

도시 지역의 에어로졸 및 지표면 온도 불균질성이 강수 분포에 미치는 영향: 관측 자료 기반 분석

김현경¹, 이승수², 한수지¹, 엄준식^{1,3}, 이윤곤⁴, 박상서⁵

¹부산대학교 BK21 지구환경시스템 교육연구단, 지구환경시스템학부 대기과학전공

²Earth System Science Interdisciplinary Center, University of Maryland, USA

³부산대학교 대기환경과학과

⁴충남대학교 천문우주과학과

⁵울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

도시화는 지표면 온도(Land Surface Temperature, LST)와 에어로졸 농도의 공간적 불균질성을 초래하여, 결과적으로 강수의 강도와 분포에 중대한 영향을 미친다. 특히, 도시 열섬 효과 및 에어로졸 농도 증가로 인한 도심과 비도심 지역 간 LST 및 에어로졸 농도의 차이가 대기 불안정성 및 순환 패턴의 변화를 유발하여, 국지적 강수 및 홍수 발생의 위험성을 증가시킬 수 있다. 따라서 도심 및 주변 비도심 지역에 걸친 이러한 변화가 강수 특성에 미치는 영향을 규명하는 것이 중요하다.

본 연구는 도시화로 인해 발생한 도심과 인접 교외 및 농촌 지역(비도심 지역) 간 에어로졸 농도와 LST의 불균질성이 강수에 미치는 영향을 평가하였다. 연구는 대한민국 내 5개의 대도시 권을 도심과 비도심 지역으로 구분하여 에어로졸 농도 및 LST의 불균질성을 분석하였다. 강수는 약한 강수, 중간 강수, 강한 강수로 분류하였으며, 특히 인류 활동에 더 큰 영향을 미치는 강한 강수에 중점을 두었다.

연구 결과, 남부 지역을 제외한 대부분의 도시 권역에서 에어로졸 농도의 불균질성이 도심 지역에서 강한 강수의 발생 빈도를 증가시키고, 비도심 지역에서는 감소시키는 경향을 보였다. 반면, LST 불균질성은 도심 지역에서 강한 강수를 억제하고, 비도심 지역에서는 강수를 증가시키는 상반된 영향을 나타냈다. 본 연구는 에어로졸 농도와 LST의 불균질성이 도심과 비도심 지역의 강수 분포에 상이한 영향을 미친다는 중요한 시사점을 제공한다.

Key words: 에어로졸 농도, 지표면 온도, 강수, 도시화

※ 이 연구는 연구재단(2023R1A2C1002367, 2020R1A2C1013278), 교육부(2020R1A6A1A03044834)의 지원으로 수행되었습니다.

배경자료 개선을 통한 GK2A/AMI를 이용한 주간 안개 탐지 알고리즘 개선

한지혜, 서명석, 이현정

공주대학교 대기과학과

본 연구에서는 국가기상위성센터에서 현업으로 운용중인 천리안위성 2A호를 이용한 안개 탐지 알고리즘(GK2A_FDA)의 정확도 개선을 시도하였다. GK2A_FDA의 안개 탐지 수준은 지리적 위치, 시간, 사례에 관계없이 안정적으로 높은 안개 탐지 수준을 보이지만, 주간 안개 탐지에서 높은 오탐지율을 보였다. 2km 해상도의 주간 안개 탐지 알고리즘(GK2A_DFDA)은 국지적인 안개를 탐지하는데 한계가 있으며, 일부 비안개 화소들(하층운, 청천)을 오탐지하는 문제점이 있다. 따라서 GK2A_DFDA의 안개 탐지 수준을 향상시키기 위해 1) 공간 해상도의 향상(2km를 500m로 개선), 2) 배경자료의 정확도 개선 및 임계값 최적화, 3) 검증 자료 추가 및 검증 방법을 개선 하였다. GK2A_DFDA는 500m 해상도의 반사도, 관련 보조 자료들(육지 해양 분류도, 수치모델자료 등)의 고해상도화를 통해 고해상도 안개 탐지를 하였다. GK2A_DFDA는 하층운과 청천 화소를 안개 화소로 오탐지하고 있었으며, 그 원인으로 수치모델자료와 반사도 배경장의 정확도를 분석하였다. 안개와 하층운을 구분하기 위해 사용되는 배경자료인 수치모델 자료의 예측 수준은 시간, 지리적 위치, 날씨에 따라 다르며 내삽 과정에서의 오차를 포함하고 있다. 따라서 지리적 위치, 시간, 고도에 대한 수치모델의 오차를 실시간으로 보정할 수 있는 동적 편의 보정 기법을 개발하였다. 또한 30일 최솟값 합성법을 이용하여 산출한 반사도 배경장은 합성일수와 구름 그림자의 영향을 받기 때문에, 합성일수를 변경하고 구름 그림자를 제거할 수 있는 후처리 기법을 추가하였다. 정확한 안개 탐지 수준을 분석하기 위해, 공항 시정 자료를 추가하였으며 상대습도와 풍속을 활용하여 안개를 재정의하였다. 개선된 GK2A_DFDA는 공간해상도의 향상으로 국지적인 안개를 잘 탐지하였다. 고도 보정 및 동적 편의 보정 기법을 적용한 결과, 수치모델 자료의 편의와 평균 제공근 오차가 감소하였다. 수치모델 자료의 정확도를 개선하고 관련 평가요소의 임계값을 최적화했을 때, 오탐지된 하층운 화소가 제거되어 오탐지율이 감소되었다(FAR: 0.02 ~ 0.06 감소; Bias: 0.07 ~ 0.23 감소). 합성일수 변경과 구름 그림자 보정 통해 반사도 배경장의 정확도가 개선되었으며, 개선된 반사도 배경장을 안개 탐지 알고리즘에 적용했을 때 오탐지된 청천화소들이 제거되어 GK2A_DFDA의 오탐지 문제가 일부 해소되었다. 이 결과는 GK2A_FDA의 안개 탐지 수준을 향상시키기 위해 배경자료의 정확도가 중요함을 시사한다.

