2 기상레이더

기상레이더센터 | 레이더지원팀 | 기상사무관 | **남궁지연**
기상레이더센터 | 레이더운영과 | 기상연구관 | **정성화**
기상레이더센터 | 레이더운영과 | 방송통신사무관 | **권두순**
기상레이더센터 | 레이더운영과 | 방송통신사무관 | **오창록**
기상레이더센터 | 레이더분석과 | 기상연구관 | **남경엽**
기상레이더센터 | 레이더분석과 | 기상연구관 | **석미경**
기상레이더센터 | 레이더분석과 | 기상사무관 | **김효정**

2.1. 지상 원격탐사관측장비 확충 및 고도화

2.1.1. 제주 공항기상레이더(TDWR) 설치 완료

기상청은 제주공항 주변의 뇌우, 급변풍 등 위험기상을 입체적으로 감시하고 항공기 안전운항을 지원하기 위해 공항기상레이더(Terminal Doppler Weather Radar: TDWR)의 설치를 진행하고 있다.

2023년 기상레이더 타워, 전기, 통신, 소방 등 부대시설을 구축하고, 2025년 12월 공항기상레이더 설치를 완료하였으며, 향후 종합시험운영과 현장 인수검사·검수를 거쳐 2026년 6월부터 정식 운영할 예정이다.



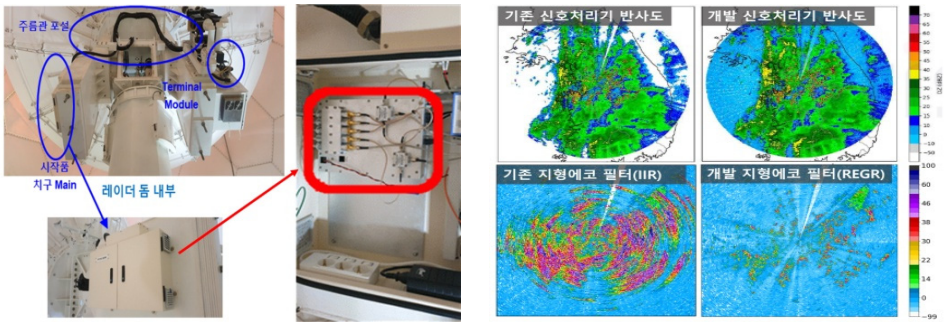
[그림 3-143] 제주 공항기상레이더(TDWR) 관측소(왼쪽)와 송·수신기 장비 설치 모습(오른쪽)

2.1.2. 기상레이더 신호처리 기술개발

기상레이더 신호처리기는 두뇌와 같은 역할을 하는 핵심장비로, 신호처리기술 성능에 따라 자료 품질이 결정되며 기상레이더의 활용성과 최종 산출물의 품질에 큰 영향을 준다. 그 결과, 기상레이더 제작사들은 안테나, 송신기 등 다른 부품들과 달리 상용품을 사용하지 않고 독자적으로 신호처리기를 개발하여 사용하고 있다. 또한, 관련 기술들을 기술보호를 이유로 공개하지 않고 있어, 레이더 장비 도입 이후 국내 기상 및 관측환경에 적합한 신호처리기법 적용 등을 통한 자료 품질개선 요구를 반영하기 어려웠다. 이에 해외 기술 의존도를 낮추고 기술적 자립을 실현하기 위해 2021년부터 2025년까지 5년간 「기상레이더 신호처리기술 개발」 R&D 사업을 추진하였다.

