02 기상레이더

기상레이더센터/레이더지원팀/기상사무관 **남궁지연** 기상레이더센터/레이더운영과/방송통신사무관 **권두순**
기상레이더센터/레이더운영과/방송통신사무관 **김원기** 기상레이더센터/레이더분석과/기상연구관 **남경엽**
기상레이더센터/레이더분석과/기상연구관 **석미경** 기상레이더센터/레이더분석과/기상연구관 **이승우**

2.1. 지상 원격탐사관측장비 운영개선 및 인프라 확충

2.1.1. 지상 원격탐사관측장비 통합관제시스템 구축

기상청은 전국에 흩어져서 운영 중인 지상기반 원격탐사관측장비의 실시간 운영 감시와 신속한 장애 파악 및 복구 등 관리 효율화를 위하여 통합관제시스템을 구축 중이다. 이 시스템은 기상레이더, 연직바람관측장비, 낙뢰관측장비 및 부대장비와 관측소 설비 전체를 하나로 통합하여 계측과 영상에 의한 감시 등 실시간 관제 기능 구현을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 2023년 시스템 기본 설계를 시작으로, 2024년 4월에는 통합관제상황실 구축 공사를 완료하였고, 12월까지 관제시스템 기능을 개발하였다. 2025년에는 관측지점에 관제장비를 설치하고 통합·운영할 수 있도록 기능을 보완하여 안정화 기간을 거쳐 2025년 12월 통합관제시스템 구축을 완료할 예정이다.



그림 3-139 통합관제상황실 및 관제시스템 표출 비디오월

2.1.2. 제주 공항기상레이더(TDWR) 장비 도입 추진

기상청은 공항 주변의 강수, 급변풍 등 위험기상을 입체적으로 감시하고 항공기 안전운항을 지원하기 위해 2022년 9월 인천공항에 공항기상레이더(TDWR)를 설치하였고, 제주에도 공항기상레이더 설치를 추진 중이다.

2023년에 제주 공항기상레이더 타워 및 장비실 등 기반을 구축하였고, 2023년 10월 장비 도입 사업 계약을 체결하였으며, 2024년 5월에 신용장을 개설하고 장비의 원활한 설치를 위한 환경조사를 실시하였다. 향후 제주공항에 장비를 설치한 후, 시험운영과 현장인수검사·검수를 거쳐 2026년 6월에 정식 운영할 예정이다.

2.1.3. 기상레이더 핵심부품 국산화기술 개발

기상청은 기상레이더 핵심기술의 해외 기술의존도를 낮추기 위해 2015년부터 핵심부품에 대한 국산화기술 개발을 추진하고 있다. 2024년에는 레이더 시스템 전체(송신부, 수신부, 안테나부)의 전원을 분배하고 제어하는 핵심부품인 '전력제어분배기'를 개발하였고, 이는 24시간 상시 운영하는 레이더 핵심부품이다. 또한, 운영 상태를 직관적으로 모니터링하기 위해 LCD를 부착하고, 전압, 전류값을 디스플레이를 통해 표출하여 모니터링 편의성을 증대하였다. 특히, 비상정지(Emergency) 기능을 추가하여 유지관리 측면에서 안정성을 확보하였다.

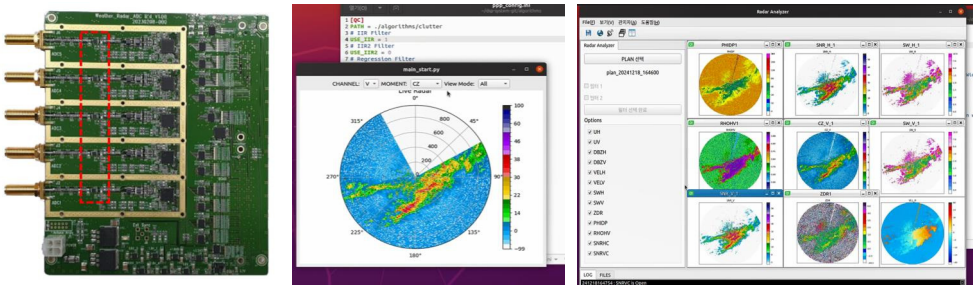


그림 3-140 기상레이더 부품 국산화(전력제어분배기) 개발 현황

2.1.4. 기상레이더 신호처리기술 개발

기상레이더의 두뇌 역할을 하는 신호처리기술은 그간 해외 제작사에서 공개하지 않는 핵심기술로 개발 난이도가 높아 자체적인 성능개선이 어려웠다. 하지만, 제작사 알고리즘에 제한되지 않는 신호처리기술 개발의 필요성에 따라 2021년부터 2025년까지 5년간 「기상레이더 신호처리기술 개발」 R&D 사업을 추진하고 있다.

