접쌍성의 밝기와 비슷한 밝기를 가진 비교성과 점검성을 문헌 또는 “THE SKY” 프로그램(<http://www.bisque.com/Products/TheSky6/> 참조)을 이용하여 선정한다. 관측성은 자오선 통과 전이나 후에 식이 일어나는 별을 선택한다. 그 이유는 식심이 자오선 통과 전과 후에 걸쳐 있을 경우 독일식 마운트의 특성상 자오선 통과할 때 망원경을 180도로 회전하기 때문에 일어나는 시간 손실과 CCD 영상이 자오선 통과 전과 후에 좌우로 바뀌어 자료처리 할 때 이를 보정하는 귀찮음을 피하기 위함이다. 따라서, 어떤 맑은 날이 주어지면 대부분의 경우 동쪽과 서쪽 하늘에서 각각 1~2개의 근접쌍성을 관측하게 된다. 관측대상 식쌍성은 Kreiner et al. (2001)의 데이터 베이스에 수록된 1,140개의 별에서 선택하였으며, 이 논문의 제1 저자(CHK)가 작성한 프로그램을 이용하여 식이 일어나는 시각을 미리 계산한 후, 고도와 방위각, 극심 시각, 밝기 등이 적절한 별들을 선택하여 관측한다. 그림 1은 관측한 식쌍성 중에서 식부근의 광도곡선이 식심 좌우로 잘 정의된 몇가지 예이다.

표 1은 2002년 11월부터 2007년 12월 31일까지 41동 교내관측소에서 관측에 성공한 총 관측일수, 관측된 근접쌍성 및 결정한 극심시각 갯수이다. 여기서 한 날에 적어도 2시간 이상 관측이 된 경우는 총 관측일수에 포함시켰다. 2004년에 관측일수가 적은 것은 2004년 4월부터 11월까지 관측기기 고장으로 관측을 수행하지 못했기 때문이다. 표 1에서 보듯이 41동 교내관측소의 1년 평균 관측일수는 약 165일 내외이다. 2002년부터 2005년까지 관측된 근접쌍성은 103개로서 총 208개의 극심시각

표 1. 충북대학교 41동 교내관측소에서 2002년부터 2007년까지 관측한 총 관측일수, 관측된 근접쌍성 및 극심 시각 갯수.

연도	총관측일	관측된 근접쌍성의 갯수 ^a	결정된 극심시각 갯수 ^a	비고
2002-2003	169	42	60	2002. 11. 1 관측시작
2004	64	25	49	관측기기 고장
2005	165	36	99	
2006	162	-	-	극심시각 미결정
2007	165	-	-	극심시각 미결정
계	725	103	208	

^aKim *et al.* (2006)

을 결정하였다. 이 결과는 이미 *IBVS*에 보고하였다(Kim *et al.* 2006). 이와 더불어 관측한 극심시각의 일부 자료를 이용하여 특정 근접쌍성의 주기연구를 수행하여 세 편의 논문이 출간되었다(이충욱 등 2003a, 김천휘 등 2006, Lee *et al.* 2008). 2006-2007년 관측자료로 부터 극심시각을 결정하는 작업이 현재 수행 중에 있다.

2.2 대기소광계수의 결정

우리는 표 1에 제시한 2002년에서 2007년까지 관측된 모든 자료를 처리하여 관측된 날의 대기소광계수를 결정하는 작업을 수행하였다. 일반적으로 지구 대기를 통과하기 전의 임의의 파장(λ)에 대한 별의 대기밖 등급(m_{λ_0})과 대기 통과 후 지상에 도달한 별의 관측된 등급(m_{λ}) 사이는

$$m_{\lambda} = m_{\lambda_0} + (k'_{\lambda} + k''_{\lambda}c)X \tag{1}$$

인 관계가 있다(Henden & Kaitchuck 1982). 여기서, k'_{λ} 와 k''_{λ} 는 각각 1차 및 2차 소광계수이며, c 는 관측된 색지수(예: $u - b$, $b - v$ 등)를 나타낸다. 또한, X 는 대기질량을 나타내는데,

$$X = \sec z - 0.0018167(\sec z - 1) - 0.002875(\sec z - 1)^2 - 0.0008083(\sec z - 1)^3 \tag{2}$$

으로 표시된다(Hardie 1962). 이 식에서 z 는 겉보기 천정거리이다. 보통 2차 계수는 1차 계수에 비하여 상대적으로 작아 X 가 크지 않은 경우, 무시될 수 있다. 우리의 관측에서는 필터없이 관측하였으므로 2차 계수는 무시하였다.

