

# 위성 광학관측 가능 기상상태 판단을 위한 Boltwood 구름센서 성능 시험

배영호\*, 윤요나\*\*, 조중현\*, 문홍규\*, 최영준\*, 임흥서\*, 박영식\*, 박선엽\*, 박장현\*, 최진\*, 김명진\*, 김지혜\*

## Performance Test of the Boltwood Cloud Sensor for the Meteorological Condition of Optical Satellite Observation

Youngho Bae\*, Joh-Na Yoon\*\*, Jung Hyun Jo\*, Hong-Kyu Moon\*, Young-Jun Choi\*, Hong-Suh Yim\*, Youngsik Park\*, Sun-Youp Park\*, Jang-Hyun Park\*, Jin Choi\*, Myung-jin Kim\* and Jihye Kim\*

### 요 약

Boltwood 구름센서는 구름으로부터 복사되는 적외선을 감지하여 구름의 유무와 많고 적음을 판별할 수 있는 기상센서의 한 종류이다. 이 구름센서는 한국천문연구원이 진행하고 있는 국가현안과제의 일환인 우주물체 전자광학 감시체계 시스템(OWL, Optical Wide-field patrol)에 사용될 계획이다. 실제 시스템 적용에 앞서, Boltwood 구름센서를 충북대학교 천문대에 설치, 약 2주간 구름센서의 구름감지 성능 시험을 위한 관측을 진행하였다. 구름센서의 성능과 비교할 대상으로 충북대학교 천문대에 현재 설치, 운영 중인 구름량 측정을 위한 CCD 관측시스템을 이용하였다. 성능 테스트 결과, 하늘과 지상의 온도차이와 측광 자료의 별 개수간 명확한 상관관계가 도출되지 못했다. 그 원인으로는 시험 환경상의 문제와 Boltwood 구름센서의 내부 알고리즘 및 하드웨어에 대한 정보공개가 제한 때문인 것으로 판단된다. 이 논문에서는 Boltwood 구름센서와 CCD 관측시스템의 구름지수를 비교, 분석한 과정과 그 상세 결과를 제시하고자 한다.

**Key Words** : Satellite Observation; Cloud Sensor; Star Counting; Meteorological Sensor; Sky CCD

### ABSTRACT

The Boltwood Cloud Sensor is meteorological sensor that is used to estimate an amount of clouds in the sky. This sensor will be installed for OWL(Optical Wide-field patrol) telescope and observatory system of Korea Astronomy and Space Science. Before applying this sensor to an observatory system, we performed test observations at Chungbuk University Observatory at Jincheon, Chungbuk. During the test run, a significant correlation between air temperature difference and the number of visible stars recorded in the CCD frames has not been found. This preliminary result can be attributed to test environment of the observation and our lack of knowledge on calculation algorithm as well as the hardware system of the Boltwood Cloud Sensor. In this paper, we present the procedure and the result of the performance test employing the cloud sensor.

## I. 서 론

일반적으로 천문관측소에는 기상센서, 즉 온도센서와 습도센서, 풍향, 풍속계, 강우, 강설량계, 대기압계 그리고 구름센서 등이 설치된다. 이 센서들은 천문관측 활동에 직접 사용되지는 않지만, 기상 환경 요소들을 측정하여 관측 가능 여부를 관측자 또는 시스템에게 알려주어 중요한 관측 장비

들이 외부 환경들에 의해 피해를 입지 않도록 하는 매우 중요한 역할을 수행한다.

이 센서들에 의해 측정되는 값들 중에서, 온도와 습도, 풍향, 풍속, 대기압은 그 변화양상이 점진적이거나 거의 변하지 않기 때문에 어느 한 값이 관측여부를 판별하는 설정 임계값에 도달하더라도 관측 장비들을 보호할 수 있는 시간적인 여유를 확보할 수 있다.

\* 본 연구는 한국기초기술연구회의 국가 현안문제 해결형 과제인 “우주물체 전자광학 감시체계 기술개발”과 대응재원인 한국천문연구원 기관과유 과제의 부분적 지원을 받아 수행되었음.

\*\*한국천문연구원 우주감시센터(yhbae@kasi.re.kr), \*\*충북대학교 천문대(antalece@kasi.re.kr)

접수일자 : 2013년 7월 29일, 수정완료일자 : 2013년 8월 27일, 최종게재확정일자 : 2013년 8월 28일

반면에, 관측 장비에 가장 큰 피해를 초래할 수 있는 강우(rain)의 경우에는 그 현상이 발생하기 전에 미리 대비를 해야만 강우현상에 의한 관측기기의 피해를 최소화 할 수 있다. 앞서 언급했듯이 대부분의 천문관측소에는 강우량계를 설치, 운용하고 있지만, 이 센서는 현재 강우현상이 있다는 사실만을 알려줄 뿐 강우를 대비할 수 있는 역할은 하지 못한다.

이러한 강우현상을 미리 대비할 수 있게 해 주는 기기가 구름센서이다.

모든 구름이 강우현상을 동반하는 것은 아니지만, 강우현상에는 반드시 구름이 동반된다. 따라서, 현재 관측중인 하늘 또는 전천의 구름 양상을 지속적으로 모니터링 할 수 있다면 강우현상을 미리 대비할 수 있어 관측기기 피해 최소화는 물론 주어진 관측 시간을 최대한 활용할 수 있다.

이러한 구름센서로서 역할을 할 수 있는 것은 사람의 육안관측과 기상위성, 일반적인 CCD(Charge-Coupled Device)에 카메라렌즈 또는 어안렌즈(eye-fish lens)를 부착한 광시야 CCD 관측 시스템, 구름의 적외선 복사를 감지하는 센서 등이 있다.

사람의 육안관측은 낮 시간동안에는 가장 정확하지만, 관측활동이 전개되는 야간에는 하늘에서 구름의 이동이나 유무를 쉽게 판별하기는 힘들다는 단점이 있다. 기상위성으로부터 지상의 기상상황 자료를 전송받아 이를 분석하여 구름의 유무를 판별하기도 하지만, 이는 주로 광범위한 영역에 대한 구름 정보만을 알 수 있을 뿐, 관측소가 위치해 있는 협소한 영역의 하늘에 대한 구름 정보까지 알기는 어렵다.

