

초소형 레이더 우량계 및
강우량 분석기술 개발 기획
최종보고서

2014. 8.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "초소형 레이더 우량계 및 강우량 분석기술 개발 기획"과제의
보고서로 제출합니다.

2014. 8. 19.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 김 원 선임연구위원

연 구 원 : 임상훈 연구위원

연 구 원 : 이찬주 수석연구원

연 구 원 : 한명선 전임연구원

연 구 원 : 장봉주 박사후연구원

연 구 원 : 손상환 연구보조원

연 구 원 : 위경화 연구보조원

보고서 요약서

과제고유번호	13RDPP-C069530-01	해당단계 연구기간	2013. 12. 20. ~2014. 8. 19	단계구분	1/1
연구사업명	건설교통기획연구사업				
연구과제명	최상위 과제명	초소형 레이더 우량계 및 강우량 분석기술 개발 기획			
	단위과제명	초소형 레이더 우량계 및 강우량 분석기술 개발 기획			
연구책임자	김 원	총연구기간 참여 연구원수	총 : 7 명 내부 : 7 명 외부 : 7 명	총 연구비	정부 : 50,000 천원 기업 : 천원 계 : 50,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국건설기술연구원 하천해안연구실		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
◦ 국지성 집중호우, 폭설, 강풍 등 악천후 관련 자연재해가 계속적으로 증가하고 있고 이에 대한 사회적 관심이 증가하고 있음 ◦ 기존의 지상우량계는 강우의 공간적 편차 및 지형지물의 영향으로 관측 불확실도가 높아 홍수예보, 도심 침수예측 등의 불확실성을 초래하며, 대형 고고도의 기상(강우)레이더는 지상 부근의 정량적인 강수 측정이 곤란하여 이를 해결할 수 있는 기술이 필요 ◦ 본 과제에서는 지상 부근의 저고도에서 강수의 공간적 분포를 측정하기 위한 신개념의 강우량, 강설, 바람장 측정 장비로서 네트워크 기반의 전파강수계를 개발하기 위한 기획 연구를 수행함 ◦ 전파강수계 개발의 필요성, 타당성, 연구개발 과제 구성, 추진계획, 예산 투입 계획 및 과제제안요구서(RFP) 등을 제시함					
색인어 (각 5개 이상)	한글	국지성 집중호우, 폭설, 폭풍, 악천후, 전자파, 전파강수계, 공간분포			
	영어	Local heavy rainfall, heavy snowfall, storm, bad weather, electromagnetic wave, electromagnetic wave precipitation sensor, spatial distribution			

요 약 문

I. 과제 개요

- 과제명 : 초소형 레이더 우량계 및 강수량 분석기술 개발 기획

1. 기획연구의 배경

- 국지성 집중호우, 폭설, 강풍 등 악천후 관련 자연재해가 계속적으로 증가하고 있고 자연재해로부터 안전한 사회에 대한 국민적 기대수준이 높아지고 있음
- 기존의 지상우량계는 강우의 공간적 편차 및 지형지물의 영향으로 관측 불확실도가 높아 홍수예보, 도심 침수예측 등의 불확실성을 초래함
- 기존의 기상(강우)레이더는 높은 고도에서 넓은 범위를 탐지하는 기술로서 지상 부근의 정량적인 강수 측정이 곤란하여 면적 강수량 산정에 직접 활용할 수 없음
- 기존의 원통형 지상우량계와 같은 정량적 관측 기능을 수행하면서 고분해능의 강수량의 공간분포를 측정할 수 있는 신개념의 강수계 개발 필요
- 첨단 IT-센서 기술과 융합된 네트워크 기반의 국산화된 악천후 관측·감시 기술 필요
- 실규모 실험을 통해 검보정을 수행함으로써 신뢰성있는 정량적 강수 분포를 측정할 수 있는 기술 개발이 필요

2. 연구과제의 비전과 목표

가. 비전

- 집중호우, 폭설, 폭풍 등의 악천후를 정확히 측정·제공하여 자연재해로부터 안전한 사회 구현

나. 목표

- 강우, 바람장, 강설의 공간분포를 동시에 측정할 수 있는 네트워크 기반의 24 GHz 이중편파 초소형 전파강수계 개발
 - POSS급 정확도의 강수량 공간분포 측정
 - POSS급 정확도의 강설 측정
 - 윈드 프로파일러급 정확도의 바람장 측정
 - 네트워크 Master-Slave 개념의 전파강수계

II. 국내외 동향 및 환경 분석

1. 국내 기술동향 및 환경 분석

- 국내 강수량 관측은 지상우량계, 강설량계 등을 활용하고 있으나 선진국에서 강우입자분석계 등이 활용되고 있는 것에 비하면 기술 수준이 다소 낮은 편이며, AWS 등 일부 수문기상 장비의 개발 생산 외에는 첨단 장비는 대부분 수입에 의존하고 있음
- 기상레이더는 현대 첨단 수문기상 관측 기술을 대표하는 장비로서 국내외에서 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 1968년 관악산 기상레이더 도입 이래 2014년 현재 기상청, 한강홍수통제소, 공군 등의 기관에서 총 30여대를 운영 중임
- 기상레이더의 활발한 운영으로 인해 운영 및 분석 기술이 발달하였으며, 방산, 자동차, 선박 분야의 경우 국산 레이더 시스템 개발, 제조 관련 기술을 확보하고 있음
- 세계 최고 수준의 IT 기술과 방산 등 분야의 레이더 기술을 응용할 경우 국산 전자파 강수량 관측을 위한 센서 개발에 필요한 역량을 확보할 수 있음

2. 국외 기술동향 및 환경 분석

- 전통적인 지상우량계, 강설량계는 계속적으로 활용되고 있으나 2000년대 들어 기상레이더의 활용과 함께 강우입자분석계, 연직 강우레이더, 윈드 프로파일러 등 원통형우량계의 한계를 넘는 첨단 센서 기반의 강수량 측정 센서가 개발되었으나 넓은 면적의 강수 공간분포를 측정하는 기술은 아직 개발되지 않았음
- 기상레이더는 1940년대에 최초로 개발된 이래로 주로 S밴드와 C밴드, 그리고 최근 X밴드 대역에서 개발되었으며 기술 발전을 거듭하여 강수와 바람의 속도 성분을 분석할 수 있는 도플러 레이더 기술, 강수 입자의 형태와 대기수상체를 판단하여 정확도를 높인 이중편파 레이더 기술이 개발되었으며, 최근에는 구름과 강수의 3차원적 분석이 가능한 위상배열 레이더 기술이 수문기상 분야에 응용되어 개발되고 있음
- 기상레이더 기술은 기후변화, 집중호우, 폭설, 토네이도 등 각종 자연재해의 탐지, 감시, 관측망 구축에 핵심적인 역할을 하고 있으며, 미국, 일본, 독일을 비롯한 선진각국에서 기술력 제고를 위한 노력을 기울이고 있음
- 국외 특허조사 결과 세계적으로 전자파를 이용한 강수량 측정 기술은 미국, 일본, EU, 중국 등 대부분의 국가에서 기술 성장기에 해당되며, 핵심 특허는 주로 전파강수계(AA), 강수 신호처리(AB) 등에 집중되어 있음
- 국외의 특허 대부분은 국내 출원이 이루어지지 않고 있으므로 국산화 개발이 가능하며, 특히 전자파를 이용하여 정량 강수를 직접 측정하거나 검증하는 기술 분야의 특

허가 많지 않으므로 실규모 실험을 통한 검보정을 충분히 수행하면서 공간 범위에 대한 강수 분포를 측정할 수 있는 기술 개발을 할 경우 틈새시장 창출이 가능할 것으로 판단됨

III. 연구개발 과제 구성 및 추진전략

1. 연구개발과제의 구성

연구단	세부과제	세세부과제
악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발	1세부 전파강수계 하드웨어 시스템 개발	○ 전파강수계 RF 시스템 개발
		○ 전파강수계 신호처리 플랫폼 개발
	2세부 전파강수계 운영 및 분석 기술 개발	○ 전파강수계 하드웨어 운영 및 표출 시스템 개발
		○ 전파강수계의 수문기상정보 산출을 위한 품질관리 및 분석 기술 개발
	3세부 전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영	○ 전파강수계 시스템 통합
		○ 전파강수계 성능 검증을 위한 테스트베드 구축 및 운영
		○ 전파강수계 제품화

2. 세부과제별 최종성과물

1 세부 과제	전파강수계 하드웨어 시스템 개발
	○ 전파강수계용 단일, 다중 빔의 배열 안테나 시제품 ○ 전파강수계 RF 송수신기 시제품 ○ 전파강수계용 RF 시스템 제어 및 수신신호 처리용 FPGA 플랫폼 H/W 시제품 ○ FPGA 플랫폼 구동 S/W 및 통신 interface
2 세부 과제	전파강수계 운영 및 분석 기술 개발
	○ 신호처리 알고리즘과 연계된 전파강수계 운영·표출 소프트웨어 ○ 전파강수계 강수정보 산출 알고리즘 및 S/W
3 세부 과제	전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영
	○ Stand-alone 전파강수계 Prototype ○ System 제어/유지보수 Tool ○ 전파강수계 Interface, 운영 매뉴얼 ○ 네트워킹, 고속·대용량 처리 기술 및 기존 기술과의 연계 알고리즘 ○ 전파강수계 실험을 위한 실규모 인공강수 실험 시설 ○ 자연강우 실험을 위한 현장 테스트베드 ○ 보정, 검증, 성능 평가 실험 결과 ○ 전파강수계 시스템 신뢰도 및 성능 검보정 기법 ○ 전파강수계 상용 제품

3. 소요연구비

가. 1안(5년, 200억)

(단위 : 백만원)

과 제 명	연도					합계
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
(연구단) 악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발	3,000	5,000	5,000	4,000	3,000	20,000
(1세부) 전파강수계 하드웨어 시스템 개발	1,000	1,800	1,800	1,200	800	6,600
(1-1) 전파강수계 RF 시스템 개발	800	1,200	1,200	900	600	4,700
(1-2) 전파 강수계 신호처리 플랫폼 개발	200	600	600	300	200	1,900
(2세부) 전파강수계 운영 및 분석 기술 개발	700	1,200	1,200	1,000	700	4,800
(2-1) 전파강수계 시스템 운영 및 표출 시스템 개발	250	500	500	400	250	1,900
(2-2) 전파강수계의 수문기상정보 산출을 위한 품질관리 및 분석 기술 개발	450	700	700	600	450	2,900
(3세부) 전파강수계 시스템 통합 및 성능 검증	1,300	2,000	2,000	1,800	1,500	8,600
(3-1) 전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영	300	500	500	400	300	2,000
(3-2) 전파강수계 검보정을 위한 실규모 실험 시설 구축·운영	1,000	1,500	1,500	600	500	5,100
(3-3) 전파강수계 상용화				800	700	1,500

나. 2안(2단계, 3+3년, 50+100억)

(단위 : 백만원)