본 사업의 목표는 대용량의 기상레이더 원시신호를 실시간으로 고속 처리하는 신호처리기 시작품(TRL 6~7)을 개발하여 상용 신호처리기 수준의 핵심기술력을 확보하는 것이다. 2021년부터 2022년까지 기존 레이더시스템에 영향을 주지 않고 신호처리기 개발과 성능시험이 가능하도록 용인 실증관측소에 테스트플랫폼 구축을 완료하였고, 2023년부터 2024년까지는 지형 클러터 제거와 품질변수 임계값 처리기술, 기상모멘트 추정기술 구현 등 신호처리 알고리즘 개발과 신호처리기 시작품 개발을 진행하였다. 2025년에는 개발된 신호처리기 시작품이 안정적으로 운영될 수 있도록 시험운영과 기존 기상레이더 신호처리기와 성능을 비교·검증할 예정이다.



ADC 보드 개선　　지형클러터 제거 결과 실시간 표출　　지형클러터 제거, 기상모멘트 산출 이미지

그림 3-141 기상레이더 신호처리기술 개발

2.1.5. 지상 원격탐사관측장비 운영환경 개선

기상레이더의 안정적인 관측자료 제공을 위해 레이더관측소 청사, 레이돔 및 발전기 등 부대장비에 대한 피뢰설비 성능점검과 보강을 통해 전기안전연구원(KESCO)의 피뢰설비 인증획득을 추진하였다. 올해는 광덕산 기상레이더에 대한 피뢰시스템 진단을 실시하였다. 그 결과를 바탕으로 사무실 청사 분전반 및 서지보호장치 교체, 레이돔 내부의 피뢰돌침 인하도선 추가 설치 등 7개 항목에 대해 2024년 5월 보강공사를 완료하였고, 전기안전연구원의 피뢰설비 레벨 I 을 획득하였다. 앞으로도 레이더 관측장비 및 기반시설 보호를 위하여 매년 1~2개 관측소를 대상으로 피뢰설비 진단 및 보강을 추진할 예정이다.

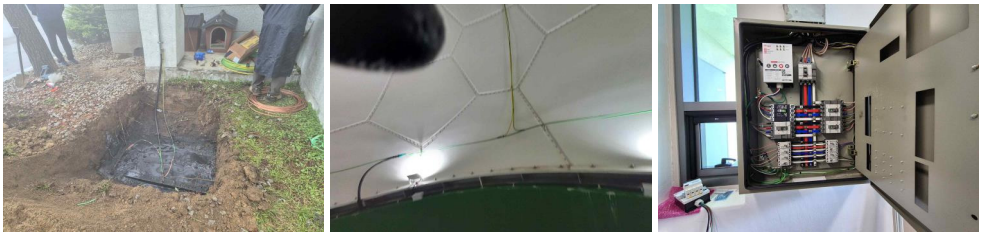


그림 3-142 광덕산기상레이더관측소 피뢰설비 보강

낙뢰관측장비의 수명연장 계획에 따른 노후화된 통합자료처리시스템 교체로 최신 소프트웨어 적용과 보안성을 강화하여 장비운영 안정성을 확보하였다. 또한 여름철 낙뢰관측장비 함체의 내부온도 상승을 최소화하여 장비 과부화를 방지하기 위해 통풍기능이 개선된 함체를 제작하여 흑산도 등 일부 지점에서 운영 중이다.



그림 3-143 낙뢰관측장비 함체 개선

또한, 원격탐사관측장비 운영에 대한 이해도와 유지관리 기술력을 향상시키고자 장애 통계와 조치사례 등에 대한 장애사례집, 기상레이더 점검 시 계측기 사용자 매뉴얼, 통합관제시스템 운영·장애 대응 시 사용자 매뉴얼 등을 발간하였다. 지상 원격탐사관측장비 장애에 대한 신속한 대응으로 역량을 강화하고 자체 운영기술을 향상시켜 장비운영의 안정성을 강화하였다.