본 사업은 레이더 안테나로부터 수신한 대용량 기상레이더 원시신호를 실시간으로 고속 처리하는 신호처리기 시작품(TRL 6~7)을 개발하여 상용 수준의 핵심 기술력을 확보하는 것을 목적으로 한다. 2022년까지 기존 레이더 시스템의 역설계를 통해 제작사 신호처리기에 영향을 주지 않으면서 레이더 신호를 병행 수신할 수 있는 테스트 플랫폼을 용인 실증관측소에 구축하여 기술 자립을 위한 기반을 마련하였다. 2024년까지 레이더산출물 생산, 지형에코 제거 필터, 품질변수 기반 미세필터 등 주요 알고리즘 및 시작품을 개발하였다. 사업 최종 연도인 2025년에는 산출물의 품질 고도화를 위해 독자적인 신호 합성 방법을 개발하고 프로그램 처리속도 개선과 주파수 및 반사도 보정 기능을 추가하여 신호처리기 시작품을 최적화하였다. 또한, 기존 시스템과의 정밀 비교·검증을 통해 기술적 정합성을 확인함으로써 상용 수준의 시제품 개발을 위한 신호처리 기술력을 확보하였다.

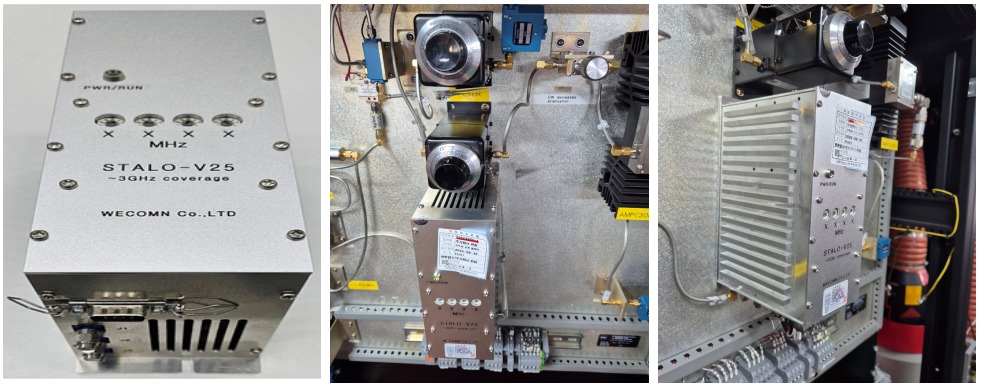
본 연구개발을 통해 해외 기술에 의존하던 신호처리 핵심 알고리즘의 국산화를 달성하는 성과를 거두었으며, 향후 기상레이더 신호처리기 고도화 연구를 통해 상용화가 가능한 시제품을 개발할 예정이다.



[그림 3-144] 신호처리기 시작품(왼쪽)과 레이더산출물(오른쪽 위), 지형에코 필터 비교(오른쪽 아래) 결과

2.1.3. 기상레이더 핵심부품 국산화 기술개발

기상레이더 핵심기술의 해외 의존도를 낮추고 안정적인 부품 수급을 위해 2015년부터 핵심부품에 대한 국산화 기술개발을 추진하고 있다. 2025년에는 고가의 핵심부품 중 하나이며 해외 제작사 주문형으로 제작되어 장애 발생 시 신속한 수급이 어려운 '국부발진기(STAble Local Oscillator: STALO)'를 개발하였다. 국부발진기는 레이더에서 안정적인 기본 주파수를 만드는 장치로, 개발부품은 고주파수 발진, 증폭 및 분할 등 핵심 제어 기능을 구현하였다. 또한, 기존 수입품 대비 주파수 설정 방식을 개선하여 편의성을 증대하였다. 이를 통해 예산 절감과 신속한 예비품 확보가 가능해져 안정적인 기상레이더 운영에 기여하였다.



[그림 3-145] 기상레이더 국산화 부품 '국부발진기' 개발품(왼쪽), 장착 사진(가운데, 오른쪽)

2.1.4. 지상 원격탐사관측장비 통합관제시스템 구축 완료

전국에 설치된 지상기반 원격탐사관측장비(기상레이더, 연직바람관측장비, 낙뢰관측장비)의 실시간 통합 감시와 신속한 장애대응을 위해 2025년 12월 '통합관제시스템'을 구축하였다. 이 시스템은 센터에서 운영 중인 모든 지상기반 현업 원격탐사관측장비, 통신망, 부대장비의 운영현황을 한눈에 감시할 수 있으며, 장애 복구 및 관측장비 운영 최적화를 위한 원격제어 기능을 제공한다. 2023년 시스템 설계를 시작으로 2024년 통합관제상황실 조성 및 핵심 기능 개발하였고, 2025년에는 전국 관측소의 관제장비 설치와 시스템 기능 개선을 완료한 후 안정적인 운영 단계로 진입하였다. 이로써 중단없는 고품질의 기상관측자료 생산을 위한 기반이 강화되었으며, 향후 시스템의 관제 기능 고도화를 추진하여 관측망 관리의 효율성을 극대화해 나갈 예정이다.