우리의 측광자료를 이용하여 관측한 날의 대기소광계수를 결정하는 작업을 효율적으로 수행하기 위하여, 대기소광계수를 결정하는 프로그램(Determination system of Atmospheric Extinction Coefficient, 이하 DATEC으로 약함)을 이 논문의 제2 저자(SMC)가 개발하였다. DATEC은 관측한 날에 CCD 측광된 모든 별의 자료(hjd, 대기질량, 기계등급 등)를 순차적으로 읽어 들여 그 자료를 대기질량 대 기계등급으로 화면에 표시하고, 구름 유입 등과 같은 이유로 신뢰성이 없는 자료를 삭제한 후 최소자승법으로 별의 대기밖 기계등급과 대기소광계수를 결정하며, 이를 저장하는 프로그램이다. 그림 2는 DATEC으로 대기소광계수를 결정하였을 때의 컴퓨터 화면이다.

우리는 DATEC을 이용하여 2005년부터 2007년까지 관측된 모든 날의 관측자료를 먼저 분석한 후, 날씨가 관측내내 쾌청하였을 뿐만 아니라, 관측의 시작과 끝의 천정거리의 차가 큰 날들을 선택하여 대기소광계수를 결정하였다. 표 2은 2005년부터 2007년까지 대기소광계수 결정에 최종적으로

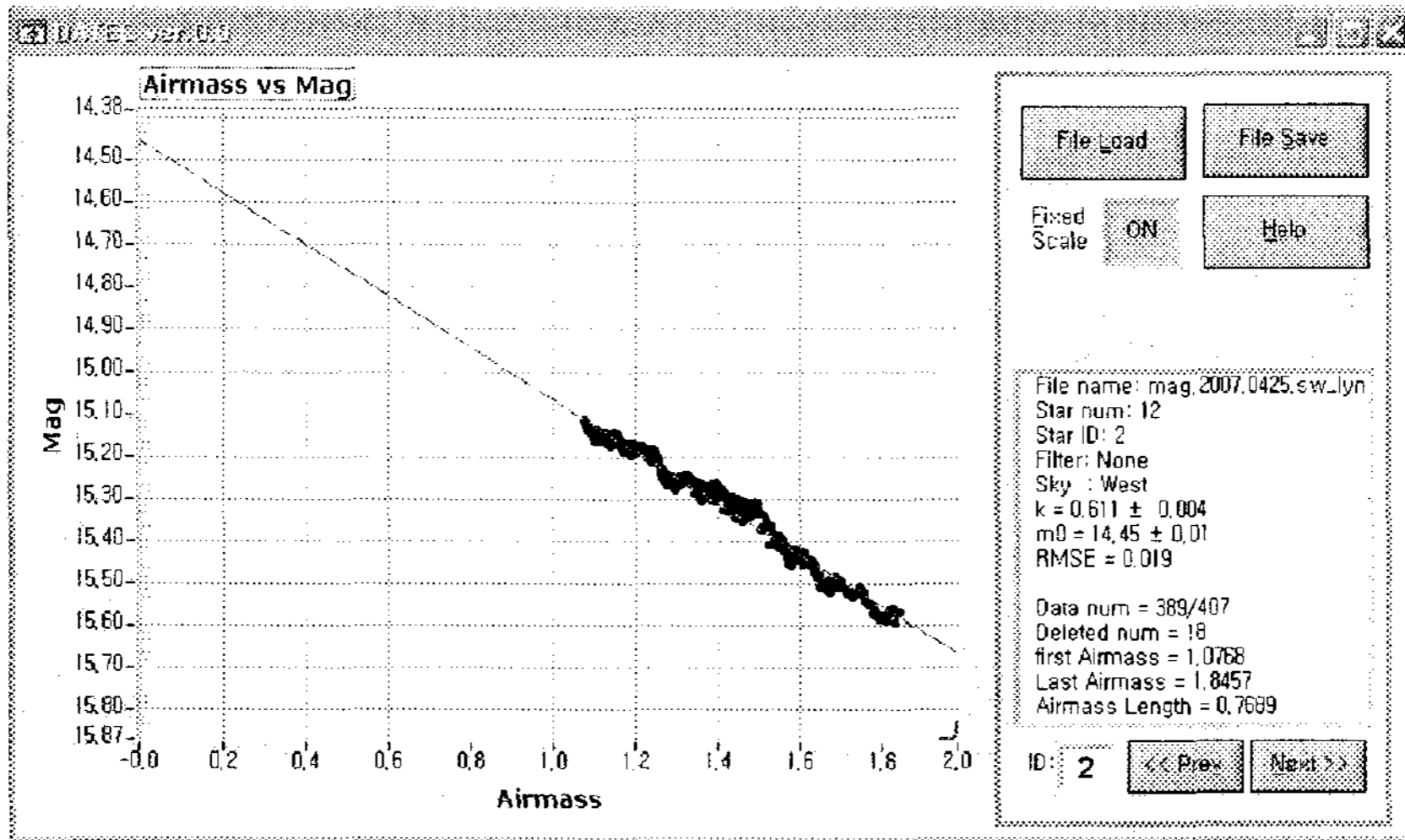


그림 2. 대기소광계수를 결정하는 DATEC(Determination system of ATmospheric Extinction Coefficient) 프로그램 화면.