과 제 명	연도						합계
	1단계			2단계			
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	
(연구단) 악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발	500	2,000	2,500	3,000	4,000	3,000	15,000
(1세부) 전파강수계 하드웨어 시스템 개발	200	800	900	500	800	600	3,800
(1-1) 전파강수계 RF 시스템 개발	120	500	550	300	500	350	2,320
(1-2) 전파강수계 신호처리 플랫폼 개발	80	300	350	200	300	250	1,480
(2세부) 전파강수계 운영 및 분석 기술 개발	150	600	900	500	600	600	3,350
(2-1) 전파강수계 시스템 운영 및 표출 시스템 개발	70	250	400	200	250	250	1,420
(2-2) 전파강수계의 수문기상정보 산출을 위한 품질관리 및 분석 기술 개발	80	350	500	300	350	350	1,930
(3세부) 전파강수계 시스템 통합 및 성능 검증	150	600	700	2,000	2,400	1,800	7,650
(3-1) 전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영	150	600	450	400	800	600	3,000
(3-2) 전파강수계 검보정을 위한 실규모 실험 시설 구축·운영	-	-	250	1,200	1,000	600	3,050
(3-3) 전파강수계 상용화				400	600	600	1,600

IV. 사전타당성 검토

- 전파강수계 개발과 관계가 있는 기존 사업으로는 국지성 방재를 위한 소형(SSPA 200W급) X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템 개발, 전자파를 이용한 초소형우량계 개발, 수문레이더 운영 및 웹·모바일 경보 플랫폼 개발, 국토관측센서 기반 광역 및 지역 수재해 감시·평가·예측 기술 개발 등이 있으며, 본 사업은 24 GHz 이중편파 기반의 정량 강수량계를 개발하는 측면에서 기존 사업과 뚜렷하게 차별되나 기존 사업과의 정책적, 기술적 연계 방안을 모색하여 사업 추진 필요
- 본 기술은 전자파를 이용하여 물리적, 정량적 강우의 공간 분포를 고정확도로 실측하는 기술로서 기존의 전통적 기상관측 장비(AWS)를 대체할 수 있을 뿐만 아니라 기존 기상레이더의 음영 지역에 대한 정량 관측을 통해 통합적인 악천후 관측, 감시가 가능한 기술로서 틈새 시장을 창출할 수 있는 기술임
- 전파강수계 개발에는 전자파 하드웨어 기술, 신호처리 기술, 전파 강우 해석기술 등 3가지 핵심 기술 필요한 바, 이미 국내에 확보되어 있는 IT, 이동통신 및 방산/차량/선박용 레이더 개발 기술과 장기간 축적된 기상레이더 운영, 분석 기술을 토대로 실규모 실험장을 구축하여 물리적 검보정에 기반한 연구를 추진할 경우 기술 개발 가능
- 기상이변과 기후변화에 대응하는 일은 국정과제 등에 포함되는 국가 전략적인 목표에 해당하며, 과학기술기본계획, 건설교통기술 연구개발사업 중장기계획, 과학기술 기반 사회문제 해결 종합실천계획 등 국가 계획과 부합함
- 기후변화 등으로 인한 자연재해에 선제적으로 대응함으로써 피해를 최소화하기 위해서는 자연재해 관측, 감시 기술이 시급하게 필요한 바 이러한 기술은 경제성이 보장되지 않더라도 지속적인 투자를 통해 원천기술 확보에 주력해야 함
- 본 연구가 성공적으로 수행될 경우 집중호우, 폭설, 폭풍 등을 지상 부근에서 고정확도로 측정, 감시함으로써 재해 피해를 예방할 수 있는 다기능 고효율의 전파강수계 시제품을 세계 최초로 상품화할 수 있으며 이를 통해 국내 및 세계 시장에 진출할 발판 마련 가능
- 강수량의 공간분포를 정확하게 측정할 경우 홍수예보 정확도 향상이 가능하며, 집중호우에 의한 홍수, 침수, 산사태 피해, 폭설, 폭풍 등에 의한 고립, 교통마비 등의 인명 및 재산피해를 감소시킬 수 있어 연간 4,000억원 이상으로 추정되는 간접적 경제효과가 예상됨
- 전자파에 의한 원격 탐지를 통한 악천후 관측 및 재해 감시 기술의 국산화를 통해 기후변화에 대응하는 국가적 능력을 향상시키며 향후 기상 및 재해 관련 장비 개발, 제조 시장에서 경쟁할 수 있는 기술력 보유 가능

목 차

1. 서론	1
1.1. 연구의 필요성	1
1.2. 연구의 목적	6
2. 국내외 동향 및 환경분석	7
2.1. 국내 정책동향	7
2.2. 국외 정책동향	14
2.3. 국내외 시장현황 및 전망	19
2.4. 기술동향	24
2.5. 특허동향	52
2.6. 논문동향	63
3. 연구개발과제 구성 및 추진 전략	69
3.1. SWOT 분석	69
3.2. 비전 및 목표 수립	70
3.3. 기술개발에 따른 미래상	71
3.4. 목표사양 도출	74
3.5. 연구개발과제 구성	79
3.6. 세부과제별 주요 내용	80
3.7. 추진 전략	82
3.8. 세부 실행계획과 로드맵	83
3.9. 최종 성과물	90
3.10. 실용화 방안	90
4. 사전 타당성 검토	93
4.1. 기술적 타당성	93
4.2. 정책적 타당성	97
4.3. 경제적 타당성	99
5. 소요예산 산정	103
5.1. 1안(5년) 총괄	103
5.2. 2안(2단계, 3+3년) 총괄	105
6. 과제 제안요구서(RFP)	107
6.1. 1안(5년 기준)	107
6.2. 2안(6년 기준)	131
참고문헌	157

1. 서론

1.1. 연구의 필요성

1.1.1. 사회문제 해결의 필요성

가. 국지성 집중호우의 발생 증가

- 국지성 집중호우에 의한 도심, 중소하천 및 계곡 주변의 침수와 산사태 등 재해가 발생하여 노약자 등을 포함한 인명과 재산 피해 급증
- 국지성 집중호우의 피해는 산간지역에만 국한되지 않으며 우면산, 일산과 같은 도시화 지역에서도 발생하고 있고, 서울 도심이나 강남과 같은 시내에서도 하수, 우수관거 폐색이나 설계강우량 초과 사상이 발생하는 경우 침수 형태로 발생
- 집중호우 등으로 인한 연평균 피해 발생 건수는 1980년대 222건에서 2000년대에는 36건으로 대폭 감소하였으나 평균 피해액은 1990년대에 약 0.7조원에서 2000년대 2.1조원으로 약 3배 이상 증가(최우정, 2011, 그림 1)
- 연강수량이 1970년대 1,240 mm에서 2000년대 1,440 mm로 증가(소방방재청, 2006)
- 시간당 강수량 50 mm 이상 기록은 1977~1986년 143회, 1987~1996년 159회, 1997~2006년 254회로 최근 10년간 집중호우 발생횟수가 크게 증가(국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2008, 그림 3)

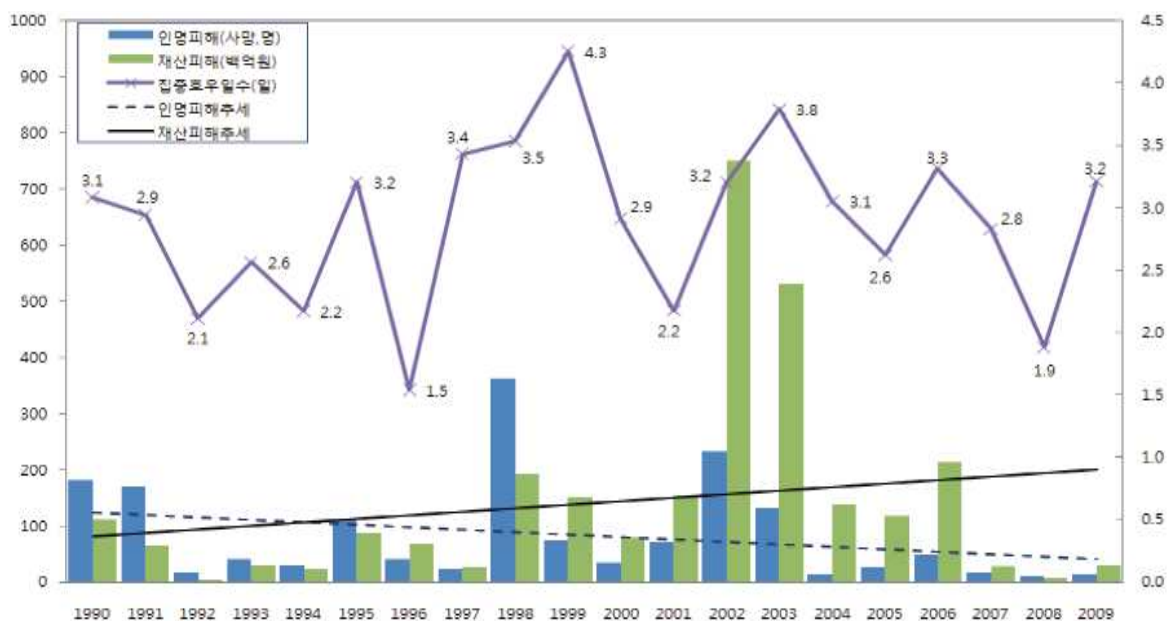


그림 1. 연도별 집중호우일수와 인명 및 재산피해액 추세

- 호우의 국지적 특성이 심화되어 강우의 균등한 공간분포를 기초로 하는 홍수예보의 불확실성이 증가함

표 1. 2000년 이후 대표적인 집중호우 피해 사례

발생시기	발생 및 피해 내용
2011년 7월	100년만의 집중호우에 의한 우면산 및 춘천 산사태, 31명 사망
2010년 9월	수도권 추석절 집중호우로 수도권, 서울 침수
2006년 7월	인제, 홍천, 평창 지역 집중호우로 광범위한 산사태 발생
2002년 8월	태풍 '루사'에 의한 집중호우로 동해안 지역 대홍수, 산사태



그림 2. 1990년대 이후 집중호우에 의한 홍수 피해

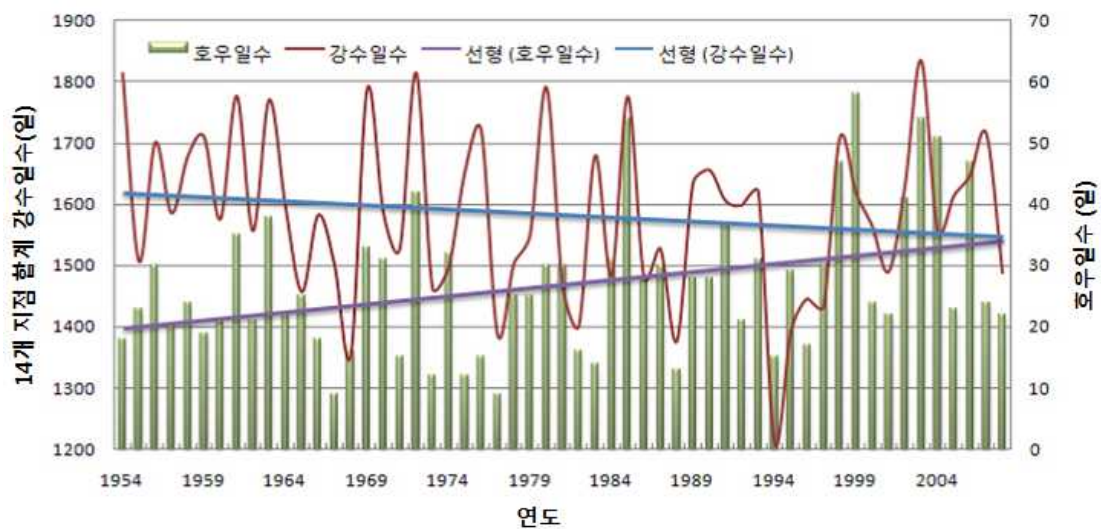


그림 3. 14개 주요관측지점 연강수일수 및 호우일수(1954~2008)(출처:기상청 홈페이지)