[그림 3-146] 통합관제상황실(왼쪽) 및 관제시스템 화면(오른쪽)

2.1.5. 지상 원격탐사관측장비 유지관리체계 강화

지상기반 원격탐사관측장비(기상레이더, 연직바람관측장비, 낙뢰관측장비)의 안정적인 운영과 신속한 장애복구를 위해 2025년 1월 유지관리용역 수행업체를 대상으로 맞춤형 현장교육을 실시하였다. 이를 통해 주요 장애 사례를 공유하고 신속한 제조사 부품 수급 방안을 논의하는 등 장비 유지관리 기술력 향상을 도모하였다.

또한 방재기간 대비 호우, 대설 등 위험기상 감시 강화를 위해 기상레이더 종합정밀점검을 5월과 9월에 실시하였다. 아울러, 기상레이더 현장점검 시 작업 편의를 높이기 위해 안전수칙, 점검방법 및 레이더 시스템관리 기능을 포함한 모바일 앱을 개발하여 레이더 관리업무의 효율성을 향상시켰다.

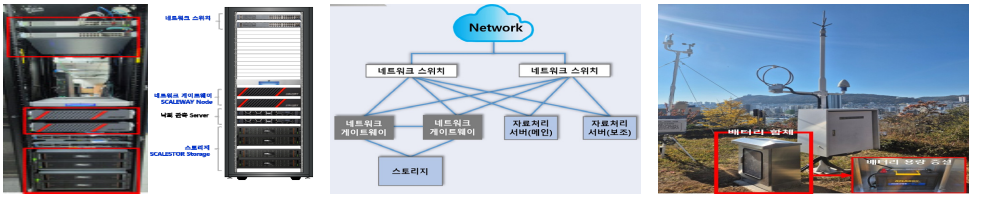


[그림 3-147] 맞춤형 현장교육 사진(왼쪽), 종합정밀점검 사진(가운데), 개발된 모바일 앱 화면(오른쪽)

인천 공항기상레이더 하자보증 기간이 2025년 9월에 만료됨에 따라 공항기상레이더의 체계적이고 표준화된 장비 운영과 부품 관리 등을 위해 점검주기 및 항목별 유지보수 표준절차서와 부품 도록을 발간하였다. 또한, 기상레이더의 고품질 관측자료 생산을 위해 레이더의 주요 변수를 확인하고 설정값을 조정하는 방법을 추가하는 등 정밀점검 표준절차서를 개정하였다.

낙뢰관측장비는 2014년부터 전국 21개소에 설치·운영 중이며, 관측자료 연속성

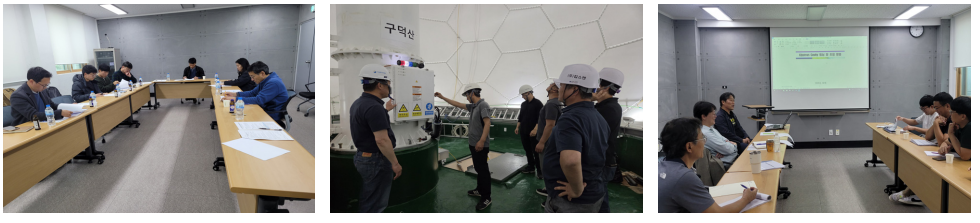
확보를 위해 2030년까지 단계적 수명연장 운용을 추진하고 있다. 이에 따라 노후 전산자원 교체, 운영환경 개선 및 제작사 품질분석을 통해 관측망 운영 안정성을 강화하였다. 2025년에는 대용량 저장장치를 교체하여 저장 용량을 12TB에서 200TB로 확대하고 통신망을 이중화하였다. 또한, 고창·부산 관측지점의 배터리 용량을 12V 12Ah에서 12V 100Ah로 증설하고 전원 선로를 개선하여 정전 시 낙뢰자료처리기의 운영시간을 약 3시간에서 24시간으로 확대하였다. 아울러 제작사의 정밀 품질분석과 센서 매개변수 보정을 수행하였다. 그 결과 유효 낙뢰 횟수가 증가하고, 방위각 불일치 낙뢰 비율이 약 52% 감소하였으며, 낮은 품질의 낙뢰 수가 약 9% 감소하는 등 낙뢰관측자료의 정확도와 신뢰성이 향상되었다.