Key words: 안개 탐지, 천리안위성 2A호, 동적편의보정, 구름그림자보정, 시정계

Machine Learning–Based Cloud Phase estimation using Gaussian Mixture Model (GMM) on GEO–KOMPSAT–2A Observations

Dong–Cheol Kim and Dong–Bin Shin

Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University

This study developed a cloud phase retrieval algorithm based on the Gaussian Mixture Model (GMM), a type of unsupervised machine learning technique. GMMs are effective for probabilistically clustering features in unlabeled datasets by utilizing multiple Gaussian distributions. The primary dataset for this study consists of infrared (IR) brightness temperature (TB) data at wavelengths of $8.6 \mu\text{m}$ and $11.2 \mu\text{m}$, obtained from the Advanced Meteorological Imager (AMI) onboard the GEO–KOMPSAT–2A (GK2A) satellite. Estimating cloud phases—such as water, ice, and undetermined phases—can be challenging when using a single GMM due to the complex interactions between cloud parameters, such as optical thickness and effective radius, which influence one another. To address these challenges and reduce uncertainties, multiple GMMs were developed, and the results were analyzed from both physical and machine learning perspectives to improve estimation accuracy. The algorithm was further refined by comparing the probability density functions (PDFs) of TBs for each cluster type, leading to a more accurate separation of cloud phases. The performance of the algorithm was validated using cloud phase data from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and the Cloud–Aerosol Lidar with Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIOP) and was also compared to the operational cloud phase data from GK2A. Validation results showed Phase Agreement Fraction (PAF) scores of 86% for the water phase and over 90% for the ice phase when compared to MODIS data. Traditional IR–based cloud phase estimation algorithms, such as those used by MODIS or GK2A, depend on empirically derived thresholds, radiative transfer models, and additional cloud parameters. In contrast, the GMM–based approach developed in this study operates exclusively with TB data, eliminating the need for additional cloud products or complex settings. Furthermore, the streamlined structure of the GMM–based algorithm reduces computational time, making it suitable for real–time applications and demonstrating flexibility in classifying cloud phases across different cloud types.

Key words: Machine learning, Gaussian Mixture Model, Cloud phase, GEO–KOMPSAT–2A

마이크로파 복사전달 모의에 대한 구름 미세물리 가정의 영향

김동혁¹, 신동빈¹, 김지섭²

¹연세대학교 대기과학과

²Atmospheric and Oceanic Sciences, McGill University

마이크로파는 구름 내부 수상체와 흡수, 산란, 방출 등의 상호작용을 거쳐 위성 센서에 관측되며, 이와 같은 상호작용은 수상체의 양, 수농도, 밀도, 입자 크기 분포, 모양, 등을 포함하는 구름의 미세물리적 특성에 의해 결정된다. 마이크로파 복사전달 모델(Radiative Transfer Model; RTM)은 구름 미세물리 가정을 도입하여 구름 내부 수상체의 미세물리적 특성에 따른 마이크로파 복사전달 과정을 모의한다. 따라서, 다양한 구름 미세물리 가정은 마이크로파 복사전달 모의의 결과에 큰 영향을 끼칠 수 있다. 다양한 구름 미세물리 가정을 RTM에 도입하기 위해, 선행 연구들은 RTM에 입력값으로 제공되는 수상체를 모의하는 과정과 해당 수상체들의 마이크로파 흡수-산란과 같은 광학적 특성을 계산하는 과정에 사용된 구름 미세물리 가정을 일치시켰다. 그러나, 해당 접근법을 따르면 다양한 구름 미세물리 가정을 적용하여 모의된 수상체 프로파일 자체의 차이와 구름 미세물리 가정에 따라 계산되는 마이크로파 흡수-산란 특성의 차이를 구분할 수 없는 한계가 존재한다. 따라서 본 연구는 수동형 마이크로파 RTM 모의 결과에 서로 다른 구름 미세물리 가정이 끼치는 영향을 분석하기 위해, 태풍 사례에 대해 predicted particle properties (P3) 구름 미세물리 가정을 적용하여 Weather Research and Forecasting (WRF) 모델로 모의한 수상체 프로파일을 RTM의 입력값으로 고정하였다. 이후, 동일한 수상체 프로파일에 대해 서로 다른 구름 미세물리 가정을 적용하여 마이크로파 흡수-산란 특성을 계산, 이에 상응하는 마이크로파 밝기온도를 모의하고 그 결과를 분석하였다. 결과를 통해 다양한 구름 미세물리 가정이 RTM에 입력되는 수상체 프로파일 자체의 차이를 만들 뿐 아니라, 동일한 수상체의 마이크로파 흡수-산란 특성에 큰 차이를 야기할 수 있으며, 이를 통해 마이크로파 복사전달 모의 결과에 큰 영향을 끼침을 알 수 있었다. 이는 마이크로파 복사전달모텔링에 있어 입력자료로 사용되는 수상체의 미세물리 가정과 복사전달모텔의 광학적 특성 계산에서 사용되는 미세물리 가정이 일치되어야 함을 의미한다.