현재까지 구름센서로 가장 많이 사용되고 있는 기기로는 광시야 CCD 관측 시스템이다. 이 시스템은 짧은 주기로 밤하늘의 영상을 지속적으로 획득하고, 이 영상들을 실시간으로 지정된 처리 과정을 거친 후, 영상에서 검출되는 별 개수를 카운트함으로써 현재의 밤하늘에 있는 구름의 양을 상대적으로 계량화할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

CCD와 카메라렌즈를 조합한 시스템은 관측시야가 넓기는 하지만, 이는 주 관측 시스템에 비해 넓은 뿐, 실제 밤하늘의 영역에 비하면 상당히 좁은 영역만을 볼 수 있으며, CCD와 어안렌즈 조합 시스템은 한 번에 전 하늘을 볼 수 있는 반면에, 시스템의 특성상 밝은 별만을 촬영할 수 있고, 달이 나타나는 시간 동안에는 밝은 달빛에 의해 밝은 별마저도 영상에서 검출할 수 없다는 단점도 있다. 또한 이 두 가지 방법은 CCD와 렌즈, 그리고 영상 처리 시스템 등을 갖춰야 하기 때문에 전체 관측 시스템이 복잡해질 수 있다는 단점이 있다.

보다 진보된 구름검출 시스템으로는 구름으로부터 방출되는 적외선 복사를 감지하여, 구름의 유무를 판별하는 구름센서가 있다. 일반적으로 구름은 지구가 복사하는 적외선을 일정 부분 흡수하고 있다가 이중 일부를 다시 지표면으로 복사하게 되는데, 이 구름센서는 구름으로부터 복사되는 이러

한 적외선을 감지하여 구름의 유무와 많고 적음을 판별하게 된다. 이러한 시스템 중 가장 대표적인 기기가 Boltwood 구름센서이다. Jonathan Marchant 등은 Boltwood 구름센서의 자료를 이용하여 구름의 높이와 두께 등에 대한 센서의 반응과 구름과 먼지의 양상에 따른 측광학적인 날씨에 관한 실험을 한 바 있다[5]. 이들은 Boltwood 구름센서의 구름 검출 성능 자체에 대한 실험보다는 구름과 관측소 주변의 먼지의 양상에 따라 CCD에 촬영되는 천체들의 등급 소광의 경향 조사에 관한 시험의 성격이 크다고 할 수 있다.

한국천문연구원이 국가현안과제(National Agenda Project, NAP)로 수행하고 있는 우주물체 전자광학 감시체계 프로젝트에서는 해외5개소에 인공위성과 우주잔해물 관측을 위한 무인자동관측소를 운영할 계획으로 있으며, 관측 효율 증대 및 외부환경으로부터 기기를 보호하기 위해 각 관측소에 구름센서를 설치, 운용할 계획이다.

해외관측소에서 운용할 구름센서로는 Boltwood 구름센서를 선정하였다. 이 구름센서는 상용(commercial)으로, 구름으로부터 복사되는 적외선을 감지하여 구름의 유무에 대한 정보를 제공해 준다.

이에, 우리는 실제 관측 시스템에 구름센서를 적용하기에 앞서, Boltwood 구름센서의 구름감지 성능 시험을 실시하였다. 성능 시험을 위해 구름센서를 충북대학교 천문대에 설치하고, 이와 비교대상으로 충북대학교 천문대에서 현재 설치, 운용중인 CCD와 카메라렌즈 조합 관측 시스템을 선정하였다. 이 CCD 관측 시스템은 CCD 영상 처리 과정을 거쳐, 영상에서 검출되는 별의 개수로부터 구름량을 계량화하는 기기이다.

## II. Boltwood 구름센서와 CCD 관측 시스템

### 1. Boltwood 구름센서

Boltwood 구름센서는 캐나다의 Diffraction Limited사에서 제작, 판매하는 상용 구름센서이다. 이 센서의 내부에는 열전대열(thermopile)과 써미스터(thermistor, 온도제어용 반도체 감온 소자의 일종)가 설치되어 있다.

표 1. Boltwood 구름센서의 사양

항목	세부사항
사용소자	thermopile, thermistor
감지가능 파장대	8-14 $\mu$ m(적외선 영역)
주 감지각도	약 80°
최대감지각도	약 120°
부속 기상센서	온도계, 습도계, 강우량계, 풍향계
통신방법	RS-485/Serial

열전대열은 하늘로부터 입사하는 적외선 복사를 검출하여 온도를 측정하며, 써미스터는 이 열전대열에 의해 측정된 하늘 온도를 보정해주는 역할을 한다. 이 센서는 헤더가 하늘방향으로 향하도록 설치되는데, 헤더측에는 작은 필터창(filter window)이 있어, 이곳으로 입사되는 8~14 $\mu$ m의 파장대를 가지는 적외선복사를 감지하여 하늘 온도를 측정한다. 구름센서가 지향하는 하늘에 있는 구름의 유무와 많고 적음에 대한 정보는 이렇게 측정된 하늘 온도와 지상 온도(구름센서 주변 온도)의 상관관계로부터 추정된다. 이 때 지상 온도는 구름센서의 지상으로 향하는 측에 설치되어 있는 온도센서로 측정된다.



그림 1. Boltwood 구름센서 설치 모습(Diffraction사 홈페이지)

일반적으로 하늘에 구름이 없는 맑은 날 하늘의 온도는 지표면 부근의 온도보다 약 20도씨 이상 낮고, 낮은 구름으로 짙은 하늘의 경우 하늘 온도는 지표면의 온도와 거의 비슷한 것으로 알려져 있다. Boltwood 구름센서에는 이 외에도 습도센서가 있어, 습도값과 지상 온도로부터 이슬점 온도를 계산할 수 있으며, 강우량계와 풍속계도 설치되어 있다.