나. 폭설 및 바람 피해 증가

- 우리나라에서 가장 피해 우려가 높은 재난은 호우에 의한 피해이나 여름철에는 태풍에 의한 바람 피해, 겨울철에는 폭설로 인한 피해 역시 증가하고 있어 이에 대한 해결 필요(표 2)
- 폭설 피해는 겨울철에 집중되며 도로 마비, 산간지역 고립 등 불편 초래
- 태풍에 의한 피해는 호우 다음으로 발생횟수가 많은데, 강풍 발생에 의한 시설물 파손, 수목, 전신주 등 각종 시설물 전도, 해안지역 침수 등 2차 피해 발생

표 2. 최근 10년간('02~'11) 주요 자연재해 유형별 발생 및 피해현황(미래부, 2013)

구분	발생횟수	사망자(명)	금액(십억원)	
			피해액	복구액
태풍	342	419	10,464	15,575
호우	415	235	4,643	9,402
강풍	14	12	39	29
풍랑		-	70	35
대설	93	14	1,367	1,710
합계	864	680	16,583	26,751
평균	86	68	1,658	2,675



그림 4. 최근 발생한 폭설 및 바람 피해

- 집중호우(6~9월), 태풍(7~9월), 폭설(12~3월) 등 자연재해에 의한 피해가 연중 지속되고 매년 반복되고 있음

표 3. 최근의 대표적인 폭설 및 태풍 피해 사례

구분	발생시기	발생 및 피해 내용
폭설	2014년 2월	103년만의 영동지방 폭설(9일간) 산간지 고립, 경주 리조트 붕괴 등 사고 발생, 피해액 120억원 이상
	2010년 1월	중부지방 폭설, 서울 최심신적설 25.8cm, 재산피해 106억원
	2004년 3월	대전 최심신적설 최고 기록 경신(49 cm), 경부고속도로 37시간 통행 마비, 폭설로는 최대 재산피해 6,734억원 발생
태풍	2010년 9월	태풍 곤파스 수도권 상륙, 재산피해 1,670억원
	2003년 9월	태풍 매미(최대풍속 51m/s)로 사망·실종 132명, 재산피해 4조 7천억원, 해일 피해 발생
	2000년 9월	태풍 프라피룬(최대풍속 47.4m/s)으로 사망·실종 28명, 재산피해 2,600억원

다. 재해 관련 사회문제 해결 필요

- 한편, 국내의 자연재난 발생 현황으로 살펴볼 때 태풍, 홍수, 호우 및 산사태를 포함한 풍수해의 피해가 가장 빈번함(강남대학교 산학협력단, 2008)
- 1916년부터 2004년까지의 자연재난의 유형별 발생빈도를 보면 호우(홍수 및 산사태)가 453건으로 전체 발생재난 중에서 가장 많은 46%를 차지하고 있고, 그 다음으로는 태풍 189건(20%), 폭풍 159건(17%) 등임(허종완과 이상현, 2011)

※ 전 세계적으로도 2001~2010년 사이에 발생한 자연재난 중 81% (경제손실 72%, 사망자 3%)가 홍수와 태풍에 의해 발생하였으며, 그 다음 피해가 큰 것이 지진으로 전체 사망자 중 약 63%를 차지함(허종완과 이상현, 2011)

- 기후변화에 의해 과거 발생하지 않던 집중호우가 빈발하고 있고 강우량이 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 호우의 국지적 특성이 심화됨에 따라 집중호우에 대한 보다 근본적이면서 정확성에 기반한 측정과 모니터링을 통한 자연재해 예방, 대비책 마련이 시급
- 집중호우와 함께 태풍, 폭설 피해도 지속되고 있으며, 이로 인한 사회문제 역시 시급히 해결될 필요
- 국가과학기술위원회 대국민 설문조사 결과(2012. 4.) 가장 피해 우려가 높은 재난은 호우와 홍수(39.4%)로 나타났으며, 재난 대비 인프라 구축(71%)과 재난 예측·대응 관련 과학 기술 개발(67.3%)이 다른 정책에 비해 중요하게 고려되어야 한다고 조사됨(국가과학기술위원회, 2012)

1.1.2. 기존 기술의 한계

가. 기존 강우 관측기술의 한계

- 일반적인 강우 관측에 사용되고 있는 지상우량계는 직경 20 cm의 원통형 우량계이며, 티센법에 의해 면적우량 산정시 지상우량계가 대표하는 면적은 수 km^2 내지 수십 km^2 으로 공간분포에 비해 측정 대표성이 떨어짐
- 외국의 연구 결과에 의하면, 가로, 세로 각 500 m의 면적을 9등분하여 단일 사상에 대해 전도형 지상우량계로 측정한 결과 4.2~12.4 mm의 우량이 측정되어 좁은 면적에서도 큰 편차를 보이며(DHI, 2010), 이와 관련하여 1960년대부터 강우의 공간적 불균일성에 관한 연구가 몇 차례 수행된 바 있음(Sandsborg, 1969; Jackson, 1969; Desa & Niemczynowicz, 1997)
- 원통형 지상우량계는 조선시대에 처음 발명된 측우기와 동일한 구조이며, 좁은 수수구에 의한 강우 수납 방식으로 주변 건물, 수목 분포, 사면의 향과 같은 지형지물과 국지적인 바람 등의 영향을 받으므로 측정 정확도 저하
- 이러한 문제점으로 인해 근래에 광학(optic) 또는 전자파(microwave)를 이용한 우량 측정 기술이 개발되었으나 공간적 대표성은 해결하지 못함
- 우량계의 측정 오차 및 강우의 공간적 불균일성은 지상우량계의 관측치와 티센망에 의해 계산되는 면적 강우량 산정의 불확실성을 초래하여, 결과적으로 홍수 예보, 도심 침수 예측 등의 불확실성 초래

나. 강설 및 바람 관측 기술의 한계

- 강설 관측은 지형지물과 바람의 영향을 크게 받으며 관측 밀도가 낮아 공간적 불균일성을 파악하고 감시하기가 매우 곤란
- 강설은 겨울철 도로 관리 및 산간지역 주민생활 등에 필수적인 정보이나 적기에 제공되지 못할 경우 큰 피해 발생
- 바람 역시 공간적 분포가 매우 상이하며, 특히 수직적인 분포가 크게 차이가 있으나 기존의 풍향 풍속계로는 공간 분포 측정 불가능함
- 기존의 관측 기술은 관측소와 자동기상장비(AWS)에 기반한 점(point) 관측 방식으로 강수 및 바람 등의 공간적 편차가 큰 경우 대표성이 떨어짐

다. 기상(강우)레이더의 한계

- 기상(강우)레이더는 전자파(radiowave)를 활용하여 넓은 면적에 대해 강우, 바람장, 강설 등 분포를 종합적으로 파악할 수 있는 첨단 기술로서 활용이 증가하고 있음
- 그러나 기상(강우)레이더는 대당 수 억원 이상의 고가 장비로서 개별적인 관측 장비로 활용하기에는 적절하지 않음

- 기상(강우)레이더는 전자파 방사 공간 확보를 위해 산 정상 등 지상으로부터 높은 고도에 설치하는 것이 일반적이며, 이에 따라 정량 강수 산정을 위해 지상강수량 보정이 필요하나 지상 강수량계의 오차 범위로 인해 정량 강수 산정시 불확실도 증대

1.1.3. 연구의 필요성

- 기존의 원통형 지상우량계와 같은 관측 기능을 수행하면서 그 한계를 극복할 수 있는 새로운 강수계 개발 필요
- 정확한 홍수량 산정을 위해 지상강수량의 공간분포를 지형지물의 영향을 받지 않고 측정할 수 있는 기술 개발 필요
- 고분해능의 강수 공간분포를 기반으로 지형의 영향을 고려할 수 있는 면적우량 산정 기술 개선 필요
- 집중호우와 함께 폭설, 태풍 등 인간의 생활에 밀접한 악천후를 측정할 수 있는 다목적 강수량계 개발 필요
- 기존의 기상(강우)레이더는 대부분 국외 기술로서 외국의 주요 업체가 세계 시장을 장악하고 있으므로, 기존 기술보다는 틈새시장을 파고들 수 있는 기술 개발 필요
- 전자파 관측기술과 연관성이 크면서 우리나라가 보유하고 있는 세계 수준의 RF 통신, 방산 레이더 기술을 응용하여 수문기상 분야 틈새시장을 개척할 수 있는 기술 개발 필요
- 악천후 관측, 재해 예방 기술은 국민의 안전한 삶을 위해 반드시 필요한 분야로서 경제성이 없어도 필요에 따라 정부 주도의 투자로 자립적인 기술 기반을 마련할 필요
- 위험기상 감시 및 방재 기술의 핵심이 되는 기반 기술은 원격, 전자파 기반의 탐지 및 분석 기술로서 자립적인 기술력 확보는 매우 중요함

1.2. 연구의 목적

○ 기존 원통형 지상우량계가 갖는 공간적 대표성 부족 문제를 극복하면서 강우, 강설, 바람장을 동시에 측정할 수 있는 전자파 기반의 다목적 강수계 개발을 위한 연구 기획

- 강수의 공간분포를 측정할 수 있는 전자파 기반 센서 개발
- 악천후 관측의 핵심인 강우, 강설, 바람장을 동시 측정할 수 있는 다목적 강수계 개발
- 홍수예보 정확도 향상에 필수적인 지상강수량을 정확하게 측정할 수 있는 저고도 측정 기술 개발
- 기존 기상레이더와 지상우량계 사이의 틈새시장을 파고들 수 있는 전자파 기반의 저렴한 관측 장비 개발

2. 국내외 동향 및 환경분석

2.1. 국내 정책동향

2.1.1. 조직 현황

- 수문 관측, 기상 관측, 홍수 조절, 악천후와 자연재해 감시 및 예방, 레이더 활용 및 운영 등과 관련이 있는 국내 정부조직으로는 기상청, 국토교통부, 4대강홍수통제소, 농림축산식품부, 소방방재청, 산림청, 국방부(공군) 등이 있음(표 4)

표 4. 수문/기상관측 업무 관련 정부조직

관련기관	수문/기상관측, 악천후, 자연재해, 레이더 관련 업무
국토교통부	• 수자원의 조사/분석 및 통계의 유지/관리에 관한 사항 • 수자원정보화에 관한 사항 • 항공사고예방 정책 수립 및 항공사 안전 지도
4대강 홍수통제소	• 수문조사 및 관측 • 수문자료의 분석 및 관리 • 하천홍수의 통제 및 관리 • 홍수 및 갈수의 예보/경보 및 전달과 댐의 조작/관리 • 홍수예보/경보시설공사의 조사/측량/설계/시행 및 운영관리
기상청	• 기상재해 자료의 종합 분석 • 기상관측자료의 표준화와 품질관리에 관한 사항 • 지상/자동기상/고층(항공기 포함)/황사/적설/농업/계절 등 기상관측망 구성/운영/관리 • 기상관측자료(유관기관 보유자료 포함) 및 기후자료 관리에 관한 사항
소방방재청	• 신국가방재시스템 및 범정부적 수해방지대책의 추진사항 관리 • 풍수해 피해예측 시스템 구축/운영 • 수방기준의 마련/운영 및 지하공간 침수방지 대책 수립/총괄 등
농림축산식품부	• 한해 및 수해대책의 수립/조정 및 시행
산림청	• 산사태방지 기반 구축 • 산사태 예방·대응 체계의 현장 확산
국방부(공군)	• 악천후 조기감시를 통한 공군기 항행, 이착륙 안전 도모

