

위성관측(MODIS)과 수치실험에서 조사된 안개의 광학적 성질

유정문* · 윤미영

(이화여자대학교 과학교육과)

본 연구에서는 위성관측 자료 및 복사전달모델을 이용하여 안개층 위의 상층운이 야간 안개 탐지에 사용되는 경계값(i.e., $3.7 \mu\text{m}$ 와 $11 \mu\text{m}$ 사이의 밝기온도 차; T3.7-11)에 미치는 영향과 안개의 광학적 특성을 분석하였다. 위성관측 자료로는 2002년 8월부터 2004년 1월까지의 기간에 인천 국제공항 지역에 대한 Aqua 및 Terra 위성의 MODIS 자료를 사용하였으며, 수치실험을 위하여 SBDART 복사전달모델을 사용하였다.

주간 안개 시에는 안개의 광학적 두께와 효율반경이 증가함에 따라 대기층 영역의 밝기온도(T11)와 안개 탐지 경계값(T3.7-11)은 감소하였다. 관측에서 T3.7-11값은 25~35 K이었는데, 이러한 관측값은 SBDART 복사모델을 통한 수치실험에서 구름의 광학적 두께 $\text{COT} = 4\sim 16$ 이며 효율반경이 $\text{Re} = 4\sim 8 \mu\text{m}$ 안개의 광학적 특성에 해당하였다. 이러한 효율반경의 크기는 한반도에서 Forward Scattering Spectrometer Probe (FSSP) 장비를 이용하여 관측된 구름의 입자크기(염성수 등, 2004)와 대략 일치하였다. SBDART 모델의 결과에서 구름의 광학적 두께가 16보다 커질 때, T3.7-11과 T11 값은 포화되어 거의 변화하지 않았다. 따라서 주간 안개시에는 구름의 광학적 두께와 효율반경이 상대적으로 작을 때($\text{COT} < 16$ 그리고 $\text{Re} < 8 \mu\text{m}$), T3.7-11과 T11 값이 안개 구분에 효과적이라고 사료된다.

야간 안개 원격 탐지 시에는 T3.7-11값은 음수 또는 양수로 관측되었으나, 모델에서는 항상 음수로 산출되었다. 본 연구에서는 이러한 차이가 MODIS 관측 자료를 기초로 상층운의 유무에 있다고 추정하고, 수치실험을 통하여 이러한 사실을 확인하고자 하였다. 이 실험에서 안개층 위의 상층운 고도가 증가할 때, T3.7-11은 음수에서 양수로 전환하여 관측과 모델 간의 경계값 불일치 원인이 상층운 존재에 있다고 사료되었다. 안개 광학적 두께가 작을 때는 상층운의 상(phase)과 효율반경도 경계값에 상당한 영향을 주었다. Mie 계산에 의하면, 야간 안개 위의 상층운에 의한 소산은 수적에 비하여 빙정 구름의 경우에 현저하였으며, $3.7 \mu\text{m}$ 보다는 $11 \mu\text{m}$ 채널에서 더 뚜렷하였다.

한편, 상층운이 존재하지 않는 야간 안개 시에 위성관측된 T3.7-11 = $0\sim -5$ K 값은 수치실험에서 효율반경 $\text{Re} = 4\sim 8 \mu\text{m}$ 그리고 광학적 두께 $\text{COT} = 4\sim 16$ 의 안개 특성에

해당하였다. 또한 SBDART모델에서는 안개의 광학적 두께와 효율반경의 증가 시에 대기창 밝기온도는 감소하였으나, 안개 탐지를 위한 T3.7-11경계값은 증가하였다. 효율반경이 증가 함에 따라 T3.7-11값은 포화되어 위성 채널 간의 파장 의존도가 낮아졌다. 이러한 사실은 안개의 입자 반경이 클 경우에 위성 채널들 간의 밝기온도 차이는 안개 정보 유도에 도움이 되지 않음을 반영한다.

