02 기상레이더

기상레이더센터	레이더지원팀	기상사무관	**류수호**
기상레이더센터	레이더운영과	방송통신사무관	**권두순, 박충신**
기상레이더센터	레이더분석과	기상연구관	**남경엽, 정성화, 이승우**

2.1. 지상 원격탐사관측장비 운영개선 및 인프라 확충

2.1.1. 공항기상레이더(TDWR) 교체 및 신설

기상청은 공항 주변의 강수, 급변풍 등 위험기상을 입체적으로 감시하고 실시간으로 제공함으로써 항공기 안전운항을 지원하기 위해 주요공항에 공항기상레이더(Terminal Doppler Weather Radar: TDWR) 관측망 구축을 추진하고 있다. 인천국제공항 TDWR(C-밴드, 단일편파)의 노후화(2001년부터 운영)에 따라 2019년부터 신규장비로 교체하는 사업을 추진하여 2022년 9월 첨단 TDWR(C-밴드, 이중편파) 구축을 완료하였다.

인천공항 기상레이더 구매사업은 2020년 12월 독일 레오나르도社와 계약이 체결되었으며, 2022년 1월 현지 제조사 공장인수검사(2022.1.5. ~ 14./독일 노이스)를 거쳐, 2022년 5월부터 인천국제공항 왕산 사이트에 설치하였다. TDWR 설치 완료 후 시스템 시험운영, 자료 호환성 테스트 등을 진행하였으며, 약 4주간 현장교육도 진행하였다. 최종적으로 2022년 9월 최종검사·검수가 완료되었으며, 현재 관제탑, 접근관제소 등 유관기관에 TDWR 관측자료를 제공하고 있다.



그림 3-100 인천공항 기상레이더 구축 공사 및 공항기상레이더 산출물 서비스 현황(관제탑)

표 3-47 공항기상레이더와 종관기상레이더 비교

구분	공항기상레이더	종관기상레이더
주파수	5,637 ㎒(C-Band, 이중편파)	2,700 ~ 2,900 ㎒(S-Band, 이중편파)
안테나	빔폭 0.5도, 직경 8.5m, 이득 50dB	빔폭 1.0도, 직경 8.5m, 이득 44dB
관측반경	120km, 420km	240km, 480km
고도각	감시모드 16개, 위험모드 17개	9개
공항 위험기상정보	윈드시어(WS), 마이크로버스트(MB) 탐지 및 경고(Alert) 메시지 제공	-

또한, 제주국제공항에 신규 TDWR 신설을 위한 사업부지 확보를 위하여 제주도로부터 공유재산(토지) 수의매각 결정과 매매계약 체결 협의(2022.2.16.)를 거쳐 2022년 4월 18일에 사업부지 취득을 완료하였다. 사업부지의 토지규제 특성상 보전관리지역으로 지정되어 있어, TDWR 구축을 위한 인·허가 절차로 산지일시사용협의, 공작물 축조신고, 가설건축물 축조신고 등을 제주시와 협의를 거쳐 2022년 6월 8일에 제주시로부터 최종허가를 취득하였다.

표 3-48 사업부지 취득 현황

소재지	지번	지목	면적(㎡)	취득일자
제주시 애월읍 수산리	산1-26번지	임야	539㎡	2022.4.18.

한편, 사업추진과정에서 민원발생으로 인한 사업지연을 방지하기 위해 상호협력의 일환으로 지역 마을회에서 요구한 마을회관 개축예산을 확보하기 위하여 기상청장-제주도지사 간 업무협의(2022.8.31.)를 추진하였으며, 제주특별자치도에 주민복지 사업(수산리 마을회관 개축) 예산편성 협조를 요청(2022.9.8.)하여, 2022년도 제2회 제주도 추가경정 예산에 반영(2022.12.23.) 되었다. 이로써, 제주공항 기상레이더 설치지역 주민숙원사업을 해결을 통해 원활히 사업을 추진할 수 있게 되었다. 앞으로 제주공항 기상레이더 구매사업을 추진하여 2025년에 구축을 완료할 계획이다.



