

A Study on the Influence of Frozen Hydrometeor Aerodynamics on Weather Radar–Estimated Atmospheric Turbulence Intensity

Sung-Ho Suh, Eun-Ho Choi, and Hong-Il Kim

Flight Safety Technology Division, NARO Space Center, Korea Aerospace Research Institute (KARI)

Corresponding author: Author Name, suhsh@kari.re.kr

This study analyzes the dependence of radar velocity spectrum width (σ_v) representing the magnitude of atmospheric disturbances such as turbulence and vertical wind shear (VWS) on ice crystal type. The σ_v zones shown as extreme values were identified only in stratiform precipitation and they are highly related to the hydrometeor growth zones (GZ): The Dendrite Growth Zone (DGZ) and the Needle Growth Zone (NGZ), where dendrite (DN) and needle (NE) type ice crystal is dominant, respectively.

Statistical analysis of dominant microphysical properties of ice crystals and their relationships with atmospheric disturbance in GZs was performed for eight precipitation cases under various conditions (precipitation type, season).

The σ_v -VWS relationships have remarkable differences in ice crystal type. While σ_v in NGZ is independent of VWS, it strongly depends on VWS in DGZ. Moreover, in the transition area between the two zones, the σ_v -VWS relationships were weaker than that of DGZ. Z_{DR} , which is inversely proportional to the strength of VWS, has a negative relationship with σ_v in GZs. This relationship was significant in DGZ at approximately $-1.3 \text{ m s}^{-1} \text{ dB}^{-1}$, but in NGZ it was about $-0.2 \text{ m s}^{-1} \text{ dB}^{-1}$.

The vertical profile pattern of the dual-pol radar variables was altered with the σ_v zones as the reference and these phenomena depended on the magnitude of σ_v . Vapor deposition growth and aggregate phenomena, which are highly related to the existence of DN, were found by dual-pol. radar variables in the upper and bottom layers of the σ_v zone in the DGZ, respectively. Rime splintering and fragmentation of supercooled droplets, which are parts of Secondary Ice Production (SIP) that can explain the NE generation mechanism, were expected in the upper and bottom layers of the σ_v zone in NGZ, respectively.

정지궤도위성과 레이더 관측을 결합한 2022년 8월 서울 집중호우 조기 탐지 연구

김규연¹, 최용상¹, 허준호²

¹이화여자대학교 기후에너지시스템공학과

²오클라호마대학교 기상학부

2022년 8월, 서울 수도권에 발생한 집중호우는 국지적인 대류운의 지속적인 발생에 의해 큰 피해를 유발하였다. 당시 집중호우에 대한 예보는 있었으나, 정확한 발생 시점이나 장소에 대한 예보는 어려웠다. 집중호우를 조기에 탐지하기 위해서는 고해상도의 실시간 자료가 필수적이며, 이를 위해 강수 구름의 특성을 이해하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 한국의 정지궤도위성인 천리안 2A호(GEOstationary KOrea Multi-Purpose SATEllite 2A, GEO-KOMPSAT-2A, GK2A)와 도플러 기상레이더(RKSG Camp Humphreys Weather Surveillance Radar 88 Doppler, WSR-88D)를 이용하여 집중호우를 유발하는 강수 구름의 특징을 분석하고, 집중호우의 전조 신호를 파악하였다. 천리안 2A호의 구름 산출물은 10분 간격으로 제공되며 구름광학두께, 구름유효반경, 운정온도와 같은 구름물리 변수를 활용하였다. 강수 관측 자료는 기상청에서 제공하는 종관기상관측 자료를 이용하였다. 천리안 2A호로 구름 특성을 살펴본 결과, 집중호우 발생 1-1.5 시간 전에 운정온도가 215 K 이하로 낮은 값을 유지하는 패턴을 보였다. 그러나 천리안 2A호만으로 집중호우의 정확한 시작 시점을 구별하는 데에 한계가 있었다. 반면, 도플러 기상레이더로 관측한 액체수분함량이 집중호우 시작 전에 급격히 증가하는 현상이 관측되었다. 따라서, 천리안 2A호와 도플러 기상레이더에서 관측한 구름 특성을 결합함으로써 집중호우의 전조 신호를 더 효과적으로 탐지할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 정지궤도위성과 레이더 관측을 결합하여 집중호우의 초기 전조를 이해하고 예측하는 데 있어 시너지 효과를 강조하며, 이를 통해 한반도의 집중호우를 실시간으로 파악하고 예보의 정확성을 높이는 데 기여할 수 있기를 기대한다.

