연구논문 (Article)

Atmosphere. Korean Meteorological Society Vol. 28, No. 3 (2018) pp. 317-324 https://doi.org/10.14191/Atmos.2018.28.3.317 pISSN 1598-3560 eISSN 2288-3266

정밀조도정보를 이용한 전천카메라 기반의 주·야간 구름영상촬영용 원형장치 개발

이재원¹⁾ · 박인춘²⁾ · 조정호³⁾ · 기균도¹⁾ · 김영철⁴⁾*

¹⁾국방정보본부 지형기상정책과, ²⁾나고야대학교 우주지구환경연구소, ³⁾한국천문연구원, ⁴⁾한서대학교 항공운항학과

(접수일: 2018년 7월 27일, 수정일: 2018년 9월 3일, 게재확정일: 2018년 9월 4일)

Development of A Prototype Device to Capture Day/Night Cloud Images based on Whole-Sky Camera Using the Illumination Data

Jaewon Lee¹⁾, Inchun Park²⁾, Jungho cho³⁾, GyunDo Ki¹⁾, and Young Chul Kim^{4)*}

¹⁾Defense Intelligence Agency, Seoul, Korea ²⁾Nagoya University, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya, Japan ³⁾Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon, Korea ⁴⁾Hanseo University, Dept. of Flight Operation, Taean, Korea

(Manuscript received 27 July 2018; revised 3 September 2018; accepted 4 September 2018)

Abstract In this study, we review the ground-based whole-sky camera (WSC), which is developed to continuously capture day and night cloud images using the illumination data from a precision Lightmeter with a high temporal resolution. The WSC is combined with a precision Lightmeter developed in IYA (International Year of Astronomy) for analysis of an artificial light pollution at night and a DSLR camera equipped with a fish-eye lens widely applied in observational astronomy. The WSC is designed to adjust the shutter speed and ISO of the equipped camera according to illumination data in order to stably capture cloud images. And Raspberry Pi is applied to control automatically the related process of taking cloud and sky images every minute under various conditions depending on illumination data from Lightmeter for 24 hours. In addition, it is utilized to post-process and store the cloud images and to upload the data to web page in real time. Finally, we check the technical possibility of the method to observe the cloud distribution (cover, type, height) quantitatively and objectively by the optical system, through analysis of the captured cloud images from the developed device.

Key words: Whole-sky camera, illumination data, Lightmeter, cloud image

1. 서 론

구름은 지구와 대기 사이의 에너지평형이나 대기의 물순환(hydrological cycle)과 관련한 기상현상을 일으

*Corresponding Author: Young Chul Kim, Dept. of Flight Operation, Hanseo University, 236-49, Gomseomro, Nammyun, Taeangun, Chungcheongnamdo 32158, Korea. Phone: +82-41-671-6213, Fax: +82-41-671-6129 E-mail: yckim@hanseo.ac.kr 키는 중요한 원인들 중 하나이지만, 다른 기상요인에 비하여 이론적, 현상적 이해가 부족한 기상현상이다 (Heinle et al., 2010). 또한 대기복사 측면에서 구름은 수평적 운량(cover)과 운형(type)에 따라 지표면에 도 달하는 태양복사(단파복사)를 반사하기도 하고, 반대 로 지표면에서 반사되는 지구복사(장파복사)를 흡수 하기도 하는 이중적 작용을 하기 때문에 기후와 기상 현상을 예측하는데 있어 불확실성을 증가시키는 기상 요인이다(Solomon et al., 2007). 이러한 구름의 기상 학적 중요성으로 오래 전부터 많은 연구들이 수행되 었으며, 그 중에서도 객관적이고 정량적으로 구름을 관측하려는 기초연구가 많이 시도되었다. 그러나 구 름관측방법은 아직도 관측자의 육안에 의존하는 부분 이 크기 때문에 관측장비를 통해 자동으로 관측되는 다른 기상요소(기온, 바람, 습도 등)와 관측품질을 비 교했을 때 객관적인 정확성이 부족한 분야이다(Li et al., 2011).

