



다중 이중편파 레이더를 이용한 적설하중 위험 추정기술



강나래

한국건설기술연구원
수자원하천연구본부
수석연구원
naraekang@kict.re.kr



황석환

한국건설기술연구원
수자원하천연구본부
연구위원
sukany@kict.re.kr

01 서론

과거 적설관측은 유인관측이 가능한 종관기상관측소(Automated Synoptic Observing System; ASOS)에서 적설판을 이용한 목적관측을 기본으로 하였다. 그러나 최근에는 다지점 레이저 적설계 등을 이용하여 관측하고 있다. 현재 적설은 전국에 182개 지점에서 관측되고 있으며, 지속적으로 레이저 적설관측장비를 설치하고 있으나, 관측소 간 거리가 20km 이상인 지역이 많고, 관측값의 신뢰도가 높지 않아 시·공간적으로 집중성이 강한 폭설 사상에 대한 적설심을 정확하게 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 이에 대한 해법으로 전국을 수백미터 해상도까지 관측 가능할 뿐만 아니라 적설의 종류까지 판별 가능한 첨단 이중 편파(dual polarization) 레이더를 활용한 연구가 진행되고 있다.

이중 편파 레이더에서 얻어지는 관측변수들(반사도, 차등반사도, 차등위상차, 비차등위상차 등)을 이용하면 대기 중에 존재하는 강수 입자의 구조를 파악하여 강수입자 종류의 구분이 가능하며(이재경 외, 2014), 강우, 강설, 우박, 강우/강설 혼재 등의 구분을 통해 위험 기상 예측능력을 향상시킬 수 있다.

본 고에서는 행정안전부 「기후변화로 인한 대설 피해 추정기술 고도화」 연구과제에서 수행하고 있는 “다중이중편파 레이더 기반 적설심/적설하중 위험 추정기술” 연구를 소개하고자 한다.

02

기술개발 동향 및
현황

적설량은 고도에 많은 영향을 받는 강수량, 기온 등의 기상인자에 대하여 매우 민감하기 때문에 공간적 변동성이 매우 크다. 그만큼 조밀한 관측이 필요하나 지상기상관측소에서 관측하는 적설심은 공간적인 밀도가 낮아, 대설이 발생한 지점에 대한 정확한 적설심을 추정하는데 한계가 있다. 따라서 정확한 적설심 추정을 위한 실시간 적설의 유형 및 적설심의 공간분포 파악을 위해 이중편파 레이더 관측 정보와 같은 원격탐사자료를 활용하는 기술 개발이 필요하다.

다수의 연구에서 레이더로부터 산정되는 레이더 반사도(equivalent reflectivity; Z)를 이용하여 강설에 대한 강수강도(equivalent snowfall rate; R) 관계식을 산정하여 적설량을 산정하는 연구를 수행하였다(Marshall and Gunn, 1952; Sekhon and Srivastava, 1970; Fujiyoshi et al., 1990; Rasmussen et al., 2003; Wolfe and Snider, 2012).

이들은 많은 사례 분석을 통해 관측의 부정확성 문제와 레이더 반사도 인자와 강설의 강수강도 사이의 관계($Z-R$ equation) 도출에 대한 불확실성이 존재하며, 이외에도 강설의 밀도, 결정 종류, 결착과 부착의 정도 그리고 낙하 속도, 온도에 의한 유의한 영향이 있음을 확인하였다. 또한 Tiantian YU(2021)은 강설의 강수강도(snowfall rate; S^d) 추정을 위해 레이더 반사도(Z)뿐만 아니라 이중 주파수 비(Dual-Frequency Ratio, DFR)를 이용하여 실제 폭설 사상 동안 강설 추정을 위한 $S-Z$ 및 $S-Z-DFR$ 관계를 도출하였으며, $S-Z-DFR$ 알고리즘이 강설량의 정량적 강수추정(Quantitative Precipitation Estimation; QPE)을 위한 유망한 방법 중 하나라고 할 수 있으며 전지구 강설 관측(Global Precipitation Measurement, GPM)의 평가를 위한 지상 검증 도구로 사용될 수 있음을 제시하였다.

