

## 대관령 구름물리관측시스템 산출물 평가 및 FSSP를 이용한 시정환산 시험연구

양하영\* · 정진임\* · 장기호\*<sup>†</sup> · 차주완\* · 정재원\* · 김유철\* · 이명주\* ·  
배진영\* · 강선영\* · 김금란\*\* · 최영진\*\*\* · 최치영\*\*\*\*

\*국립기상연구소 수문자원연구팀, \*\*기상청, \*\*\*국립기상연구소 응용기상연구과, \*\*\*\*국립기상연구소

### Intercomparison of Daegwallyeong Cloud Physics Observation System (CPOS) Products and the Visibility Calculation by the FSSP Size Distribution during 2006-2008

Ha-Young Yang\*, Jin-Yim Jeong\*, Ki-Ho Chang\*<sup>†</sup>, Joo-Wan Cha\*, Jae-Won Jung\*,  
Yoo-Chul Kim\*, Myoung-Joo Lee\*, Jin-Young Bae\*, Sun-Young Kang\*\*,  
Kum-Lan Kim\*\*, Young-Jean Choi\*\*\*, and Chee-Young Choi\*\*\*\*

\*Hydrometeorological Resources Research Team, National Institute of Meteorological Research, KMA

\*\*Korea Meteorological Administration

\*\*\*Applied Meteorology Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA

\*\*\*\*National Institute of Meteorological Research, KMA

**Abstract :** To observe and analyze the characteristics of cloud and precipitation properties, the Cloud physics Observation System (CPOS) has been operated from December 2003 at Daegwallyeong (37.4°N, 128.4°E, 842 m) in the Taebaek Mountains. The major instruments of CPOS are follows: Forward Scattering Spectrometer Probe (FSSP), Optical Particle Counter (OPC), Visibility Sensor (VS), PARSIVEL disdrometer, Microwave Radiometer (MWR), and Micro Rain Radar (MRR). The former four instruments (FSSP, OPC, visibility sensor, and PARSIVEL) are for the observation and analysis of characteristics of the ground cloud (fog) and precipitation, and the others are for the vertical cloud characteristics (<http://weamod.metri.re.kr>) in real time. For verification of CPOS products, the comparison between the instrumental products has been conducted: the qualitative size distributions of FSSP and OPC during the hygroscopic seeding experiments, the precipitable water vapors of MWR and radiosonde, and the rainfall rates of the PARSIVEL(or MRR) and rain gauge. Most of comparisons show a good agreement with the correlation coefficient more than 0.7. These reliable CPOS products will be useful for the cloud-related studies such as the cloud-aerosol indirect effect or cloud seeding. The visibility value is derived from the droplet size distribution of FSSP. The derived FSSP visibility shows the constant overestimation by 1.7 to 1.9 times compared with the values of two visibility sensors (SVS (Sentry Visibility Sensor) and PWD22 (Present Weather Detect 22)). We believe this bias is come from the limitation of the droplet size range (2~47  $\mu\text{m}$ ) measured by FSSP. Further studies are needed after introducing new instruments with other ranges.

접수일(2009년 10월 1일), 수정일(1차 : 2010년 4월 26일), 게재확정일(2010년 4월 26일).

<sup>†</sup> 교신저자: 장기호(khchang@korea.kr)

**Key Words :** Cloud Physics Observation, Verification of Instruments, In-suit Observation, Fog and Visibility.

**요약 :** 구름과 강수특성을 분석하기 위해 대관령에 구름물리관측시스템(Cloud physics Observation System, 이하 CPOS)을 2003년부터 운영해 오고 있다. 주요 관측 기기는 다음과 같다: FSSP (Forward Scattering Spectrometer Probe), OPC (Optical Particle Counter), VS (Visibility Sensor), PARSIVEL disdrometer, MWR (Microwave Radiometer), MRR (Micro Rain Radar). 앞의 4개 장비는 지상구름(안개)과 강수 특성을, 뒤의 2개 장비는 연직구름의 특성을 실시간으로 관측하고 있다. CPOS 산출물을 검증하기 위해 FSSP는 흡습성 물질 시딩 실험 중 OPC와, MWR의 가강수량은 라디오존데와, PARSIVEL과 MRR은 우량계와 비교 연구가 수행되었다. 그 결과를 보면 대부분이 0.7이상의 좋은 상관도를 보인다. 이와 같이 신뢰도를 확보한 CPOS 관측 자료는 구름과 에어로솔의 간접효과나 기상조절 실험에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다. FSSP의 입자 크기 분포를 시정값으로 환산해 보았으며 FSSP 환산 시정값은 visibility sensors (SVS)와 PWD22 (Present Weather Detect 22)의 시정계 값에 비해 1.7~1.9배 과도한 경향을 보였다. 이는 FSSP에 의해 관측되는 입자 크기(2~47  $\mu\text{m}$ )의 한계 때문으로 사료된다. 향후 다른 입자크기분포를 측정할 수 있는 장비를 도입하여 추가 분석을 추진할 계획이다.