2.1.6. 범부처 기상레이더 실증관측소 활용 운영기술 협업

기상청은 국방부, 환경부 등 레이더 운영기관과의 협업을 통해 기상레이더 운영 기술교류 등을 추진하였다. 범부처 레이더 공동활용 촉진을 위해 2024년 3월 기상레이더 실증관측소 운영협의위원회를 개최하여 5개의 협업과제를 발굴하고 부처 간 협업 활성화 방안 등 구체적인 추진방안에 대해 논의하였다. 또한, 범부처 레이더 예방점검 순회 프로그램(2회) 및 기술세미나를 개최하여 기관별 레이더 장애 사례를 공유하고 합동정비를 통해 표준 점검절차 및 운영기술을 공유하였다.

2.2. 레이더기반 위험기상 감시 및 예측정보의 대국민 서비스 강화

2.2.1. 이중편파레이더 품질관리 기술 개선

최근 친환경 에너지 설비 확충에 따라 육·해상의 풍력 발전 단지가 급증하고 있으며, 풍력 발전기에서 반사된 신호가 강한 강도의 비(非)기상 에코로 탐지됨에 따라 레이더 자료품질을 저해하는 요인이 되고 있다. 풍력 발전기 에코는 지상의 고정된 구조물에 기인하므로 프로펠러 정지 시에는 지형 에코와 유사한 관측 특성을 보여 신호처리기의 지형 필터나 품질관리 기술의 정적 지형 에코 지도를 이용해 대부분 제거될 수 있었다. 그러나 과거 맑은 날의 반사도 자료를 수 시간 평균하여 작성된 기존 지형 에코 지도에는 신축 발전기 영역이 포함되지 않으며 프로펠러 구동 시에는 이중편파 관측값의 특성이 강수 에코에 가까워져 품질관리 후 일부 강한 비강수 에코가 잔류하고 레이더 강수량을 크게 과대 모의하는 오차를 유발한다.

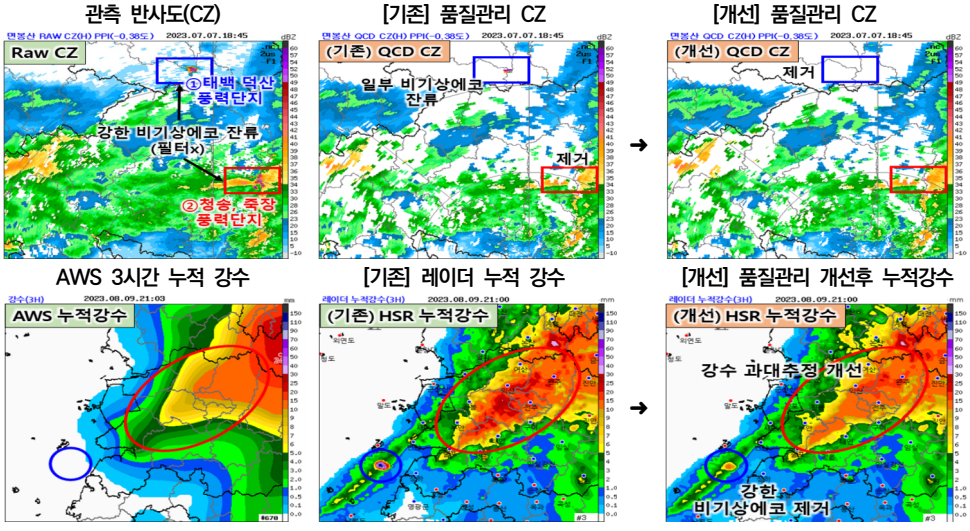


그림 3-144 품질관리 전·후 비기상에코와 AWS 누적 강수 및 개선 후 레이더 누적 강수장 영상

기상레이더센터에서는 신축된 풍력 발전기에 의한 에코를 즉각적으로 분류, 제거하기 위해 실시간 갱신하는 방식으로 정적 지형 에코 지도를 새롭게 정의하고 지형 에코 분류 특성 변수로 활용하였다. 인접한 수일 내 레이더 자료 중 표본 수 시각을 선택하여 실시간으로

