02 기상레이더

☑ 기상레이더센터 | 레이더지원팀 | 기상사무관 | **류수호**
☑ 기상레이더센터 | 레이더운영과 | 방송통신사무관 | **박충신, 권두순**
☑ 기상레이더센터 | 레이더분석과 | 기상연구관 | **석미경, 정성화, 이승우**

2.1. 기상레이더 관측체계 개선 및 관측 인프라 확충

2.1.1. 공항기상레이더 교체 및 신설

기상레이더센터는 2019년부터 공항기상레이더 관측망 구축을 추진하고 있다. 2001년부터 운영되고 있는 인천공항 기상레이더 교체를 위해 2019년 12월 공항개발사업으로 인·허가를 완료하고, 2020년에는 주요기술 규격을 확정하고 독일 레오나르도社 레이더장비를 약 89억에 계약을 체결하였다('20.12.). 2021년에는 레이더장비 설치를 위한 타워 구축을 완료하였으며('21.12.), 레이더장비 제작 및 도입을 추진하여 2022년 8월에 정식 운영할 예정이다.

| 표 3-47 | **인천 공항기상레이더 주요 기술규격**

구분(단위)	공항기상레이더	신규 공항기상레이더
주파수(㎒)	5.637㎒	5.637㎒
편파특성	단일편파	이중편파
안테나 직경(m)	7.0m	8.5m
빔폭(°)	0.7°(0.53°)	0.5°
최대송신출력(㎾)	250㎾	250㎾
펄스반복주기(PRF)	(Short pulse) 250~1,200㎐ (Long pulse) 250~340㎐	(Short pulse) 250~1,200㎐ (Long pulse) 250~340㎐



| 그림 3-97 | **인천공항 기상레이더 타워(철탑) 구축 공사('21. 12. 30.)**

또한, 2024년 제주국제공항에 신규 공항기상레이더 신설을 목표로 2021년에는 사업 추진과정에서 발생할 수 있는 민원 최소화를 위해 마을총회를 통한 주민 동의를 확보('21.11.)하였고 환경조사 및 인·허가를 추진하였다. 향후 인천과 제주에 도입되는 공항기상레이더는 공항 및 그 주변의 레이더 관측자료와 급변풍 정보를 유관기관에 제공하여 항공기 안전운항에 크게 기여할 것으로 기대된다.



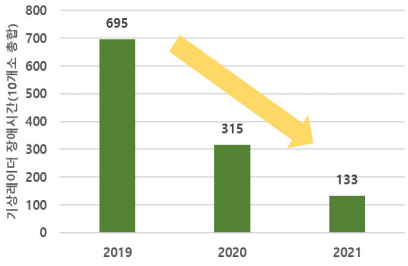

| 그림 3-98 | **제주공항 기상레이더 설치 부지(수산리) 주민설명회('21. 10. 30.) 및 마을총회('21. 11. 4.)**

2.1.2. 기상레이더 운영 및 관리

기상레이더센터는 기상레이더의 주요 장애를 유발하는 요인을 선제적으로 제거하고 장비 운영기술력 강화를 통해 2021년도 기상레이더 장애시간을 전년 대비 약 58% 감축하고 가동률을 99.85%로 크게 향상시켰다.

기상레이더의 주요 예비품을 주기적으로 교체(총 65점)하여 최적 상태를 유지하고 송신부와 수신부 간 통신 연결구간을 유선통신에서 광통신 방식으로 개선하여 역전류로 인한 장애요인을 제거하였으며('21.6.), 도파관에 일정한 압력을 유지하고 습기를 제거하는 도파관 제습기(Dehydrator) 부품을 플라스틱에서 금속제로 보강하여 장비 내구성을 강화하였다('21.7.). 또한, 「기상레이더 제작사(EEC) 엔지니어 기술교류 세미나」를 통해 제작사의 전문 엔지니어의 점검 노하우를 배우고('21.10.), 레이더 점검 동영상 교육자료를 제작하여 협업기관(국방부, 환경부 등)과 공유하는 등 장비운영 능력 향상을 위한 기회를 제공하였다('21.12.).