- 기상 관측을 부수적으로 수행하는 기관에는 한국수자원공사, 한국도로공사, 한국철도공사, 농어촌공사 등이 있음(표 5)

표 5. 수문/기상관측 업무 관련 공공기관

관련기관	기상/수문관측, 악천후, 레이더 관련 업무
한국도로공사	• 고속도로 기상 정보
한국철도공사	• 철도 운영을 위한 기상 정보
한국수자원공사	• 댐 관리를 위한 수문 관측 업무
한국농어촌공사	• 저수지 관리를 위한 수문 관측 업무
인천국제공항공사	• 인천공항 항공기 안전 운행을 위한 레이더 운영
국립공원관리공단	• 국립공원 유지관리를 위한 기상, 수문관측 수행
한국수력원자력	• 수력발전용 댐 운영을 위한 수문기상 정보

- 우량 관측은 2013년 기준으로 전국적으로 3,827개소에서 이루어지고 있으며, 기관 별로 관리하고 있는 관측소의 수는 표 6과 같음
- 국토교통부는 422개소의 우량 관측소를 운영하여 기상청 다음으로 많은 관측소를 운영하고 있는데, 이는 홍수예보를 위해 우량 정보가 필수적이기 때문임
- 공공기관 중에서는 유역 및 댐관리 업무를 담당하는 한국수자원공사와 철도교통을 담당하고 있는 한국철도공사에서 많은 관측소를 운영하고 있음
- 서울지역에서는 민간기업인 SK플래닛이 이동통신 기지국을 중심으로 자동기상관측장치를 운영하면서 모바일 서비스(웨더폰)를 제공하고 있음

표 6. 기관별 우량 관측망 현황

합계	국토 교통부**	기상청*	환경부*	지자체*	농촌 진흥청*	산림청*	한국수자원 공사*	한국철도 공사*
	422	552	36	1,917	149	5	173	198
3,827	한국농촌 공사*	한국전력 공사*	한국도로 공사*	국립공원 관리공단*	대한석탄 공사	한국석유 공사	한국수력 원자력	SK 플래닛***
	7	5	2	86	4	1	7	263

출처 : *기상청 조사(2012. 12. 현재), **국토교통부(2012년), *** 2013년 기준(서울지역)

2.1.2. 법령 현황

- 기상 관측, 수문 관측 및 레이더에 관련된 법으로는 하천법, 기상법, 기상관측표준화법, 자연재해대책법 등이 있으며, 관련 시행령, 시행규칙도 있음
- 관련법의 소관기관은 국토교통부, 기상청, 소방방재청 등임(표 7).

표 7. 기상/수문조사 관련 법령

법령명	관련 조항	관리부처
하천법 (시행령, 시행규칙)	• 목적 : 하천사용의 이익 증진, 자연친화적 정비·보전, 유수로 인한 피해 예방을 통해 공공복리의 증진에 이바지 • 법 : 제17~20조(수문조사) • 시행령 : 제3조(수문조사시설), 제11~12조(수문조사), 제47조(수문조사기기의 설치기준) • 시행규칙 : 제9조(수문조사시설 설치)	국토 교통부
기상법	• 목적 : 국가기상업무의 효율적 수행, 기상업무의 건전한 발전, 기상재해로부터 국민의 생명과 재산 보호 • 법 : 제7조	기상청
기상관측 표준화법	• 목적 : 기상관측의 표준화, 기상관측의 정확성과 기상관측장비의 운용 및 기상관측자료 공동 활용 효율성 제고 • 법 : 제1~19조(기상관측)	기상청
자연재해 대책법	• 목적 : 태풍·홍수 등 자연현상으로 인한 재난으로부터 국토 보존 및 국민, 재산, 주요기간시설의 보호	소방 방재청

2.1.3. 관련 규정

- 강수량, 강설량 등의 강수 관측, 조사와 관련한 국내 규정은 수문관측업무규정(국토해양부훈령 제910호, 국토해양부, 2012), 관측업무규정(기상청훈령 제735호, 기상청, 2012) 등이 있음

가. 수문관측업무규정

- 수문관측업무규정에서는 하천법 및 동법 시행령 제12조에 따라 실시하는 하천 유역의 강수량, 증발산량 등에 대해 국토교통부의 수문조사업무의 세부사항을 정하고 있음
- 제6조는 조사의 종목으로써 강수량을 명시하고 있고, 제7조(조사방법)에서는 강우량과 강설량을 포함하는 강수량의 조사 방법을 정하고 있음

나. 관측업무규정

- 기상청의 관측업무규정에서는 기상법 및 동법 시행령, 기상관측표준화법 및 동법 시행령 등에서 관측업무에 대하여 위임된 사항을 세부 규정함
- 제반 기상 요소에 대한 관측 원칙을 제시하고 있으며, 제2장은 지상기상관측(강수량, 적설량, 풍향, 풍속 등), 제9장은 레이더 기상관측(반사도, 시선속도 등)에 관한 사항과 함께 관측 장비 관리에 대한 사항을 제시하고 있음

2.1.4. 지침 및 국가 계획

- 강수량 관측과 관련된 지침 및 국가 계획에는 하천설계기준(한국수자원학회, 2009), 수문조사기본계획(국토해양부, 2008), 수문관측매뉴얼 등이 있으며, 이외에도 수문조사선진화 5개년 계획 등이 있음
- 하천설계기준은 국내 하천계획과 관련한 기술지침서로 활용되며, 제5장에서 강수량 조사를 다루고 있음
- 수문조사기본계획은 하천법 제17조에 의해 국가 차원의 수문조사 발전을 위한 비전, 목표 및 기본 방향을 수립하고 10년간 추진하기 위한 계획으로 현재 2010년부터 2019년까지의 계획이 수립되어 있으며, 강수량을 포함한 각종 수문조사의 실태, 장비 구축계획, 운영 계획, 예산 투자 계획 등을 다루고 있음
- 국토교통부에서 수립한 수문조사 선진화 5개년 계획은 낙후된 수문조사의 획기적인 개선을 위해 전문가 자문과 공청회 등을 거쳐 2005년 6월에 수립되었으며, 2010년까지 시행되었음. 본 계획에 따라 하천정보센터가 설립되었으며, 수문조사 인프라가 확충되었고, 수문조사 관련 기술 개발 연구가 촉진되었음(허철, 2005)

2.1.5. 국내 정책동향

가. 국가 정책 및 법정 계획

1) 박근혜정부 출범시 대통령직인수위원회가 제시한 국정과제(2013. 2.)

[92] 총체적인 국가 재난관리체계 강화

(3) 홍수·산사태 등 재해 걱정 없는 안심국토 실현

- 재해예방적 토지이용체계 확립, 도시하천유역 종합치수계획 마련, 강우레이더구축, 홍수위험지도 제작, 비탈면 정비, 상습 침수지역 하수관 확충 및 저류시설 설치, 산림재해 안전망 구축

2) 제3차 과학기술기본계획('13~'17)(2013. 7.)

< 추진전략별 중점과제 중 5대 전략(High 1~5) >

(High 1) 국가 연구개발 투자 확대 및 효율화

- '17년까지 총 92.4조원의 정부 연구개발예산 투자

(High 2) 국가전략기술 개발

- 5대 분야 전략기술개발 추진(국가전략기술 120개, 중점기술 30개)
- 새로운 연구개발 추진모델 적용(안)
- 국가전략기술과 연계하여 범부처 협업프로젝트 추진

[6-1] 중점과제 : 선제적 자연재해 대응과 피해 최소화(국토부, 기상청, 안행부)

- 자연재해 모니터링/예측/대응기술

※ 6-1은 과학기술 이슈 설문조사(2012.12.), 국정과제 관련성을 고려한 중점과제임

(High 3) 중장기 창의역량 강화

[9-3] 중점과제 : 국가발전 중추거점으로 출연(연) 육성-개방과 융합연구 촉진(미래부)

(High 4) 신산업 창출 지원

[16-1] 중점과제 : 신시장 개척지원-융합 기술·제품 개발 촉진(미래부, 산업부)

나. 기타 정책 및 계획

1) 제2차 건설교통기술 연구개발사업 중장기계획('13~'17)(2012. 5.)

○ 건설교통 R&D의 주요 특징

- 건설교통 R&D는 도로, 수자원 등 SOC 공공재를 대상으로 하는 공공기술 개발을 위한 것으로서 특히 정부의 역할이 중요

○ 건설교통 R&D 투자는 2000년대 중반부터 지원확대 및 급속 성장

- 건설교통 R&D 예산은 '04년을 기점으로 매년 연평균 28% 증가하여 '11년에는 4,310억원의 규모로 확대, '11년도까지 총 2.1조원 투자
- 부품과 장비 국산화·성능 효율화 연구 부족 및 기초·원천 기술 발굴·지원 미흡, 시의성 있는 연구과제 착수 지연
- 중장기계획 수립을 통해 미래 지향적인 유망기술 확보를 위해 기술로드맵을 마련하여 기초·원천기술, 융복합·창조형 연구에 대한 투자 확대

○ 미래사회 전망5 : 기후변화로 인한 자연재해 및 안전에 대한 관심 증가

- 지구온난화에 의한 기후변화 가속화로 홍수·지진 등 복합재해가 대형화·광역화, 세계적 갈등과 분쟁 지속화 등 위기대응 필요

○ 기본 방향 : 위협으로부터 안전하고 편안한 사회 실현

- 기후변화, 대형 재해·재난 및 국내외적 갈등·분쟁의 심화 등에 따른 위기대응과 안보, 지속가능한 성장 등을 위한 기술적 전략 마련

2) 창조경제 실현계획-창조경제 생태계 조성방안(2013. 6.)

<6대 전략 중>

[5] 창조경제 기반이 되는 과학기술과 ICT 혁신역량 강화

① 자율적이고 도전적인 연구환경을 조성하고 연구성과 사업화 지원

- 정부 R&D 투자 중 기초연구 비중 '17년까지 40%로 확대, '미래 도전형 모험연구사업'을 시범 추진
- 연구자들이 연구결과를 가지고 비즈니스 모델 설계와 인큐베이팅 R&D, 사업화 자금까지 지원받을 수 있는 '연구성과 사업화지원 프로젝트'가 추진

③ 지역경제를 활성화하고 대학, 출연(연)의 지역혁신사업화 기능 강화

④ 우리의 과학기술·ICT로 국제사회 문제를 해결하여 국가위상 제고

3) 미래부 2014년 재난·재해 R&D 투자전략(2013. 6.)

<‘14년 중점투자분야 및 중점투자 분야별 주요기술 선정>

- (목적) 국가적 차원에서 대응이 시급한 분야를 발굴하여 예산 반영을 지원함으로써 재난·재해 R&D 투자 효율화 및 투자효과 극대화
- (중점투자분야) 재난·재해 R&D 수요 및 경제적·사회적 파급효과를 고려하여 우선투자가 필요한 국가적 현안분야 발굴
 - 반복 발생 자연재해, 미래형·복합형 재난 및 인적·사회적 재난 중심으로 4개 중점투자분야 선정과 중점투자 분야별 주요기술 제시

중점투자분야	주요 기술
사이버테러	주요기반시설의 사이버·물리적 재난현상 탐지·예측·대응기술 개발
지진	한반도 지진피해 예측기법 고도화
산사태/급경사지붕괴	한국형 토사재해 선제대응 및 안전기술 개발
태풍·호우	국가 태풍 분석·예측 및 대응기술 개발
	침수재해 경감 표준모델 개발 및 관리기술 고도화

4) 미래부 사회문제 해결기술(2013. 7.)