[그림 3-148] 낙뢰관측장비 노후 전산자원 교체(왼쪽) 및 통신망 이중화(가운데), 배터리 증설(오른쪽)

2.1.6. 범부처 기상레이더 실증관측소 활용 운영기술 협업

기후에너지환경부, 국방부 등 레이더 운영기관과의 협업 및 협력 강화를 위해 기상레이더 운영 기술교류 등을 추진하였다. 범부처 레이더 공동활용을 위해 2025년 2월 기상레이더 실증관측소 운영협의위원회를 개최하여 5개의 협업과제를 발굴하고, 부처 간 과제 수행방법과 실증관측소 활용방법 등 협업 활성화 방안 등에 대해 논의하였다. 또한, 범부처 레이더 예방점검 순회 프로그램(2회) 및 민·관·군 기술세미나를 개최하여 기관별 레이더 장애 사례를 공유하고 합동 정비를 통해 표준 점검절차 및 운영기술을 공유하였다.

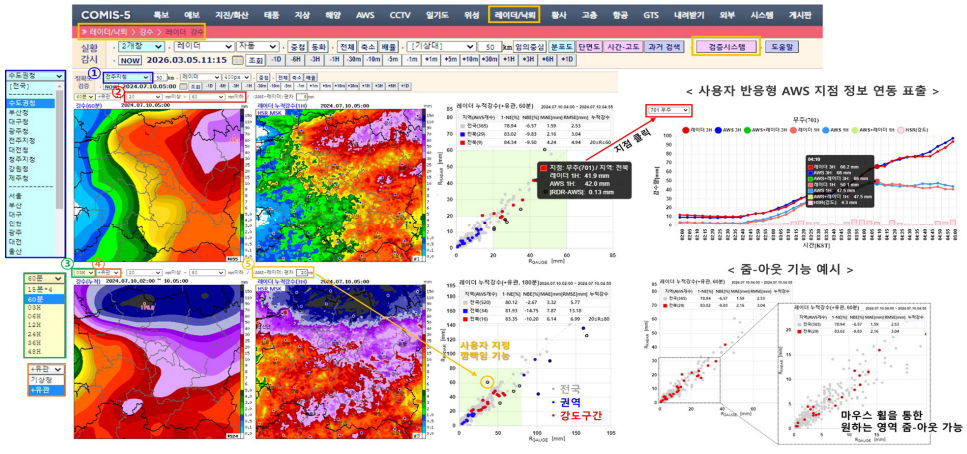


[그림 3-149] 실증관측소 운영협의위원회(왼쪽), 예방점검 순회프로그램(가운데), 기술세미나(오른쪽)