표 2. 2005년부터 2007년까지의 결정된 대기소광계수.

연도	사용 관측일수	하늘	
		동쪽	서쪽
2005	57	42	22
2006	51	42	14
2007	63	10	55

사용된 관측일수와 동, 서쪽 하늘의 소광계수를 결정한 날 수를 정리한 것이다. 또한, 표 3에 최종적으로 획득한 대기소광계수 값들을 수록하였다.

3. 대기소광계수의 계절별, 연도별 변화

그림 3은 표 3에 수록한 모든 대기소광계수를 시간에 따라 그린 것으로 연도별로 다른 기호(2005년: 원, 2006년: 네모, 2007년: 세모, 동쪽 하늘: 채운 기호, 서쪽 하늘: 열린 기호)를 사용하였다. 이 그림과 표 3에서 보듯이 대기소광계수의 약 90% 정도가 약 $k = 1.0$ 이하인 반면, 그 이상이 되는 경우도 약 10%나 된다(최대 $k = 3.3$). 또한, $k = 0.1$ 보다 작은 날은 전체의 2%에 해당하는 단지 4일밖에 되지 않는다. 대기소광계수가 $0.1 < k < 0.2$ 사이에 있는 경우는 23일로 전체의 약 13%에 해당한다. 특기할 만한 것은 동쪽하늘에서 결정된 대기소광계수 값들이 서쪽하늘에 비하여 상대적으로 크다는 것이다. 이 현상은 관측소의 위치에서 바라본 청주시의 동쪽 지역이 서쪽에 비하여 개발이 훨씬 더 진행되었기 때문으로 이해될 수 있다. 특히 청주에서 대전으로 가는 국도와 고속도로가 관측소의 위치에서 동쪽 방향으로 남북으로 길게 놓여 있고 이 도로들 주변으로 개발이 많이 되었으므로, 상대적으로 서쪽 지역에 비하여 대기오염물질이 더 많이 동쪽하늘에 잔존하여 있을 것으로 유추되며,

표 3. 2005년부터 2007년까지의 설정된 대기소광계수.

날짜	대기소광계수 (mag/airmass)		날짜	대기소광계수 (mag/airmass)		날짜	대기소광계수 (mag/airmass)	
	동쪽	서쪽		동쪽	서쪽		동쪽	서쪽
2005년								
01-04	0.172	-	04-05	-	0.270	10-18	0.931	-
01-27	0.465	0.219	04-12	3.280	-	10-22	0.191	-
01-28	0.518	-	04-16	0.612	0.278	10-30	0.429	-
01-29	-	0.240	04-21	1.198	-	10-31	-	0.176
02-12	0.420	-	04-22	0.267	0.314	11-08	-	0.227
02-21	-	0.177	04-26	0.280	-	11-09	0.556	-
02-25	0.222	-	05-02	-	0.433	11-12	-	0.607
02-26	-	0.253	05-03	0.557	-	11-14	-	0.192
03-02	0.399	-	05-12	1.749	-	11-15	0.267	-
03-03	0.270	-	05-14	0.800	-	11-16	-	0.104
03-06	0.245	-	05-19	0.289	-	11-18	0.209	0.162
03-13	0.230	-	05-20	-	0.198	11-22	0.720	-
03-15	1.260	-	05-23	0.486	-	11-30	0.276	-
03-18	0.265	0.096	05-24	0.306	-	12-05	0.241	0.299
03-29	0.472	-	09-24	0.460	0.727	12-19	0.281	-
03-30	0.916	-	09-27	0.437	-	12-26	0.140	0.142
03-31	0.750	-	10-14	0.253	-	12-27	0.157	-
04-03	0.530	-	10-16	0.199	0.637	12-29	-	0.739
2006년								
01-06	0.218	-	03-28	0.092	-	10-20	-	0.471
01-07	0.973	0.135	04-16	1.243	-	10-27	0.457	-
01-11	0.198	-	06-04	-	0.957	11-02	0.563	0.273
01-20	3.164	-	06-16	-	0.463	11-03	1.700	-
01-22	0.230	-	07-31	0.419	-	11-05	0.222	-
01-23	0.423	-	08-01	0.391	-	11-07	0.414	0.427
01-27	0.632	-	09-02	0.510	-	11-11	0.273	0.223
02-03	-	0.232	09-03	0.131	-	11-12	0.438	-
02-04	0.186	-	09-13	0.247	-	11-15	0.340	0.083
02-12	0.309	-	09-22	-	0.567	11-16	0.280	-
02-18	-	0.475	09-24	0.340	-	11-24	0.184	-
02-24	0.282	-	09-27	1.551	-	12-15	-	0.485
02-26	0.191	-	10-11	0.620	-	12-18	0.451	-
03-03	0.382	-	10-13	-	0.420	12-21	-	0.548
03-06	0.643	-	10-14	0.365	-	12-22	0.251	-
03-09	0.839	-	10-15	2.003	-	12-25	0.528	-
03-14	0.307	-	10-19	1.232	-	12-29	0.788	-