## 1. 서론

일반적으로 구름에 대한 연구는 크게 구름의 기후적 특성에 대한 연구, 미세 구조적 관측 및 모델링 연구로 나누어진다. 국내의 구름연구는 대부분 대기오염과 기후학적 변동에 초점이 맞추어져 진행되고 있다. 그러나 최근 기후변화와 관련하여 구름의 중요성이 날로 부각되고 있고, 기후변화에 관한 정부 간 패널인 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 보고서(2001)에 의하면 구름의 물리적, 화학적 성질에 대한 이해와 정보의 부족으로 기후변화 예측의 불확실성에 구름이 가장 크게 기여하고 있다고 한다. 그러므로 구름이 기후에 미치는 직접적인 또는 간접적인 효과를 정량화하기 위해서는 정확한 미세구름물리 요소에 대한 관측이 필수적이다. 또한 성공적인 기상조절을 위해서는 미세구름물리 연구를 통해 구름발달과 강수과정의 특성을 이해하는 것이 매우 중요하다. 구름물리 혹은 강수발달과정을 이해하지 않고서는 강수증대나 안개저감 실험과 같은 인위적인 조절은 불가능하기 때문이다. 강수발달과정은 수증기와 빙정의 생성과 발달을 나타내는 미세물리 과정부터 구름시스템의 중규모적인 역학과정까지 다양한 규모로 진행된다. 따라서 구름과 강수를 보다 깊게 이해하기 위해서는 다양한 규모의 구름 시스템에 대해 분석할 수 있는 관측시스템이 필요하다.

국외의 경우 구름관측을 위하여 관측소 또는 이동식 관측시스템을 이용하고 있다. 미국의 Huntsville의 Mobile Integrated Profiling System (MIPS) (Karan and Knupp, 2006), 일본의 Mobile Platform (Kusunoki, K. *et al*, 2004), 중국 길림성(Ji Lin)지역의 기상조절연구센터(Lei, 2005) 등은 구름물리 관측을 바탕으로 연구를 수행하고 있다. 구름물리관측시스템이나 원격탐사 등을 이용하여 통합적으로 관측된 자료들은 위험기상, 구름물리 특성 등 기상정보의 시공간적 특성을 알 수 있게 한다. 미국, 일본에서 사용하고 있는 이동식 관측시스템의 가장 큰 장점은 원하는 장소로 빠르게 이동하여 관측을 할 수 있다는 것이다. 이러한 특성 때문에 이 시스템들은 기상조절과 구름물리연구 등에 많이 활용되고 있다.

국내의 경우 지상관측소를 구축하여 구름관측을 수행하고 있다. 국립기상연구소와 강원지방기상청은 국내 유일의 구름물리관측시스템(Cloud Physics Observation System, 이하 CPOS)을 2003년 11월에 대관령 구름물리관측소(37.4°N, 128.4°E, 842m)에 구축하여 현재까지 운영하고 있다. CPOS는 구름물리 요소를 상시적으로 관측하는 것이 주목적이고, 인공강우와 안개저감 실험 같은 기상조절 실험의 검증에 주로 활용되고 있다(장기호 등, 2007).

본 연구에서는 2006년 부터 2008년까지 상시 관측된

CPOS의 구름물리관측장비 산출물에 대한 평가 결과를 보고하고 시정계 비교연구 결과를 소개하고자 한다. 본 연구결과를 기반으로 한반도 위성 구름관련 연구와 대기 과학 분야의 구름물리 연구 활성화에 기여하기를 바란다.

## 2. 구름물리관측시스템 평가

### 1) 지상구름(안개, 강수) 관측 장비 평가

#### (1) 전방산란스펙트로미터(Forward Scattering Spectrometer Probe)

광산란방식의 전방산란스펙트로미터(Forward Scattering Spectrometer Probe, 이하 FSSP)는 광학적 특성을 이용하여 구름이나 에어로솔 입자의 크기분포를 측정하는 기기로 구름관측과 기상조절 프로젝트에 널리 이용되고 있다(Arends *et al.*, 1994; Wendisch, 1998). FSSP는 항공관측을 목적으로 개발되었지만 공기흡입기를 표본공기 유입기에 장착하면 지상의 정지된 위치에서 관측이 가능하다. FSSP는 0.5~47  $\mu\text{m}$  범위의 직경을 가진 구름 입자를 15개 구간의 입자크기로 구분하여 크기별 수농도 분포와 이로부터 유도되는 수함량과 입자평균직경을 관측한다(Jeong *et al.*, 2006). 염성수(2004)등이 이 장비를 이용하여 대관령 및 안면도에서 관측된 구름입자크기를 비교 연구하였다. 이 연구에서 FSSP에 대한 원리 및 특성에 대해 간략하게 소개되어 있다.

FSSP는 2003년 11월 부터 현재까지 구름물리관측소

에 3 m 높이의 고정대를 세우고 그 위에 설치하여 지상에서 관측을 실시하고 있다. FSSP는 다른 관측기기와는 달리 상시관측은 하지 않고 안개나 하층운이 발생할 시에만 비정기적으로 관측을 수행하고 있다. 장기호 등(2007)의 연구에서는 PM10 Sampler (FH62C14-100)로 관측한 염화칼슘의 질량농도와 FSSP로 관측한 염화칼슘의 5분 평균 질량농도를 비교하여 검증을 실시하였다. FSSP는 질량농도가 아닌 수농도를 관측하는 기기이기 때문에 Jiusto(1968)등의 논문을 참고하여 FSSP로 관측한 염화칼슘의 입자 수농도를 질량농도로 환산하여 비교하였다. 이들 논문에서는 관측방식의 차이가 있음에도 불구하고 FSSP에 의한 염화칼슘 질량농도와 PM10 Sampler에 의한 관측 값이 거의 같은 관측경향을 보였다.