2.2. 위험기상 대응역량 향상을 위한 관측자료 신뢰성 및 예측기술 확보

2.2.1. 지상 원격탐사 기반의 집중호우 대응지원 내실화

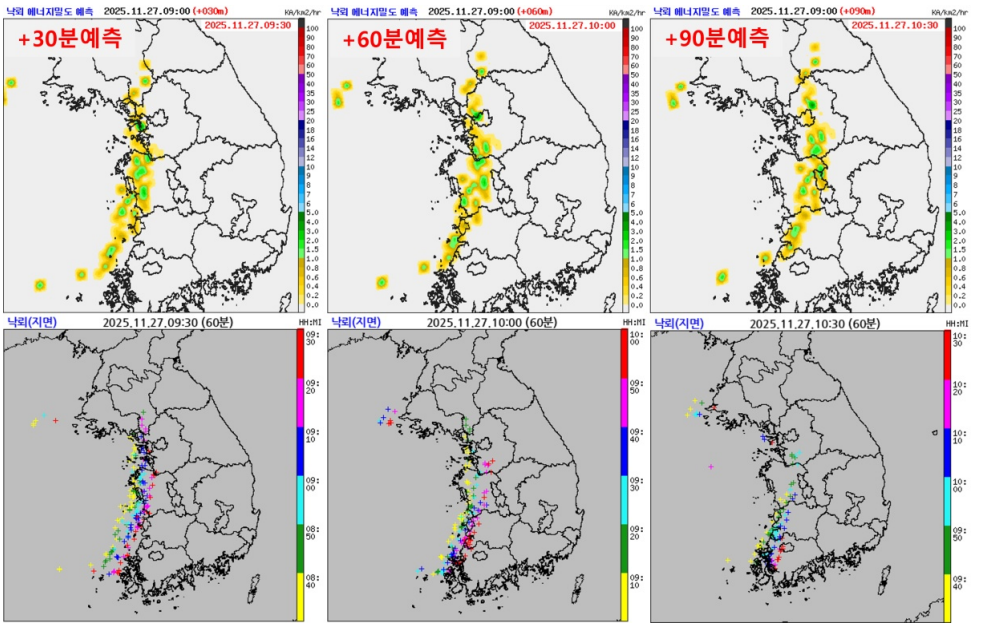
최근 기후변화로 인해 국지적·돌발적 호우가 빈번해짐에 따라 신속하고 정확한 실황 파악과 이를 기반으로 합리적인 방재 의사결정을 지원하는 기술의 중요성이 더욱 커지고 있다. 이에 기상레이더센터는 사용자의 직관적인 이해와 편의성을 높이고, 레이더 누적 강수 정보의 활용도를 강화하기 위해 사용자 반응형(user-responsive) 기능을 적용한 레이더 강수량 감시시스템을 구축·제공하였다. 본 시스템은 실시간으로 산출되는 레이더 누적 강수량과 AWS 관측자료를 기반으로 하여, 웹 환경에서 사용자가 특정 지점이나 관심 영역을 선택하면 연계된 정보를 즉시 시각화하는 상호작용형 분석 환경을 제공한다. 사용자는 마우스 이동과 클릭만으로 별도의 검색 과정 없이 AWS 지점정보와 강수 편차를 직관적으로 확인할 수 있으며, 연동된 시계열 그래프를 통해 단순 누적 강수량 비교를 넘어 레이더와 AWS 간 강수의 시간적 변화 경향까지 종합적으로 분석할 수 있다. 또한 확대·축소 기능을 적용하여 고밀도 자료 분포 구간에서도 개별 지점의 정밀 모니터링이 가능하도록 하였으며, 사용자 지정 강수 편차 감시 기능을 통해 레이더 강수 추정 오차를 실시간으로 인지하여 방재 의사결정에 효과적으로 반영할 수 있는 환경을 마련하였다. 이처럼 본 시스템은 실시간 정보 접근성, 분석 효율성, 활용 편의성을 모두 강화한 통합 감시 체계로서 기상재해 대응 역량을 한층 고도화하는 데 기여할 것으로 기대된다.