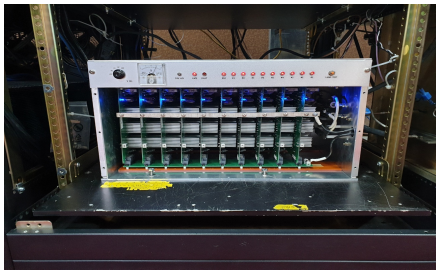




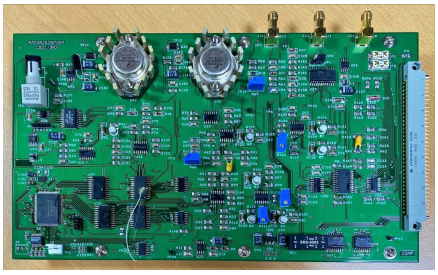
| 그림 3-99 | **제작사 엔지니어 기술교류 세미나(좌), 최근 3년간 기상레이더 장애시간(우)**

2.1.3. 기상레이더 핵심기술 자립을 위한 국산화 기술개발

기상레이더센터는 기상레이더 핵심기술의 해외 의존도를 낮추기 위해 2015년부터 국산화 기술개발을 추진하고 있다. 2021년까지 대체품 8종, 개발품 10종에 대해 국산화 기술개발을 완료하였다. 2021년에는 기상레이더 실증관측소(용인 테스트베드)에서 2020년 개발한 '고전압 스위칭'에 대한 후속 성능 검증 및 시험운영을 완료하고 현업 운영 가능성을 확인하였으며('21.7.), '고전압전원부 제어보드'의 아날로그 신호 입·출력 처리 프로그램과 시제품을 개발하였다('21.12.). '고전압 스위칭' 시험운영 결과, 수입품에 비해 장애판단이 용이하고 기존의 제작사 장비보다 레이더의 펄스에너지를 안정적으로 만드는 등 우수한 성능을 보였다.



고전압스위칭



고전압전원부 제어보드

| 그림 3-100 | **기상레이더 부품국산화 현황**

한편, 2021년부터 기상레이더의 두뇌 역할을 하는 '신호처리기' 개발에 착수하였다. 신호처리기술은 대기 중 기상 입자로부터 반사되어 오는 전파에너지를 처리하여 강우강도(반사도), 바람(시선속도), 강수유형(차등반사도) 등과 같은 유의미한 기상자료를 추출하는 레이더의 핵심기술이다. 2021년에는 신호처리기의 테스트 플랫폼 설계를

완료하였으며('21.12.), 2025년까지 총 50억 원을 투입함으로써 국내 관측환경에 적합한 기상레이더 신호처리 핵심기술을 개발하여 선진국과의 기술격차를 10년에서 2년으로 줄이고 원천기술을 확보할 계획이다.

| 표 3-48 | **기상레이더 국산화 부품 예산절감 및 부품수급 기대효과**

국산화 부품	구매비용(백만 원)		수급기간(일)	
	수입품	국산화 부품	수입품	국산화 부품
고전압 스위칭	200	20	300	30
고전압전원부 제어보드	30	10		

2.1.4. 범부처 기상레이더 실증관측소 활용 운영기술 협업

기상레이더센터는 국방부, 환경부 등 레이더 운영기관과의 협업을 통해 기상레이더 운영기술 교류 및 표준화를 주도하였다. 범정부적 레이더 공동활용 활성화를 위해 레이더 테스트베드 운영협의위원회를 개최하였으며('21.2.), 국방부, 환경부, 한국항공우주연구원과 협업과제(6개)를 발굴하여 수행하였다('21.3.~11.). 또한, 국방부, 환경부와 범부처 레이더 운영기술 교류 및 국산화 개발품 공동활용 협업을 추진하였으며('21.10.), 한국항공우주연구원 등 유관기관 간 레이더 현장 방문 기술교류(2회)를 추진하였다. 아울러, 「2021 범부처 레이더테스트베드 사용자 워크숍」을 개최하여 협업 성과와 기상레이더 국산화 관련 최신기술을 공유하였다('21.11.).



레이더 국산화 개발품 공동활용 협업('21.10.7.~8.)