Key words: 집중호우, 구름산출물, GK2A, 레이더

천리안 기상위성 기반 기상 레이더 유사 강우 데이터 생성 연구

김연준, 홍성욱

세종대학교 환경에너지융합학과

본 연구는 딥러닝 기반 데이터 간 변환(D2D) 방법을 통해 천리안 기상위성(GK2A) 관측 데이터에서 기상 레이더 강우 데이터를 모의하는 연구를 수행했다. D2D 방법은 Pix2Pix의 적대적 학습 구조를 기반으로 레이더 반사도와 위성 반사도 또는 밝기 온도와 같은 물리적 단위를 갖는 데이터를 정규화한 데이터셋을 이용한다. 본 연구는 훈련 및 테스트 데이터 셋을 구축하기 위해 GK2A 관측 데이터를 입력 도메인으로, 기상 레이더의 Hybrid Surface Rainfall (HSR) 관측 데이터를 타겟 도메인으로 사용하였다. 총 데이터셋은 2019년 9월부터 2021년 9월까지 3년 동안의 4,000건의 강수 사례로 구성되었으며, 80%는 훈련용, 10%는 검증용, 10%는 테스트용으로 분류되었다. 또한 데이터셋은 강수 강도와 분포에 따라 비강수, 층운형 강수, 대류형 강수 세 가지 유형으로 분류되어 강수 유형별로 D2D 모델의 강수량 추정 정확도를 평가하였다. GK2A의 16개 밴드 및 밴드차 조합 중 HSR 자료와의 결정 계수(R-squared) 값이 가장 높은 세 개 조합과 일반적으로 위성 기반 강수 알고리즘에서 사용되는 적외선 밴드 조합을 선정하여 활용했다. 특히, 이 연구에서는 선택된 밴드의 의존성을 줄이고 구름 덮개, 수증기 함량 및 강수의 시간적 변화를 이해하기 위해 10분 간격의 오일러 시간 차이를 함께 활용했다. 제안된 D2D 모델의 기상 레이더 유사 강우강도(RR) 추정 성능은 독립적인 기상 레이더의 강수 데이터를 사용하여 검증되었다. 또한, GK2A 강우강도(GK2A RR), Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Cloud Classification System (PERSIANN-CCS) RR, 그리고 Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement (IMERG) RR 제품과 같은 전통적 방식과 인공지능 기반의 현업 산출물과의 비교를 통해 D2D 모델의 성능을 검증했다. 분석 결과 D2D 모델은 비강수, 층운성 강수, 대류성 강수와 같은 모든 강수 유형에서 기존 산출물들과 비교하여 우수한 성능을 보였다. 또한 한국의 기상 레이더의 관측 반경을 넘어 한국을 포함한 동아시아 지역에서 D2D 모델을 통해 추정된 유사 기상 레이더 RR은 IMERG RR 및 PERSIANN-CCS RR 산출물과 유사한 강수 분포를 나타냈다. 결과적으로, 제안된 D2D 방법은 레이더의 제한된 관측 범위를 보완하기 위해 정지궤도 기상위성의 높은 시간 해상도를 활용하여 기상 레이더와 유사한 강수 분포 및 강도를 추정할 수 있으며 이는 한반도 주변 강수 상황 모니터링 및 초단기 예보에 있어 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 저널에서 출판되었다.

Key words: 강수, 인공지능, 레이더, 천리안 기상위성, Data-to-Data Translation

※ 본 연구는 기상청 국립기상과학원의 「AI기상예측기술개발」(KMA2021-00121)과 「AI 데이터 융합서비스 기술 개발」(KMA2021-00122)과 환경부 국립환경과학원의 「인공지능 기법을 적용한 환경위성(GEMS) 야간 관측자료 산출 연구」(NIER-2024-01-02-035) 및 한국연구재단(RS-2024-00406271)의 지원으로 수행되었습니다.