그림 3-101 제주공항 기상레이더(TDWR) 사업부지 및 모식도

한편, 기상청은 단독으로 운영되던 공항기상레이더의 활용을 강화하기 위해 「인천공항 기상레이더 관측전략 개선 TFT」를 구성(2022.7.1.)하고 공항기상레이더 본래의 기능을 수행하면서 수도권 입체관측망 구축이 가능하도록 관측전략 개선방안을 마련하였다. 이를 통해 공항기상레이더의 관측주기를 6분에서 5분으로 단축하고 관측 고도각을 최적화하며, 관측자료의 송신체계 변경 및 종관 기상레이더 관측망과의 자료합성을 추진하였다. 이로써 수도권 지역 고도 500m 이하 관측영역이 45.4% 향상되는 효과가 있었으며 수도권 위험기상 감시가 강화되었다.

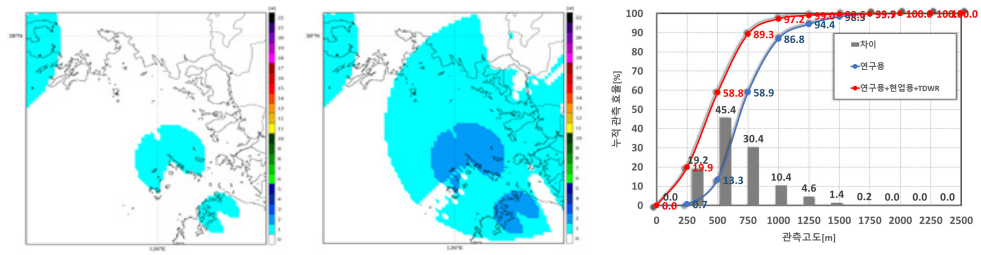

그림 3-102 TDWR 활용을 통한 저층 관측영역(500m) 확대(좌, 중) 및 고도별 누적관측효율 분포(우)

2.1.2. 지상 원격탐사관측장비 운영 및 관리

기상청은 안정적 레이더 운영을 위해 지점·부품별 예비품 교체·운영 기준(2022.3.30.)을 마련하고 주요 예비품(총 50점)을 선제적으로 교체하여 최적 성능을 유지하였다. 또한, 레이더 장애대응 역량 향상을 위해 민·관 합동장애대응 훈련(2회)을 실시하였다. 더불어, 레이더 운영기술 향상 및 노하우 습득을 위해 「기상레이더 운영 동영상 교재」를 개발하였다. 동영상 교재는 레이더 장비에 대한 설명과 현장감 있는 실습 영상(8개 모듈, 30회차)으로

구성하고 점검과정 중 안전관리 유의사항도 반영하였다. 동영상 내용을 기반으로 핸드북 교재 및 모바일 콘텐츠도 개발하여 교육 효과를 증대하였다. 동영상 교재는 향후 환경부, 국방부 등 레이더를 운영하는 타 기관에서도 활용할 수 있도록 공유할 계획이다.

한편, 낙뢰관측장비의 원격 전원제어기를 전 지점 확대설치하고 서지보호기를 보강하였다. 연직바람관측장비는 신호 및 자료처리시스템 점검을 강화하였다. 지상 원격탐사관측장비의 주요 장애 요인을 집중분석하고 선제적으로 개선하여 원격탐사관측장비 가동률을 99.85%로 향상시켰다.



그림 3-103 민·관 합동 장애대응 훈련, 기상레이더 운영 동영상 교재, 낙뢰관측장비 보강, 원격탐사관측장비 연도별 가동률 향상

2.1.3. 기상레이더 핵심기술 자립을 위한 국산화 기술개발

기상청은 기상레이더 핵심기술의 해외 기술의존도를 낮추기 위해 2015년부터 국산화 기술개발을 추진하고 있다. 2022년에는 레이더 송신부 보호와 이상신호를 감지하는 '펄스분배기'를 개발하였다. '펄스분배기'는 송신기에서 사용되는 펄스제어기술과 레이더 제어를 이더넷 기반으로 개발하고, 시제품에 케이스를 제작하여 부품 보호 및 상태표시 기능을 보완하여 유지관리의 편의성을 제고하였다. 또한, 대체 가능한 부품 12종에 대하여 성능검증을 완료하여, 대체가능 품목 21종 중 20종이 조기 현업화되었다. 이는 실증관측소에 부품 성능실험실을 구축(2022.8.31.)으로 테스트장비를 활용하여 감전, 낙상 등 안전사고 방지하고 대체품의 성능검증시간을 단축함으로써 조기 완료를 가능케 했다. 매년 1종 이상 핵심부품 국산화를 추진하고 대체품 21종 외에도 추가적으로 발굴해 나갈 계획이다.