본 연구에서는 PM10 sampler보다 FSSP의 관측방법과 유사한 광학입자계수기(Optical Particle Counter, 이하 OPC)와 입자 수농도를 비교 관측하였다. OPC는 황사 현상이나 대기오염물질의 정량적 연구를 위하여 대기 중에 부유하는 에어로솔의 크기별 수농도를 측정하는 기기이다. 입자의 측정범위는 0.3~25  $\mu\text{m}$ 이고 8개의 채널이 있으며 사용자가 측정범위를 선택할 수 있다. 본 연구에서는 OPC의 에어로솔의 관측 크기범위를 0.5~1.5  $\mu\text{m}$ , 1.5~2.5  $\mu\text{m}$ , 2.5~3.5  $\mu\text{m}$ , 3.5~4.5  $\mu\text{m}$ , 4.5~5.5  $\mu\text{m}$ , 5.5~6.5  $\mu\text{m}$ , 6.5~8  $\mu\text{m}$ , 8~25  $\mu\text{m}$  크기의 8개 구간으로 선택하여 단위 부피당 개수( $\text{No. ft}^{-3}$ )로 정의 되는 수농도를 측정하였다. 또한 5초 동안 시료를 흡입하여 측정하는 과정을 2회 반복하

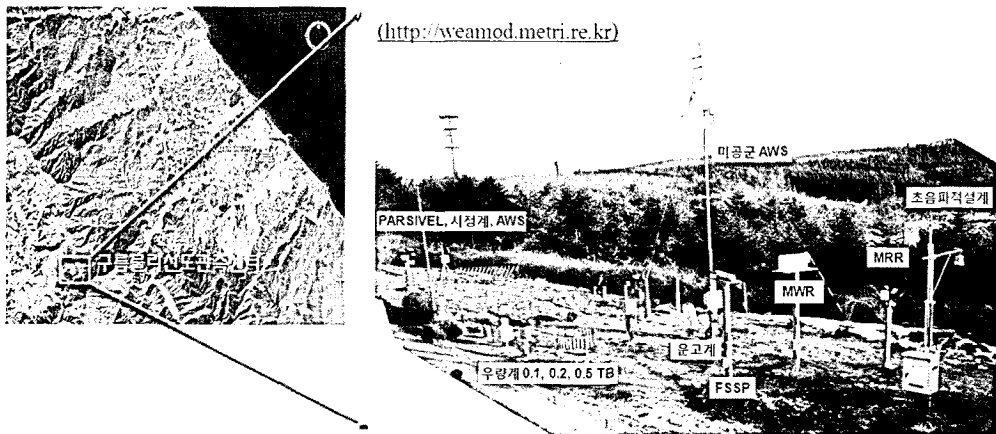


Fig. 1 Location and the instruments of the Daegwallyeong Cloud Physical Observation System (CPOS).

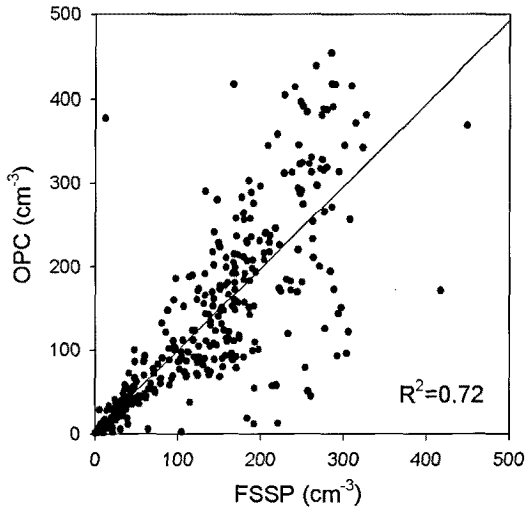


Fig. 2. Comparison of 2-minute mean number concentration for Calcium Chloride (CaCl<sub>2</sub>) particles seeding between FSSP and OPC during 23 to 25 June 2008.

여 평균한 값을 2분 단위로 표출하였다. FSSP는 Range 0의 관측범위인 2~47 μm의 크기범위로 염화칼슘의 입자크기분포를 측정(No. cm<sup>-3</sup>)하였기 때문에 FSSP의 2~8 μm 범위 입자크기의 2분 평균 수농도와 OPC의 1.5~8 μm 범위의 입자크기만의 총 수농도를 선택하여 서로 비교하였다. FSSP의 경우 에어로솔을 구형의 입자로 가정하여 관측을 하기 때문에 크기를 과대 추정하는 경향이 있으므로 정량적인 평가보다는 정성적인 평가를 목적으로 한다. FSSP의 정량적인 평가는 독일 Duke Scientific Corporation에서 생산된 표준유리 입자인 직경 30 μm의 소다-라임(soda-lime) 유리입자와 15 μm의 붕규산(borosilicate) 유리입자를 이용하여 실시한다(국립기상연구소, 2007).