2021 범부처 레이더테스트베드 사용자 워크숍('21.11.3.)

| 그림 3-101 | **범부처 기술교류**

| 표 3-49 | 2021년도 레이더테스트베드 활용 협업과제

기관	협업과제
국방부 공군기상단	기상-강우레이더 합동정비팀 운영 및 기관별 고장사례 토의
기상레이더센터 레이더운영과	강수·비강수 최적 관측전략 운영 환경 적응 시험
기상레이더센터 레이더운영과	기상레이더 관측변수 오차의 자동 보정기능 현업적용을 위한 시험
기상레이더센터 레이더분석과	2021년 테스트베드 레이더 강수 발달고도 관측
한국항공우주연구원	우주센터 2단계 개발사업(유관기관 협력 및 기상레이더 안정적 운용)
환경부 한강홍수통제소	강우레이더 관측고도각 평가 및 강우량 검증

2.1.5. 연직바람관측장비 구축 및 운영

기상청은 서귀포에 연직바람관측장비를 신규 설치('21.5.)하여 2021년에 총 11개 지점에 연직바람관측장비를 설치·운영하고, 공군은 9개 지점에 설치·운영하고 있다.

세계기상기구(WMO)는 연직바람관측장비를 레이더로 분류하고 있고 전파를 이용하는 원격탐사장비의 특성에 따라 효율적인 관측장비 도입·운영을 위해 연직바람관측장비 업무가 관측기반국에서 기상레이더센터로 이관되었다('21.8.). 기상레이더센터는 2021년에 내용연수(10년)가 초과된 노후 장비(지점: 원주, 추풍령)를 교체하고, 서해안 입체감시 강화를 위해 덕적도 해양기상관측기지에 신규 장비 구축을 추진하였다. 또한, 위험기상 감시 역량을 강화하고 상층대기 흐름을 연속적으로 관측하기 위해 연직바람관측장비 확충계획 수립하여 2026년까지 19개소의 한반도 상층 입체관측망을 구축할 예정이다.

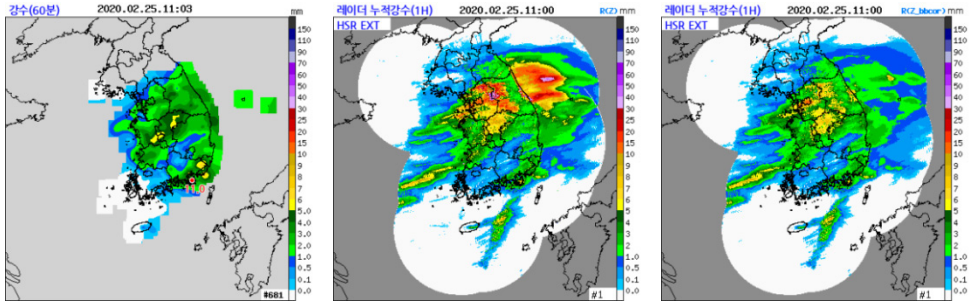
| 표 3-50 | 2021년 연직바람관측장비 관측지점

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

2.2. 레이더 위험기상 감시·예측기술 개발 및 서비스 제공

2.2.1. 이중편파레이더 밝은띠 탐지 및 정량 강수량 정보 제공

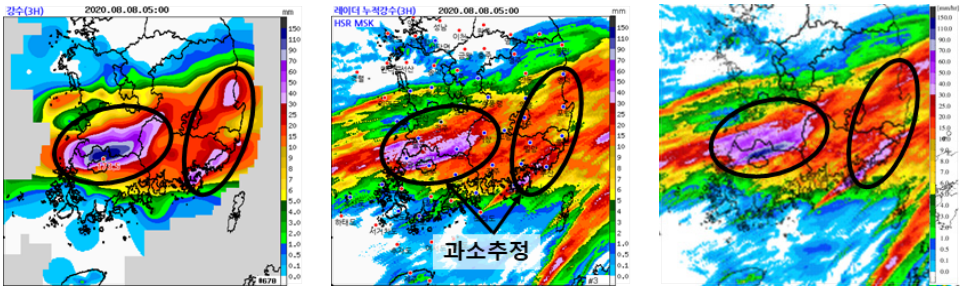
기상레이더에서 밝은띠는 크기가 큰 눈 입자가 녹으면서 형성된 수막으로 반사도가 크기 때문에 큰 물방울로 오인하게 하여 과대 추정을 유발한다. 기상레이더센터에서는 밝은띠 영역에서 눈·비가 혼재하여 발생하는 이중편파 변수의 불규칙성을 이용한 밝은띠 탐지기술을 개발하여 예보현업에 제공하였다('21.3). 또한 기후학적 연직 반사도 정보(Lee et al. 2020)를 이용해 밝은띠 영역에서 과대하게 관측되는 반사도를 보정하여 제공하였다('21.9).