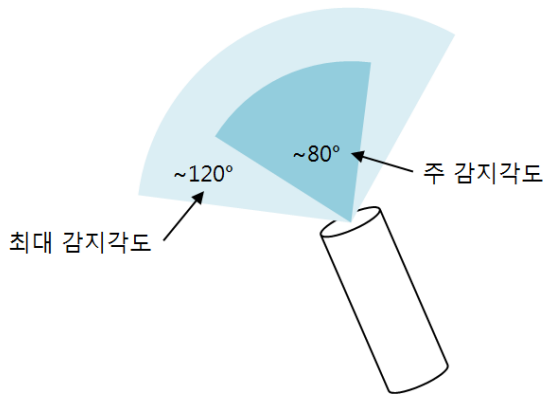


그림 2. Boltwood 구름센서의 적외선 감지영역

이 구름센서의 헤더의 주(main) 시야각은 약 80° 정도이며, 최대 감지범위는 약 120°까지 이다.

Boltwood 구름센서는 세계의 주요 천문우주관측소에 설치, 운용되고 있는데, 그 이유는 복잡한 영상 처리과정과 하드웨어가 필요한 CCD 관측 시스템과는 달리 시스템을 간단하게 구성할 수 있기 때문이다. 또한 이 구름센서가 전송하는 구름관련 정보가 직관적이고, 이 정보 외 다른 기상정보들을 동시에 측정할 수 있기 때문이다.

이 구름센서는 광역 망원경 네트워크를 구성하고 있는 Las Cumbres 관측소에 설치되어 구름량을 측정하는 기기로 사용되고 있으며, 이 외에도 맥도날드 관측소에서는 2010년부터 설치, 운영되고 있다[2]. HATSouth 광시야 망원경 네트워크 프로젝트에서 역시 관측소 하늘의 구름량을 측정하기 위해 Boltwood 구름센서를 도입, 사용하고 있다[3].

한국천문연구원에서는 Boltwood 구름센서를 실제 해외관측소에 설치, 운용하기에 앞서 그 성능을 시험하기 위해, 센서를 충북대학교 천문대에 설치하였고, 구름센서가 측정하는 구름정보와 비교할 대상으로 충북대학교 천문대에 설치, 운용중인 CCD 관측 시스템을 선정하였다. 보다 정확한 비교를 위하여 구름센서와 CCD 관측 시스템을 동일한 방향으로 지향되도록 설치되었다. CCD 관측 시스템은 관측 영상으로부터 별 개수를 카운트하여 구름 유무와 많고 적음을 판별하는 시스템이다.

구름센서에는 전원입력과 데이터 전송을 위한 케이블이 연결되어 있고, 이 케이블은 천문대의 실내에 설치된 PC에 USB인터페이스로 연결되어 있다. 센서가 출력하는 구름정보를 포함한 각종 기상자료는 약 2초 간격으로 센서로부터 PC로 전송되며, PC에는 하늘과 지상 온도, 습도, 풍속 등 다양한 기상정보들이 텍스트 파일형태로 자동으로 저장된다.

## 2. CCD 관측 시스템

Boltwood 구름센서의 구름량 감지 성능과 비교할 대상으로 선정된 CCD 관측 시스템은 충북대학교 천문대에 설치 운용중에 있으며, 구름량 측정을 그 목적으로 하고 있다. 이 시스템은 약 60°×82° 정도로 매우 넓은 시야각을 가지고 있고, 남쪽방향으로 고도 약 +24도 정도를 지향하도록 고정되어 있다[4].

표 2 충북대학교 천문대에서 설치, 운영 중인 구름량 측정을 위한 CCD 관측 시스템의 사양[4]

항목	세부사항
CCD	SBIG ST-8 CCD
CCD 칩	KAF-1603ME
픽셀개수	1,530 × 1,020
픽셀크기	9 $\mu$ m
노출시간	50초
사용렌즈	8mm 어안렌즈
시야각	59.7° × 81.5°

이 시스템은 SBIG사의 ST-8 CCD와 8mm 어안렌즈로 구성되어 있으며, 노출시간 50초로 저녁 천문박명 시작시간부터 다음 날 새벽 천문박명이 끝나는 시간까지 주기적으로 밤하늘을 촬영하며 해당 영상으로부터 별개수를 카운트하고 이를 바탕으로 촬영 당시의 구름량을 추정하는 방식을 사용하고 있다.

이 관측 시스템은 실외에 설치가 되므로, 외부환경으로부터 시스템을 보호하기 위한 하우징 속에 설치가 되어 있다.

### III. 구름자료 획득 및 CCD 영상자료 처리

Boltwood 구름센서의 자료는 전용 USB 케이블을 통해 연결된 PC에 저장된다. 저장주기는 약 2초이며, 여기에는 저장 날짜 및 시간, 하늘과 지상의 온도차, 지상온도, 풍속, 습도, 이슬점온도 등이 텍스트 형식으로 표시된다. Boltwood 구름센서의 저장자료에는 구름의 유무와 많고 적음을 나타내는 지수인 하늘과 지상의 온도차 값이 그대로 표시되어, 별도의 보정과정 없이 그대로 사용하였다.

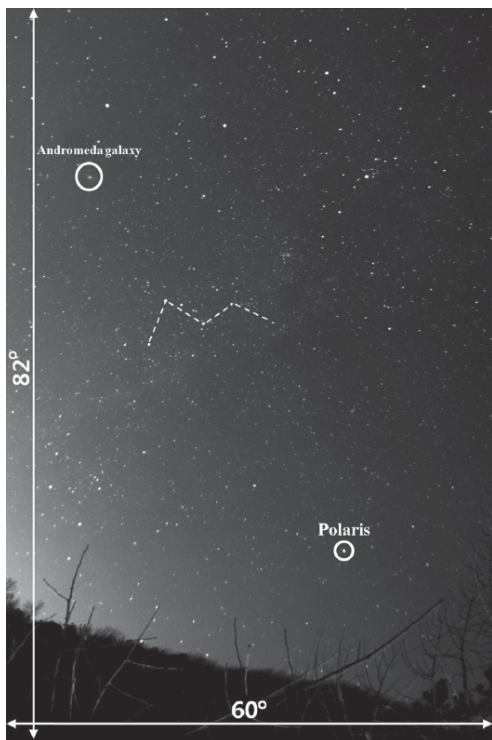


그림 3. 충북대학교 천문대에 설치된 CCD관측시스템의 시야 각[4]

CCD 관측 시스템에서 촬영한 영상들은 우선 IRAF의 cosmicrays 태스크를 적용하여 핫픽셀(hot pixel)과 우주선(cosmic ray)을 제거하고, 측광 프로그램인 source extractor[5]를 사용하여 별 개수를 측정하였다.