Fig. 2는 구름물리관측소에서 2008년 6월 23일부터 25일까지 안개소산 실험을 실시하는 동안 FSSP와 OPC로 관측한 염화칼슘의 2분 평균 입자수농도를 비교한 것이다. 두 관측기기의 상관도를 비교한 R<sup>2</sup>값은 0.72로 이는 시공간 변동성이 심한 입자의 물리적 특성과 두 측기의 샘플량과 샘플시간의 차이를 고려해보았을 때 양호한 값으로 판단된다.

(2) 광학디스트로미터(PARSIVEL disdrometer)

광학디스트로미터(PARTicle SIZE and VELOCITY disdrometer, 이하 PARSIVEL)는 비나 눈 입자의 크

기 분포 스펙트럼을 측정하며 기상레이더 보조장비로 활용되는 광학기기이다. PARSIVEL은 눈과 비의 물리적 특성 이해연구에 중요하며 기상조절 실험 결과를 검증하기 위한 기기로도 매우 중요하다. 또한 PARSIVEL에서 산출되는 강수량 관측자료는 기상레이더의 관측된 강수량과의 보정을 통하여 고해상도의 강수량 자료를 산출할 수 있기 때문에 기상레이더 관측 자료의 보정에 활용된다. PARSIVEL은 기기에 전원이 들어오면 비나 눈 입자를 관측하기 전 자동으로 기계적 점검을 실시한다. Joss and Waldvogel (1969)은 impact 타입의 PARSIVEL을 이용하여 산출한 강수량과 4개의 우량계로부터 구한 강수량을 비교한 결과 두 값이 거의 일치함을 증명하였다.

PARSIVEL 산출자료의 검증을 위해 2008년 9월 1일부터 12월 17일까지의 강수사례에 대해 0.1, 0.2, 0.5 mm 분해능의 전도형 우량계에서 산출된 강우강도와 상관도를 구하였다. PARSIVEL은 1분 단위의 관측 자료를 생산하지만 전도형 우량계와의 비교를 위해 30분 평균 강우강도를 사용하였다. Fig. 3은 2008년 9월 1일부터 12월 17일까지 일 누적 강수량이 0.5 mm 이상 기록한 22 사례를 누적하여 산포도로 나타낸 것이다. 이를 보면 0.2 mm 전도형 우량계가 PARSIVEL과 상관도가 0.98과 표준편차가 0.17 mmh<sup>-1</sup>로 가장 유사하게 나타났고, 0.5 mm 전도형 우량계가 상관도 0.93과 표

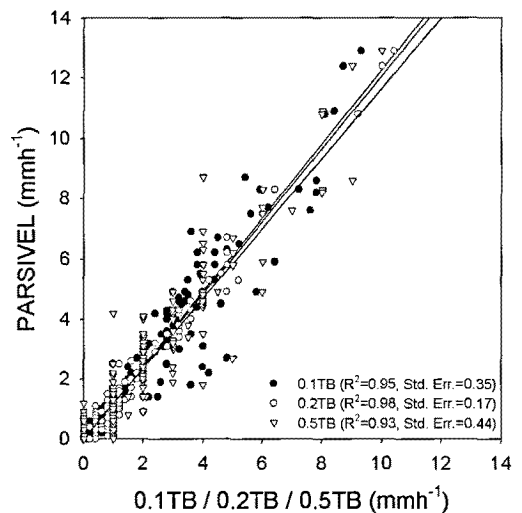


Fig. 3. Scatter diagram between 30-min accumulated rainfall rate of PARSIVEL disdrometer and that of 0.1, 0.2, and 0.5 tipping bucket rain-gauge from 1 Sep. to 17 Dec. 2008.

준편차  $0.44 \text{ mmh}^{-1}$ 로 PARSIVEL과 가장 다르게 나타났다. 그렇지만 전체적으로 PARSIVEL과 우량계의 상관도는 상당히 유사함을 알 수 있었다.

## 2) 연직 구름 관측 장비 평가

### (1) 마이크로웨이브 라디오미터(Microwave Radiometer)

대관령 구름물리관측소에 설치된 마이크로웨이브 라디오미터(Microwave Radiometer, 이하 MWR)는 대기로부터 23.8 GHz와 31.4 GHz의 장파복사를 수신하여 지정된 경로에서 밝기 온도를 관측하여 가강수량(Precipitable Water Vapor, 이하 PWV)과 수액량(Liquid Water Path, 이하 LWP)을 실시간으로 산출한다. 대기의 주어진 체적에 포함된 수증량은 입자관측기에 의해 측정된 입자 분포의 질량적분을 통하여 결정된다. 차주완 등(2005)은 FSSP와 MWR 관측 값을 이용하여 2003년도 대관령 동계 안개사례분석을 하였는데 이 연구에서 MWR에 대한 원리 및 특성 등이 간략하게

소개 되어있다.