건강한 사회	다양한 질병의 극복	후보과제 1 대유행성 질환 원인균 감시기술 개발
		후보과제 2 비만 및 관련질환 조기진단
		후보과제 3 알츠하이머성 치매 조기진단
		후보과제 4 초고속 암 조기진단용 질량분석기술 개발
		후보과제 5 환자 맞춤형 항암제 선택 동반치로 진단기술 개발
	건강한 먹거리	후보과제 6 농수산물 유해물질 검증 현장진단키트 개발
		후보과제 7 식품 부패방지용 가스상 소독기술 개발
		후보과제 8 식품 원산지 현장확인기술 개발
안전한 사회	범죄 예방	후보과제 9 기존 CCTV 영상 고도화, 동작감지기술 개발
	자연·산업재해 방지 및 재난 복구	후보과제 10 침수예측을 위한 강우측정 소형 레이더 우량계 개발
		후보과제 11 미세먼지 유해물질 검출용 휴대 측정기 개발
		후보과제 12 작업자 부착용 초소형 유해물질 감지 장치 개발
쾌적한 사회	환경오염 해결	후보과제 13 무인기 활용 녹조 탐지
	교통 및 주거환경 개선	후보과제 14 층간소음 저감을 위한 기술 개발
		후보과제 15 실내 발암성 가스 감지센서 개발
		후보과제 16 교통혼잡 해소를 위한 차량 감응 제어
함께 하는 사회	취약·소외계층 배려 및 격차 해소	후보과제 17 교통약자 자가 운전차량(복지차) 적응기술 개발

5) 과학기술 기반 사회문제 해결 종합실천계획('14~'18)(2013. 12.)

< 재난재해 분야 주요 사회문제 >

- 이상기온, 강수량 증가 등의 기후변화 심화로 기상재해 발생 증가
- 기후변화로 인하여 태풍, 홍수, 폭염, 대설, 한파, 안개 등 기상 재해 발생 빈도 증가·심화 추세
 - ※ 대설·한파(1~2월), 가뭄(5월말~6월말), 폭염(7.23~8.9), 집중호우(7~8월), 태풍(8월말~9월초), 한파(12월) 등 연중 발생('12년)
- 기상재해로 인하여 다양한 분야에서 사회·경제적 손실 및 인명피해 발생
 - 최근 10년간(2001~2010) 기상재해 133건 발생, 인명피해 684명, 재산피해 17조원
 - ※ 과거 10년 대비 인명피해 44% 감소, 재산피해 311% 증가

< 목표 2 걱정없는 안심사회 >

- 재난·재해로 발생하는 피해를 예측·예방하고 체계적 대응과 관리를 통해 국민의 생명·재산을 안전하게 보호
 - 고령화, 도시화 등으로 인한 재난·재해 취약계층 증가, 재난의 복합화·대형화에 효과적으로 대응하기 위한 기술개발
 - ※ (예시) 홍수피해 저감기술, 감염병 대응 기술, 신종재난 대응 기술 등 비전 및 투자전략
- 재난·재해로부터 국민 보호
 - 재난·재해로 발생하는 피해를 예측·예방하고 체계적 대응과 관리를 통해 국민의 생명·재산을 안전하게 보호
 - 기상재해로 인하여 발생할 수 있는 인적·물적 피해저감을 위한 기상재해 예보 및 대응시스템 구축

6) 2015년 정부 연구개발 방향

- 최근 미래창조과학부는 '2015년도 정부연구개발 투자방향'의 중점 추진분야로 '걱정 없는 안전사회 구축'을 제시
- 중점투자 분야로 ①ICT 기반의 예측·관측·대응 등 전주기 재난대응 시스템 구축, ② 사고·범죄 예방·대응 R&D 지원 강화, ③주거·식품·교통 등 생활안전 R&D 투자 확대 등 제시

2.1.6. 요약 및 시사점

- 강우, 강설 등의 기상/수문 관측, 조사는 국토교통부와 기상청에서 담당하며, 이와 관련한 집중호우, 폭설 등 악천후, 자연재해 등도 국토교통부, 기상청, 소방방재청 등이 담당하고 있어 이 세 부처가 주요 조직이며, 이들 부처는 하천법, 기상법, 기상 관측표준화법, 자연재해대책법 등을 통해 정책을 집행하고 있음
- 지방자치단체는 각각의 목적을 따라 기상/수문관측 장비를 운영하고 있고, 정부의 정

책과 보조를 맞추어 재난재해 예방, 대응 노력

- 이외에도 한국수자원공사, 한국전력공사(한국수력원자력), 한국농어촌공사, 한국도로공사, 한국철도공사 등에서 각각의 목적으로 강수량 관측을 실시하며, 민간업체의 경우 자체 서비스를 위해 우량을 관측하는 등 전국적으로 3,827개소에서 강수량 관측 수행
- 강수량 관측과 관련한 규정으로는 수문관측업무규정, 관측업무규정, 하천설계기준 등이 있으며, 수문조사기본계획 등이 국가 계획으로 수립, 시행되고 있음
- 박근혜정부 출범 이후 최근 과학기술 정책 동향으로는 과학기술기본계획, 창조경제 실현계획, 과학기술기반 사회문제 해결 계획 등이 있으며, 국토교통부가 수립, 시행하는 건설교통기술 연구개발사업 추진계획 등이 있음
- 최근의 국가 정책 방향은 융합형 연구를 통한 창조경제 실현을 목표로 하고 있으며, 2000년대 들어 급증한 여러 자연재해 및 피해 등으로 인해 범정부적으로 재난재해 분야의 연구개발을 촉진하는 방향으로 전개되고 있음
- 이러한 방향을 종합해 볼 때, 본 연구에서 개발하고자 하는 전파강수계 기술은 첨단 기술을 기반으로 하는 재난재해 관측, 예방 기술에 해당하므로 정책적 방향과 부합한다고 볼 수 있음

2.2. 국외 정책동향

아래의 내용은 STEPI 홈페이지(2014) 및 허종완과 이상현(2011)을 참고하였음

2.2.1. 미국

가. 자연재해 정책 대응

- 미국은 FEMA(연방비상관리청, Federal Emergency Management Agency)를 대통령 직속으로 설립하여 재해관리 업무를 총괄하고, 특히 홍수재해를 방지하기 위해서 연간 30억 달러 이상의 예산 사용
- 미국지질조사소(USGS)은 총 11.7억 달러(2014년)의 예산을 투입하여 재해지도 작성, 원격감지, 지질재해 위험평가 등을 집중적으로 수행하고 수문자료를 통합 관리함

나. 2030년 국가 재해복구역량 강화 정책(Disaster Resilience: A National Imperative)

- 2011년 한 해 동안 미국에서 국가적 재해로 인한 경제적 손실이 550억불 이상이 될 만큼 재해로 인한 국가적 손실이 막대
- 점증하는 국가적 재해에 대응하기 위해서는 재해 회복력에 대한 투자가 적절한 시기에 적절한 방법으로 이루어져야 하므로 미연방정부는 국가연구위원회(NRC)에 다음의 사항들에 대한 연구를 의뢰

- 국가적 회복력에 대한 정의와 미국 내에서 재해 회복력을 향상시키기 위한 주요 이슈 발굴
- 재해 회복력에 대한 목표, 기본 조건, 성능 평가 척도 제공
- 재해 회복력에 관해 파악하고 있는 정보의 현황
- 미국의 국가 재해 회복력을 향상시키기 위해 제안된 여섯 가지 방안
 - 재해 위험의 이해 및 관리
 - 재해 회복력 향상의 측정(수치적 평가수단)
 - 하부로부터의 재해 회복력 : 지역사회의 회복력 향상 방안
 - 상부로부터의 재해 회복력 : 장기적 안목에 의한 정부의 강력한 관리 및 정책/법제화
 - 효과적인 재해 회복력 구축을 위한 권고 사항들 : 재해 관련 자료 구축, 국토안보부와 연방정부 기관들의 협력하여 재해 회복력 스코어 카드 개발, 각급 정부의 재해 회복력 제고

다. 2013년 미국에서 기상재해로 인한 물적, 인적 피해 분석

- 미국진보센터(CAP)는 2013년 미국에서 발생한 기후변화를 분석
- 2011-2013년 동안 34건의 폭풍·홍수·산불 발생, 1,221명의 인명 손실과 2.08조 달러의 재산 피해
- 2013년에는 아홉 건의 심각한 기상재해로 114명의 인명 피해와 200억 달러의 재산 손실이 발생
- 오바마 대통령은 기후변화행동계획(CAP)의 실효성 확보를 위해 '15년 예산에서 기후 회복을 위한 자금 조달을 제안
- 기후변화 영향에 대한 연구비, 복구를 위한 인프라 건설, 교통부·주택·도시개발청·환경보호청의 기후변화 관련 프로젝트에 투자 예정

2.2.2. 일본

가. 일본의 자연재해 R&D 대응

- 우리나라 방재 관련 연구비의 약 7배(2010년 기준)에 이르는 약 1조 1천억 원의 막대한 연구비를 투자하여 다학제간(이학, 공학, 사회학)으로 개발 추진
- 1963년 일본 과학기술처 산하에 설립된 일본방재과학기술연구소(NEID)는 총 96억 엔('06)의 예산을 투입하여 지진재해 정보 네트워크 구축/운영, 산사태/태풍 등 실시간 자연 재난 모니터링 및 예측시스템 개발, 실험형 자연재난 실험연구 등을 수행

나. 동일본 대지진('11.3.) 이후 일본의 재난·재해 정책 변화 개요(국립재난안전연구원, 2013)

- 중앙방재회의는 '방재기본계획'을 수정('11.12.)하여, 방재 대책의 근본적 강화를 위해 '지진·지진해일에 관한 연구 및 관측체계'를 대책으로 제시
- 중앙방재회의에서 관료와 민간전문가로 '방재대책추진검토회의'를 구성, 정부 대응 검증 및 대규모 재해에 따른 교훈을 조사('12.10.)
- '재해대책기본법'을 정보수집·전달·공유 강화, 국가 지원 규정 및 대상 업무 확대, 이재민 대응체계 개선, 방재 교육 등의 내용으로 개정('13.6.)