이 물질들이 대기소광에 크게 기여하였을 것으로 판단되기 때문이다. 청주를 포함한 주변 지역의 개발 정도는 구글지구(Google Earth; <http://earth.google.com>)에서도 쉽게 확인할 수 있다.

그림 3에서 계절별(봄: 3~5월, 여름: 6~8월, 가을: 9~11월, 겨울: 12~2월)로 대기소광계수의 변화를 살펴보면, 겨울, 가을, 그리고 봄 순서로 대기소광계수가 커지며, 그 산란 정도도 커지는 것을 알 수 있다. 반면 우리나라의 여름은 장마철이 겹쳐 있어 천문관측에 적합한 날이 거의 없음을 볼 수 있다. 계절별 대기소광계수의 변화에서 특기할 만한 점은 대기소광계수 값이 1.0이 넘는 날이 겨울에 비하여 봄과 가을에 유난히 많다는 것이다. 이는 대기소광을 크게 일으키는 미세먼지 같은 물질들

표 3. (계속)

날짜	대기소광계수 (mag/airmass)		날짜	대기소광계수 (mag/airmass)		날짜	대기소광계수 (mag/airmass)	
	동쪽	서쪽		동쪽	서쪽		동쪽	서쪽
2007년								
01-10	-	0.597	05-19	-	2.811	10-30	-	0.476
01-18	-	0.342	05-27	0.640	-	11-02	-	0.396
01-20	0.330	-	05-30	-	0.662	11-05	-	0.379
01-22	-	0.803	06-09	-	0.382	11-06	-	0.454
01-24	-	0.630	06-17	0.228	-	11-07	-	0.899
02-02	-	0.537	06-18	-	0.350	11-08	-	0.860
02-03	0.298	-	09-09	-	0.557	11-12	-	0.448
02-04	-	0.534	09-10	-	1.812	11-15	-	0.315
02-11	0.373	-	10-05	-	0.287	11-16	0.086	0.244
02-14	-	0.292	10-06	-	0.306	11-18	-	0.204
02-20	-	0.408	10-08	-	0.324	11-21	-	0.172
02-25	-	0.352	10-09	-	0.519	11-24	-	0.998
03-10	0.205	-	10-14	-	0.463	11-26	0.134	0.159
03-13	-	0.797	10-16	-	1.136	11-27	-	0.256
03-19	0.589	-	10-17	-	0.129	12-08	-	0.486
03-25	-	1.121	10-19	-	0.203	12-09	-	0.694
04-03	-	0.729	10-20	-	0.524	12-14	-	2.576
04-08	-	1.665	10-22	-	1.674	12-15	-	0.334
04-09	-	0.637	10-23	-	1.313	12-22	-	0.563
04-25	-	0.612	10-26	-	0.423	12-26	-	0.699
04-27	-	0.206	10-27	-	0.358	-	-	-

표 4. 계절별, 년도별 대기소광계수의 평균치.

년도	봄		여름		가을		겨울		평균	단위
	동쪽	서쪽	동쪽	서쪽	동쪽	서쪽	동쪽	서쪽		
2005	17일	6일	-	-	11일	8일	15일	16일		일
	0.45±0.21 0.25±0.10		-	-	0.42±0.23 0.35±0.24		0.31±0.14 0.26±0.14		0.34±0.18	mag/airmass
	0.39±0.20				0.39±0.24		0.28±0.14			mag/airmass
2006	5일	-	2일	2일	15일	7일	20일	10일		일
	0.45±0.26		0.41±0.01	0.71±0.25	0.36±0.14 0.39±0.18		0.41±0.26 0.34±0.16		0.38±0.19	mag/airmass
	0.45±0.26		0.56±0.23		0.36±0.14		0.39±0.23			mag/airmass
2007	3일	6일	1일	2일	2일	25일	4일	14일		일
	0.48±0.19 0.61±0.20		0.23±0.00	0.37±0.02	0.11±0.02 0.41±0.22		0.33±0.09 0.52±0.15		0.45±0.20	mag/airmass
	0.56±0.20		0.32±0.07		0.39±0.23		0.48±0.16			mag/airmass