별 개수 측정을 위해서 CCD 영상에 촬영된 별들의 기기 등급(instrument magnitude)만을 고려하였으며, CCD 영상

에 대한 전처리와 등급 표준화는 시행하지 않았다.

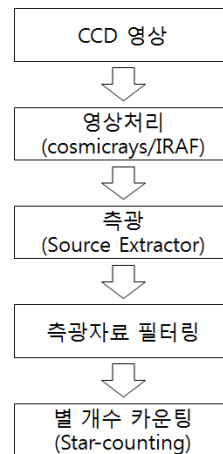


그림 4. CCD 관측 시스템으로부터 획득한 영상 처리 과정

그림 3에서 나타난 바와 같이, CCD 관측 시스템이 촬영한 하늘 영상에는 관측소 주변에 있는 나무도 포함되어 있다. 따라서, 이 나무부분이 측광 시 별들로 잘못 인식 될 가능성이 있기 때문에, 측광 후 자료 처리 과정에는 이 부분에 대한 필터링 과정이 포함되어 있다. 그림 5에는 이 필터링 영역이 표시되어 있다(연두색 사각형). 나무의 모양에 따라 모두 4개의 영역을 지정하였으며, 이 영역 내부에서 검출된 자료는 구름량 산출을 위한 별 개수에 포함되지 않는다. 빨간색 점은 필터링 이전 측광자료를, 파란색 점은 필터링 이후 측광자료를 영상에 표시한 것이다. 그림 5는 그림 3과 반대로 보이는데, 이는 그림 3의 그림과는 상하, 좌우가 반전되어 있는 상태이기 때문이다.

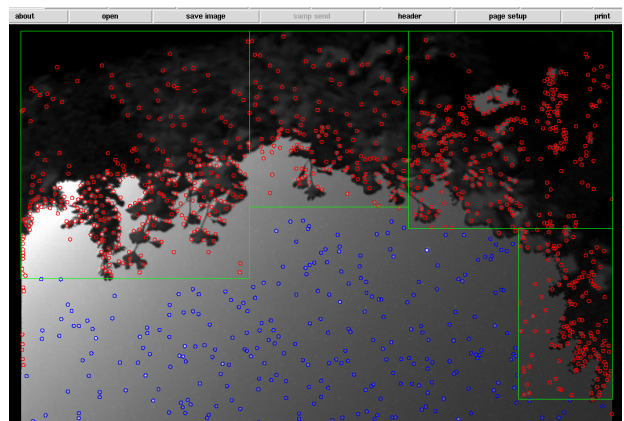


그림 5. CCD 영상 측광 자료에서 나무 부분 필터링 영역 지정 (연두색 사각형, 4개영역). 이 영역에서 검출된 자료는 구름량 산출을 위한 별 개수에 포함되지 않음.

그리고, 영상의 가장자리 부분에서 역시 배드 칼럼(bad column)으로 인해 측광 과정에서 이들을 별로 잘못 인식하는 경우가 발생하여, 가장자리에도 2픽셀씩 필터링 영역을 지정해 주었다.

CCD 영상 자료는 2013년 7월 8일부터 23일까지 15일간(7월 11일 자료 제외)의 자료가 구름량 지수 산출을 위해 활용되었으며, 이 기간 동안 획득한 영상의 개수는 3438장이다. 표 3에는 각 관측일별 관측된 영상 개수와 이들로부터 얻은 측광 자료를 바탕으로 대략적인 구름량을 추측한 내용이 포함되어 있다. 관측일은 해당일 저녁 천문박명시작부터 익일 새벽 천문박명이 끝나는 시간까지이다.

**표 3. 관측 일자별 CCD 영상자료 개수와 구름량. 구름량은 해당 관측일에 촬영된 CCD 영상 측광 자료로부터 추측된 것임.**

관측일 (2013년 7월)	영상개수	별 개수로부터 추정된 하늘상태
08일	207	구름 많음
09일	240	구름 많음
10일	67	맑음(부분)
12일	239	매우 구름 많음
13일	242	다소 구름 있음
14일	243	맑음(부분)
15일	243	맑음(부분)
16일	238	매우 구름 많음
17일	245	구름 많음
18일	246	맑음(부분)
19일	245	맑음(부분)
20일	246	맑음(부분)
21일	246	매우 구름 많음
22일	248	매우 구름 많음
23일	243	다소 구름 있음

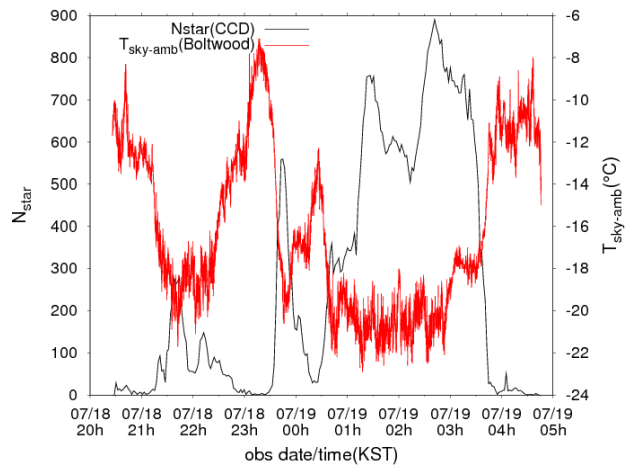
7월 10일 관측영상 개수는 67장인데, 이는 저녁 천문박명 이후 시스템 이상으로 영상을 촬영하지 못했고, 새벽부터 촬영을 재개했기 때문이다. 표 3은 해당 관측일의 영상에서 카운트된 별 개수를 살펴본 결과 대략적인 하늘 상태를 표시한 것이다. ‘매우 구름 많음’은 CCD 영상에서 검출된 별개수가 평균 50개 이하, ‘구름 많음’과 ‘다소 구름 있음’은 영상 당 검출된 별의 개수가 평균 100여개 이하, ‘맑음(부분)’은 검출된 별의 개수가 약 200개 이상 되고, 가끔 흐린 경우가 있었음을 뜻한다.