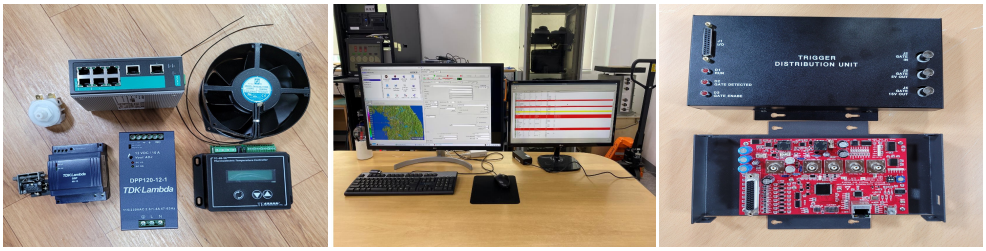

그림 3-104 기상레이더 대체부품 발굴, 부품성능실험실, 펄스분배기 시제품

한편, 우리나라 지형 및 기상상태에 적합한 기상레이더 신호처리기술 개발을 위해 「기상레이더 신호처리기술 개발」 R&D 사업을 2021년부터 2025년까지 5년간 50억의 예산으로 추진하고 있다. 본 사업의 목표는 대용량의 기상레이더 원시신호를 실시간으로 고속처리하는 신호처리기 시제품(TRL 8)을 개발하여 상용 신호처리기 동등 수준 이상의 핵심기술력을 확보하는 것이다. 2021년부터 2022년까지 신호처리기 성능시험을 위한 테스트플랫폼 구축과 신호처리 알고리즘 개발을 완료하였고, 2023년부터 2025년까지 신호처리기 시제품 개발을 완료할 예정이다.

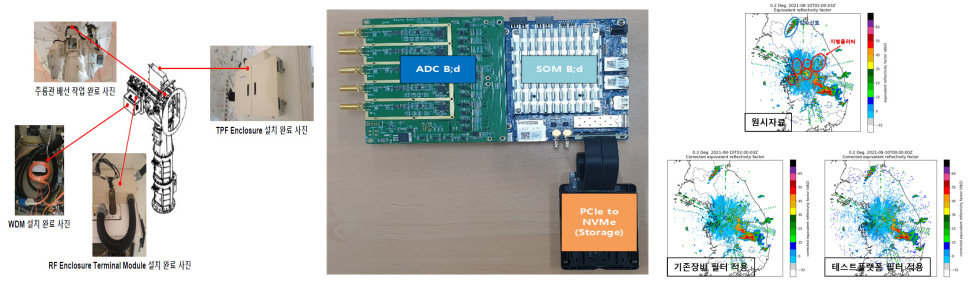

그림 3-105 테스트플랫폼 설치 현황, 메인모듈 개발품, IIR필터 적용 반사도 영상

2.1.4. 범부처 기상레이더 실증관측소 활용 운영기술 협업

기상청은 국방부, 환경부 등 레이더 운영기관과의 협업을 통해 기상레이더 운영 기술교류 및 표준화를 주도하였다. 범부처 레이더 공동활용 촉진을 위해 기상레이더 실증관측소 운영협의위원회를 개최(2022.2.23.)하여 2022년도 실증관측소 활용 협업과제(4개 과제)를 발굴하고 구체적인 추진방안에 대해 논의하고 부처 간 협업 활성화 방안에 대해 토의하였다. 또한, 범부처 레이더 예방점검 순회 프로그램(4회)을 운영하여 기관별 레이더 장애 사례를 공유하고 합동정비를 통해 표준 점검절차 및 운영기술을 공유하였다.

표 3-49 2022년도 기상레이더 실증관측소 활용 협업과제

기관	내용
국방부 공군기상단	기상-강우레이더 합동정비팀 운영 및 기관별 고장사례 토의
한국항공우주연구원	우주센터 2단계 개발사업(레이더 운용/점검 및 자료활용 기술교류)
기상레이더센터 레이더운영과	기상레이더 국산화 부품(대체품) 적용시험 및 호환성 검증
기상레이더센터 레이더분석과	실증관측소를 이용한 위험기상 분석·관측