Key words: 마이크로파 복사전달모델, 구름 미세물리 가정, 마이크로파 흡수-산란 특성

※ 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(No. 2023R1A2C1004860).

Convective Heating Rate Estimated Using ERA5 Data and Validation with GPM Satellite

Hyun-Kyu Lee and Hye-Yeong Chun

Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University

We estimate convective heating rate (CHR) profiles using the ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) data by applying nine estimation methods, including three methods from previous studies. The estimated CHR profiles are compared with Global Precipitation Measurement (GPM) CHR observations from June 2014 to May 2023, spanning nine years. The three most accurate methods show strong agreement with GPM observations, and other methods reasonably well reproduce the spatial distribution of CHR. However, most methods struggle to represent evaporative cooling near the surface. Among the nine methods, Method 6 (M6), which utilizes cloud mixing ratio, temperature tendency due to parameterization, and temperature tendency due to radiation processes, demonstrates the best performance. The temporal variability and spatial distribution of CHR based on M6 closely align with GPM data.

Key words: Convective heating rate, Latent heating rate, Tropical convection, Remote sensing

딥러닝을 활용한 AMI 에어로졸 광학 깊이 자료 향상 및 에어로졸 크기 정보 산출

김민석¹, 김준¹, 이서영^{2,3}, 임현광⁴, 조예슬⁵

¹연세대학교 대기과학과

²Goddard Earth Science Technology and Research (GESTAR) II, University of Maryland Baltimore County

³Climate and Radiation Laboratory, NASA Goddard Space Flight Center (GSFC)

⁴National Institute for Environmental Studies (NIES)

⁵Earth System Science Interdisciplinary Center (ESSIC)

1972년 Landsat 위성이 발사된 이후, 위성을 이용한 에어로졸 광학깊이 생산 기술은 센서와 산출 알고리즘의 발달을 통해 현재까지도 발전해왔다. 대한민국은 정지궤도 다목적위성(GEO-KOMPSAT; GK) 임무의 일환으로 정지궤도 지구관측위성인 GK-2A에 가시광선부터 적외선까지의 스펙트럼 밴드를 갖고 있는 Advanced Meteorological Imager(AMI)를 탑재하여 발사하였다. 한편, 에어로졸 크기 정보는 에어로졸의 인체 유해성을 추정하는 데 중요한 요소로, 에어로졸 광학 두께(Aerosol optical depth; AOD)의 파장 기울기인 옹스트롬 지수(Angstrom exponent; AE)와 미세모드분율(Fine-mode fraction; FMF)로 정량화될 수 있다. 미세모드분율은 에어로졸 광학 두께보다 낮은 관측 민감도로 인해 AMI로 산출이 어려우며, 옹스트롬 지수는 가시광-근적외 채널이 여러 개 있는 탑재체로부터 얻은 파장별 AOD로부터 산출할 수 있으나, 파장별 관측 자료의 검보정 문제 및 입력자료의 파장별 특성 차이로 인해 정확도가 낮다. 본 연구에서는 AMI의 레벨 2 에어로졸 산출물과 레벨 1B 복사 관측 자료를 입력자료로 한 심층신경망(Deep neural network; DNN)을 구용하여 에어로졸 광학두께 자료의 향상 및 에어로졸 크기 정보의 산출을 수행하였다. 본 연구의 DNN AOD, AE 및 FMF를 DNN 모델 훈련에 사용되지 않은 기간 동안의 AERONET 데이터셋과 검증하였을 때 높은 성능을 보임을 확인하였다. 또한, 동아시아의 황사 사례 연구를 통해 정지궤도위성 기상탑재체 에어로졸 자료의 활용성을 입증했다.

Key words: 천리안위성, 에어로졸, 원격탐사, 옹스트롬 지수, 미세모드분율