다. 일본의 주요 과학기술 정책 중 재난·재해 관련 사항

- 일본 제4차 과학기술기본계획(2011~2015)
 - 동일본 대지진 이후 과학기술정책은 과학기술 활동 자체에서 과학기술과 경제사회의 통합, 즉 '사회를 위한 정책'으로 패러다임 전환
 - 과학기술정책이 지향하는 국가 모습인 ①지진 재해로부터의 부흥, 재생을 통한 지속 성장과 사회발전, ②안전하고 풍요로운 국민생활 실현, ③대규모 자연재해 등 지구 문제 해결 선도, ④국가 존립의 기반이 되는 과학기술 보유국가 등을 제시
 - R&D 분야에 재해 조기 조사관측·예측·경보 강화, 영향평가 및 재해 대책 수립, 해양탐사 기술 개발, 고성능 컴퓨팅 기술, 지리공간정보기술 등 포함
- 소방청의 소방방재 과학기술 고도화전략계획('12.10.)
 - 동일본 대지진을 비롯한 최근 대규모·복잡화 되어가는 자연재해에 대해 국민이 안심할 수 있도록 R&D 성과가 소방규제 등의 제도 및 구조개선으로 이루어질 수 있도록 향후 5년에 걸친 국가 소방방재분야의 R&D 방향 제시
 - ① 지진·해일·풍수해 등으로부터 국민 보호, ② 복잡·다양한 화재로부터의 국민보호, ③ 구조기술 개발을 통한 구명율 향상, ④ 산업시설의 안전 확보, ⑤ 소방공무원 안전 확보
- 일본과학기술혁신종합전략('13.5.)
 - '30년까지 실현해야 할 3대 경제 사회의 모습을 제시하고 이를 달성하기 위한 구체적인 과제와 대응기술까지 제시
 - 재해 피해를 최소화 할 수 있는 차세대 인프라의 정비, 재난 발생 시 의료기술 및 의료 지원방안 연구 등이 5대 전략 과제에 포함
- 일본재흥전략('13.6.)
 - 일본경제재건을 목적으로 발표된 '일본재흥전략'의 13개 전략 분야의 하나로 '안전·편리하고 경제적인 차세대 인프라 구축'을 제시
 - IT를 활용한 점검·진단 시스템 구축, 신소재 개발, 우주 인프라 활용 등 최첨단 기술을 활용한 안전한 지능형 인프라를 구축할 계획

- 과학기술혁신을 가속화하기 위한 6개 정책 과제('14.3.)
 - 종합과학기술회의는 과학기술기본계획에서 제시된 지진으로부터의 부흥 재생을 위한 '재해에 대응하는 관계 기관과 산학관간의 정보 공유 및 과학기술 관련 체계 구축'의 중요성을 강조
 - 주요 내용으로 재난주민에 대한 건강조사, 건강관리 및 피해영향 검증, 재해의료의 개선으로 연계, 이를 위한 인프라 정비 등을 제시

라. 재난·재해 관련 주요 R&D 동향

- 일본은 재난·재해 관련 정책 및 연구개발 활동은 지리적 특성상 지진재해에 초점
- 재난·재해 분야의 주요 R&D 추진전략은 ①다학제적 특성의 방재 연구를 종합과학기술로 추진, ②재해정보 관리 및 재해발생 매커니즘 규명 등 기초 연구, ③연구개발 결과의 신속한 현장 적용으로 사회 방재력 향상, ④방재관련 기관 간 연계 강화 및 연구 인프라 구축 등
 - 국립방재과학기술연구소(NIED), 소방연구소(NRIFD), 토목연구소(PWRI) 중심으로 수행
- 일본과학기술진흥기구(JST)는 대규모 자연재해 등 지구 규모 문제 해결을 위한 국제 공동연구를 39개국과 공동으로 77개 프로젝트를 수행
 - 환경, 에너지, 자연재해, 전염병 등 국제적 해결 과제에 대한 지원 확대
 - '03년도 소규모 공동연구 지원을 위한 전략적 국제과학기술 협력사업 실시

2.2.3. 유럽

가. Horizon2020

- 유럽연합(EU)은 'Horizon2020'을 통해 연구와 혁신을 위한 다양한 공공-민간협력 프로그램을 기획하고 많은 예산을 투자 중
- 'Horizon2020'은 1984년 시작된 EU의 대표적 연구사업 프레임워크 프로그램이며, 연구와 시장의 연계 강화 의미를 담아 8차 프로그램(2014~2020)부터 명칭 변경
- 연구·혁신은 고용창출, 지속 가능성 확대 등 EU 국가들의 글로벌 경쟁력을 향상시키면서 궁극적으로 유럽 지역 국민들의 삶의 질을 향상
- Horizon2020에서는 많은 사회적 도전과 산업계 리더십 측면의 연구 및 혁신을 위하여 공공-민간 파트너십을 활용

나. 유럽집행위원회(EC)의 투자 계획

- EC는 연구 및 혁신활동 장려를 위하여 민간재원 93.5억 유로(약 13.2조원)을 포함하여 향후 7년 간(2014-2020) 총 222억 유로(약 31.5조원)를 투자할 예정
- 공공-민간 협력프로그램으로 경제·사회 및 환경문제 해결을 위한 프로그램인 Joint

Technology Initiatives(JTIs)에 172억 유로의 투자를 추진

- (클린스카이2, CS2) CO₂ 배출의 획기적 감소 등, 청정하고 조용한 항공기 개발
 - (혁신적 의약품2, IMI2) 차세대 백신, 항생제 등 의약품 및 치료제 개발
 - (수소연료전지2, FCH2) 운송·산업·에너지개발 분야의 청정하고 효율적인 기술사용 확대
 - (바이오산업, BBI) 재생 가능한 천연자원 및 친환경적인 일용품 사용을 위한 혁신적 기술 개발
 - (전자부품 및 시스템, ECSEL) 유럽 내 전자산업분야 제조역량 강화
 - (철도, Shift2Rail) 철도를 통한 보다 많은 승객 및 화물의 운송
 - EU회원국이 참여하는 협력 프로그램(34.6억 유로)
 - (유럽-개도국 간 임상실험 파트너십, EDCTPs) 빈곤관련 질병의 사회적·경제적 부담 감소
 - (연구·혁신을 위한 유럽 계측 프로그램, EMPIR) 새로운 계측기술 제공
 - (유로스타 2) 혁신적 중소기업들을 지원함으로써, 성장과 고용을 촉진
 - (요양시설에 대한 R&D 프로그램) 건강관리제도의 지속성 제고, 노년층 삶의 질을 향상
 - 유럽항공교통관제시스템의 단일화 등 구축을 위한 SESAR* 프로그램(약 16억 유로)
- * Single European Sky Air Traffic Management System

2.2.4. 중국

가. 2020년도에 '국가 기상재해 방어 체계' 구축 계획

- 2008년 '전국 기상국(氣象局) 국장 회의'에서 중국 '국가 기상 재해 방어 계획(2007~2020년)' 제정
- 중국 '국가 기상 재해 방어 계획(2007~2020년)'은 2020년에 중국 정부는 구조가 완벽하고, 기능이 선진적이며, 소프트웨어와 하드웨어가 결합되고, 예방을 위주로 하고, 정부가 주도하며, 부처간 협력하고, 업무 조율이 효과적이고, 보장이 확실한 '국가 및 지방 각 급 기상 재해 방어 체계'를 구축
- 이를 통해 2020년에 태풍, 폭풍우 등 재해에 대한 조기 예측 경보 정밀도를 현재 보다 5~10% 향상시킴으로써 기상재해로 인한 직접적인 경제 손실이 25% 정도 감소할 것으로 기대

나. 중국, 차세대 기상레이더 증설로 자연재해 예방 능력 강화

- 2009년 2월 6일 개최된 '차세대 기상레이더 증설 및 배치방안 자문 평가회의' 결과에 따르면, 향후 5년 동안 중국정부는 기상사각지대와 기상서비스 중점지역 및 돌발성 기상이변이 빈발하는 지역의 변화가 지대에 기상레이더를 증설하고, 각기 다른 수요의

기상레이더를 하나의 시스템으로 통일하는 종합서비스 응용시스템을 건설할 계획

- 기상레이더를 통해 강우량의 측정, 강우지역 예상, 기상경보 기능발휘 등의 기상예보를 실시하고, 관리 2급과 보호 3급의 기상레이더를 이용해 기상레이더를 보호 및 지원하는 시스템을 구축
- 차세대 기상레이더는 선진기술을 이용하여 관련 계획이나 기준을 하나로 통일, 기상예보는 물론, 수리(水利), 항공, 군사, 해양, 농작, 임업 등 여러 분야에 활용
- 차세대 기상 레이더 증설은 농촌, 연해지역, 주요하천유역, 주요철도근방, 주요전략경제구역, 재난피해다발지역의 자연재해발생을 예측, 국지성 집중 호우 등의 자연재해의 경보 능력을 제고시켜 자연재해의 피해 저감에 기여 예정.

2.2.5. 요약 및 시사점

- 미국은 2011년에 막대한 재해 비용을 지출하였고, 일본 역시 동일본 대지진으로 큰 재해 피해를 입었으며, 이로 인해 국가적 대응 능력을 제고할 필요성을 절감하고 있음
- 유럽의 경우 근래에 미국이나 일본과 같은 재해는 없었지만, 장기적으로 차세대 환경을 고려한 연구 개발 투자를 지속적으로 시행하고 있음
- 중국의 경우 자연재해가 점차 심해지고 있으며, 특히 기상재해가 심해짐에 따라 이에 대응하기 위한 전국가적 기술 개발을 독려하고 있고, 그 대표적인 기술이 차세대 기상레이더 기술임
- 해외 선진국들은 2000년대 이후 재난 재해에 대한 국가적 대비 시스템 구축을 위한 정책적, 제도적 노력을 기울이고 있으며, 이를 과학적으로 뒷받침하기 위한 국가적, 범국가적 차원의 연구 개발에 박차를 가하고 있음
- 국내외의 동향을 종합해 볼 때, 전지구적 이상기후에 대한 대비 및 차세대 기술을 선점하기 위한 차원에서 기상 탐사 및 재해 예방 기술에 대한 연구 개발 투자가 지속적으로 이루어져야 할 것임

2.3. 국내외 시장현황 및 전망

2.3.1. 국내 시장현황 및 전망

- 1997년 기상사업자제도 도입 이후 국내 기상산업 시장은 2008년 318.8억원에서 2011년에는 1,567억원으로 급속히 성장(박광준, 2012)
- 국내에서 대기 지상관측 관련 장비의 시장규모는 2008년 기준 218.6억원이며, 그 중 국산품 13.5억원을 제외하면 첨단장비 및 고가장비 대부분은 해외 수입에 의존(기상산업진흥원, 2010)

- 2011년 현재 기상장비의 국산화율은 29.1%(그림 5).
- 국내에서 생산하고 있는 대기 지상관측장비는 전도형우량계, 풍속계 등이며, 고층장비 일부가 국산화되어 있음. 이외에 항공관측장비 등 첨단 장비는 국산화되지 못했고, 국내에서 생산하는 데는 한계가 있음(기상산업진흥원, 2010)

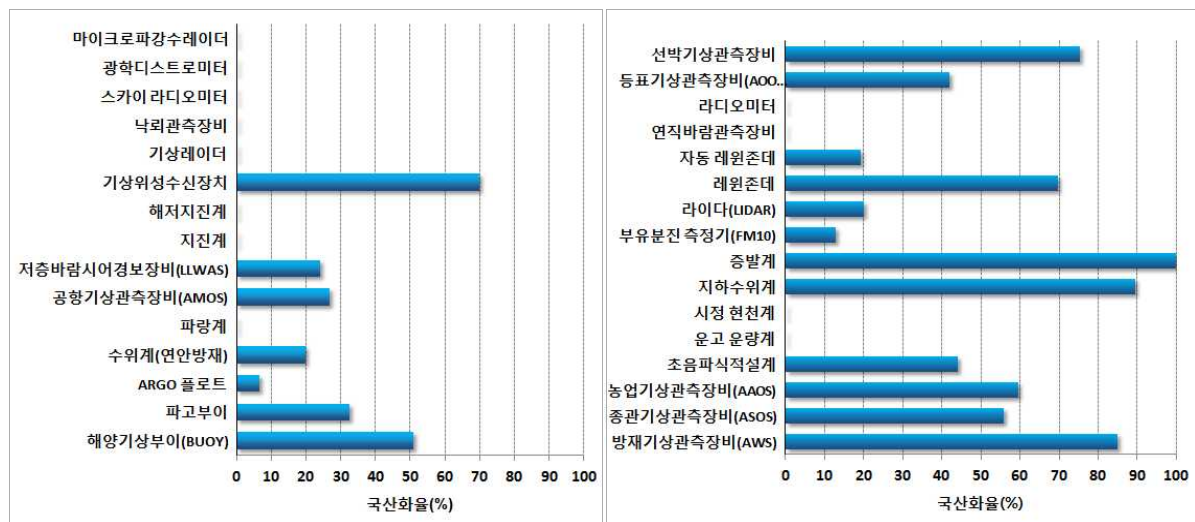


그림 5. 기상장비별 국산화율(출처:기상청 자료 편집)