이 겨울에 비하여 봄과 가을에 급격히 증가하기 때문으로 자연스럽게 생각할 수도 있기 때문에, 우리는 대기소광계수와 미세먼지농도와의 상호비교를 년도별로 시도하였다. 다행히 2006년과 2007년 2년간의 미세먼지농도 자료를 기상청에서 얻을 수 있었다. 그림 4a,b는 2006년과 2007년의 두 시계열 자료를 동시에 그린 것으로 채운 원은 대기소광계수를, 실선은 미세먼지농도 자료이다. 여기서 미세먼지농도 자료는 대기소광계수를 결정한 날의 관측시간과 동일한 시간에 측정된 자료이다. 그림에서 볼 수 있듯이 대체적으로 대기소광계수가 클 때에는 대기 속 미세먼지농도가 증가하고, 반대로 소광계수가 작을 때에는 미세먼지농도도 감소하고 있어 두 양 사이는 확실한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이의 원인을 두가지 관점에서 생각하여 볼 수 있다. 겨울에 비하여 봄과 가을에 큰 대기소광을 주는 물질들이 청주에서 자체적으로 대량 발생되었거나, 그렇지 아니하면, 외부로부터 대량의

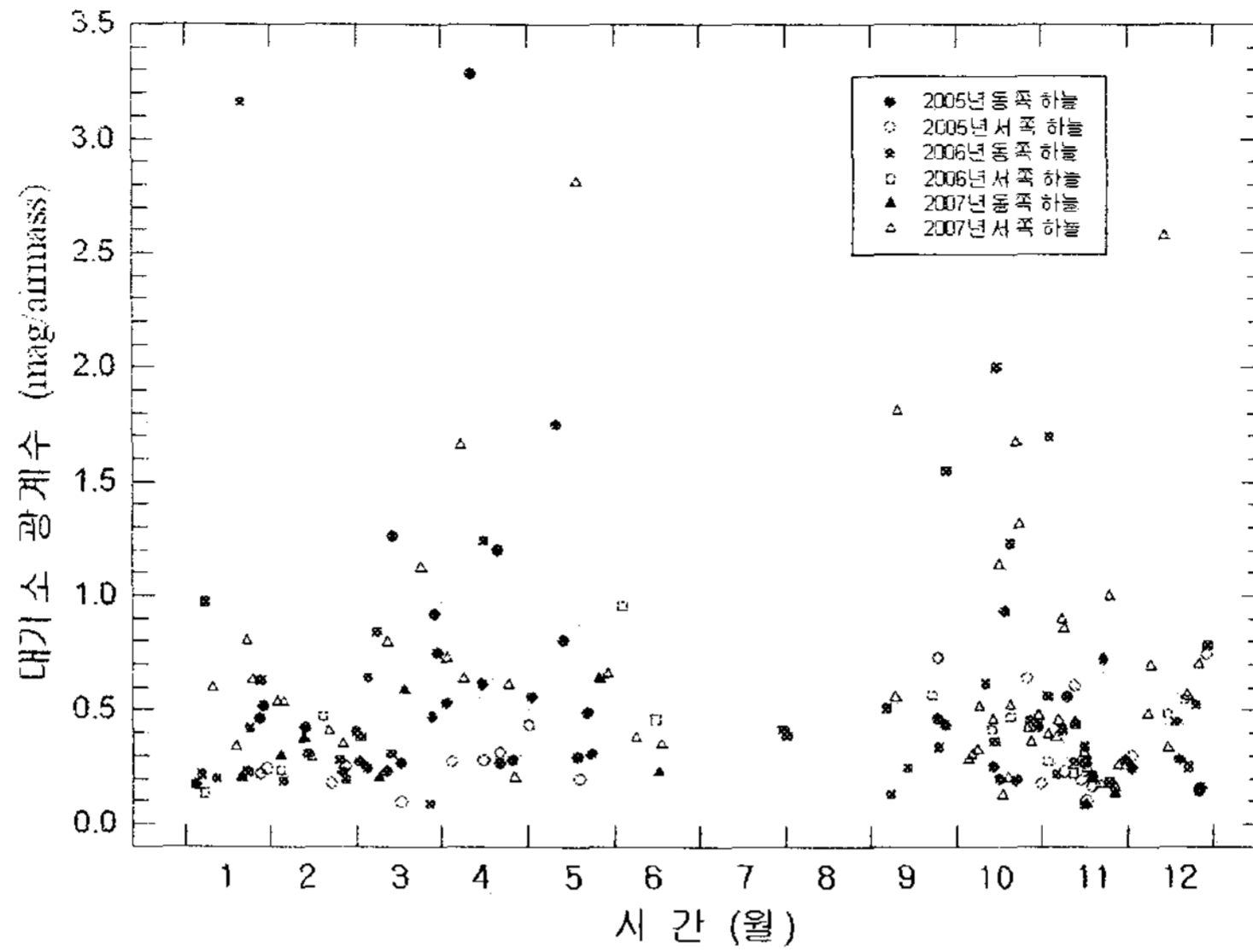


그림 3. 2005년부터 2007년까지의 결정된 대기소광의 시간적 변화.