AWS 1시간 누적강수량 | 밝은띠 보정 전 강수량 | 밝은띠 보정 후 강수량

| 그림 3-102 | **밝은띠에 의한 과대관측이 보정된 자료를 이용한 강수량 추정 결과**

또한, 레이더 강수량 추정은 기후학적 Z-R 관계식에 수반되는 우적크기분포 변동 오차뿐만 아니라 봄·가을철 빈번히 발생하는 싸락·우박 입자와 융해층 고도의 습설에 대한 반사도 과대관측으로 인해 정확도 개선이 중요하다. 기상레이더센터는 이중편파변수 기반의 실시간 우박·습설 영역 분류 기법을 개발하고, 입자 유형에 따라 적합한 이중편파변수 기반 강수량 추정식(R(Z, Zdr, Kdp))을 구별하여 적용함으로써 레이더 강수량 정확도를 향상시켰다. 해당 기술은 정식 현업 운영되어('21.4) 예보관을 비롯한 유관기관과 대국민에 실시간의 강수 정보를 제공하고 있다.



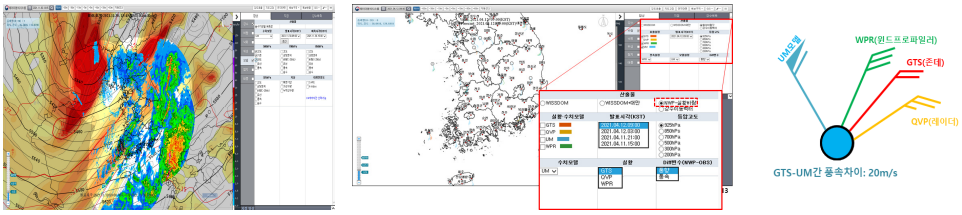
AWS 누적강수량(3시간) (기존) HSR(Z=148R1.59) (개선) HSR(다중복합식)

| 그림 3-103 | **강수유형별 이중편파레이더 정량 강수량 추정 결과 예시('20. 8. 8. 0500 LST)**

2.2.2. 예보지원 강화를 위한 레이더 실황-모델 예측정보 비교 기술 제공

급변하는 기상 상황에 대응하고, 정확한 예보를 생산하기 위해 예보관의 예보 판단 의사결정과정을 지원하기 위해 레이더 실황정보-수치예보모델 예보변수 중첩·비교 기능을 개발('21.5.)하고 기능을 확대 개편('21.12.)하여 제공하였다. 기상청에서 운영되는 4종의 수치예보모델(UM, KIM, ECMWF, ECMWF 1hr)과 112종의 예측변수(모델 4종, 변수 28종)를 비교·중첩비교 할 수 있도록 하였다.

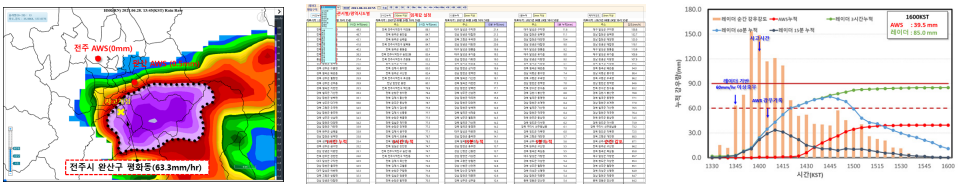
강수시스템에 대한 실황과 예측의 연직적인 풍향과 풍속 구조를 비교·분석하고자 레이더 실황 3종(레이더 준-연직분포, 연직바람관측장비, 라디오존데)과 모델바람(등압면별 풍향·풍속)을 비교하는 기능을 개발·제공하였다('21.5.). 수치예보모델과 실황의 다양한 비교가 한 화면에서 가능해져 예보관들이 실황을 분석하고 초단기 예보에 적용하거나 실황의 추세 경향분석을 통한 예보변경, 유지 판단에 많은 도움이 되고 있다.



| 그림 3-104 | **레이더분석시스템의 레이더 실황-수치예모모델 중첩예시(좌), 실황바람-수치예보모델 바람 비교시스템(중)과 중첩예시(우)**