MWR에서 산출된 가강수량값의 검증을 위해 2003년 12월부터 2008년 12월까지 구름물리관측소에서 관측된 자료와 북서쪽으로 약 30 km 떨어진 속초( $38.1^{\circ} \text{N}$ ,  $128.3^{\circ} \text{E}$ ) 라디오존데의 00UTC, 12UTC에 산출된 PWV값을 비교하였다. MWR에서 산출된 PWV값은 라디오존데의 비양시간을 고려하여 30분 평균하여 비교하였고, 강수일의 경우 마이크로파를 받아들이는 레이돔 부분에 강수에 의해 발생된 수막 때문에 정확한 관측 값을 얻을 수 없으므로 강수일은 제거하였다. Fig. 4는 2003년 12월부터 2008년 12월까지 관측 자료의 계절별 상관도를 나타낸 것으로  $R^2$ 값이 봄: 0.82, 여름: 0.78, 가을: 0.83, 겨울: 0.29이다. 겨울철 상관도가 낮은 이유는 마이크로파를 수신하는 레이돔부분에 쌓인 눈이 다음날까지 영향을 끼쳐 오차를 유발하기 때문으로 사료된다. 최근에 시판되는 MWR은 선풍장치가 옵션으로 달려 이런 문제가 개선되었다. 그 외의 계절의 경우 두 관측기기의 시공간의 차이를 고려해볼 때

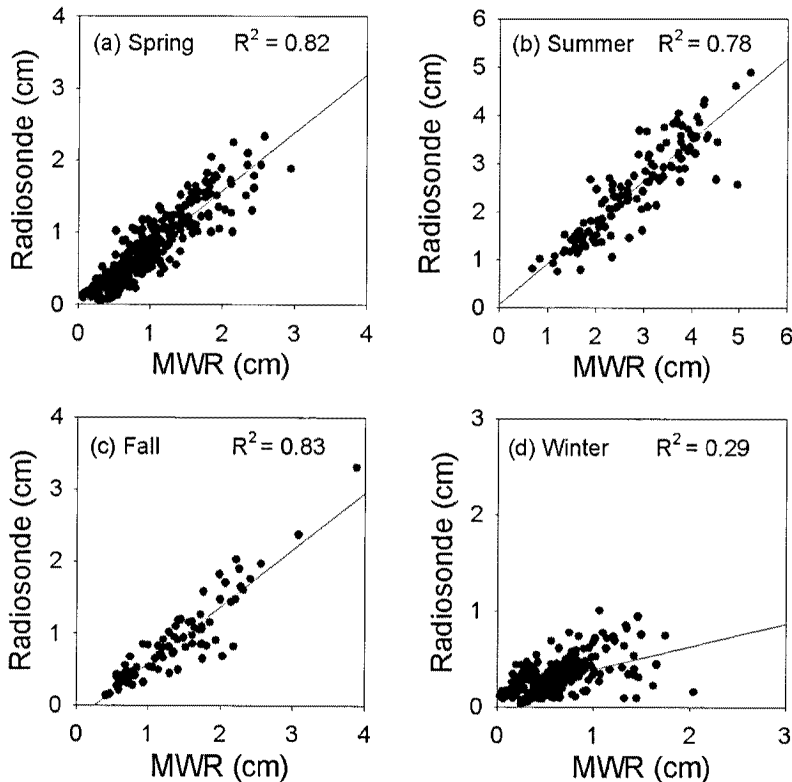


Fig. 4. Scatter plot of the seasonal precipitable water vapor calculated by the radiometer against those derived from radiosonde during Dec. 2003 ~ Dec. 2008.

MWR에서 관측된 PWV값이 관측지역의 값을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다. MWR에서 산출되는 수액량의 경우 라디오존데에서는 LWP값을 산출할 수 없기 때문에 다른 장비와의 검증이 필요하고 관측 자료의 신뢰도 향상을 위해 지속적인 검증이 이루어져야 할 것이다.

(2) 연직강우레이더(Micro Rain Radar)

강수입자의 구름 내 수직구조를 측정하는 연직강우레이더(Micro Rain Radar, 이하 MRR)는 1.5~15 MHz의 중간주파수를 24 GHz의 고주파로 변조하여 펄스 형태가 아닌 전자기파를 연속으로 방사하는 레이더이다. 방사된 신호가 강수 입자에 의해 후방 산란되어 다시 안테나로 수신되는 전자파에 의하여 레이더 반사도와 입자의 낙하속도를 관측한다. 이 두 가지 정보를 이용하여 레이더 반사도, 강우강도, 액체수함량(Liquid Water Contents), 입자크기분포(Drop Size Distribution) 등을 산출하는데 이때 송신된 전자기파가 물로 된 입자들에 의해 반사되었다는 가정이 포함된다(조요한, 2005; Cha *et al.*, 2009).