[그림 3-150] 사용자 반응형 레이더 강수 추정 감시시스템

2.2.2. 레이더 기반의 위험기상 조기탐지 및 예측역량 강화

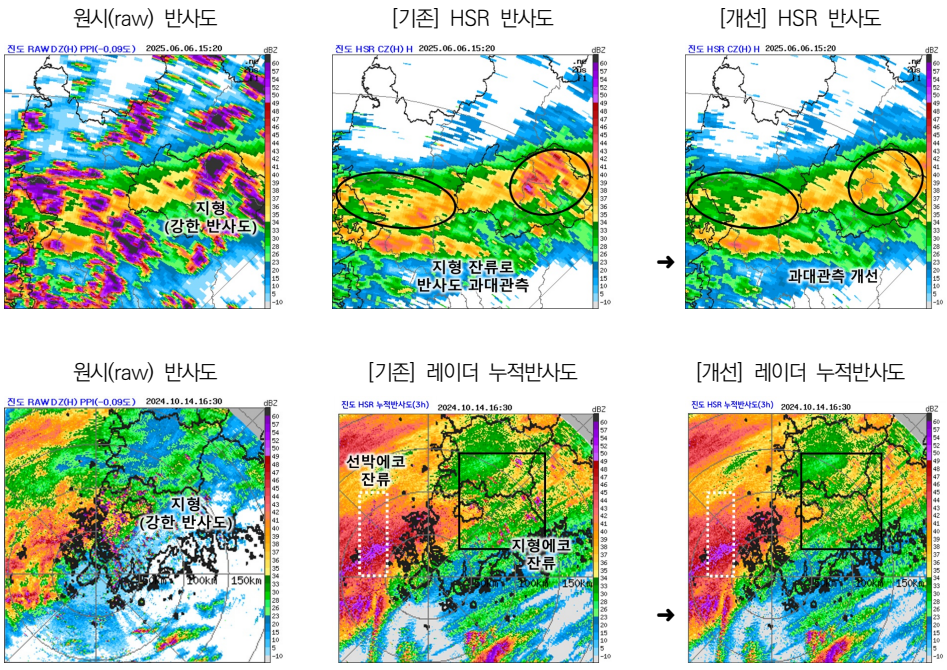
낙뢰는 매우 짧은 시간 내에 발생하고 소멸하는 특성을 가지므로, 선제적인 대응을 위해서는 신속하고 정확한 실황 예측정보의 제공이 중요하다. 그러나 기존의 낙뢰 실황예측 기술은 강수 영역 전체를 대상으로 이동벡터를 산출하는 방식으로 넓은 강수 영역의 평균적인 이동 특성을 반영하는 데는 유용하지만, 국지적으로 급격히 발달하는 대류셀의 이동 특성을 충분히 반영하는 데에는 한계가 있었다. 또한 관측자료 수집부터 예측정보 제공까지의 과정에서 시간 지연이 발생하여, 빠르게 변화하는 낙뢰 현상에 즉각적으로 대응하기에 어려움이 있었다. 이러한 한계를 개선하고 실효성 높은 낙뢰 실황예측 정보를 제공하기 위해, 레이더 자료를 활용하여 낙뢰 발생과 밀접한 강한 대류운 영역을 낙뢰 발생 가능성이 높은 영역으로 정의하고, 해당 영역 내 레이더 에코의 이동만을 선택적으로 추적하여 이동벡터를 산출하는 새로운 예측기법을 적용하였다. 이를 통해 급격히 발달하는 대류셀의 이동 특성을 더욱 정밀하게 반영하여 낙뢰 실황예측 성능을 향상시켰다. 또한 운영체계를 최적화하여 낙뢰 관측자료 수집과 동시에 예측정보를 생산·제공할 수 있도록 함으로써 정보 제공 지연을 최소화하였다. 개발된 낙뢰 실황예측정보는 기상청 '날씨알리미' 앱의 낙뢰 알림 서비스에 적용되어, 신속하고 정확한 낙뢰 정보를 국민에게 제공하는 데 활용되고 있다.