#### IV. Boltwood 구름센서 성능 시험 결과

Boltwood 구름센서는 구름이 방출하는 적외선을 감지, 이로부터 하늘의 온도를 측정하고, 이 값과 지상 온도와의 차이에 의해 구름량을 정량적으로 측정한다. 구름이 많을수록 이 값은 양수 방향으로 점점 커지고, 하늘이 맑을수록 음수 방향으로 커지게 된다. 이러한 구름센서의 구름량 측정값을 비교할 대상은 CCD관측시스템으로 촬영된 영상에서 검출된

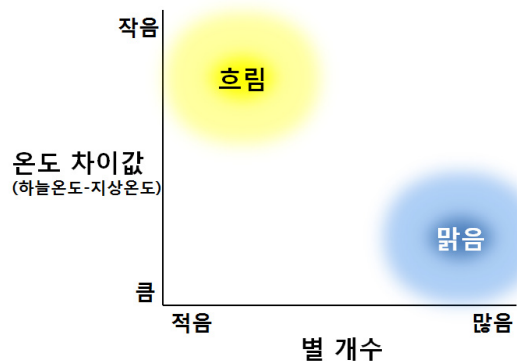
별의 개수이다. 실제 구름의 양을 보다 정확하게 나타낼 수 있는 관측기구는 사람의 눈이지만, 이는 정성적으로밖에 표시를 할 수가 없으므로, 정량적으로 구름량을 비교할 수 있는 CCD 관측시스템의 측광자료를 사용하였다.

그림 6은 구름센서 성능 시험을 수행했던 15일 중에서 2013년 7월 18일 저녁박명 시작시각부터 19일 새벽박명 종료시각까지 CCD 영상 측광자료와 구름센서의 온도차 그래프이다. 가로축은 관측시각을, 왼쪽 세로축은 CCD영상으로부터 얻은 별 개수( $N_{star}$ )를 그리고, 오른쪽 세로축은 구름센서의 온도차( $T_{sky-amb}$ )를 나타낸다. 이 축의 눈금값이 음수(-)임을 유의하라. 대체로  $T_{sky-amb}$ 가 낮을수록 검출된 별 개수가 많고, 높을수록 별 개수가 적음을 알 수 있다. 이는 하늘과 지상의 온도차가 클수록 구름의 양이 적으며, 온도차가 작을수록 구름의 양이 많다는 것을 의미한다.



**그림 6. 측광자료에서 얻은 별의 개수(검은색 선)와 구름센서로부터 얻은 하늘과 지상의 온도차(붉은색 선) 그래프.**

이러한 관계로부터 온도차와 별 개수간의 상관관계를 유추할 수 있다. 즉, CCD영상에서 검출된 별 개수가 많을수록 즉, 하늘이 맑을수록 온도차는 크며, 별 개수가 적을수록 즉, 하늘이 흐릴수록 온도차가 작다는 것을 알 수 있다.



**그림 7. 별 개수와 온도차(하늘온도-지상온도)의 상관관계**



그림 7은 이러한 상관관계를 도식화 한 것이다. 구름센서와 CCD 관측 시스템의 하드웨어 그리고, 측광 과정이 이상적으로 완벽하다면, 그래프 상에서 ‘흐림’과 ‘맑음’의 관계는 단조감소하는 일대일 대응 함수의 모양이 될 것으로 예상할 수 있다.

그림 8은 구름센서 시험기간 동안 CCD 영상으로부터 획득한 별 개수와 구름센서의 온도차에 대한 그래프이다.

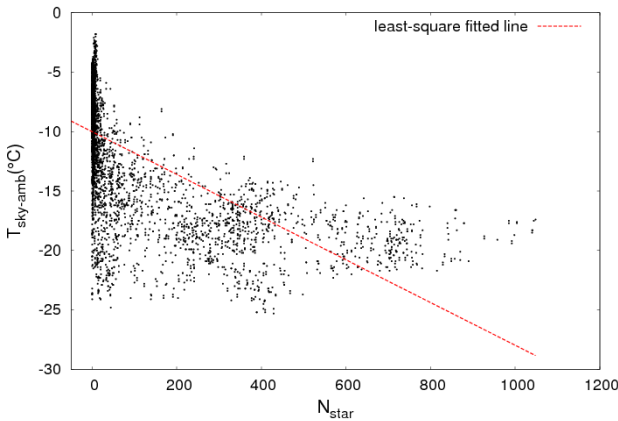


그림 8. 시험 기간(2013년 7월 8일~23일) 동안 획득한 CCD 관측시스템의 별 개수와 Boltwood 구름센서의 온도차 그래프와 일차근사선(적색 점선).

가로축은 별 개수, 세로축은 구름센서가 측정된 하늘온도와 지상온도의 차이(단위: 섭씨)이다. 적색 점선은 최소자승법(least square method)을 사용하여 자료를 일차직선에 근사한 선을 나타낸다. 일차직선의 함수식과 일차항의 계수, 그리고 상수항은 다음과 같다.

$$f(x) = ax + b \quad (1)$$

$$a = -0.0180$$

$$b = -10.0056$$

(1)에서  $x$ 는 CCD관측 시스템에서 검출된 별의 개수이며,  $a$ ,  $b$ 는 각각 일차항 계수와 상수항을 나타낸다.

자료들이 이 일차직선에 대해 어느 정도 적합한지는 상관계수( $r$ , correlation coefficient)로부터 확인 할 수 있다. 상관계수는 다음과 같은 식에 의해 구해질 수 있다.

$$r = \sqrt{\frac{\Sigma(y_i - \bar{y})^2 - \Sigma(y_i - y_{cal})^2}{\Sigma(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

(2)에서  $y_i$ 는 개별 온도차 자료를,  $\bar{y}$ 는 개별 온도차 자료들의 평균을,  $y_{cal}$ 은 (1)에 근거하여 별 개수에 대한 계산된 온도차값이다. 이 식에서 상관계수  $r$  값이 1에 가까울수록 두 자료들의 분포가 일차함수에 근접한 상관관계를 보이며, 반면에 0에 가까울수록 자료들 간 상관관계가 거의 없다는 것을 나타낸다.