2.2.3. 레이더 기반 집중호우 행정구역(읍·면·동) 정보 제공 시스템 개발

기상레이더는 한반도 전역에 대해 고분해능(500m)의 강수 정보를 매 5분 간격으로 제공하므로 국지성 집중호우를 빈틈없이 탐지할 수 있다. 이에 레이더 강수정보를 기반으로 국지성 집중호우 발생 행정구역(읍·면·동)과 행정구역별 강수정보 제공시스템을 개발하여 예보관들에게 제공하였다('21.8.). 행정구역별 호우 발생 및 강수량 제공을 통해 신속한 호우특보 지원이 가능하게 되었다. 특히, AWS 탐지불가지역 포함한 한반도 전역에 대해 감시가 가능하고 동시다발적으로 발생하는 모든 집중호우를 감시할 수 있어 활용도가 높다.



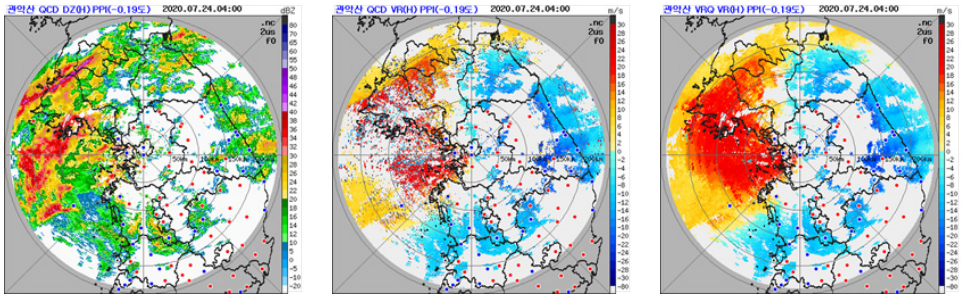
| 그림 3-105 | **전주('21. 6. 28.) 집중호우 사고사례의 레이더 강수영상(좌), 집중호우 발생지역(읍·면·동) 발생 및 지역별 강수량 정보제공 기술 예시(중), 전주 사고사례의 지상강수량 및 레이더 강수정보 제공예시(우)**

2.2.4. 레이더 3차원 고해상도 바람 정보의 제공주기 및 정확도 개선

레이더 기반 고해상도 3차원 바람장(WISSDOM[56])은 위험기상의 분석에 있어 필수적으로 활용되고 있으며, 매 10분 간격으로 제공하고 있다. 기상레이더센터는 레이더 자료의 입력과정을 기존 단순 병렬 입력 방식에서 순차 입력과 병렬화 기반 분산 처리로 변경하여 바람장 생산 간격을 기존 10분에서 5분, 서비스 주기는 기존 14분에서 5분으로 단축되어 더 신속하게 바람장 제공이 가능하게 되었다('21.5.)

또한, 강풍을 동반한 강수시스템의 분석에 레이더 3차원 바람장을 활용은 중요하다. 바람장의 정확도 개선을 위해 잡음신호 제거 기술과 소실된 시선속도 복원 기술을 개발하였으며, 기상청 10개 레이더에 적용하여 개선된 시선속도 정보를 산출하고, 현업제공 하였다('21.8.).

56 WISSDOM: Wind Synthesis System using DOppler Measurements의 약자로 기상레이더센터-대만국립중앙대학교 간 기상레이더 분야 협력 양해각서('18.10.)에 따라 협력하여 현업 운영에 성공한 레이더 기반 3차원 고해상도 바람장 산출 기술임



| 그림 3-106 | 관악산 기상레이더로 관측한 2020년 7월 24일 04시의 고도각 −0.19°의 레이더 반사도(좌), 품질관리 전 시선속도(중), 품질관리 후 시선속도(우)

2.3. 대내외 레이더 협업 및 대국민 소통 강화

2.3.1. 기상레이더 활용기반 확대를 위한 국제협력 및 기술교류 추진

기상레이더센터는 기후변화 위기에 대응하여 기상레이더 역할의 중요성을 인지하고 레이더 활용 확대를 위해 첨단기술을 공유하고자 「2021년 국제 기상·강우 레이더 콘퍼런스」를 개최하였다('21.11.). 코로나19 영향으로 온라인으로 진행한 이번 콘퍼런스는 국가레이더 활용기관(기상청, 환경부 한강홍수통제소, 공군기상단), 대학 관계자뿐만 아니라 미국, 영국, 대만, 스페인, 일본 등 각국의 전문가 80여 명이 참석하여 7개 분야에 대해 27편의 연구과제를 발표하고 국가레이더 통합 활용의 가치를 높이기 위해 토론을 진행하였다.



| 그림 3-107 | 2021년 국제 기상·강우레이더 콘퍼런스('21.11.10.~12.)