정지궤도 초분광적외탐측기(GeoHIS) 가상관측자료를 활용한 한국형수치예보모델(KIM) 영향평가

조영준¹, 김창환¹, 한현준², 손지영¹, 전형욱¹, 강전호², 이용희¹

¹기상청 수치모델링센터 수치자료응용과

²차세대수치예보모델개발사업단

온습도, 바람 등 직접적인 대기 연직 관측은 라디오존데를 이용하여 수행되어져 왔지만 주로 육상, 고정된 지점에서 하루 2~4회 관측한다. 반면 기상위성은 광범위한 영역에서 해양을 포함한 기상감시 공백지역에 대해 조밀한 관측이 가능하다. 특히, 대기 불안정도, 연직쉬어, 총가장수량 등 강수 구름의 발생, 이동 및 발달과 관련된 기상변수를 산출할 수 있어 실황예보에 직접 사용될 수 있을 뿐만 아니라 수치모델 입력자료로 활용되어 예측정확도 향상을 기대할 수 있다. 2000년대부터 고품질의 극궤도 위성 초분광적외탐측기 자료(AIRS, IASI, CrIS 등)가 제공되면서 유럽중기예보센터(ECMWF), 영국기상청(Met office) 등 현업 수치예보모델 예측정확도 향상에 크게 기여하였다(Joo et al., 2013). 그러나 극궤도 위성은 관측 특성상 동일한 지역에서 일 2~4회 정도만 관측이 가능하므로 최근 시공간분해능(예: 1시간 간격, 4 km)이 높은 GeoHIS 활용 연구가 활발히 진행되고 있다. 세계기상기구(WMO)는 2040년까지 최소 5기의 GeoHIS 운영을 목표로 하는 “Global Ring”을 비전으로 제시하였다(WMO, 2019). 이러한 비전에 맞추어 우리나라뿐만 아니라 주요 기상선진국에서 초분광적외탐측기를 탑재한 차세대 정지궤도 위성을 계획하고 있다.

기상청은 2020년 4월 28일부터 독자 개발(2011~19년)한 한국형수치예보모델을 현업운영 중이고, 2036년에 GeoHIS를 운영할 계획이다. 따라서 한국형모델에 차세대 위성관측인 GeoHIS 활용체계를 구축하고, 예측 영향평가를 선제적으로 수행할 필요가 있다. 본 연구에서는 한국형모델 기반 가상관측 영향평가체계(KIM-OSSE)를 활용하여 차세대 GeoHIS에 대한 한국형모델 예측 성능을 분석하였다. 모델 수평해상도는 25 km이고, 연직해상도는 80 km 고도까지 91개 층으로 구성되어 있다. 자료동화 방법은 융합형 4차원 앙상블 변분자료동화(Hybrid-4DEnVar) 기법이 적용되었다. GeoHIS를 포함한 총 18종의 가상관측자료를 생산하기 위해 ECO1280 Nature Run(NR) 자료를 이용하였다. GeoHIS 위치 및 파장은 천리안2호와 GIIRS 센서의 특성을 적용하였다. GeoHIS 활용 여부를 조건으로 각각 CTL(17종)와 EXP(18종; CTL+GeoHIS) 실험을 수행하였다. 모델 수행기간은 10월 한달간 수행되었고, 영향평가 기간은 스핀업 타임을 제외한 10월 5~31일까지이다. NR 자료를 기준으로 EXP와 CTL 각각의 RMSE를 계산하였고, EXP와 CTL을 비교하여 오차 개선율(%)을 계산하였다. GeoHIS 자료가 사용(EXP)되었을 때, 중상층 온도, 바람, 지위고도의 경우, 북반구 지역에서 개선이 확인되었고, 관측지역인 동아시아 지역에서 뚜렷한 개선을 보였다. 이러한 결과는 향후 차세대 위성 발사 계획 수립 시 정책지원 자료로 활용될 것이다.

Key words: GeoHIS(Geostationary Hyperspectral Infrared Sounder), KIM-OSSE (Korean Integrated Model-ObservingSimulation System Experiment)

※ This research was supported by 「Development of Numerical Weather Prediction and Data Application Techniques(Grant No.: KMA2018-00721)」 from the Korea Meteorological Administration(KMA). We thank ECMWF for producing and CIRA/CSU for distributing the ECO1280 nature run.

광학흐름기법을 이용한 기상레이더 강수정체구역 탐지

모선진¹, 구지영², 이승우¹, 예보영¹

¹기상레이더센터 레이더분석과

²기상청 국제협력담당관

집중호우 및 홍수와 같은 재해를 유발하는 주요 원인 중 하나는 강수 시스템의 정체 현상이다. 따라서 정체된 강수 시스템을 정확하고 신속하게 탐지하는 것은 재해 예방 및 피해 저감에 매우 중요하다. 기존의 강수량 기반 접근 방식은 일정 시간 동안의 누적 강수량을 기준으로 정체 여부를 판단하기 때문에, 정체된 강수 시스템의 느린 이동 특성을 완전히 반영하지 못하는 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고 강수 정체 영역을 효과적으로 탐지하기 위해 기상 레이더 이미지와 광학흐름기법(optical flow)을 활용하는 새로운 기술을 개발하였다. 광학흐름기법은 시간에 따른 레이더 이미지의 픽셀 변화를 분석하여 강수 시스템의 이동 방향과 속도를 나타내는 벡터 정보를 산출해 내는 기법이다.