(2)에 근거하여, 별 개수와 온도차와의 상관관계를 나타내는 상관계수  $r$ 의 값은 약 0.6373으로 계산되었다. 이는 별 개수와 온도차 간의 미약한 상관관계가 존재함을 의미하지만, 결과적으로, 현재 자료 상황 하에서는 구름센서의 온도차만으로 구름의 유무를 판단하기에는 다소 무리가 따른다고 볼 수 있다. 구름센서를 실제 관측시스템에 적용할 경우, 구름량은 전적으로 구름센서가 산출하는 온도차에 의해 판단되고, 이 판단에 의해 관측 여부가 결정되기 때문이다.

그림 8에서 온도차  $-20^{\circ}\text{C}$ 를 관측을 계속할 수 있는 임계값으로 가정하면, 이 값보다 낮은 온도차를 보이는 경우 구름량이 적고, 관측을 계속 수행할 수 있다고 판단할 수 있다. 하지만, 그림 8에서는 이 온도차가 이 임계값보다 낮은 상황에서 별이 거의 검출되지 않는 경우부터 약 900개 정도가 검출되는 경우까지 다양하게 나타나고 있다는 것을 볼 수 있다. 이는 Boltwood 구름센서가 출력하는 온도차만으로는 현재 하늘의 구름 양상을 알 수 없다는 것을 의미한다.

이러한 상황이 발생한 원인으로 다음 두 가지 가능성을 추측할 수 있다. 첫 번째는 구름센서의 적외선 측정 방식 및 알고리즘은 적절하지 않거나 지상온도 측정 센서에 문제가 발생한 경우이고, 두 번째는 CCD 관측시스템의 하드웨어적인 문제 또는 측광 과정상의 문제가 그 원인이 될 수 있다.

첫 번째로 Boltwood 구름센서의 적외선 센서의 사양과 측정 방식 및 알고리즘이 공개되어 있지 않아 객관적인 검사를 실시할 수 없는 한계가 있었다. 구름센서의 지상온도 센서의 정밀도는 현재 한국천문연구원 OWL테스트베드에 설치되어 있는 Vaisala사의 HMT333 온습도센서(정확도  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  at  $20^{\circ}\text{C}$ )의 자료와 비교가 가능하다. Vaisala의 HMT333 온습도센서와 Boltwood 구름센서는 지난 2011년 12월부터 2013년 6월까지 OWL테스트베드의 동일한 장소에 설치되어 위 기간 동안의 온습도 자료가 저장되어 있다.

그림 9는 두 센서의 온도자료 비교그래프이다. 사용된 자료 획득 기간은 2013년 3월 매일의 저녁천문박명시작시간부터 익일 새벽천문박명이 끝나는 시간까지이다.

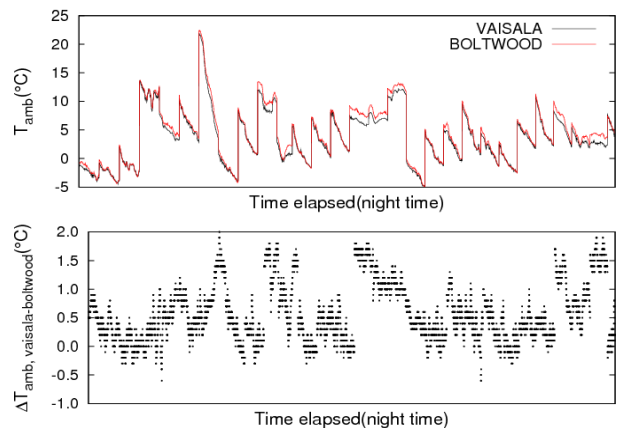


그림 9. Vaisala의 HMT333 온습도센서와 Boltwood 구름센서에 내장된 주변온도 측정 센서 자료 비교(2013년 3월 관측시간 중 자료, OWL테스트베드)

그림 9의 위 그림은 2013년 3월 한 달간 두 센서의 온도자료를 그린 것이고, 아래 그림은 HMT333 온도도센서의 주변 온도자료와 Boltwood 구름센서의 주변온도자료의 차이이다.

두 그림 모두 가로축은 왼쪽에서 오른쪽으로 시간의 흐름을 나타낸다. 그림 9의 아래 그림에서, 온도차의 평균은 약  $-0.57^{\circ}\text{C}$ , 표준편차는 약 0.51 로, Boltwood 구름센서의 주변 온도값이 Vaisala의 HMT333 온도값에 비해 그 변동폭이 크지 않다. 이와 같은 자료에서 Boltwood 구름센서의 주변 온도측정센서의 정밀도는 약  $\pm 0.55^{\circ}\text{C}$  정도로 추측할 수 있으며, 이 값으로부터 그림 8과 같은 양상이 Boltwood 구름센서의 주변온도센서 문제로 인한 것일 가능성은 낮다고 판단할 수 있다.

두 번째 원인을 확인하기 위해, 구름센서의 온도차(하늘온도-지상온도) 자료와 CCD 영상의 별 개수 자료를 바탕으로 실제 CCD 영상을 육안 확인하였다.

일반적으로 구름의 유무를 판단하는 온도차의 기준은  $-15^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ 으로 설정된다. 이 기준값보다 작으면, 즉 음수방향으로 더 커지면 하늘에 구름이 없거나 관측에 지장을 주지 않는다고 인식한다. 하지만, 그림 8에서 보는 바와 같이, 온도차가  $-20^{\circ}\text{C}$ 보다 작음에도 불구하고 해당 시간에 CCD 영상에서 검출된 별의 개수가 200개 이하인 경우가 상당히 많다.



그림 10. 온도차가  $-20^{\circ}\text{C}$ 보다 낮고, 검출된 별 개수는 200개보다 적은 경우의 CCD 영상.