표 3-50 2022년도 레이더 예방점검 프로그램

구분	일자	장소	내용
1차	2022.3.29. ~ 3.30.	용인 기상레이더 실증관측소	• 레이더 운영시 고장사례에 대한 기관별 발표 • 이중편파기상레이더 분기 합동 정비
2차	2022.5.23. ~ 5.24.	용인 기상레이더 실증관측소	• X-Band 기상레이더 소개 및 운영기술 노하우 발표 • 이중편파기상레이더 운영 방법 기술 공유
3차	2022.8.18. ~ 8.19.	감악산 강우레이더관측소	• 강우레이더 표준절차에 의한 합동 월간 점검 실시 • 공군 정비창에서 운용하는 계측기(Power Meter) 사용법 공유
4차	2022.9.1. ~ 9.2.	광덕산 기상레이더관측소	• 예비품(slip-ring Assembly, Rotary Joint 3종) 탈·부착 작업 • 예비품 탈·부착에 따른 시험운영 및 합동점검 실시

2.1.5. 연직바람관측장비 구축 및 운영

기상청은 상층 바람자료를 입체적으로 파악하여 위험기상을 효과적으로 탐지하고자 2003년 파주, 강릉을 시작으로 총 13개 지점에 연직바람관측장비를 설치·운영하고 있다. 2022년에는 노후화된 지점(철원, 울진)을 교체하여 장비운영의 안정성을 도모하고, 서해안 입체감시 강화를 위해 해남에 연직바람관측장비를 신설(2022.12.23.)하였다. 향후, 위험기상 감시 역량을 강화하고 상층대기 흐름을 연속적으로 관측하기 위해 2026년까지 19개소의 입체관측망을 구축할 계획이다.

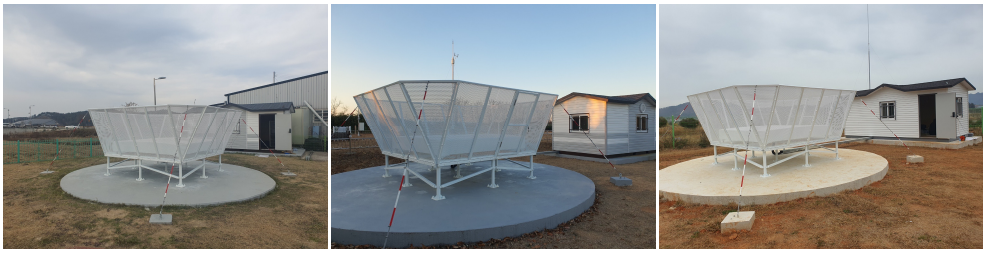

그림 3-106 연직바람관측장비 교체 및 신설 현황(왼쪽부터 철원, 울진, 해남)

표 3-51 2022년 연직바람관측장비 관측지점

기관	주파수	내용
기상청	1290.0 ㎒	철원, 울진, 북강릉, 파주, 군산, 창원, 북격렬비도, 서귀포, 원주, 추풍령, 해남
	437.5 ㎒	백령도, 덕적도
공군	지점마다 다름	태백, 수원, 예천, 대구, 서산, 광주, 사천, 경기광주, 청주

2.2. 레이더 위험기상 감시·예측 기술 개발 및 알림서비스 제공

2.2.1. 레이더 기반 우박 사전탐지 기술 개선

고해상도 3차원 레이더 반사도와 온도자료를 활용하여 우박 사전탐지 기술을 개선하였다. 우박 위험영역을 구분하는 관계식을 산출·적용하였고, 여름철 우박 가능 영역의 과대 탐지를 개선하기 위해 0℃ 고도가 4 km 이상인 경우의 우박 가능 영역 판단 조건을 새롭게 선정하여 적용하였다. 그 결과 우박 가능 영역 과대 탐지가 개선되고 2 cm 이상 크기로 관측되었던 우박 사례는 모두 '우박위험' 영역으로 탐지하였으며, 관측 시간보다 평균 20분 선행하여 탐지하였다. 이러한 개선을 통해 향후 우박에 의한 피해 예방을 위한 보다 정확한 위험기상 예보 지원이 가능하게 되었다.