NOAA의 NSSL(National Severe Storms Laboratory)에서는 수문학적, 항공 및 수치 기상 예보와 함께 위험 기상 예보 개선을 위한 의사 결정 능력을 향상시키기 위해 다중 레이더 / 다중 센서 시스템(MULTI-RADAR / MULTI-SENSOR SYSTEM; MRMS) 시스템을 개발하였다. MRMS는 여러 대의 레이더, 지상 및 상공 관측, 낙뢰 감지 시스템, 위성 관측 및 예측 모델의 데이터를 신속하고 지능적으로 통합하는 완전 자동화된 알고리즘이 탑재된 시스템이다. 그리고 편파 레이더를 포함한 여러 감지 장치를 사용하여 강설량을 추정하고 있다. 이처럼 국내에서도 다중의 레이더 관측 자료를 활용하여 겨울철 재해예방에 적용할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

해당 논문에서는 앞서 강수강도를 R 로 표현

2.1 다중 이중편파 레이더를 이용한 적설하중 위험 추정 기반 구축

레이더 반사도 관측은 강우에 비해 강설 추정시 반사도의 크기가 매우 작아 기존 단일 편파(Single polarization) 레이더의 반사도 만으로는 정확한 강설 추정에는 명확한

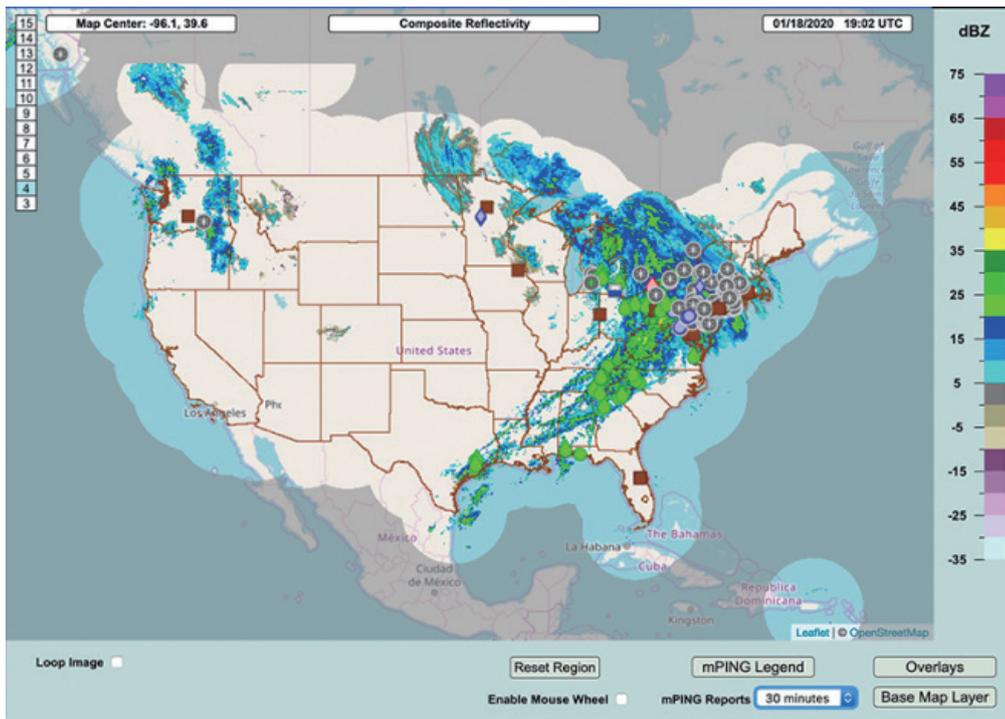


그림 2 National Severe Storms Laboratory(NSSL)의 MRMS 시스템 (<https://www.nssl.noaa.gov/projects/mrms/>)