이러한 구름관측에 대한 제한을 극복하기 위하여 첨단기술이 적용된 기상장비나 센서를 이용하여 시, 공간적인 규모가 다양한 구름의 수평적 분포와 형태 등을 지속적이고 객관적으로 관측하는 시도들이 수행 되고 있다. 그 중에서 기상위성에 탑재된 전자광학계 (Electro-Optical System) 센서를 통하여 공간적인 규 모가 비교적 광범위한 구름분포(운량, 운고, 운형 등) 을 원격관측(remote sensing)하는 것이 가장 대표적이 고 일반적인 시도이다(Shields et al., 2013). 그러나 기 상위성은 공간적으로 멀리 떨어진 우주궤도에서 상대 적으로 지표면 가까운 상공의 구름이나 안개 등을 가 시광선이나 적외선 센서로 관측하기에 해상도가 저하 되고, 저궤도(Low Earth Orbit) 위성은 특정지점에 대 한 관측이 하루 3~4차례만 가능하다. 이렇듯 기상위 성을 이용한 관측방법은 시간규모가 짧고 공간적 분 포가 작은 구름의 수평적 분포나 형태를 파악하는데 제한이 있다(Kim et al., 2008).

이와 같은 이유로 인해 관측자가 육안으로 하늘이 나 구름을 올려다 보는 방법(upward pointing)과 유사 하게 지상에 광학장비를 설치하여 관측하는 방법들이 개발되어, 1960년대에는 군사용 지상기반 레이저무기 의 운용에 필요한 구름자유가시선(cloud free line of sight)을 실시간 감시에 적용되었다(Dev et al., 2017). 초기에는 광학장비(카메라)로 태양을 직접 촬영할 때 발생하는 영상의 포화(saturation)현상을 방지하기 위 한 방법으로 반구형태의 볼록거울을 설치하여 거울표 면에 비친 하늘이나 구름을 간접적으로 촬영하였으나, 1970년대에 광학기술이 발달함에 따라 전천촬영용 광 시야각(wide angle of sight) 어안렌즈(fish-eve lens)를 이용하면서 하늘이나 구름을 직접 촬영하여 고해상도 영상을 얻을 수 있게 되었다(Lund, 1973). 1980년대 에는 CCD (Charged-Coupled Device)라는 전자광학 기 술을 적용하여 고해상도 관측영상을 보다 경제적이고 효율적으로 촬영할 수 있게 되었다(Shields et al., 1990). 1990년대 후반부터는 주, 야간 촬영을 위하여 적외선 센서를 비롯한 다중스펙트럼필터를 이용하는 광학장 비도 개발되었다(Anderson et al., 2002). 이러한 기상 관측적 측면의 기술 발전에도 불구하고 구름분포(운 량, 운저고도, 운형)를 관측하는 가장 일반적인 방법 은 관측자에 의해 수행되고 있기에, 관측 방법과 품

한국기상학회대기 제28권 3호 (2018)

	Table 1	 Technical 	specification of the	he precision Lightmeter.
--	---------	-------------------------------	----------------------	--------------------------

Mark 2.3I Sensor	Silicon solar cell
Operation condition	Weather-proof
Measurement range (lx)	$5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{5}$
Sensing rate (second)	1~3,600
Operation temperature	-25°C~80°C

질 측면에서 다른 기상요소에 비해 여전히 도전적인 과제로 남아있는 분야이다(Long and Deluisi, 1998).

본 논문에서는 주, 야간 24시간 동안 안정적으로 구 름영상을 촬영하기 위하여 정밀조도계와 전천카메라 를 결합하여 개발한 원형(prototype) 구름관측장비의 구성품을 소개하고, 적용된 각종 구성품의 세부기능 과 작동원리를 설명하였다. 또한 정밀조도계에서 실 측된 자료의 특성을 분석하여 광학장비의 촬영설정을 조정하는데 조도정보의 효용성을 살펴 보았으며, 구 름관측장비로 촬영된 영상사례 분석을 통하여 광학장 비(카메라) 기반의 구름관측기술에 대한 현업분야 적 용을 위한 향후 개선과제에 대해 살펴보았다.