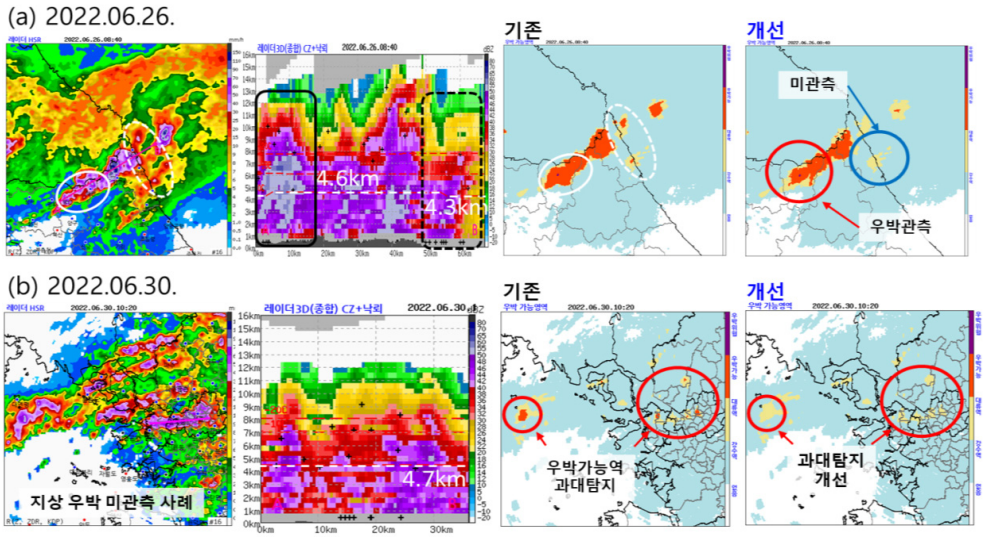

그림 3-107 우박 가능 영역 과대탐지 개선 결과: (a)2022.6.26. 0840 KST, (b)2022.6.30. 1020 KST

2.2.2. 위험기상 신속 대응 지원을 위한 레이더 기반 신규 알림서비스 개발

매년 국지성 집중호우, 우박 등에 의한 사망사고와 재산피해가 발생하고 있으며, 신속한 대응을 위하여 좀 더 선제적으로 위험기상 정보를 국민들에게 제공할 필요가 있다. 그러나 기존 629개의 기상청 지상기상관측망으로는 전국 3,510개에 이르는 읍·면·동 단위의 상세한 위험기상 정보의 제공이 어렵다. 반면 기상레이더는 공간분해능 500m의 약 660만개 격자로

한반도와 주변 해역 및 부속 도서에 대해 빈틈없는 위험기상(호우, 우박) 정보를 제공할 수 있다. 위험기상 정보의 신속한 전달을 위해 레이더 기반 실시간 사용자 위치기반 위험기상 자동 알림서비스 4종(강수시작, 강한비, 우박, 낙뢰)을 신규 개발하여 5월부터 기상청 '날씨알리미' 앱을 통하여 제공하였다. 대국민 앱을 통해 사용자 위치기반으로 위험기상 정보를 탐지 즉시 제공함으로써 대응 선행시간을 확보하여 실질적인 피해 경감에 기여하고 있다.

표 3-52 '날씨알리미' 앱의 레이더 기반 '위험기상 알림' 서비스 발송기준

알림	강수시작	강한비	우박	낙뢰
발송 조건	레이더 강수예측(+1시간) 0.1mm/h이상	레이더 누적 강우 15mm/15분 & 순간 강우강도 50mm/h 이상	레이더 기반 우박가능역 산출물의 "우박위험" 탐지시	낙뢰 예측(+1시간) 0.01kA 이상

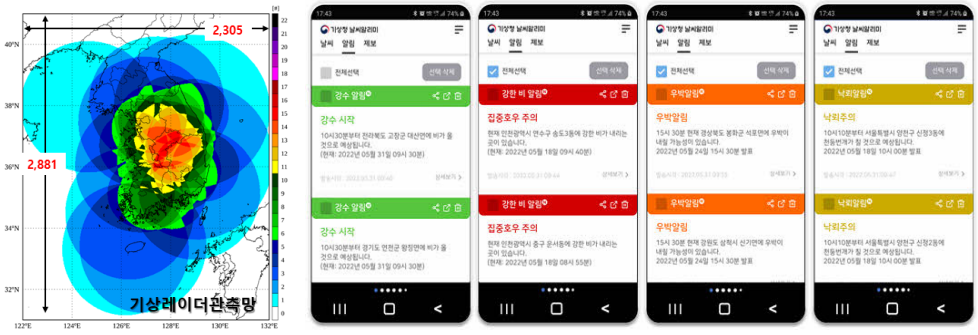

그림 3-108 기상청 기상레이더 감시영역(좌), 강수시작, 강한비, 우박, 낙뢰 알림서비스 메시지 예시(우)