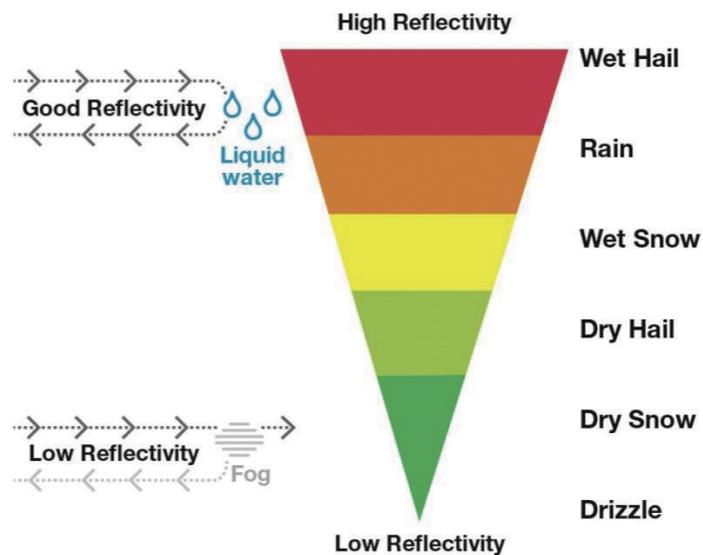


그림 3 강설추정에 기존 반사도 기반 단일 편파 레이더 활용의 한계 모식도

한계가 존재한다(그림 3). 더불어 강설의 경우 입자가 강우에 비해 작은 경우가 많아 정확한 관측을 위해서는 파장이 짧은 X, K 밴드 레이더의 병행 관측이 필요하다.

현재 강설 추정에 활용 가능한 국내 이중 편파 레이더는 S밴드(파장 약 10cm), X밴드(파장 약 3cm), K밴드(파장 약 2cm) 이중 편파 레이더 및 MRR(연직 지향레이더) 활용 가능하다. 본 연구에서는 환경부 및 기상청 S밴드 레이더, 그리고 환경부 X밴드 레이더(울진, 삼척), 그리고 환경부 K밴드 전파강수계 자료를 활용하여 실시간 적설 하중 공간분포 예측 기술을 개발하고 있다.



그림 4 국내 활용 가능한 이중편파 레이더 종류

2.2 다중 이중편파 레이더를 이용한 적설하중 적설심 및 적설하중 분석 기술 개발

본 연구에서는 국내 기상상황에 적합한 겨울철 강수(강설)의 추정 기술 개발을 위해 그림 5와 같이 크게 1) 다중 이중편파레이더 활용 기술 개발과 2) 이중편파 레이더 분석 정보를 활용한 적설하중 위험 추정 기술을 개발하고 있다. 이의 일환으로 적설의 종류(타입)를 추정하기 위해 이중편파 레이더 기반 수상체 분류 알고리즘을 이용하여 지능형 겨울철 강수 특성 분류 기술을 개발하고 레이더 영상자료와 연계한 지상 관측망 자료(적설심)의 공간분포 분석 기술을 개발하고 있다. 이를 통해 기존 지상관측 기반의 적설심과 피해예측 관계식을 레이더 관측 기반의 적설심과 피해예측 관계식으로 개선하여 피해예측의 공간 정밀도를 향상시키고자 한다. 그리고 겨울철 강수의 물리적 특성은 수증기의 증착(vapor deposition), 응집, 서리 및 눈(얼음) 순서로 발전하는 것으로 설명할 수 있으며,

겨울철 강수의 시·공간적 생성 과정을 관찰하고 분류하는 것은 매우 중요한 요소이다. 따라서 국내 겨울철 강설 패턴과 폭설 경보에 활용할 적설심 및 적설하중 추정을 위해 다중의 이종편파 레이더 자료의 각 변수들을 비교 분석하고자 한다.

이렇게 산정된 레이더 분석 정보를 이용하여 적설의 타입과 강설 강도에 따른 적설심 및 적설하중 추정 알고리즘 개발한 후, 적설 하중과 피해 이력 정보 간의 상관식을 도출하고 인공지능을 활용한 적설하중 위험 자율추정 알고리즘의 개발을 추진 중이다. 최종적으로는 지형(지역적 특성) 특성 인자를 고려하여 지역 특성이 반영된 고정밀 실시간 적설(하중) 공간분포 예측 및 위험 기준 맵을 구축할 계획이다.