MRR은 2005년 4월에 대관령 구름물리관측소에 설치되어 현재까지 관측중이다. 본 연구에서는 대관령기상대의 이전으로 인해 2006년 11월 이후 AWS 강우강도 관측이 이루어지지 않았으므로 MRR 관측 자료의 검증을 위해 대관령에 눈이 내리지 않았던 2006년 6월부터 8월까지의 3개월 기간에 대해서 지상에서 관측된 AWS의 강우량과 MRR로 관측한 강우강도값을 비교 분석하였다. 장기호 등(2007)은 MRR 강수량 추정 한계를 알아보기 위하여 시간에 따른 누적 강우량 비교 연구를 하였다. 이들 연구에서 30분, 60분 누적한 강우량에 대하여 MRR과 우량계가 높은 상관성을 보였다. 그러므로 본 연구에서는 각 장비에서 생산된 자료를 60분 누적시켜 서로 비교하였다. Fig. 5는 50 m의 고도에서 관측된 MRR의 강우강도와 우량계에 의해 관측한 강우강도를 비교한 것이다. 이를 보면  $R^2$ 값이 약 0.91로 나타났다. 우량계는 지상에 실제로 오는 강우량을 측정하는 것이고 MRR은 대기 중의 수적을 강우강도로 환산한 값이기 때문에 직접적인 비교를 할 수는 없지만 누적량으로 환산했을 때 높은 상관도를 보였다. 즉, 우량계와의 비교를 통해 전체적으로 MRR이 정확히 지상 강우강도를 관측하고 있음을 알 수 있다.

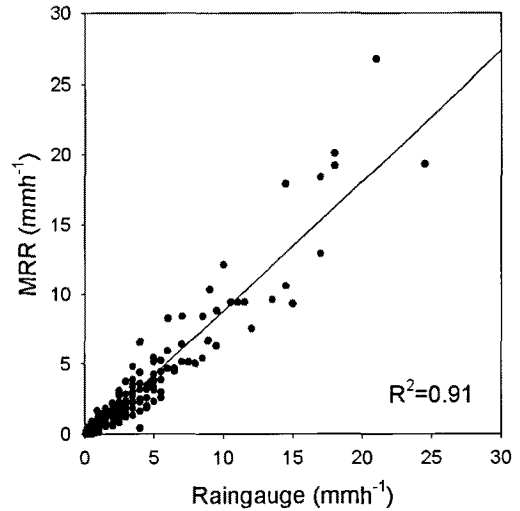


Fig. 5. Comparison of cumulative rain rate from Rain-gauge and MRR (Jun. ~ Aug. 2006).

### 3. FSSP를 이용한 시정환산

#### 1) 자료 및 방법

본 연구의 목적은 지상구름의 특성 분석을 위한 관측기기의 하나인 FSSP 관측기기의 활용성에 관한 연구로 FSSP 시정값을 시정계에서 산출하는 시정값과 서로 비교하고 FSSP의 시정값을 보정함으로써 FSSP를 시정계로 활용할 수 있는지에 대한 가능성 연구이다. 대관령 구름물리관측소에 설치된 시정계 (Sentry Visibility Sensor, 이하 SVS)와 Vaisala사의 PWD22 (Present Weather Detector)의 시정값과 FSSP에서 산출된 시정값을 비교하였다.

SVS는 2006년 6월부터 관측을 시작하였으며 적외선에 의해 입자들이 전방산란 되는 원리를 이용하여 시정을 관측한다. 이 시정계의 감지부 발사부에서 발사된 적외선의 산란각이 42° 되는 지점에 있다. 이때 적외선이 대기 중의 에어로솔이나 부유물질에 의하여 산란되면 그 중 일부가 감지부에 탐지되는데 이것은 복사전달 방정식의 소멸계수  $\sigma$ 와 함수관계를 가진다. SVS의 소멸계수  $\sigma$ 는 low pass filtering을 통과한 후 증폭되어 0~10 V 범위의 직류 전압으로 출력되며, 시정계산의 관계식은  $V = \frac{0.3}{\sigma}$  km이다. 이때 최소 시정은  $\sigma=10$  V인 0.03 km로서 30 m 가 된다. 따라서 이 측기의 시정관측범위는 30 m~16 km 이며 정확도는 일반적으로  $\pm$

10% RMSE 이다. 이 시정계에서 측정된 시정은 low pass filtering 과정과 증폭의 과정을 거치므로 시정 출력이 지체된다. 이를 보상하기 위하여 실험결과 분석 시에는 이동평균으로 관측 자료의 후처리를 실시하였다.

2008년 3월부터 관측을 시작한 Vaisala의 PWD22는 전방산란 시정센서와 현전센서를 하나로 묶어 놓은 센서로 7가지 강우(비, 언비, 이슬비, 언이슬비, 진눈깨비, 눈, 우박)를 구분 감지할 수 있으며, 측정범위는 10 m~20 km이다.

FSSP에서의 시정값은 입자크기분포로부터 시정( $V$ )을 유도할 수 있는데 이는 안개에 의한 빛의 감쇠가 주로 미(Mie) 산란에 기인한다는 이론(Koschmieder, 1924)에 의하여 식 (1)과 같다.

$$V = -\frac{\ln \epsilon}{\beta} \quad (1)$$

여기서  $\epsilon$ 는 사람의 눈으로 볼 수 있는 최소 밝기를 나타내는 모수로서 0.02가 사용된다. 그리고 이 식의  $\beta$ 는 산란에 의하여 소모된 소멸계수로서 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\beta = \sum_{i=1}^n \pi k_s r_i^2 N_i \quad (2)$$

여기서, 산란면적계수  $k_s$ 는 보통 2의 값을 가지며  $N_i$ 와  $r_i$ 는 각각  $i$ 번째 채널의 수농도와 입자반경이다. 식 (2)의  $\beta$ 값을 식 (1)에 대입하면 시정  $V$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V = \frac{3.912}{\sum_i \pi k_s N_i r_i^2} \quad (3)$$

그리고 FSSP의 입자크기 관측범위(2~47  $\mu\text{m}$  선택)에 제한이 있으므로 산출된 시정 값에는 관측오차가 포함될 수 있다.