2.2.3. 레이더 예측 강수 기반 행정구역별 호우 예측정보 제공

지상 기상관측망의 공백지역에 대한 국지성 집중호우의 조기 감시 능력을 강화하고 능동적인 호우 예·특보 운영을 지원하기 위해 초단기 레이더 강수실황 예측정보(MAPLE[38])를 기반으로 행정구역별 호우 예측정보 제공시스템을 개발하여 예보관들에게 제공하였다(2022.9.). 이 시스템은 행정구역별 호우특보 기준도달 예상시점과 예측 누적강수량 시계열 정보를 제공하여 예보관들의 호우 예·특보 운영을 선제적으로 지원한다. 특히, AWS 관측 공백지역의 집중호우 감시 능력을 강화하였기 때문에 행정구역을 기반으로 한 빈틈없는 집중호우의 실황 및 예측 분석이 가능하다.

38) 기상청 현업에서 운영 중인 초단기 레이더 강수실황예측 모델(예측시간범위/시간간격: 10 ~ 360분/10분)

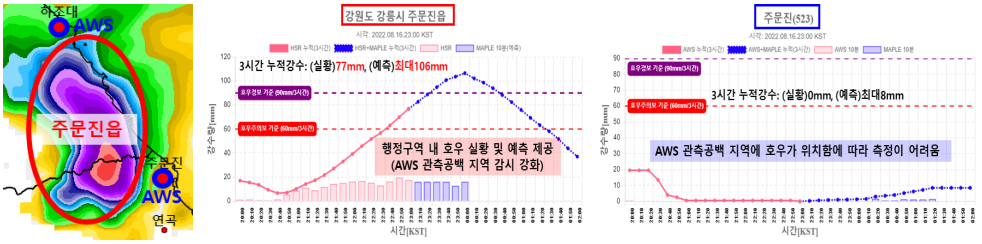

그림 3-109 AWS 미탐지 영역 내 국지성 집중호우 예시(좌), 레이더 예측 강수 기반 행정구역별 호우 예측 정보 예시(중), AWS 기반 행정구역별 호우 시계열 정보 예시(우)

2.2.4. 이중편파레이더 누적강수량 산출 및 검증시스템 개발

2022년 개발된 이중편파변수기반 습설역 분류 기법을 최적화하기 위해 자료품질을 반영하는 펄스폭, 안테나 속도 등의 인자를 활용하는 분류 조건을 개발하였고, 퍼지논리기반의 밝은띠 탐지 영역을 함께 활용하는 방식으로 현업 운영 시의 안정성을 높였다. 습설역의 과대관측된 반사도를 이중편파 관측값으로 보정하는 기법을 개발하여 밝은 띠 오염으로 인한 강수량 과대추정 오차를 대부분 해소함으로써 지상 강수량과의 일치성이 크게 향상되는 결과를 보였다. 이중편파레이더 기반 강우추정 기법의 성능이 개선되어 누적강수량의 정확도가 향상됨에 따라 초단기 강수예측뿐만 아니라 각 지점의 누적강수량을 시간에 따른 강수계 이동·발달 경향과 함께 분석·감시하여 호우 알람의 기준으로 활용하고 있다. 또한, 개선된 레이더 기반 누적강수량의 성능을 실시간으로 분석·검증하고 추가적인 기술 개선·보완점을 파악할 수 있는 이중편파레이더 기반 강수량 검증시스템을 구축하였다.

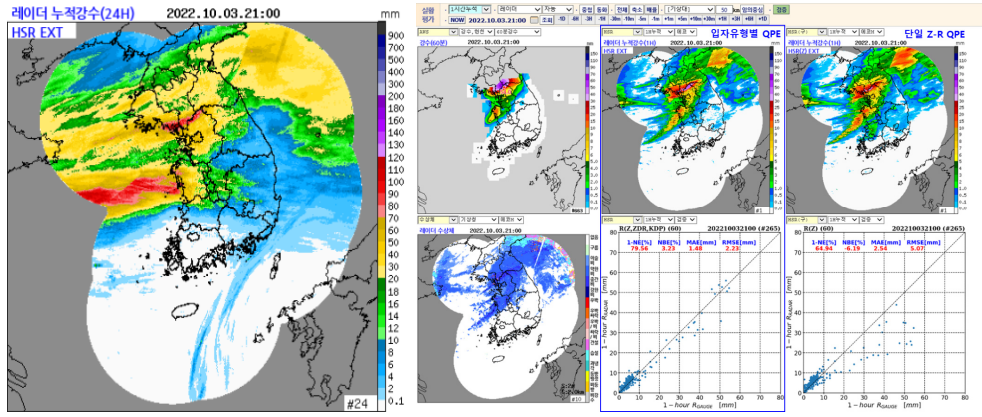

그림 3-110 이중편파레이더 기반 누적강수량(좌), 강수량 검증시스템(우)