가. 강우량 등 관측기기 시장 현황

- 2013년 현재 우량계 및 우설량계를 포함하여 국토교통부, 기상청, 지자체 및 공공기관, 민간 등에서 운영 중인 강수량계는 전국적으로 3,827대가 운영되고 있으며, 공식적으로 집계되지 않는 대학, 연구소, 일반 회사에서의 활용 등을 고려할 경우 전국적으로 약 5,000여대 정도로 추정됨
- 강수량계의 경우 전도형우량계를 기준으로 센서와 로거를 포함하여 대당 약 200만원 내외이며, 기기의 내용연수를 5년으로 잡을 경우 연간 1,000여대, 약 20억원 정도의 시장 규모임
- 이와 함께 최근 도입이 이루어지고 있는 중량식 우량계와 광학우량계(distrometer) 종류인 PASIVEL, 2DVD, 전자파 우설량 측정 장비인 POSS 등은 기상청 테스트 베드 및 일부 대학 등에서 활용 중이나 기존 우량계 대비 가격이 높게 형성되어 있어 일부 연구용으로 사용 중이며, 국내 시장이 충분히 발달하지 않을 것으로 판단됨

나. 기상(강우)레이더 시장 현황

- 현재 국지성 방재를 위한 소형 X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템을 개발 중인 STX엔진(주)이 자체적으로 기존 교체 및 지역 강우 시스템 수요의 발생 등 증가 추세를 예상하여 X-밴드 소형 이중편파 기상레이더의 국내 수요를 추정한 결과 2016

년 2대를 시작으로 2년간 1대씩 증가한다고 예측하였으며, 시장 규모는 대당 양산단가 15억을 기준으로 30~60억원 정도의 시장을 예상한 바 있음(STX엔진, 2011)

- 한편, 2014년 현재 국내에는 국토교통부, 기상청, 공군 등에서 총 35대의 기상(강우)레이더를 운영 중이며, 대당 10년의 수명을 적용할 경우 연간 4대의 교체 수요가 발생하고 단가 15억원을 적용할 경우 60억원 규모의 시장이 추정 가능한 바 이는 STX엔진(2011)의 추정치와 근사함
- 기상(강우)레이더 자체의 보급이 적은 관계로 시장성은 크지 않지만, 전국적으로 낙뢰, 정전, 장비 내구연한 등의 여러 문제로 인해 지속적인 수리, 보완 업무가 이루어진다는 점을 고려하면 시장 규모의 확대가 이루어질 전망
- 현재 기상(강우)레이더의 경우 전국적인 목적으로 설치되고 있어 장비 가격보다는 시설 투자에 더 많은 자금이 투입된다는 점을 고려하면, 간략한 시설에 설치, 운영 가능한 장비가 보급될 경우 기상(강우)레이더의 보급이 증가할 전망
- 이와는 별도로 2009년 기상지진기술개발사업단 자료에 따르면, 국내 소형 이중편파 기상레이더 시장이 2016년 330억원에서 2020년 723억원 규모로 성장한다고 전망한 바 있음
- 여러 자료를 종합해 보면, 우량계, 기상레이더 등과 관련된 기상 장비 시장의 규모에 대해서는 전망이 다소 엇갈리는 상황임

2.3.2. 국외 시장현황 및 전망

- 방기석(2009)에 따르면 전세계적인 기상장비 기업인 핀란드의 바이살라(Vaisala Ojy)는 전세계 기상장비 시장의 약 27%(북미 42%, 유럽 40%)를 점유하고 있는데, Vaisala의 2013년 매출액이 273.3백만 유로(340백만 달러)임을 고려하면 전세계 기상장비 시장 규모는 2013년 기준으로 대략 1.4조원 정도로 추정할 수 있음
- 다른 출처인 한국기상산업진흥원(2012)의 자료에 따르면 세계 기상장비 시장의 규모는 2008년 기준으로 약 5조원이며, 2014년 7.9조원으로 확대될 것으로 추정하였으며, 글로벌 메이저 기업이 전체 매출의 60%를 점유할 것으로 보았음
- 핀란드의 VAISALA를 비롯하여 일본의 Meisei, 미국의 Campbell, 독일의 Gematronik 등의 메이저 기업들이 세계 기상장비 시장을 약 57% 정도 장악하고 있으며, 기상(강우)레이더 관련 업체로는 미국의 EEC가 4%, Radtech이 1%의 점유율을 보이고 있음(그림 6)

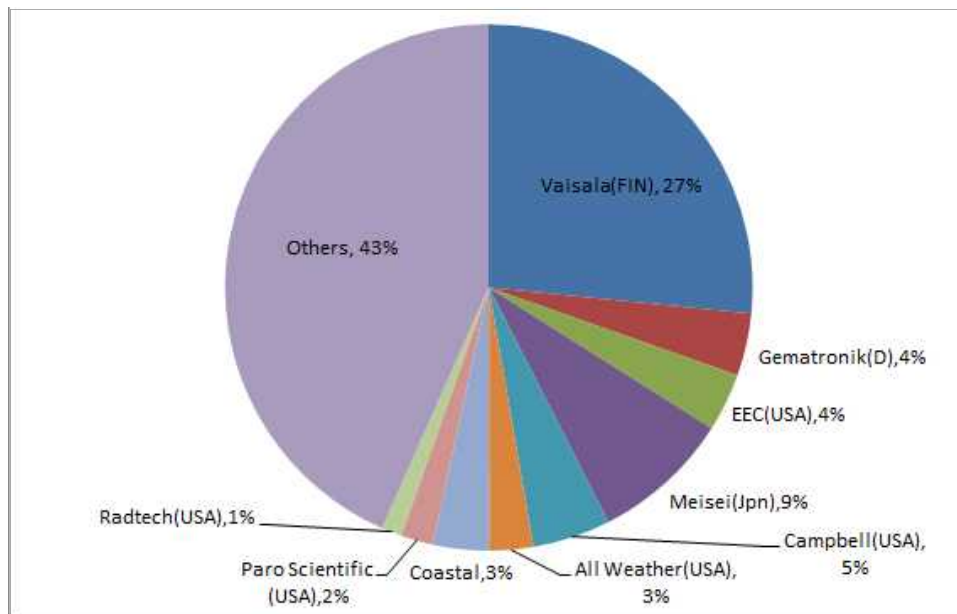


그림 6. 전세계 기상장비 업체별 점유율(VAISALA 자료 재편집)

- 한편, 시장분석기관인 BCC research가 제시한 기상 시장의 규모 추정치는 2009년 기준으로 150억불(약 15조원)이며, 2020년 233억불로 증가할 전망이다(BCC, 2009)
- 세계 기상장비 시장의 관해서도 기관별로 서로 다른 추정치를 제시하고 있어 정확한 시장 규모를 추정하기가 쉽지 않으나 종합적으로 볼 때, 세계 기상장비 시장 규모는 2~3조원 사이라고 판단됨

가. 우량계 시장 현황 및 전망

- 전세계적으로 공식적인 기상관측소는 11,000개소 이상이며, 강우량 관측소는 이보다 훨씬 많을 것으로 추정됨
- 개별 기상장비의 시장 규모는 파악하기 곤란하나, 보수적으로 보아 연 2조원 규모로 추정되는 기상장비 시장에서 우량계의 저렴한 가격, 다른 기상관측 항목 대비 높은 중요성과 관측 빈도 등을 고려하여 전체 장비 시장에서 차지하는 비율을 대략 5% 정도로 본다면, 연간 약 1,000억원 정도의 시장으로 볼 수 있음(국내 시장 추정 : 20억원, 세계시장의 약 2% 정도)
- 근래에 광학우량계(distrometer), 초음파 풍향풍속계 등 전통적인 기상 장비에서 첨단 센서 기술을 응용한 관측 기기가 개발되고 있으며, 특히 강수량의 경우 PASIVEL(광학), 2DVD(광학), POSS(전자파) 등도 점차 시장을 확대하고 있음

나. 레이더 시장 현황 및 전망

- 현재 전세계에 설치되어 있는 기상레이더는 약 2,000여대로 추산(STX엔진, 2011)

- 기상(강우)레이더의 수명 년수를 10년으로 볼 경우, 연간 약 200여대의 교체 수요가 발생하며, 대당 10억의 단가를 적용할 경우 2,000억원 정도로 추정되며, 앞서 추정한 기상장비 시장 2조원의 약 10%에 해당
- 한편, 해외 레이더 업체의 제작업체의 50~60%이상이 10명 내외의 인원으로 레이더를 제작 판매하고 있으며, 레이더 유지 보수 시장 또한 무시할 수 없으므로 지속적인 국산화 개발 필요(이규원, 2009)
- 전세계적으로 기상(강우)레이더를 설계, 제조하는 회사는 표 8과 같음

표 8. 전세계 기상(강우)레이더 설계, 제조사(HMEI : The Association of Hydro-Meteorological Equipment Industry)(출처:각 회사 홈페이지)

구분	회사	국가	설립	제품군	기타
MHEI	BARON	미국	1989	C, S, X 밴드	NEXRAD 171대 업그레이드 Storm Tracking 기술
	Met-Star	중국	1996	C, S, X 밴드	록히드마틴과 중국기상청 합작회사, 111대 이상 보급, CINRAD 후원
	EEC	미국	1971	C, S, X 밴드	WSR74 레이더 160대 보급, 디지털 신호처리 설계/생산
	Metek	독일	1989	X밴드, K밴드	소형 레이더, MRR
	MicroStep	슬로바키아	?	이동식 X밴드	소형/이동식 레이더, MMR
	Toshiba	일본	1873	C, S, X 밴드	Solid-state반도체송수신기 레이더
	Vaisala	핀란드	1936	C 밴드	신호처리 업체(Sigmet) 인수
기타	Gematronik	독일	1961	C, S, X 밴드	군사용 레이더 제조로 시작한 레이더 설계, 제조사, Selex
	DHI	덴마크	1964	도파관형 X밴드	소형, LAWR
	Mitsubishi	일본	1953	C, X 밴드 등	일본 레이더 역사 초기부터 60여대의 레이더를 납품
	Radtec	미국	1993	C, S, X 밴드	설계, 제조
	ARC	미국	2006	C, X 밴드	미국립기상청(NCAR) 재단에 의해 설립
	Anhui Sun Create	중국	2000	C, X, Ka 밴드	이중편파, 고정식/이동식, 구름 관측 센서 등
	EWR	미국	1982	X 밴드	이동식 도플러 기상레이더, SSPA,
	Ridgeline Instruments	미국		X 밴드	이중편파 레이더, Colorado 대학교 협력업체
	MCV	스페인	1982	C 밴드	도플러 레이더
	JRC	일본	1915	C, X 밴드	'54년 세계최초 S밴드 레이더 생산