그림 10은 이러한 조건, 즉  $T_{\text{sky-amb}}$ 가  $-20^{\circ}\text{C}$ 보다 낮고, 별 개수는 200개보다 적은 범위에 포함되는 CCD 영상 중의 대표적인 예이다. 이러한 범위에 포함되는 영상의 개수는 모두

123개로 전체 영상 개수에 대해 약 3.7%를 차지한다. 이들을 모두 육안으로 살펴본 결과 94장의 영상이 그림 10과 같은 영상의 형태를 띄고 있다. 즉, CCD 영상에 주변의 알 수 없는 잡광이 포함되어 있어, 구름이 거의 없는 맑은 날씨임에도 불구하고 측광 과정에서 별이 거의 검출되지 않았다. 나머지 29장의 영상은 열린 구름이 끼어 있었으나, 역시 주변 잡광의 영향으로 구름 부분만이 CCD 영상에서 부각되고 있는 양상을 띄고 있거나, 배경값이 비정상적으로 높아 구름이 거의 없는 맑은 날씨임에도 불구하고 검출된 별의 개수가 적게 나온 경우이다. CCD 영상에 달빛이나 주변 잡광 등이 포함되면 영상의 배경값이 높아지고, 이로 인해 CCD 영상에서 정상적인 별을 검출하는데 많은 어려움이 따르게 된다. 만약 이들이 주변 잡광 등의 영향을 받지 않은 정상적인 영상이었다면, 그림 8의 그래프에서 이 조건에 해당하는 부분의 자료는 오른쪽으로 이동되었을 것으로 추측된다.

이와 같은 결과로 볼 때, 별 개수 자료에서 실제 구름으로 인해 별의 개수가 적은 경우도 있겠지만, 위와 같은 원인으로 인한 경우도 상당 부분 존재할 것으로 추측된다.

## V. 결론 및 논의

한국천문연구원 우주감시센터에서는 국가현안과제의 일환인 우주물체 전자광학 감시체계 시스템(OWL, Optical Wide-field patrol) 구축을 위해 Boltwood 구름센서를 도입하였다. 이 구름센서는 상용(commercial)으로, 해외 관측소 등에서는 밤하늘의 구름량을 정량적으로 분석하기 위해 이미 사용되고 있다.

이 연구과제에서는 이 구름센서를 실제 시스템에 적용하기 전에 구름량 측정 성능을 시험하였다. 성능을 비교하기 위한 시스템으로는 현재 충북대학교 천문대에 설치, 운용 중인 CCD 관측시스템의 측광 자료를 이용하였다. 시험 기간은 2013년 7월 8일부터 23일까지 15일간이다.

시험 자료 분석 결과, CCD 관측시스템의 측광 자료와 구름량 산출을 위한 하늘온도와 주변온도의 차이에서 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않았다.

이와 같은 현상이 일어난 원인 중에 분석이 가능한 원인으로서는 CCD 영상의 불완전성을 들 수 있다. 그림 10에서 보이는 바와 같이, CCD 영상에 근원을 알 수 없는 잡광이 같이 촬영되어 측광자료의 부정확성이 야기되었으며, 그 결과 별 개수와 온도차에서 예상된 일정한 상관관계가 도출되지 못했다. 구름센서가 설치, 테스트된 충북대학교 천문대는 도로가에 있으며, 주변에 몇 개의 큰 공장들이 있어, 이러한 잡광은 달빛과 가끔 지나다니는 자동차나 주변 공장 등에서 켜놓은 불빛에 의한 것일 가능성이 높다. 또한 CCD관측시스템의 시야각이 약  $60^{\circ} \times 82^{\circ}$  정도로 매우 넓어 이러한 잡광에 더 쉽게 노출될 수 있는 것도 한 원인이 될 수 있을 것으로 판단

된다. 이러한 영상들이 정상적으로 측광이 되었다면, 별 개수와 온도차의 상관관계가 보다 뚜렷하게 보일 것으로 추측되지만, 현재의 자료로는 이를 단정할 수 없다.

이 논문에서 확인해보지 못한 추측 원인 중에 하나는 Boltwood 구름센서의 적외선 감지 성능이다. Boltwood 구름센서에 사용된 각종 센서들에 대한 상세 사항들이 공개되지 않아 자세한 내용을 알 수 없다는 한계가 있었다.

결과적으로 구름센서 성능 시험의 전체 자료에서 하늘온도와 지상온도 차이와 CCD 측광자료의 별 개수 간 명확한 상관관계를 도출하지는 못했다. 하지만, 이러한 불명확한 상관관계의 가장 큰 원인이 CCD 영상의 불완전성이라는 사실과 그림 6과 같은 시험 자료의 일부분에서는 온도차와 별 개수 간 상관관계가 나타나는 것으로 미루어 볼 때, 이번 2주간의 Boltwood 구름센서 성능 시험만으로, 이 구름센서의 성능에 대해 단정하기는 이른 것으로 보인다.

Boltwood 구름센서의 정확한 성능을 확인하기 위해서는 천문 관측 최적기인 가을 또는 겨울철에, 잡광 또는 광해(light pollution)의 영향을 적게 받는 곳에 구름센서와 CCD 관측 시스템을 설치하고, 보다 장기적인 시험이 필요할 것으로 보인다.

Boltwood 구름센서의 구름량 검출 성능이 확인된다면, 이 구름센서의 자료는 측광학적 자료의 지표로도 활용 될 수 있다. 즉, CCD 영상에 대한 전처리와 표준화 과정 등을 거쳐 실제 별들의 등급과 촬영된 등급 간의 차이(magnitude extinction)를 수치화함으로써, 이를 밤하늘 상태 파악을 위한 정량적인 자료로 활용할 수도 있다. 하지만, 이러한 시스템의 경우에는 본 논문에 사용된 CCD 관측시스템보다 그 규모가 커지고, 시야각은 좁아지기 때문에 좁은 영역의 하늘 상태가 밤하늘 전체의 상태를 대표할 수 있는 지표 개발에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 보인다.