다중 이종편파 레이더를 이용한 적설심 및 적설하중 분석 기술

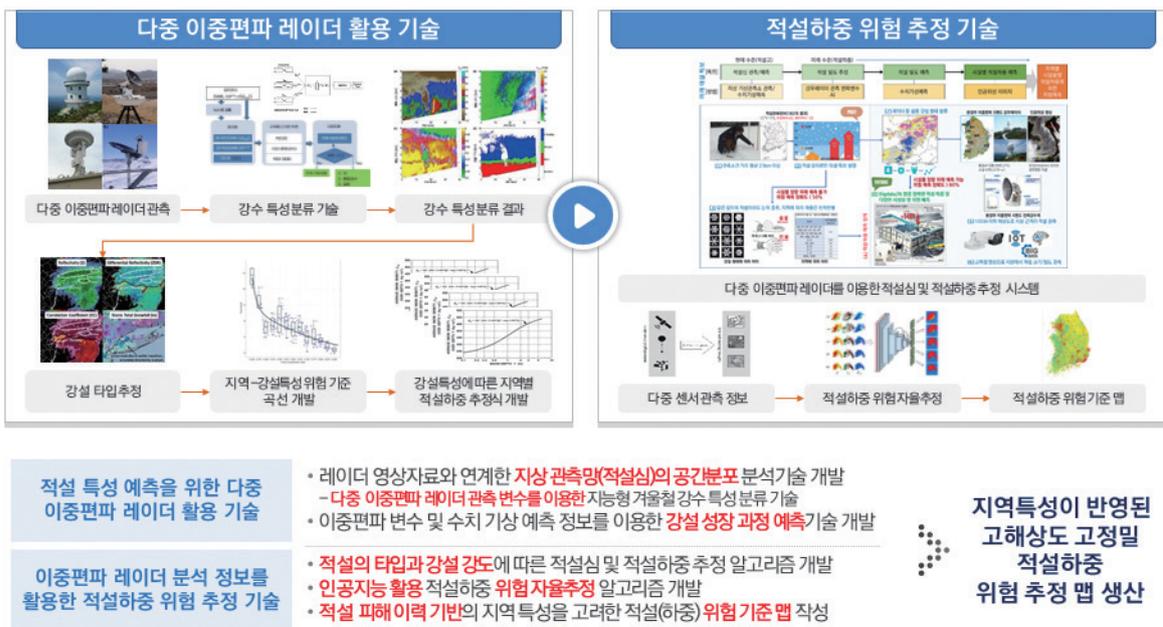


그림 5 다중 이종편파 레이더를 이용한 적설하중 위험 추정기술 개요

04 맺음말

본 기술은 다중 이종편파레이더 관측 자료를 이용하여 적설심 및 적설하중 추정의 정밀도 및 정확도를 높여 기존 지상관측망의 정량적 한계를 극복하고 적설의 정확한 공간적인 분포를 파악하는 것을 목표로 한다. 그리고 기존에 대설로 인한 피해 발생 시 사후 수습 대책에서 사전에 피해를 예측하고 조기 대응하여 광범위한 피해를 줄이는 것으로 대비 체계를 전환하는 것을 궁극적인 목표라고 할 수 있다. 본 연구를 통해 이러한 목표가 완수될 경우에 대설 피해를 조기에 예측하고, 사전에 방지함과

동시에 신속한 대응으로 대설피해에 대한 현장대응력 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 결과물은 행정안전부 기후변화대응 AI기반 풍수해 위험도 예측기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2022-MOIS61-003).

참고문헌

- Marshall, J. S., & Gunn, K. L. S. (1952). Measurement of snow parameters by radar. *Journal of Atmospheric Sciences*, 9(5), 322-327.
- Sekhon, R. S., & Srivastava, R. C. (1970). Snow size spectra and radar reflectivity. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 27(2), 299-307.
- Fujiyoshi, Y., Endoh, T., Yamada, T., Tsuboki, K., Tachibana, Y., & Wakahama, G. (1990). Determination of a Z-R relationship for snowfall using a radar and high sensitivity snow gauges. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 29(2), 147-152.
- Rasmussen, E. A. (2003). Polar lows. In *A Half Century of Progress in Meteorology: A Tribute to Richard Reed* (pp. 61-78). Boston, MA: American Meteorological Society.
- Wolfe, J. P., & Snider, J. R. (2012). A relationship between reflectivity and snow rate for a high-altitude S-band radar. *Journal of applied meteorology and climatology*, 51(6), 1111-1128.
- Yu, T., Chandrasekar, V., Xiao, H., & Joshil, S. S. (2021). Snowfall estimation using dual-wavelength radar during the Pyeongchang 2018 Olympics and Paralympic winter games. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 99(1), 67-77.
- <https://www.nssl.noaa.gov/projects/mrms/>