반사도장을 평균함으로써 자료 처리 시간은 짧게 확보하는 동시에 이동성이 있는 강수 에코와 고정된 지상 클러터 영역 간 구별이 가능한 지형 에코 반사도 지도를 산출하고, 시간 평균 반사도가 관측 반사도 값과 유사하거나 더 큰 영역을 지형 영역으로 분류, 제거하였다. 또, 하위 고도각과의 연직 평균 반사도를 추가 특성 변수로 개발하여 함께 적용함으로써 풍력 발전기 에코와 강한 지형 에코 잔류를 대부분 제거하였다.

2.2.2. 독자기술 기반 레이더 초단기 강수예측 성능 개선

기상레이더센터는 여름철 방재를 목적으로 2024년 5월 21일부터 한국형 레이더 초단기 강수예측정보의 대국민 서비스를 시작하였다. 이는 10년 만에 기상청이 국외에서 도입한 기술에서 벗어나 독자적으로 개발한 기술을 바탕으로 '한국형 레이더 초단기 강수예측'으로의 전면 전환을 의미하는 것이다. 한국형 레이더 초단기 강수예측은 최근 강수량의 변화 경향을 예측에 반영하고, 최근 강수계의 이동 패턴을 강수의 규모별로 계산하여 비선형적인 강수계의 움직임을 예측한다. 이처럼 기상레이더센터는 정교해진 독자 기술로 국내와 미국 특허권을 취득하여 초단기 강수예측의 우수성을 인정받았고, 기존의 국외 기술과 비교하여 예측 정확도를 10% 향상시킴으로써 더욱 신속하고 정확한 초단기 강수예측정보를 국민에게 제공하고 있다. 한국형 레이더 초단기 강수예측정보 서비스는 국민이 쉽게 이용할 수 있도록 웹사이트와 모바일 애플리케이션을 통해 언제 어디서나 간편하게 확인할 수 있다. '날씨누리 홈페이지'의 '초단기예측-강수'에서 움직이는 영상으로 확인할 수 있으며, '날씨알리미 앱'을 통해 사용자가 위치한 지역에 강한 비가 올 것으로 예상될 경우 사전에 알려주는 '강수 알림' 서비스로 제공된다.

표 3-49 독자 기술 기반의 레이더 초단기 강수예측 기술 비교

구분		MAPLE	MOTION
강수 이동벡터	방법	변분법	교차상관방법+변분보정 (강수규모 및 패턴 분석)
	종류	단일 이동벡터	다중 이동벡터
강수 발달/소멸	방법	-	강수에코 강도 변화량 추적 산출
	종류	-	에코 변화량강수증감률 반영

※ MAPLE: McGill Algorithm for Precipitation nowcasting using semi-Lagrangian Extrapolation: 캐나다 McGill University에서 개발한 레이더 기반 초단기 강수예측모델 舊현업운용모델

※ MOTION: MOTion vector estimation and extrapolation of radar echo for Integrated Operational Nowcasting: 기상레이더센터의 독자기술 기반 신규 레이더 초단기 강수예측모델