2. 주, 야간 전천관측장비의 구성

2.1 정밀조도계(Lightmeter)

본 연구에서는 주, 야간 구분없이 연속적으로 하늘 과 구름 영상을 촬영하기 위하여 어안렌즈가 장착된 전천카메라 기반의 광학장비를 이용하였다. 여기에서 광학장비는 피사체의 밝기변화에 따라 지속적인 촬영 설정을 조정해야만 주, 야간 식별 가능한 영상을 촬 영할 수 있기에 조도정보가 필수적으로 제공되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 2009년 국제천문의 해 (International Year of Astronomy)에 야간 광공해(light pollution)를 정량적으로 분석하기 위하여 개발된 정밀 조도계를 장착하였다. 이 장비는 Table 1에서 보듯이 주, 야간 모든 밝기조건에서 측정이 가능하여 태양광 이 있는 밝은 주간의 밝기(2×10⁵ 룩스)부터 달빛이 없는 매우 어두운 그믐날의 밝기(5×10⁻⁴ 룩스 이하) 까지 측정이 가능한 해상도를 지닌다. 정밀조도계의 센서는 태양광발전 패널(Photovoltaic Panel)에 널리 이 용되는 실리콘(silicon, Si) 소재로 제작되어 다양한 외 부환경(온도, 습도 등) 조건에서도 안정된 성능을 보 장하고 있다.

정밀조도계에서 측정된 원시자료(raw data)는 밝기 정도에 따라 광에너지 입자가 반도체소자 표면에 충 돌시 발생하는 전자들뜸현상의 정도인 전하값을 면적 당 일률(watt m⁻²) 단위로 표시한다. 이 값을 일반적 으로 통용되는 밝기 단위인 룩스(lx)로 나타내기 위해 서는 온도의존성을 가진 실리콘소자의 고유특성과 측 정장소의 운영환경을 반영하는 변환과정을 거쳐야 한 다. 그러나 측정장소에 대한 환경계수 산출을 위해서 는 장기간의 관측자료가 필요하고, 변환과정에서 추 가적인 오차를 발생시킬 수 있기 때문에 본 연구에서 는 정밀조도계에서 원시자료인 전하값을 그대로 적용 하였다.

2.2 광학계

정밀조도정보를 이용하여 주, 야간 동안 연속적으 로 하늘과 구름을 촬영하기 위하여 구름관측장비에 적용한 광학장비의 선택조건으로 광시야각(wide Field Of View)을 고려하였다. 이에 따라 관측천문 분야에 서 천체망원경의 운영환경을 파악하는 목적으로 널리 활용되는 어안렌즈를 카메라 본체에 장착하였다. 일 반적으로 어안렌즈는 반구(hemisphere) 위의 360° 전 방위를 촬영할 수 있는 시야각을 가지고 있기에 빠르 게 변하는 하늘과 구름 영상을 광범위하게 촬영할 수 있다. 그리고 일반 DSLR (Digital Single Lens Reflex) 카메라와 결합이 용이하기에 비교적 저렴하게 장비 제작이 가능하다. 어안렌즈와 일반 DSLR 카메라를 결합한 형태의 광학장비는 구름과 하늘 영상을 안정 적으로 촬영 가능하지만, 주, 야간 동안 식별할 수 있 는 영상을 얻기 위해서는 카메라의 촬영설정 세 가지 요소인 ISO, 셔터속도(Shutter Speed), 조리개(Aperture) 를 조정해야 한다. 그래서 개발된 구름관측장비도 정 밀조도계로부터 제공되는 조도에 따라 ISO와 셔터속 도만을 조정하도록 설계하였다. 여기에서 조도값이 큰 주간에는 ISO(최소 100)를 낮게 설정하고 조도값이 작은 야간에는 ISO(최대 3,200)를 높게 설정하였으며, 셔터속도는 주간에 속도를 빠르게 설정(1/4,000초)하 고 야간에 셔터속도(10초)를 느리게 설정하였다. 주간 에는 조도값이 영상을 촬영하기에 충분한 밝기이기에 셔터속도는 거의 최대로 빠르게 설정되며, 구름이 두 껍게 낀 경우에 ISO가 주로 변하도록 설정되었다. 반 면에 야간에는 영상을 촬영하기 위한 밝기가 부족하 기에 ISO는 거의 최대 민감하도록, 셔터속도는 거의 5초에서 10초로 설정하였다. 나머지 조리개 설정도 밝 기정보에 따라 조정이 가능하지만, 이번 연구에서는 구름관측장비 제작 상의 경제성을 고려하여 제외하였 으며, 향후에는 조리개 설정까지 조정할 수 있도록 기 능 개선을 계획하고 있다.

Table 2는 구름관측장비의 광학계를 구성하고 있는 DSLR 카메라와 어안렌즈의 기능적 사양을 간단하게 기술하였다.

2.3 제어부

마지막으로는 개발된 구름관측장비를 통해 하늘과 구름 영상을 촬영, 저장하고 영상을 후처리한 후 최
 Table 2. Specifications of the optical components for the cloud monitor based on whole-sky imager.