로 유입되었을 경우이다. 그런데, 2006년과 2007년 봄과 가을에 청주에서 대규모 개발 사업이 없었으므로, 대기 소광 물질의 외부 유입이 그 원인으로 생각되며, 특히 중국 대륙에서 발생하여 봄과 가을에 많이 한반도로 유입되는 황사 먼지가 봄과 가을의 큰 대기소광의 주범으로 추측된다. 그림 3에 보인 대기소광계수의 계절별, 년도별 분포가 정도의 차이는 있겠지만 공해와 광해가 있는 도시 하늘의 전형적인 모습이라 생각된다.

표 3에 제시한 대기소광계수의 계절별, 년도별 변화의 평균치를 그 표준편차와 함께 표 4에 수록하였다. 표 4는 위에서 기술한 내용들을 잘 요약해 주고 있다. 특별히 대기소광계수의 년도별 평균치의 변화가 매년 증가하는 경향을 보인다. 이는 대기소광물질이 매년 증가한다는 것을 의미하기때문에 주목할 필요가 있다. 그 변화를 그림 5로 그렸다. 비록 그 표준편차가 표 4에서 보듯이 매우 크지만 증가 경향이 확실함을 그림 5에서 알 수 있다. 그림에서 직선은 최소자승법으로 구한 것으로 세 점의 변화를 잘 대표하고 있다. 그 직선의 기울기는 $0.0055 \pm 0.0003/(\text{airmass year})$ 이다.

4. 요약과 결론

청주 시내에 위치하고 있는 CbNUO의 교내 관측소에서 2005년부터 2007년까지 3년간 관측된 근접쌍성의 비교성 및 점검성들의 측광자료를 이용하여 백색광에 대한 1차 대기소광계수들을 결정하였고, 대기소광계수의 계절별, 년도별 변화 특성을 조사하였다. 대기소광계수를 결정하는데 사용한 관측일수는 2005년, 2006년, 그리고 2007년에 각각 57일(동쪽 42일, 서쪽 22일), 51일(동쪽 42일, 서쪽 14일), 그리고, 63일(동쪽 10일, 서쪽 55일)이다. 분석 결과, 2005년, 2006년, 그리고 2007년의 년도별 평균 대기소광계수와 그 표준편차는 대기질량 당 각각 0.0034 ± 0.0018 , 0.0038 ± 0.0019 , 그리고 0.0045 ± 0.0020 으로, 도심에 위치하지 않은 정상적인 천문대에 비해 대기소광계수는 약 2배정도 크