## 2) 분석결과

Fig. 6은 2009년 7월 4일 사례를 분석한 것이다. Fig. 6(a)의 bias 보정 전의 그래프를 보면 SVS와 PWD는 거의 일치하는 결과를 보이나, FSSP 시정값은 SVS에 비해 평균 1.9배, PWD에 비해 평균 1.7배의 일정한 과도 bias를 보이고 있다. 이는 FSSP의 관측범위가 2~47  $\mu\text{m}$ 로 SVS나 PWD에 비해 좁기 때문으로 사료된다. Fig. 6(b)는 SVS 시정계의 시정값을 기준으로

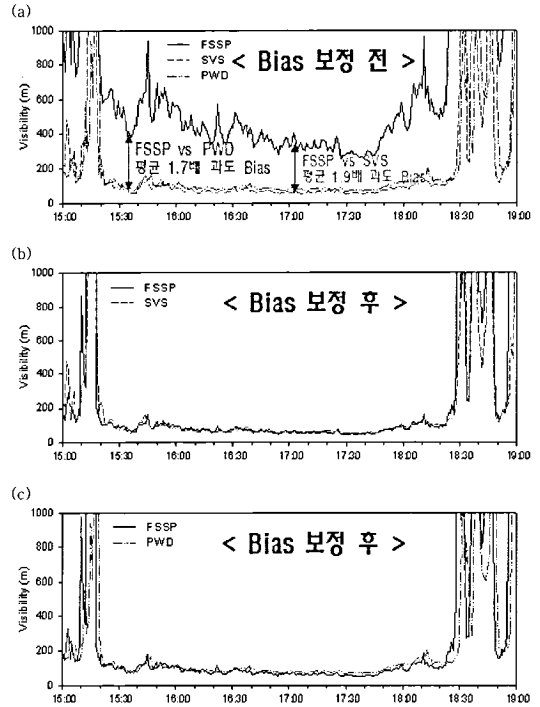


Fig. 6. Time series of the visibility measured by the Sentry Visibility Sensor (SVS) (dashed line), Viasala PWD22 (PWD) (dash-dotted line), and Forward Scattering Spectrometer Probe (FSSP) (solid line) on 15:00 ~ 19:00 KST 4 July 2009. (a) before the validation, (b) after the validation between the FSSP and SVS, and (c) after the validation between the FSSP and PWD.

FSSP를 보정한 결과이며, Fig. 6(c)는 PWD의 시정값을 기준으로 FSSP를 보정한 결과이다. 이를 보면 bias 보정 후 200m 이하의 시정에서는 거의 일치함을 보이고 있다. FSSP와 SVS, PWD의 시계열이 일정한 bias를 보임으로써 FSSP를 이용한 시정환산은 유의한 결과를 준다고 사료된다. Bias가 일정하다는 것은 기존의 안개저감실험연구(Chang *et al*, 2007)에 사용됐던 실험 전후의 시정변화인 시정개선도(Visibility Factor)에 FSSP 환산시정값 사용이 유의했다는 것을 의미한다.

## 4. 결론 및 요약

본 연구는 2006년부터 2008년 사이에 관측된 대관령 구름물리관측소의 구름물리 관측 자료들의 신뢰도를 확보하기 위하여 각 측기들의 평가를 수행하였다.

Table 1. The specifications of the instruments of Cloud Physics Observation System (GPOS) and their calibration status

	Measurement	Range	Validation Method	Validation	Install Date
FSSP	Size Distrib.	0.5~47 $\mu$ m	Qualitative comparison with the OPC results for the CaCl <sub>2</sub> seeding (2008. 6.23~6.25)	R <sup>2</sup> =0.72	'03.11.27
PARSIVEL	Size Distrib.	0.2~25 mm	Comparison with the 30-min. accumulated rainfall rate (2008. 9.1~12.27)	0.1TB R <sup>2</sup> =0.95 0.2TB R <sup>2</sup> =0.98 0.5TB R <sup>2</sup> =0.93	'06.09.29
MWR	TPW, LWC	23.8 GHz, 31.4 GHz	Comparison with the TPW calculated from the Sokcho sonde data (2003. 12.1~2008. 12.31)	Spring R <sup>2</sup> =0.82 Summer R <sup>2</sup> =0.78 Fall R <sup>2</sup> =0.83 Winter R <sup>2</sup> =0.29	'03.11.23
MRR	Reflectivity, Rain-Rate, LWC	150 m interval	Compare with the 30-min. accumulated rainfall rate (2006. 6.1~8.31)	R <sup>2</sup> = 0.91	'05.04.04

Table 1은 구름관측 장비들의 상세한 현황과 보정 및 검증사항을 나타낸 것이다. 이를 보면 구름 및 강수입자 크기분포를 관측하는 FSSP와 PARSIVEL, 연직 구름 및 강수관측을 하는 MWR과 MRR는 대부분의 관측에서 R<sup>2</sup> > 0.7의 높은 신뢰도를 보여주고 있다. 위 결과를 바탕으로 장기간(약 4년)의 구름물리관측자료 데이터베이스는 한반도 구름물리 특성 파악, GPS 위성 가강수량 산출연구 등 관련연구의 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이라고 기대된다.