DOLD	Maximum resolution	18 Megapixels
DSLR camera (Canon EOS 100D)	Shutter speed	1/4,000"~30"
(callel 205 1002)	ISO	100~12,800
Circular	Angle of view	185°
fish-eye lens	Aperture	f/3.5

종적으로 웹 서비스까지의 기능을 수행하는 제어부에 대한 설명이다. 구름관측장비에서 제어부의 첫 번째 역할은 정밀조도계로부터 측정된 조도정보를 저장하 고, 미리 설정된 조도 조건에 따라 어안렌즈가 장착 된 카메라의 셔터속도와 ISO를 포함한 촬영설정값을 조정한다. 두 번째는 구름관측장비의 광학계(전천카메 라)에서 촬영된 원본영상(original image)을 저장하고, 원본영상에 촬영위치, 분 단위의 촬영시간, 밝기정보 등이 표시된 후처리 영상을 웹페이지에 실시간 제공 하는 연속적인 과정을 제어한다. 위에서 언급한 모든 과정을 순차적으로 수행하기 위하여 본 연구에서는 영국의 라즈베리파이 재단에 의해 개발되어 컴퓨터 교육분야나 개발도상국의 기초컴퓨터 과학교육분야에 널리 활용되는 컴퓨터보드 형태의 라즈베리파이 (Raspberry Pi) 모델을 활용하였다. 이 장비는 40달러 (\$) 내외 비교적 저렴한 가격과 사물인터넷 분야에서 도 널리 활용될 정도로 작은 크기이지만, 다양한 기 능과 안정적인 성능을 보장한다. 이러한 라즈베리파 이 모델은 일반 컴퓨터가 수행하는 거의 모든 기능을 구현할 수 있기에, 이 연구에서는 정밀조도계로부터 측정된 조도정보를 활용하여 전천카메라의 셔터속도 와 ISO를 직접 조정하는데 필요한 관련 프로그램을 설치하였다.

이외에도 주, 야간 24시간 지속적으로 하늘과 구름 영상을 촬영하기 위해서는 구름관측장비를 외부에 설 치하여 운영해야 하기 때문에 기온변화, 강수 및 강 설과 같은 다양한 외부환경조건으로부터 내부 구성품 을 보호하도록 외부케이스를 제작하였다. 외부케이스 는 구름관측장비의 구성품인 전천카메라, 라즈베리파 이 모델 등이 허용하는 작동온도범위로 유지될 수 있 도록 냉각장치와 히터를 장착하였으며 대략적인 형태 는 Fig. 1과 같다. 외부케이스의 투명아크릴돔(Dome) 주변에는 열선을 설치하여 돔 표면의 서리나 물방울 등을 제거하도록 하였다. 또한 외부케이스는 제작 용 이성과 경제성을 고려하여 시중에서 비교적 쉽게 구 할 수 있는 철제 함체(box type)형태의 분전함을 개조 하였으며, 구름관측장비의 개발목표인 주, 야간 연속 관측 기능을 수행하는데 중요한 역할을 하는 구성품이다.

Atmosphere, Vol. 28, No. 3. (2018)



Fig. 1. The upper shape and schematic diagram of the cloud detector based on Whole-Sky Camera.

Table 3. Illumination lever according to almanac and weather conditions.

Lighting condition (with weather)	Approximation lux (lx)	Measuring count from Lightmeter (watt m ⁻²)
Full daylight	$1.0 \times 10^{5} \sim 1.5 \times 10^{5}$	$2.7 imes 10^6 \sim 3.0 imes 10^6$
Overcast (cloud) day	1×10^3	2×10^{6}
Twilight	1~10	$0.9 imes 10^6 {\sim} 1.5 imes 10^6$
Full moon without cloud	0.1	1×10^5
Starlight without moon	1×10^{-3}	$1 imes 10^4$

3. 조도관측자료에 따른 전천관측결과 분석

3.1 정밀조도 관측결과

본 연구에서 개발된 전천카메라 기반의 구름관측장 비를 안정적으로 작동하게 하는 핵심원리는 주변 밝 기인 조도정보에 따라 카메라의 촬영설정값을 지속적 으로 조정하는 것이기에, 구름관측장비에 장착되어 있 는 정밀조도계에서 실제로 관측된 조도자료를 적용하 여 전천카메라의 촬영설정이 조정 가능여부를 살펴보 았다.