또한, 기상레이더센터는 「기상레이더센터-대만국립중앙대학교 공동워크숍」과 「기상레이더센터-일본방재과학기술연구소 공동워크숍」 추진하였다. 대만국립중앙대학교와는 공동워크숍 개최에 앞서 기상레이더 분야의 협력을 강화하기 위해 지난 '18년 체결한 양 기관 간 협력 양해각서의 기간을 3년('21.10.~'24.10.) 연장하여 레이더 3차원 바람장 기반 열역학장 산출기술의 공동개발에 협의하였다. 대만국립중앙대학교와의 공동워크숍('21.9.)은 한·대만 기상레이더 전문가 17명(기상레이더센터 7명, 대만국립중앙대학교 10명)이 참석하여 레이더 자료의 활용과 관련한 주제발표(5건)와 향후 협력방안에 대해 논의하였다. 일본 방재과학기술연구소와의 공동워크숍('21.2.)에는 한·일 기상레이더 전문가 28명(기상레이더센터 16명, 일본방재과학기술연구소 12명)이 참석하여 기상레이더 활용에 관한 주제발표(7건)를 하였다.



| 그림 3-108 | 기상레이더센터-대만국립중앙대학교 연장 업무협약서(좌) 및 공동워크숍('21. 9. 29.)(중), 기상레이더센터-일본방재과학기술연구소 공동워크숍('21. 2. 4.)(우)

2.3.2. 범부처 공동활용 및 물관리 협업 지원을 위한 레이더 자료공유

기상레이더센터는 범정부적 레이더 자료 및 기술 공동활용을 통한 협업 행정 강화와 "기상청·국방부·환경부 간 교류 및 협력 증진 협약('18.10.)"의 일환으로 기상청 소관으로 개발한 레이더 활용기술이 적용된 자료를 범부처에 공유하였다.

범부처 자료공유는 국방부와 환경부에 자료공유 수요조사를 3월에 실시하고, 개발된 신규기술이 적용된 이중편파레이더 정량 강수량(HSR)과 레이더강수실황예측장(MAPLE)을 실시간 제공하였다('21.5.). 또한 기상-물관리 협업 추진('21.)의 일환으로 한국수자원공사에 개선된 이중편파레이더 정량 강수량과 레이더강수실황예측장을 제공하였다('21.5.).

이와 같이 국가 레이더 자원의 공동활용은 예산의 중복투자를 방지하고, 위험기상의 분석 및 돌발홍수 대응 등 각 기관의 대국민 서비스 향상에 기여할 수 있을 것이다.

| 표 3-51 | **2021년 범부처 레이더자료 공동활용 및 물관리 협업을 위한 자료공유**

대상기관	자료명	일자	공유내용
국방부 (공군기상단)	• 개선된 이중편파레이더 정량 강수량(HSR)	'21.5.4.	자료전송, 자료설명서, 포맷정의서 등
환경부 (한강홍수통제소)	• 개선된 이중편파레이더 정량 강수량(HSR) • 개선된 이중편파레이더 강수실황예측장(MAPLE)	'21.5.4.	
한국수자원공사	• 개선된 이중편파레이더 정량 강수량(HSR) • 개선된 이중편파레이더 강수실황예측장(MAPLE)	'21.5.4.	

◈ 에필로그

공항기상레이더 기반의 항공위험기상 감시 및 서비스체계 구축을 위해 추진 중인 인천 및 제주공항 기상레이더 설치 사업을 주민 협의 등 난제에도 불구하고 정상 추진 또는 정상화하는 한편 연직바람 관측장비 이관('218월)으로 기상레이더에서 전파를 이용하는 원격탐사 장비로 입체 관측역량이 확장되었다.