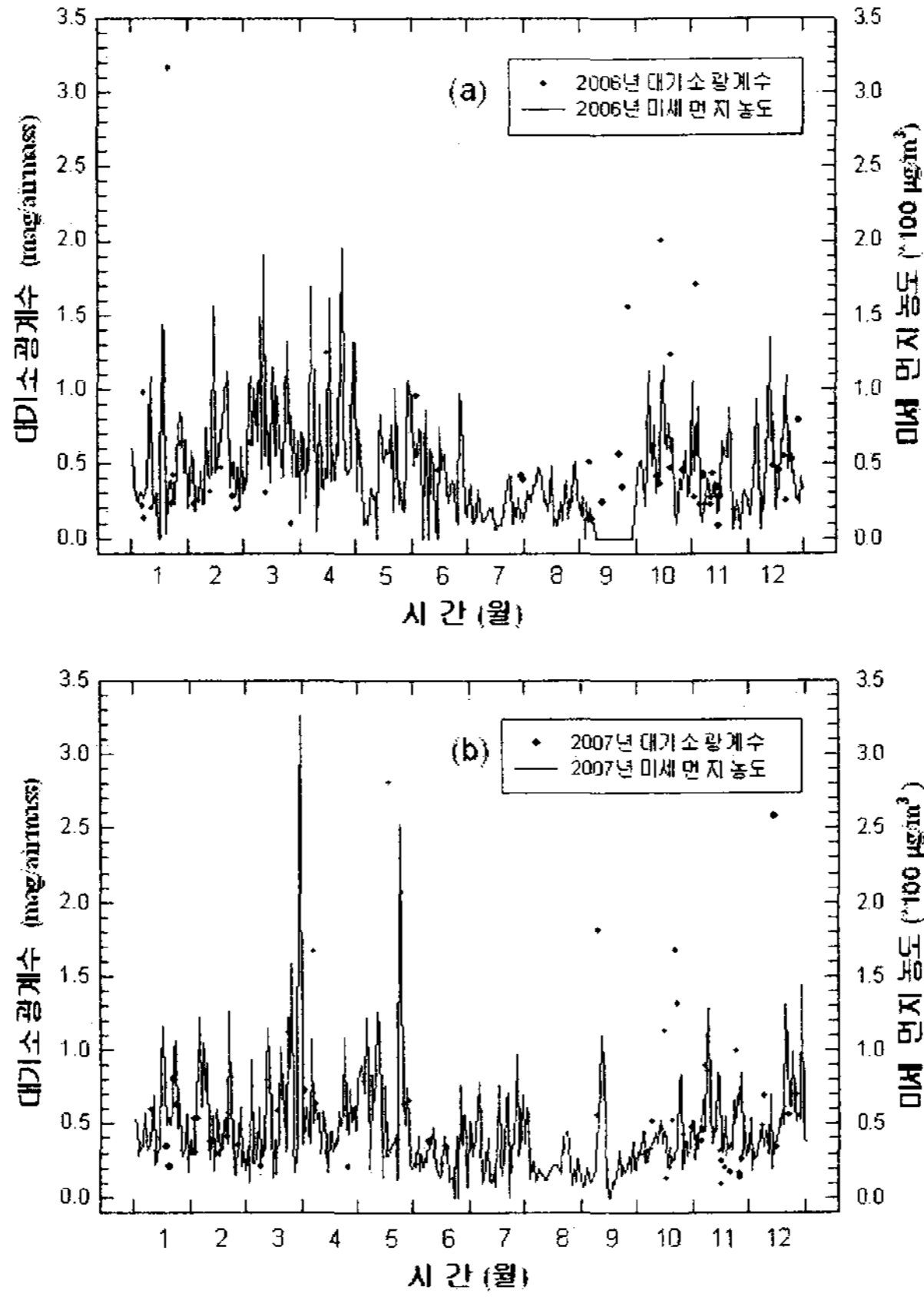


그림 4. 대기소광계수와 미세 먼지농도의 상호 비교. (a) 2006년, (b) 2007년.

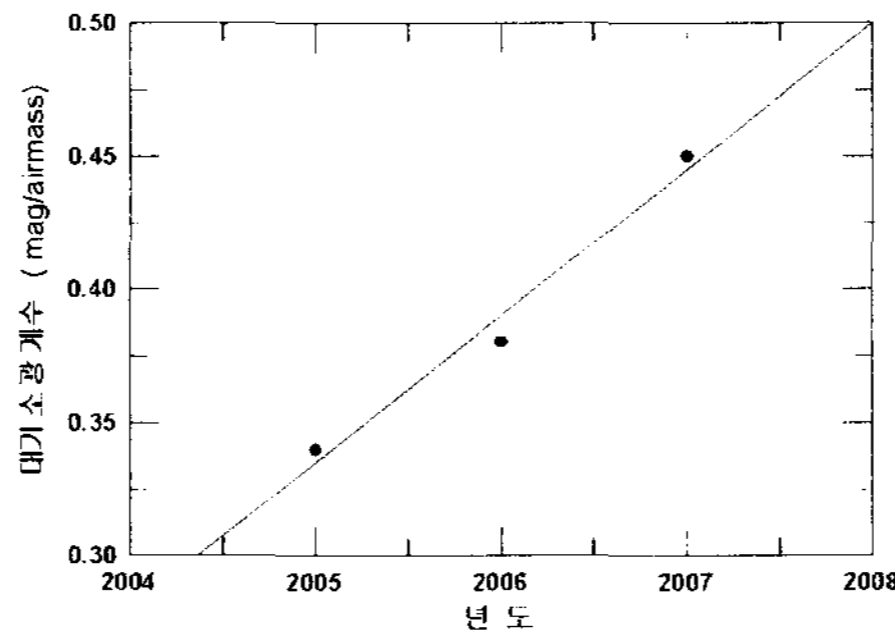


그림 5. 대기소광계수의 연도별 평균치의 시간적 변화.

며, 표준편차는 약 4배 정도 큰 것으로 나타났다. 이러한 하늘 상태에서 청밀 천문관측은 예상한 바와 같이 부적합하다. 그러나 Kim et al. (2006)에서 보인 바와 같이 극심시각(또는 극대 시각)의 조직적 관측, 밝은 천체의 광도곡선의 획득, 또는 14등급 이내의 변광 천체 탐색 등과 같이 잘 짜여진

관측 프로그램을 계획한다면, 도심이라는 어려운 상황에서도 천문학적으로 의미있는 자료를 획득할 수 있다.