이를 위해 Table 3에서 보듯이 천체력(almanac)과 기상상태에 따라 변하는 일반적인 조도의 분포범위 (Cagatay, 2009)와 정밀조도계의 제작사에서 제공하는 식 (1)과 같은 조도변환식을 참고하여 측정된 원시자 료인 전하값과 비교하였다.

$$X = c(b \times c(\exp(n(1 + d \times t)/a) - 1) + n)$$
(1)

X는 조도(lx) 단위로 표시되는 조도값이며, *t*는 센서의 온도(°C), *n*은 원시자료인 전하값이다. 환경계수 *a*, *b*, *c*, *d*는 독일 광환경 실험에서 산출된 값인 *a* = 2.020 × 10⁵, *b* = 1.510 × 10⁻², *c* = 8.090 × 10⁻⁷, *d* = 7.630 × 10⁻³ 을 적용하였다(Muller et al., 2011). 여기에서 정밀조 도계의 실제 관측된 전하값(count)을 조도 단위로 변 환했을 때 주, 야간 일반적인 룩스 단위 조도의 분포 범위 내에서 원시 측정값들이 분포하는 것을 확인하였다.

한국기상학회대기 제28권 3호 (2018)

이러한 결과는 정밀조도계의 실측된 조도정보를 이 용하여 하늘과 구름 상태를 주, 야간 지속적으로 촬 영하기 위해 개발된 원형 구름관측장비에 장착된 카 메라의 촬영설정을 조정 가능한 관측 범위와 해상도 를 가지는 것을 의미한다.

Figure 2는 광환경이 상이한 서울 용산과 강원도 원 주 인근에 구름관측장비를 설치하여 정밀조도계에서 실측된 조도값의 시계열이다. Figure 2a는 원주에서 맑은 날 2016년 12월 15일 1200 LST부터 16일 1200 LST까지, Fig. 2b는 구름 낀 날 12월 13일 1200 LST 부터 14일 1200 LST까지 24시간 동안의 조도관측 시 계열이다. 두 그림에서 공통적으로 주간과 야간 사이 급격한 조도값의 변화를 보여주고 있다. 그래프의 윗 부분은 주간의 태양광 효과를 반영하여 삼백만 단위 (watt m⁻²) 내외의 측정값을 보여주고 있으며, 아랫부 분은 태양광이 없는 야간으로 상대적으로 매우 낮은 측정값을 보인다. 수직선으로 표시되어 있는 일몰시 간과 일출시간 전후에 급격하게 조도 측정값이 변하 는 것을 확인할 수 있다.

또한 Fig. 2c는 용산에서 맑은 날 2017년 10월 2일 1200 LST부터 3일 1200 LST까지, Fig. 2d는 용산의 구름 낀 날 10월 11일 1200 LST부터 12일 1200 LST 까지 24시간 동안의 실측된 조도값의 시계열로, 원주 에서 관측된 사례와 유사하게 태양광 유무에 따라 측 정값이 크게 변하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 용



Fig. 2. Time series of illumination for a clear sky and cloudy sky at (a), (b) Wonju site, and (c), (d) Yongsan site.

산 사례는 원주 사례보다 야간동안 측정된 절대값이 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 도심 중앙에 위치한 용산의 측정값에 야간 인공광원 효과가 반영 된 것이다. 특히 야간동안 낮은 구름의 영향을 받은 사례인 Fig. 2d에서 인공광원이 구름에 반사되는 효 과로 측정된 절대값(4.71 × 10⁵ watt m⁻²)이 다른 사례 들에 비해 크게 나타날 뿐 아니라, 구름분포(운량)의 변화에 따라 측정되는 절대값의 편차도 상대적으로 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

위 사례에서 보듯이 구름관측장비가 설치된 위치에 따른 주, 야간 광원(자연광, 인공광)이나 구름분포와 같은 기상조건들이 복합적으로 반영되는 사실을 정밀 조도계에서 실측된 조도값 분석을 통하여 확인할 수 있다. 특히 일몰과 일출시간대에 급격하게 변하는 밝 기 정도를 정밀조도계로 측정할 수 있었으며, 이러한 값들에 따라 전천카메라의 셔터속도(1/4,000초~1초)와 ISO (400~1,600)를 설정하였다.