### 감사의 글

이 연구는 한국기초기술연구회의 국가 현안문제 해결형 과제인 “우주물체 전자광학 감시체계 기술개발”과 대응재원인 한국천문연구원 기관고유과제의 부분적 지원을 받아 수행되었습니다. 저자들은 한국천문연구원 우주감시센터 동료구성원들의 많은 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

[1] Jonathan Marchant, Robert J. Smith, Iain A. Steele, "Calibration of the Boltwood Cloud Sensor", Ground-based and Airborne Telescopes II, Proc. of SPIE Vol. 7012, 70123U-1~12, 2008.

[2] Mike Heinick, Scott Wetzel, Michael Pearlman, Robert Reilinger, "Fort Davis Site Baseline Report", Report Prepared for the Goddard Space Flight Center Space

Geodesy Projec, 2012.

[3] G. A. Bakos, Z. Csabry, K. Penev, D. Bayliss, A. Jordan, C. Afonso, J. D. Hartman, T. Henning, G. Kovacs, R. W. Noyes, B. Beky, V. Suc, B. Csak, M. Rabus, J. Lazar, I. Papp, P. Sari, P. Conroy, G. Zhou, P. D. Sackett, B. Schmidt, L. Mancini, D. D. Sasselov, and K. UeltzhoefferMary, "HATSouth: A Global Network of Fully Automated Identical Wide-Field Telescopes", Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 125, pp154-182, 2013

[4] Joh-Na Yoon, Yong Sam Lee, Chun-Hwey Kim, Yonggi Kim, Hong-suh Yim, Wonyong Han and Jang Hae Jeong, "Statistical Analysis on Weather Conditions at Chungbuk National University Observatory in Jincheon, Korea", Journal of Astronomy and Space Science, Technical Paper, 29, 4, pp397-405, 2012

[5] E. Bertin, S. Arnouts, "SExtractor : Software for source extraction", Astronomy and Astrophysics Supplement, 117, 393, 1996

### 저자

#### 배 영 호(Youngho Bae)



- 1998년 2월 : 인제대학교 물리학과(학사)
- 2002년 8월 : 부산대학교 지구과학과(석사)
- 2011년 10월~현재 : 한국천문연구원 <관심분야> : 태양계 소천체

#### 윤 요 나(Joh-Na Yoon)



- 2002년 2월 : 충북대학교 천문우주학과(학부)
- 2006년 2월 : 충북대학교 천문우주학과(석사)
- 2002년 3월~2006년 12월 : 한국천문연구원 근무
- 2007년 3월~현재 : 충북대학교 천문대 주무관 근무
- 2012년 3월~현재 : 충북대학교 천문우주학과 박사과정

#### 조 중 현 (Jung Hyun Jo)



- 1986년 2월 : 연세대학교 천문기상학과(학사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 천문기상학과(석사)
- 2002년 8월 : Auburn University 항공우주공학과(박사)
- 2005년 11월~현재 : 한국천문연구원
- 2006년 3월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 부교수 <관심분야> : 궤도공학, GNSS, 시스템 이론, 우주감시

#### 정희원



**문 흥 규(Hong-Kyu Moon)**



- 2007년 8월 : 연세대학교 천문우주학과 (박사)
- 1994년~현재 : 한국천문연구원
- 2001년~2004년: 한국과학기술평가원 OECD 과학기술전문가 협의회
- 2007년~2009년 : 2009 세계 천문의 해 한국조직위원회 사무국장

· 2005년~현재 : UN COPUOS AT14 on Near Earth Object <관심분야> : 태양계 소천체

**최 영 준 (Young-Jun Choi)**



- 1995년 2월 : 경북대학교 천문대기과학 (학사)
- 1997년 8월 : 경북대학교 천문대기과학 (석사)
- 2005년 8월 : Tel-Aviv University 행정과학 및 지구물리학과(박사)

· 2005년 1월~2007년 11월: NASA PostDoc. Fellow, 제트추진연구소

· 2007년 12월~현재 : 한국천문연구원 <관심분야> : 행성과학, 소행성, 혜성, 우주감시

**임 흥 서 (Hong-Suh Yim)**



- 1991년 2월 : 연세대학교 천문기상학 (학사)
- 1993년 8월 : 연세대학교 천문대기과학(석사)
- 2000년 8월 : 연세대학교 천문대기과학(박사)

· 2000년 9월~2001년 9월 : 연세대학교 CSA 박사후연구원

· 2001년 10월~현재 : 한국천문연구원 <관심분야> : 광학천문학, 태양계, 우주감시

**박 영 식(Youngsik Park)**



- 1998년 2월 : 충북대학교 천문우주학과(학사)
- 2000년 2월 : 충북대학교 천문우주학과(석사)
- 2004년 2월 : 충북대학교 천문우주학과 박사수료

· 1998년 5월~현재 : 한국천문연구원

**박 선 엽(Sun-Youp Park)**



- 1996년 2월 : 연세대학교 물리학과(학사)
- 1996년 2월~1998년 1월 : 삼성SDS
- 2001년 2월 : 연세대학교 천문우주학과(석사)
- 2011년 2월 : 연세대학교 천문우주학과(박사이수)

· 2001년~2011년 : 한국천문연구원

· 2011년 3월~2012년 2월 : 충북대학교 전임연구원

· 2012년 6월~현재 : 한국천문연구원

**박 장 현(Jang Hyun Park)**



- 1993년 : 연세대학교 천문우주학과(박사)
- 1992년~현재 : 한국천문연구원
- 1998년~1999년 : 존스홉킨스대학교 박사후 연구원

**최 진 (Jin Choi)**



- 2007년 2월 : 경북대학교 천문대기과학 (학사)
- 2009년 2월 : 경북대학교 천문대기과학 (석사)
- 2008년 1월~현재 : 한국천문연구원
- 2012년 9월 : 과학기술연합대학원대학교 천문우주과학 박사과정

<관심분야> : 궤도공학, 위성 관측, 우주감시

**김 명 진(Myung-jin Kim)**



- 2004년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과(학사)

· 2004년 3월~현재 : 연세대학교 천문우주학과 석박사 통합과정

<관심분야> : 태양계 소천체

**김 지 혜(Jihye Kim)**



- 2008년 2월 : 충남대학교 천문우주학과(학사)

· 2008년 8월~2009년 12월 : 2009 세계 천문의해 조직위원회 간사

· 2013년 3월~현재 : 한국천문연구원