[그림 3-151] 예측시간별 레이더 기반 낙뢰실황예측(위) 및 낙뢰관측(아래)

2.2.3. 지상 원격탐사 관측자료 품질분석 및 개선

레이더 원시 관측자료에는 강수 신호뿐만 아니라 지형, 선박, 파랑, 채프 등 다양한 비기상에코가 함께 관측된다. 이러한 비기상에코는 대기굴절이나 강수 유무와 같은 레이더 관측환경의 변화에 따라 탐지 범위와 강도가 달라지며, 레이더 자료 오염을 유발하여 강수량이 실제보다 과대 추정되는 원인이 될 수 있다. 특히 대기 온·습도의 연직 변화가 큰 환경에서는 레이더 빔의 과대 굴절(super refraction)로 원거리 지형에 의한 에코의 오염 범위와 반사도 강도가 확대되고, 이로 인해 강수량이 과대 추정될 수 있다. 또한 해상에서는 선박에 의해 강한 점 형태의 비기상에코가 탐지되며, 과대 굴절이 발생할 경우 선박에코의 탐지 빈도와 공간적 영역이 더욱 증가한다. 이러한 현상은 해상에서 유입되는 강수강도가 실제보다 강화되어 분석될 수 있어 실황 분석 및 예보에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 기상레이더센터에서 자체 개발·운영 중인 레이더 자료 품질관리 기술(CLEANER)에서는 지형, 산악, 교량 등과 같은 고정형 정적 비기상에코와 시·공간적으로 변화하는 동적 비기상에코를 모두 판별·제거할 수 있는 기술을 적용하였다. 이를 통해 비기상에코의 잔류로 인해 과대 관측되던 반사도 영역을 효과적으로 개선하고, 레이더 강수자료의 품질과 신뢰도를 향상시켰다.



[그림 3-152] 비기상에코 반사도 보정 개선 전·후 예시

2.2.4. 공항기상레이더 관측변수 감시체계 마련

기상레이더센터는 안전한 항공기 운항을 위한 기상지원을 위해 인천 공항기상레이더(Terminal Doppler Weather Radar: TDWR)를 설치하여 운영하고 있다. 공항 및 서해상에서 발생하는 위험기상의 탐지를 위해서는 관측 변수 자체의 편향 오차를 정밀하게 보정하여 신뢰도 높은 기초 자료를 확보하는 것이 중요하다. 특히 C-밴드 이중편파 레이더는 S-밴드와 비교해 강우 감쇠에 취약하므로, 해당 주파수 특성에 최적화된 시스템오차 산출 기술이 요구된다.

기상레이더센터는 C-밴드 이중편파 레이더의 관측변수 정확도 향상을 위해 자기상관 관계를 이용한 시스템오차 산출 기술을 개발하고 이를 현업에 적용하였다. 또한, 강우 시 C-밴드 레이더에 발생하는 레이돔 수막 현상(wet radome)과 차폐 및 강우에 의한 감쇠 영향을 줄이기 위해 전처리 알고리즘을 최적화하였다. 특히, 산출된 시스템오차의 체계적 관리와 관측변수의 품질 감시를 위해 '관측변수 시스템오차 감시시스템'에 인천 공항기상레이더를 추가하여 개별 레이더의 시스템오차 변동을 실시간으로 시각화함으로써, 장비의 이상 여부를 신속히 진단하고 점검할 수 있는 체계를 마련하였다.

2.3. 레이더 대내외 협력 및 대국민 소통 강화

2.3.1. 국가레이더 통합 활용기술 교류

기상레이더센터는 국내·외 레이더 전문가 기술교류를 통한 신기술 동향 파악과 기상레이더 자료 처리 기술 향상을 도모하기 위하여 「2025년 국제 기상·강우 레이더 콘퍼런스」를 개최하였다(그림 3-153).

2025년 11월 11일, 포포인츠 바이 쉐라톤 서울 구로에서 온·오프라인 회의(총 114명 참석)로 동시 진행되었다. 국내·외 레이더 전문가(12명)들이 초청되어 겨울철 강설량 추정, 레이더기반의 위험기상 분석과 예측, 인공지능 기술 융합 및 수치예보 활용 등 3개의 세션으로 레이더를 활용한 최신 연구 성과 및 기술들을 공유하였다. 특히 수문·항공 등 다분야 레이더 활용과 인공지능 등 데이터 기반 기술의 융합 방안을 공유하며 레이더의 미래 기술에 대해 중점적으로 논의하였다.



[그림 3-153] 2025년 국제 기상·강우 레이더 콘퍼런스 (25.11.11.)