3.2 정밀조도와 구름관측 관측결과

앞에서 언급했듯이 전천카메라 기반으로 개발된 구 름관측장비의 핵심적인 작동원리는 주, 야간 동안에 끊임없이 변하는 밝기인 측정값에 근거하여 전천카메 라에서 하늘과 구름을 구별할 수 있는 영상을 촬영할 수 있도록 셔터속도(1/4,000초~10초)와 ISO (100~ 3,200)를 조절하는 방식을 적용하였다. 이러한 구름관 측장비의 작동원리에 따라 태양이 있는 밝은 주간에 는 Fig. 3a와 같은 촬영영상의 포화를 최소화하기 위 하여 셔터속도(1/4,000초)를 가능한 빠르게 설정하고 촬영민감 정도를 나타내는 ISO (100~400)는 작은 값 을 설정하였다. 이와는 반대로 Fig. 3b와 같은 태양이 사라진 어두운 야간에는 카메라 센서에 도달하는 광 량의 부족으로 촬영된 영상이 검게 나타나는 현상을 보완하기 위하여 셔터속도는 느리게 1초~10초, ISO는 1,600~3,200으로 큰 값을 갖도록 설정하였다.

Figure 4는 정밀조도계에서 실측된 조도정보에 따라 셔터속도와 ISO를 조정하여 구름과 하늘을 촬영 한 영상으로, 원본영상에 후처리과정을 통하여 촬영 시간과 촬영된 영상에 대한 좀 더 직관적인 이해를 위하여 영상 중앙에 '+'로 표시된 천정(zenith)을 기준으로 고도각(elevation) 30°마다 원형과 방위(동-서-남-북)를 표시하고 있다. 천정에서 가까운 첫 번째 원 (circle)은 지상의 관측장비에서 천정을 중심으로 60°

Atmosphere, Vol. 28, No. 3. (2018)



Fig. 3. (a) Daytime (saturation) image, (b) nighttime (darkness) image without illumination data from Lightmeter.



Fig. 4. Sample images of each day and night from the cloud monitor (a), (b) at Wonju site, (c), (d) at Yongsan site.

의 원추(cone)를 투영한 부분을 의미하며, 두 번째와 세 번째 원형은 각각 120°와 180° 원추를 투영한 부 분을 나타낸다. Figures 4a, b는 2016년 10월 1일부터 12월 19일까 지 구름관측장비를 원주에 설치하여 촬영된 주, 야간 영상 중에서 구름이 있는 주간과 구름이 없는 야간

한국기상학회대기 제28권 3호 (2018)

사례로, 두 영상에서 하늘에 분포하고 있는 구름을 분 명하게 식별할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 Figs. 4c, d는 2017년 3월 21일부터 10월 12일까지 용 산에서 촬영된 사례 중에 구름이 없는 주간과 구름 낀 야간을 촬영한 사례로 구름과 하늘이 육안으로 식 별이 가능한 것을 볼 수 있다. 특히 구름이 없는 주 간에 고도각 50° 부근에 강한 태양광이 위치하고 있 으나, 조도정보에 따라 미리 설정된 빠른 셔터속도와 작은 ISO를 설정하여 Fig. 3a와 같이 직사 태양광 아 래에서 발생하는 영상의 포화현상이 감소된 것을 볼 수 있다.