광학흐름기법으로 연속된 레이더 이미지에서 벡터를 계산하고, 이를 레이더 반사도와 결합하여 강수 정체 영역을 탐지하는 알고리즘을 개발하였고, 개발된 기술의 효용성을 검증하기 위해 다양한 강수 사례에 적용하여 분석하였으며, 광학흐름기법이 정체된 강수 시스템을 식별하는 데 효과적임을 확인하였다. 특히, 장시간 지속되는 집중호우를 유발하는 정체성 강수 밴드, 산악 지형에 의해 발생하는 지형성 강수, 그리고 빠르게 발달하는 국지성 강수 시스템을 성공적으로 탐지하였다.

본 연구에서 제시된 다양한 사례 분석은 광학흐름기법 기반 강수 정체 탐지 기술의 가능성을 보여준다. 향후 본 연구에서 개발된 기술은 기상 예보 및 재해 예측 시스템에 활용되어, 집중호우 및 홍수로 인한 피해를 줄이는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Key words: 강수 정체, 기상레이더, 광학흐름기법, 집중호우, 반사도

※ 본 연구는 기상청 기상레이더센터 R&D 연구개발사업 “국가레이더 통합 활용 기술개발”의 소형기상레이더 분석기술 및 레이더 신기술 개발(KMA2021-03221)의 지원으로 수행되었습니다.

윈드라이다 1년 관측을 통한 여의도 상공 초저고도 바람 특성 분석

나성준, 김용하, 한상대, 성성철, 김은종

주식회사 동녘

서울 여의도는 한강을 통해 공항으로 연결되는 거점지역으로서 미래 도심항공교통(UAM: Urban Air Mobility)의 주요 회랑 및 버티포트 후보로 예상되는 지역이다. 기상청은 2024년도 한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술개발 R&D 사업의 기상분야 사업으로 'UAM 운항 지원을 위한 기상관측 및 예측기반기술 개발' 사업을 진행하고 있지만 아직 주요 테스트베드 후보지의 회랑 및 버티포트 상공의 연직 바람관측자료는 거의 전무한 실정이다.

당사에서는 도심항공교통 사업과 무관하게 2023년 10월부터 서울시에서 추진하는 '서울달' 계류식 가스기구 운용 사업과 연계하여 당사에서 보유한 윈드라이다를 여의도공원 설치하여 여의도 상공의 연직바람 관측을 수행하고 있다. 관측지점은 여의도공원 관리사무소 옥상으로서 공원의 가장 가운데 위치해 있는데, 남동쪽으로는 100m 내외의 고층 빌딩이 선형으로 인접해 있으며, 그 밖의 방향으로는 거의 평지 지형에 낮은 건물, 공원들만 위치해 있다. 연직바람관측자료의 보유 기간은 2023년 10월부터 약 1년간 데이터를 보유하고 있으며, 관측고도는 1차 관측(2023.10~2024.7) 기간은 40~350m 까지 10m 간격으로 관측을 수행하였으며 현재 2차 관측(2024.8~현재) 기간은 56~1817m 까지 15m 간격으로 관측을 수행하였다. 관측 시간해상도는 1초이며, 관측요소는 고도별 풍향, 풍속, Zwind, SNR 등이다.

본 연구에서는 1년간 여의도 상공 초저고도 바람 관측자료를 통해 월별 풍향을 분석하고, 악기상이나 여름철 열적 대류가 활발하게 나타날 경우 초저고도 내 바람 급변동 현상의 분석을 통해서 연직시어 등 도심항공교통(UAM) 설계 시 고려해야 할 바람 급변동성의 다양한 형태를 분석해 보았다. 본 연구는 당사의 자체 분석 결과로서 초기 연구단계에 불과하지만 초저고도 내에서 바람의 변동성이 짧은 시간에 얼마나 크게 나타날 수 있는가를 이해하는데 도움이 될 것이다. 또한 여의도에서 현재 운영 중인 '서울달' 가스기구는 100~150m 상공에서 운영되고 있는데, 서울달 운영팀에서 1초 단위의 실시간 윈드라이다 관측자료를 어떻게 모니터링하여 운영에 활용하는지 제시함으로써 향후 도심항공교통(UAM) 기상관측자료 모니터링 연구에도 참조할 수 있을 것으로 사료된다.

Key words: 윈드라이다, 도심항공교통, 연직바람관측, 서울달, 빌딩풍