2.3. 대내외 레이더 협업 및 대국민 소통 강화

2.3.1. 범부처 레이더 활용 확대를 위한 기술교류 추진

기상레이더센터는 레이더 기반의 위험기상 탐지·분석 역량 강화 및 고품질 서비스 향상을 위하여 범부처 레이더 활용 확대 및 국내·외 기술을 공유하고자 「2022년 범부처 레이더자료 활용기술 국제 워크숍」을 개최하였다(2022.10.). 온·오프라인 병행으로 진행한 이번 국제 워크숍은 미국, 스위스, 프랑스, 홍콩 등 각국의 레이더 전문가를 포함한 국내·외 레이더 관계자 70여명(기상청, 공군기상단, 환경부 한강홍수통제소, 대학)이 참석하여 국가레이더 활용 역량 및 서비스 향상을 위한 토론을 진행하였다. 세계 각국(홍콩, 프랑스, 스위스 등)의 레이더자료 분석 및 실황예측 시스템을 소개하고 차세대 레이더 및 연구용 레이더 신기술 현황, 레이더 자료 다분야 응용기술을 논의하는 자리가 되었다.

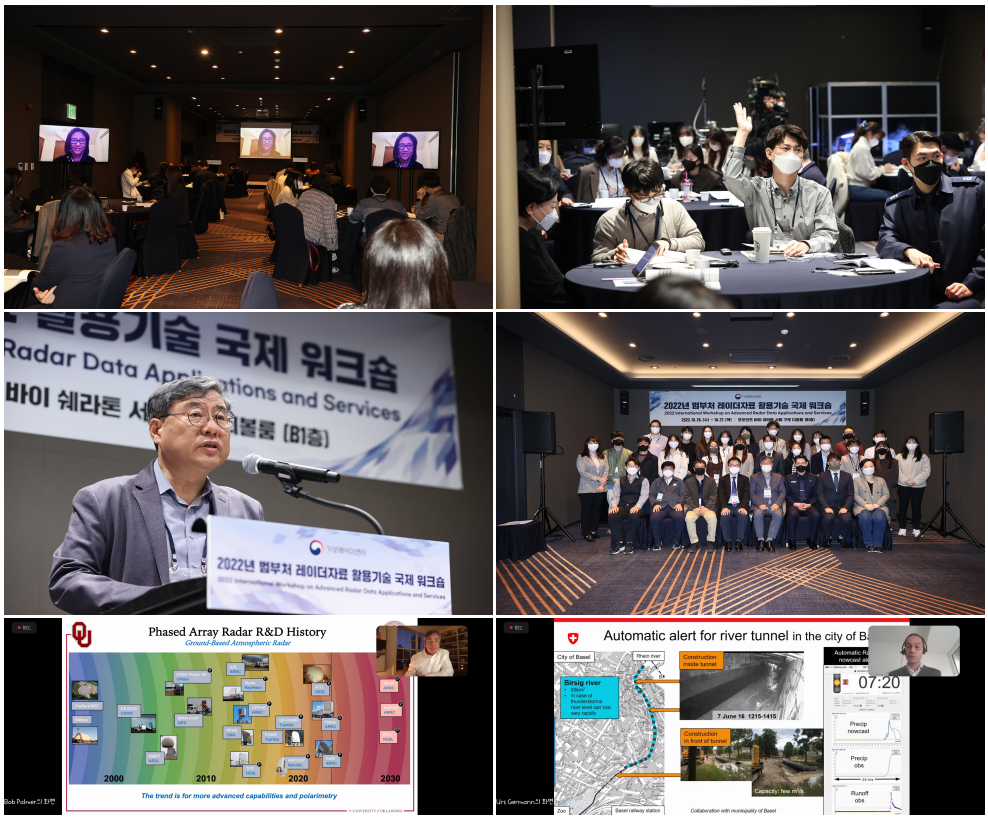

그림 3-111 2022년 범부처 레이더자료 활용기술 국제 워크숍(2022.10.26. ~ 10.27.)