개발된 원형 구름관측장비로 촬영된 구름과 하늘 영상은 실측된 조도정보에 따라 제어부에서 미리 설 정된 셔터속도와 ISO를 직접적으로 조정하여 촬영하 기 때문에, 고가의 다중스펙트럼 광학필터와 같은 부 가적인 장치없이 일반 전천카메라만으로 구름과 하늘 을 식별할 수 있는 영상을 촬영할 수 있었다. 그러나 원형 구름관측장비에서 촬영된 관측영상에 대한 분석 이 제한적으로 이루어졌기 때문에 조도정보에 따른 촬영설정을 최적화 하지는 못했다. 향후 광학장비 기 반 구름관측이 현업분야에 적용되기 위해서는 더 많 은 구름관측 영상사례의 분석결과에 근거하여 구름관 측장비의 촬영설정을 좀 더 세밀하게 조정해야 한다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 천문학적인 조도정보와 간단한 광학 적 원리가 적용된 전천카메라 기반의 구름관측장비를 개발하였으며, 이 장비에 장착된 광학장비인 일반 DSLR 카메라의 촬영설정 중에서 셔터속도와 ISO를 조정하기 위하여 정밀조도계에서 실측된 조도자료를 이용하였다. 개발된 원형 구름관측장비에 장착된 정 밀조도계는 태양이나 달에 기인한 밝기변화와 기상영 향, 인공광원과 같은 요인들이 복합적으로 작용하여 나타나는 조도변화를 정밀하게 측정할 수 있다는 것 을 확인하였다. 이러한 조도정보를 이용하여 범용의 어안렌즈가 장착된 것 외에는 별다른 광학적 장치가 없는 DSLR 카메라의 촬영설정값만을 조정하였으며, 이러한 방법을 통하여 주, 야간 모든 광환경 조건에 서 구름과 하늘을 구별 가능한 고해상도 영상을 촬영 할 수 있음을 확인하였다. 특히 조도변화가 급격하게 발생하는 일출과 일몰시간 동안에도 구름관측장비와 설정된 촬영 알고리즘을 적용하여 식별 가능한 영상 을 1분 마다 연속적으로 얻을 수 있었다. 또한 사물 인터넷 분야에서 널리 활용되는 정보통신기술을 적용 하여 촬영된 영상을 실시간으로 웹서비스 할 수 있도 록 장비를 개발하였다. 현재 개발된 장비에 의해 촬 영된 영상분석 결과에서 광학장비에 기반한 자동 구 름관측방법에 대한 가능성과 후속과제를 식별하였다. 향후에는 원형 구름관측장비를 개선하여 좀 더 정 량적인 구름분포를 분석하기 위해 레이저식 운고계와 마이크로레디오미터와 같은 다른 기상장비와 병행관 측으로 운량, 운저고도, 운형도 자동 판단할 수 있는 영상 인식(image recognition) 연구도 계획하고 있다.

감사의 글

본 논문의 개선을 위해 좋은 의견을 제시해 주신 심사위원께 감사드립니다.

REFERENCES

- Anderson, K. S. J., J. Brinkmann, M. Carr, D. Woods, D. P. Finkbeiner, J. E. Gunn, C. L. Loomis, D. Schlegel, and S. Snedden, 2002: Apache Point observatory's all-sky camera: observing clouds in the thermal infrared. *B. Am. Astron. Soc.*, **34**, 1130-1164.
- Cagatay, U., 2009: Modeling Daytime and Night Illumination. International Simulation Multi-conference, 7 pp.
- Dev, S., Y.-H. Lee, and S. Winkler, 2017: Color-based segmentation of sky/cloud images from ground-based camera. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 10, 231-242, doi:10.1109/JSTARS.2016.2558474.
- Heinle, A., A. Macke, and A. Srivastav, 2010: Automatic cloud classification of whole sky images. *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 557-567, doi:10.5194/amt-3-557-2010.
- Kim, Y.-M., J. Kim, and H.-K. Cho, 2008: Development of objective algorithm for cloudiness using all-sky digital camera. *Atmosphere*, **18**, 1-14 (in Korean with English abstract).
- Li, Q., W. Lu, and J. Yang, 2011: A hybrid thresholding algorithm for cloud detection on ground-based color images. J. Atmos. Oceanic Technol., 28, 1286-1296, doi:10.1175/JTECH-D-11-00009.1.
- Long, C. N., and J. J. Deluisi, 1998: Development of an automated hemispheric sky imager for cloud fraction retrievals. 10th Symp. On Meteorological Observations and Instrumentation, Phoenix, AZ, Amer. Meteor. Soc., 171-174.
- Lund, I., 1973: Persistence and recurrence probabilities of cloud-free and cloud lines-of-sight through the atmosphere, J. Appl. Meteor. Climatol., 12, 1222-1228.
- Muller, A., G. Wuchterl, and M. Sarazin, 2011: Measuring the Night Sky Brightness with the Lightmeter. *Rev. Mex. Ast. Astr.*, **41**, 46-49.
- Shields, J. E., T. L. Koehler, and R. W. Johnson, 1990: "Whole sky imager", in proceedings of the cloud

Atmosphere, Vol. 28, No. 3. (2018)

impacts on DOD operations and systems, 1989/90 conference, 123-128.

_____, M. E. Karr, R. W. Johnson, and A. R. Burden, 2013: Day/night whole sky imagers for 24-h cloud and sky assessment: history and overview. *Appl.* Optics., 52, 1605-1616, doi:10.1364/AO.52.001605.

Solomon, S., and Coauthors, Eds., 2007: *Technical Summary, in Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge University Press, 1009 pp.