요약하면, 복사전달 수치실험에 기초를 둘 때, 청천에 대한 주야간 안개 구분시에 사용되는 경계값과 대기창 온도는 안개 광학적 두께, $COT < 16$, 그리고 안개입자의 $Re < 8 \mu m$ 에 적용할 수 있다고 판단된다. 여기서 경계값은 광학적 두께보다 효율반경에, 그리고 대기창 온도는 효율반경보다 광학적 두께에 더 민감하였다. 주간 안개 탐지 시에는 $3.7 \mu m$ 에서의 잡음 문제를 보완하기 위하여 Fig. 1에서 보인 바와 같이 가시 채널 복사휘도 및 반사도가 추가적인 정보로 사용될 수 있으며, 야간에 안개층 위의 상층운은 안개 탐지 경계값에 오차를 줄 수 있다. 정지위성이 아닌 극궤도 위성관측 자료(e.g., MODIS)의 경우에는 다양한 관측각도 경계값에 영향을 줄 수 있다.

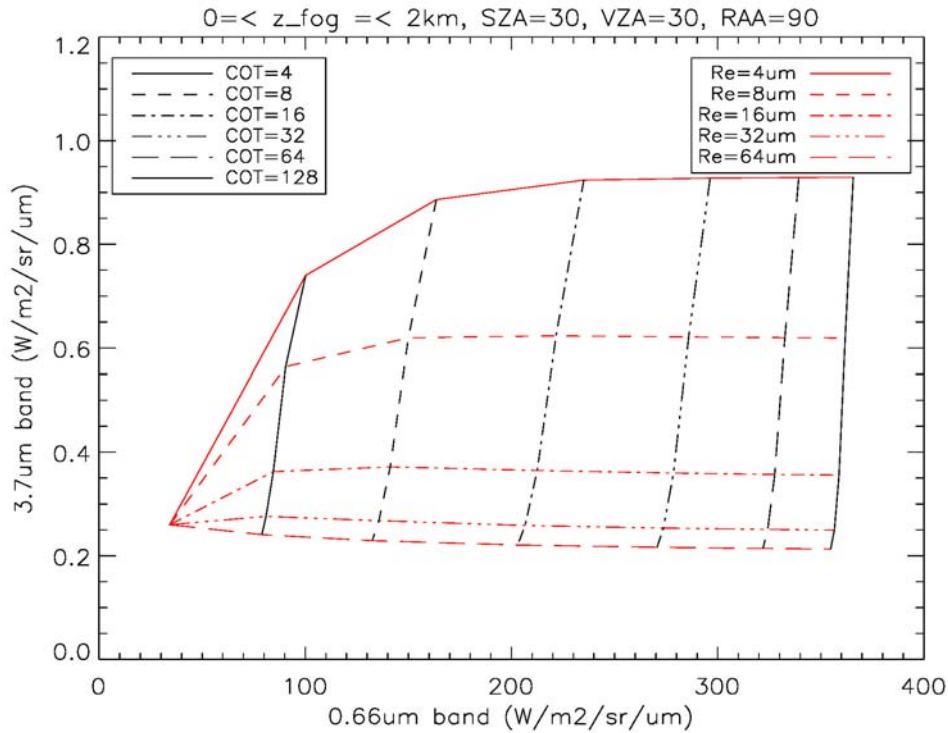


Fig. 1. Plot of the radiance ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$) at $0.66 \mu\text{m}$ (non-absorptive band) in the abscissa and radiance at $3.7 \mu\text{m}$ (absorptive band) in the ordinate, based on the simulated TOA upwelling intensity of the SBDART in these two bands for cloud optical depths, COT = 4, 8, 16, 32, 64, 128 μm and for fog particle effective radius, $R_e = 4, 8, 16, 32, 64 \mu\text{m}$.

감사

이 연구는 기상청의 통신해양기상위성(COMS) 사업의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드린다.

참고문헌

염성수, 오성남, 김정윤, 김창기, 남재철, 2004: 전방산란 스펙트로미터(FSSP)를 이용한 한반도에서의 구름입자 크기분포 관측. 한국기상학회지, 40(5), 623-631.