한편, 대기미세농도와 대기소광계수를 계절별, 년도별로 비교해 본 결과, 대기미세 먼지농도와 대기소광계수가 비슷한 양상으로 변화하고 있어 두 양 사이는 강한 상관관계가 있는 것으로 보인다. 즉, 대기미세농도가 증가하거나 감소할 때 대기소광계수도 같은 양상을 보이고 있다. 또한, 충북대학교 교내 관측소의 동쪽하늘의 소광계수가 서쪽하늘에 비하여 더 큰 것은 동쪽 지역이 서쪽 지역보다 더 개발되어 대기소광 공해 물질이 동쪽 하늘에 더 잔존하여 있기 때문으로 설명할 수 있다. 결론적으로 청주 지역 도심 하늘의 대기소광은 매년 $0.06/\text{airmass}$ 정도 증가하는 추세에 있다. 이는 현재의 청주 밤하늘이 2배로 밝아지는데에 약 13년밖에 걸리지 않는다는 것을 의미한다. 이는 청주 지역 도심 하늘의 공해 및 광해는 매년 우려할 만큼 심각한 것으로 보인다. 특별히 도시의 공해 및 광해를 일으키는 요인들에 대한 다각적인 연구가 필요하며, 이를 감시, 제어하는 장치가 청주시 자체에서 개발, 운영되어야 할 것이다.

내년은 국제천문연맹(IAU, International Astronomical Union)이 정한 ‘세계 천문의 해(IYA2009, International Astronomical Year of Astronomy 2009)’이다. 제62차 UN의 최종 승인을 거친 IYA2009를 기념하기 위한 다양한 행사를 IAU는 전 세계의 천문우주관련 학자, 학회, 그리고 기관 등과 협력하여 ‘지구촌 축제’로 기획하고 있다. 국내에서도 여러 기관(한국천문연구원, 한국천문학회, 한국우주과학회 등)들이 공동으로 여러 행사를 기획, 준비하고 있다. IYA2009의 목표 중의 하나는 “인류 문화유산인 동시에 자연유산인 밤하늘과 천문 유적에 대한 보존 노력의 구체화”이다(<http://www.iau.org/> 참조). 대기소광계수와 그 시간적 변화가 한 지역의 밤하늘의 청정 정도를 가름짓는 지수로서 중요하게 사용될 수 있음을 보여 주는 우리의 연구는 IYA2009의 목표 달성을 위한 천문학적 도구로 충분히 사용될 수 있을 것이다. 또, 국내에서 기획 중인 여러 행사 중 ‘불을 끄고 별을 쬐다’라는 행사에 불을 끄기 전의 별 빛의 밝기와 끈 후의 밝기의 변화 또는 그 전후의 대기소광계수의 비교는 광해가 별빛 소광에 미치는 효과를 정량적으로 밝히는 좋은 기회일 것이다.

감사의 글: 이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- 김천휘, 정장해, 이용삼 2006, 한국우주과학회지, 23, 105
윤요나, 이충욱, 차상목, 김용기 2006, 한국우주과학회지, 23, 143
이충욱, 김천휘, 오규동, 변용익 2003a, 한국우주과학회지, 20, 261
이충욱, 박성수, 김천휘, 변용익 2003b, 한국우주과학회지, 20, 143
Hardie, H. R. 1962, *Astronomical Technique*, ed. W. A. Hiltner (Chicago: Univ. of Chicago Press), Chapter 8
Henden, A. A. & Kaitchuck, R. H. 1982, *Astronomical Photometry* (New York: Van Nostrand Reinhold Co.), p.28, p.87
Irvine, W. M. & Peterson, F. W. 1969, *Journal of The Atmospheric Sciences*, 27, 62
Kim, C.-H., Lee, C.-U., Yoon, Y.-N., Park, S.-S., Kim, D.-H., Cha, S.-M., & Won, J.-H. 2006,

IBVS, 5694

Kreiner, J. M., Kim, C.-H., & Nha, I.-S. 2001, An Atlas of (O-C) Diagrams of Eclipsing Binary Stars, Vols.1-6 (Krakow: Press of Pedagogical Univ.)

Lee, J. W., Youn, J.-H., Kim, C.-H., Lee, C.-U., & Kim, H.-I. 2008, AJ, 135, 1523

Mohan, V., Uddin, W., Sagar, Ram, & Gupta, S. K. 1999, Bulletin of the Astronomical Society of India, 27, 601