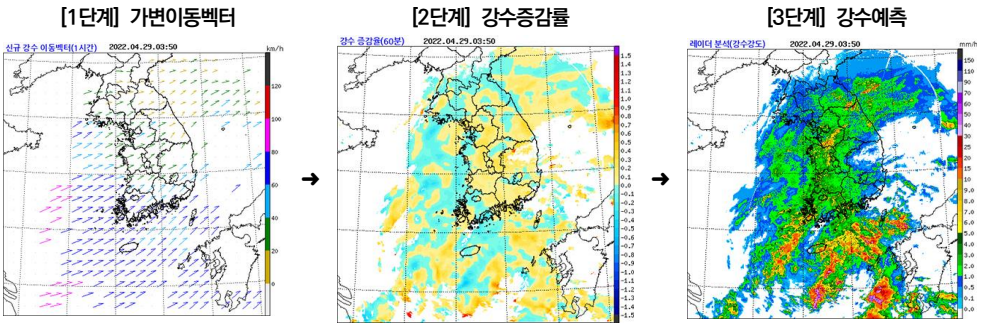


그림 3-145 신규 레이더 초단기 강수 예측기술 주요 기능

2.2.3. 극한 호우 감시 강화를 위한 강수추정 정확도 정보 실시간 제공

기후변화와 극한 기상현상의 증가로 인해 정확한 기상관측 및 예측 기술의 중요성이 주목받고 있다. 특히, 레이더를 활용한 강수추정 기술은 방재와 예보 측면에서 중요한 역할을 한다. 기상레이더센터에서는 사용자 맞춤형 서비스의 일환으로, 지상관측자료(AWS) 대비 레이더 강수 추정정확도 및 편차를 실시간 제공함으로써 예보관의 직관적인 호우 실황 파악과 방재 의사결정을 지원하고 있다.

레이더 강수추정 정확도 실시간 감시시스템은 ①권역·지역별, ②강도 구간별, ③레이더 운영 기관별(유관, 기상청) 지상관측장비(AWS) 관측값 대비 레이더 강수 추정 누적값의 정확도, 그리고 ④레이더와 AWS 간의 강수 편차가 큰 지점을 세부적으로 비교할 수 있도록 구성되었다. 누적 1시간부터 최대 72시간까지의 누적 강수 분포 및 정확도·편차 정보를 제공함으로써 예보관이 호우긴급재난문자(CBS) 발송 등에 레이더 자료를 직관적으로 활용할 수 있도록 2024년 5월부터 종합기상정보시스템에서 제공하고 있다.

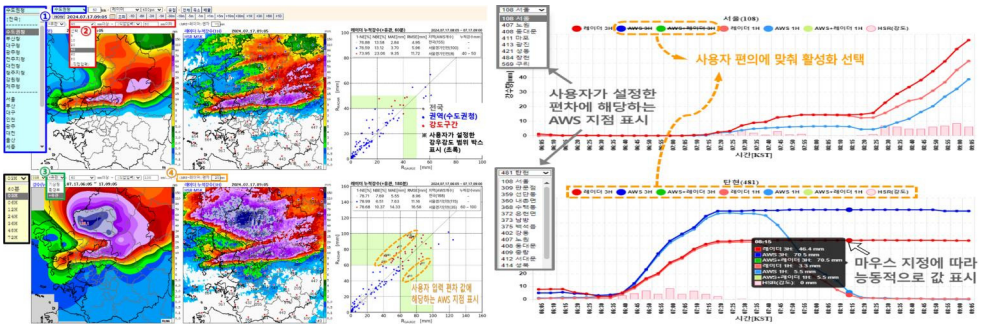


그림 3-146 레이더 강수추정 실시간 감시 시스템 주요 기능 및 AWS 지점별 강수 편차 감시

실시간 감시 시스템의 가장 큰 장점은 한반도 전국 외에도 사용자 관심 지역(예, 수도권청, 부산청, 충북, 강원 등)을 선택하여 감시할 수 있으며 특정 강수강도 범위를 지정하여 강도별 레이더 강수 추정정확도도 감시할 수 있다는 것이다.

2.3. 레이더 대내외 협력 및 대국민 소통 강화

2.3.1. 국가레이더 통합 활용기술 교류 확대

기상레이더센터는 국내·외 레이더 전문가 기술교류를 통한 신기술 동향 파악과 국내 기상레이더 자료 분석·활용 기술 향상을 도모하기 위하여 「2024년 국가 레이더 활용 위험기상 국제 워크숍」을 개최하였다.

이는 2024년 11월 7일, 국내·외 레이더 전문가를 초청하여 레이더를 활용한 세계 각국(미국, 일본, 대만 등)의 위험기상 감시 및 예측기술 등의 공유를 통해 역량을 강화하고자 마련되었다. 특히, 위험기상관련의 다양한 실용화 기술은 물론, 인공지능(AI)을 포함한 혁신 기술의 도입·융합·활용 방안, 수문 분야 활용 및 기상레이더 자료의 연구 방향 제언 등을 공유하였으며, 레이더 자료를 통한 다분야 응용 기술에 대한 발표도 진행되었다.



그림 3-147 2024년 국가레이더 활용 위험기상 국제워크숍(2024. 11. 7.)