또한 구름물리관측시스템 중 지상구름의 특성 분석을 위한 관측기기의 하나인 FSSP 관측기기를 이용하여 시정값을 산출해보았고, 시정계 값과 서로 비교 분석해보았다. FSSP의 환산 시정값은 시정계 시정값에 비해 평균 약 1.7배~1.9배 과도하지만 일정한 bias 경향을 나타내었다. 과도한 bias는 안개입자크기측정범위가 작은 FSSP의 한계라고 사료된다. 향후 47  $\mu$ m 이상의 안개입자크기분포를 측정할 수 있는 장비를 도입하여 보다 정밀한 분석을 추진할 계획이다.

### 사 사

본 연구는 국립기상연구소 기본사업인 '구름물리관측시스템 유지 및 연구'와 주요사업인 '관측기술 지원 및 활용 연구'의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

국립기상연구소, 2007. 구름물리관측시스템 유지 및 연구. 국립기상연구소 연구보고서, MR070E74, 110 pp.

염성수, 오성남, 김정윤, 김창기, 남재철, 2004. 전방산란스펙트로메타(FSSP)를 이용한 한반도에서의 구름입자 크기분포 관측. 한국기상학회, 40: 623-631.

장기호, 오성남, 정기덕, 양하영, 이명주, 정진임, 조요한, 김효경, 박균명, 염성수, 차주완, 2007. 구름물리관측시스템 및 산출물 검증. 대기지, 17: 101-108.

조요한, 김은연, 장기호, 2005. 대관령슈퍼사이트: 마이크로 강수 레이더의 특성. 2005년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 168-169.

차주완, 장기호, 정진임, 박균명, 양하영, 2005. 전방산란스펙트로메타(FSSP-100)와 마이크로 레디오미터를 이용한 2003년도 대관령 동계 안개 사례 분석. 대기지, 15: 167-178.

Arends, B. G., G. P. A. Kos, R. Maser, D. Schell, W. Wobrock, P. Winkler, J. A. Ogren, and K. J. Noone, 1994: Microphysics of clouds at Kleiner Feldberg. *J. Atmos. Chemistry*, 19: 59-85.

Cha, J. W., K. H. Chang, S. S. Yum, and Y. J. Choi, 2009: Comparison of the Bright Band Characteristics Measured by Micro Rain Radar (MRR) at a Mountain and a Coastal



- site in South Korea, *Advances in Atmospheric Sciences*, 26: 211-221.
- Chang, K. H., M. J. Lee, K. D. Jeong, J. Y. Jeong, H. Y. Yang, J. W. Cha, K. M. Park, and S. N. Oh, 2007. An Experimental Study for the Hygroscopic-particle Moving Seeding Method to Dissipate Natural Advection Fog, *J. Korean Meteor. Soc.* 43: 3-10.
- IPCC, Climate Change, 2001. *The Scientific Basis*, J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. vander Linden, X. Dai, K. Maskell, C. A. Johnson (eds), Cambridge University Press, New York, 2001.
- Jeong, J. Y., K. H. Chang, B. C. Choi, and S. S. Yum, 2006. Daegwallyeong supersite: Fog droplet spectra measured with the FSSP. *Proceedings of the spring meeting of KMS, 2006*, 126-127.
- Justo, J. E., R. J. Pilié, and W. C. Kocmond, 1968: Fog modification with giant hygroscopic nuclei. *J. Appl. Meteor.*, 7: 860-869.
- Joss, J., and A. Waldvogel, 1969: Raindrop size distribution and sampling size errors. *J. Atmos. Sci.*, 26: 556-569.
- Karan, H., and K. Knupp, 2006: Mobile Integrated Profiler System (MIPS) observations of low-level convergent boundaries during IHOP. *Mon. Wea. Rev.*, 134: 92-112.
- Koschmieder, H., 1924. Theorie der horizontalen Sichtweite. *Beitr Phys. Atmos.*, 12: 33-53.
- Kusunoki, K., M. Murakami, N. Orikasa, M. Hoshimoto, Y. Tanaka, Y. Yamada, H. Mizuno, K. Hamazu, and H. Watanabe, 2005. Observations of quasi-stationary and shallow orographic snow clouds: Spatial distributions of supercooled liquid water and snow particles. *Mon. Wea. Rev.*, 133: 743-751.
- Lei, H., 2005. Research on structure of stratiform cloud and its potential of precipitation enhancement. *Proc. The 2nd international workshop on weather modification*, Seoul, Korea, METRI, 20-32. [Available from H. Lei, Laboratory of cloud-precipitation physics and severe storms, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences.
- Wendisch, M., 1998. A quantitative comparison of ground-based FSSP and PVM measurements. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 15: 887-900.