- 기상(강우)레이더는 민간 회사 뿐만 아니라 국공립 연구소, 대학 등에서도 개발, 제작하는 경우가 있으며, ERC(미국), NIED(일본 국립방재과학연구소), NICT(일본 통신기술연구소), McGill 대학교(캐나다), Colorado 대학교(미국), IITM(인도 마드라스공과대학교) 등이 여기에 해당함

2.3.3. 요약 및 시사점

- 국내 기상장비 시장은 연간 약 300억원 정도이며, 지상 강수량계는 약 20억 내외 규모임. 아울러 기상(강우)레이더 시장은 연간 60억 정도로 추산됨
- 세계 시장은 기상장비 전체로 약 2조원 정도의 시장규모가 있고, 그중에 우량계는 약 1,000억원 정도이고, 기상(강우)레이더는 약 2,000억원 규모의 시장 추정
- 다만, 국내외 시장 규모에 추정 및 전망은 기관에 따라 상이함으로 추정치는 대략적인 금액으로 보아야 함
- 국내 강수량계 및 레이더 시장은 세계 시장에 비해 상대적으로 작으나 기상재해가 계속되고 재해에 대한 국민적 관심과 정책적 노력이 지속됨에 따라 점차 확대될 것으로 예상됨
- 본 연구과제를 통해 공간 분포를 측정할 수 있는 저렴하고 성능이 높은 전자파 기반의 강수량계를 개발할 경우 기존의 강수량계 시장 뿐만 아니라 기상(강우)레이더가 비싸서 도입을 주저하는 지자체, 각급 기관에서도 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 이에 따라 전체 시장이 확대될 것으로 예상할 수 있음
- 경제성 및 유지 보수의 어려움보다 더 중요한 것은 기술 자립임. 선진국의 경우 경제성이 없더라도 경우에 따라서는 정부 주도의 투자로 자립 기술을 구축하는 경향
- 수문, 기상, 재해 분야는 국민의 보다 윤택한 삶을 위해서는 반드시 필요한 분야이므로 앞으로 더욱 더 많은 투자가 예상되며 상업시장도 급속도로 성장할 것으로 예상되며, 위험기상 감시 및 방재 기능 강화의 중심에 전자파, 레이더 기술이 자리함
- 따라서 레이더 기술 자립을 통한 경쟁력 확보와 이로 인한 기상 및 방재분야에서의 파급효과는 한국을 기상, 재해 관련 기술강국으로 성장시킬 것(이규원, 2009)

2.4. 기술동향

2.4.1. 기상장비 관련 국내 기술개발 수준

- 국내 기상산업관련 기술력은 기상 선진국의 78.1% 수준이며, 기술 격차는 4.1년(한국기상산업진흥원, 2014)
- 선진국대비 기술수준 및 격차는 응용기상정보 59% (8~10년), 기상영향평가

48%(8~15년), 기상장비 53%(10~20년) 등으로 분석되며, 기상청(2007)에 따르면 기상 원격탐측장비 응용 기술은 자체 개발 경험이 전무하여 선진국 대비 20% 기술 수준으로 평가한 바 있으나 최근 기술력이 향상되었음

- 국내 기술은 주로 AWS, 강수량계, 백금온도계 등 일부 기상/수문 관측 장비의 개발 및 생산에 한정되어 있으며, 첨단 기술이 적용된 장비를 대부분 수입에 의존
- 최근 기상기술의 특허출원이 증가하는 추세로 2005년 9건에 불과하였으나 2009년에는 46건으로 연평균 50% 증가(특허청, 2010)
- 기상, 수문 관측 관련한 특허는 주로 레이더 자료 처리 쪽에 집중되어 있는 실정임

2.4.2. 관측장비 기술동향

가. 우량계

- 우량 관측용으로 사용되는 강우량계는 전도형과 중량식 우량계가 많이 사용되는데(그림 7), 국내에서 우량계는 2013년 기준으로 총 3,827개소에 설치되어 있음
- 가장 많이 사용되는 전도식 우량계는 강우 무게에 의한 티핑 버킷(tipping bucket)의 좌우 전도 운동으로 내부에 설치된 마그네틱 스위치를 전도시켜 그 횟수로 강우량을 측정하나 강우 강도가 증가할 경우 관측값의 정확도가 낮아지는 특성이 있음. 현재 기상청에서는 0.1 mm 와 0.5 mm 급을 사용하고 국토교통부에서는 1 mm 급을 주로 사용함
- 중량식 우량계는 중량 센서 또는 로드셀에 의해 무게를 측정한 후 일정한 우량에서 강제 배수시키는 구조를 가지고 있으며, 중량식 우량계는 바람이 강할 경우 풍압에 의해 하중이 가해지므로 오차가 발생할 수 있음
- 현재 국산 기술로 전도형 우량계가 개발, 생산되고 있으며, 최근에는 국내 기술로 부력식 등 새로운 종류의 우량계가 개발되고 있음(신동훈 등, 2010)



그림 7. 전도형 우량계(좌)와 중량식 우량계(우)

나. 강우분석계(distrometer)

- 최근 자동기상장비의 일환으로 빗방울의 크기와 형태를 관측할 수 있는 광학우적계(PARTicle Size and VELOCITY, PARSIVEL 또는 distrometer)와 2차원 입자 형태 분석기(2DVD)가 개발된 바 있으며, 강우 및 구름의 수직적인 분포를 분석할 수 있는 연직강우레이더(Micro Rain Radar, MRR) 및 VPR(Vertical Point Radar), 강우 발생 감지시스템(POSS, Precipitation Occurrence Sensor System) 등이 있으며, 3차원 강우 및 바람 분포를 측정하는 윈드 프로파일러 등도 개발되는 등 기존의 원통형 우량계의 한계를 극복하려는 다양한 우량 관측 장비가 개발되어 있음
- 이러한 장비들은 주로 강우 및 구름의 연직 분포 내지는 강우 입자의 특성을 분석하는데 사용되고 있으며, 기상(강우)레이더와 같이 강우의 수평 분포 파악에는 사용되지 않고 있음
- 국내에서는 강우분석계는 개발되지 않고 대부분 수입에 의존하고 있음. 현재 기상청에서는 주요 기상관측 테스트베드에서 윈드 프로파일러를 운영 중임



그림 8. 광학우적계-PARSIVEL(좌), 연직강우레이더-MRR(중), 레이더 강우센서(RRS)



그림 9. 강우발생 감지 시스템-POSS(McGill, 2014), 연직 포인트 레이더-VPR(McGill, 2014)

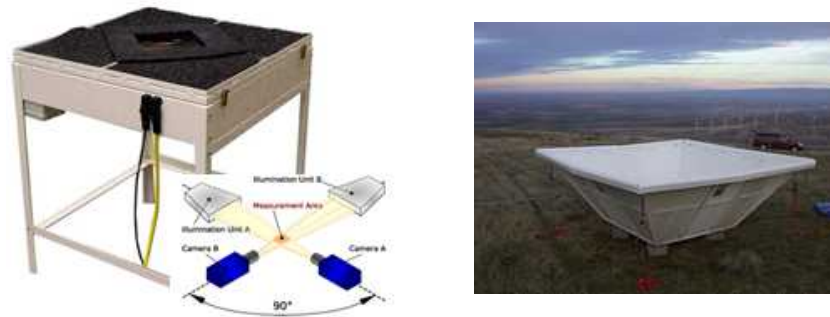


그림 10. 2차원 강우 입자 형태 판독기-2DVD와 윈드 프로파일러

다. 강설계, 적설량계

- 적설 측정 방법은 크게 두 가지로 나뉘는데, 적설판에 쌓인 눈의 깊이를 직접 측정하는 방법(그림 11좌)과 레이저, 초음파, 광학식 등의 방식으로 자동 적설계를 이용하는 방법(그림 11우)으로 최근에는 첨단 기법의 적설계가 많이 개발되어 보급되고 있음
- 자동적설관측은 바람 등에 의한 적설면의 불균일함, 강설 강도, 측정지점 지면의 상태 등 외부의 조건에 따른 오차의 발생 가능성을 많이 내포하고 있으므로 인해 수동 관측이 병행됨
- 적설계는 고가의 장비로서 우량계와 비교하여 관측망이 조밀하지 않음
- WMO(Goodison 등, 1998)에서는 강설량 정확도 평가를 위해 DFIR(그림 12)을 이용한 상호비교(intercomparison) 연구가 수행된 바 있으며, 바람에 의한 오차를 분석하였음. 최근 강설량 측정을 레이더 또는 광학 방식으로 수행하는 연구를 진행 중임
- 우리나라의 경우 기상지진기술개발사업(2006~2009)의 일환으로 '정밀 강설량계 개발을 위한 기반 연구'가 수행되어 'Lee type 중량식 적설판'이 개발된 바 있음(그림 13)(이부용, 2009).



그림 11. 적설판(좌)과 자동 강설관측 장비(우)

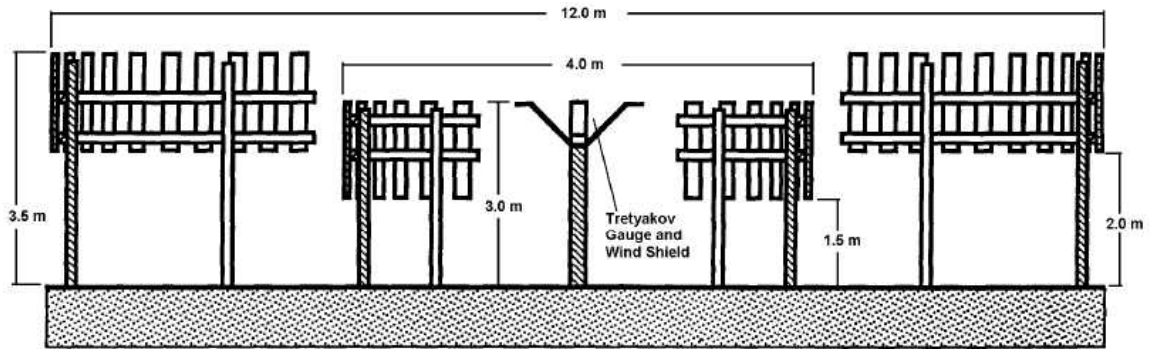


그림 12. 강설량 정확도 분석을 위한 DFIR(Double Fence Intercomparison Reference)



그림 13. 메탈웨이퍼(NIED), 중량식 적설계

라. 풍향풍속계

- 풍향풍속계는 컵형, 바람개비형, 열선형 등 다양한 종류가 있으며, 주로 기상관측 설비에 부수적으로 설치됨
- 최근 초음파를 이용한 2, 3차원 풍향풍속계도 활용되고 있음(그림 14)



그림 14. 바람개비형 풍향풍속계(좌)와 3차원 초음파 풍향풍속계(Vaisala, 2014)

2.4.3. 국내 기상(강우)레이더 기술동향

가. 기상레이더 운영 기술

- 기상(강우)레이더는 현대 첨단 기상/수문 관측 기술을 대표하는 장비로서 국내외에서 연구개발이 활발히 이루어지고 있음
- 우리나라 역시 1968년 서울 관악산에 S밴드 기상레이더를 처음 도입한 이래 기상 관측, 감시, 홍수예보 및 항공기 이착륙 관리 등 다양한 목적을 가지고 지속적으로 기상(강우) 레이더를 도입하여 왔으며, 이와 관련된 응용연구를 수행하고 있음
- 2014년 현재 국내에는 기상청, 한강홍수통제소, 공군 등의 기관에서 총 36대의 기상(강우)레이더를 운영 중임(예정지 포함, 표 9)

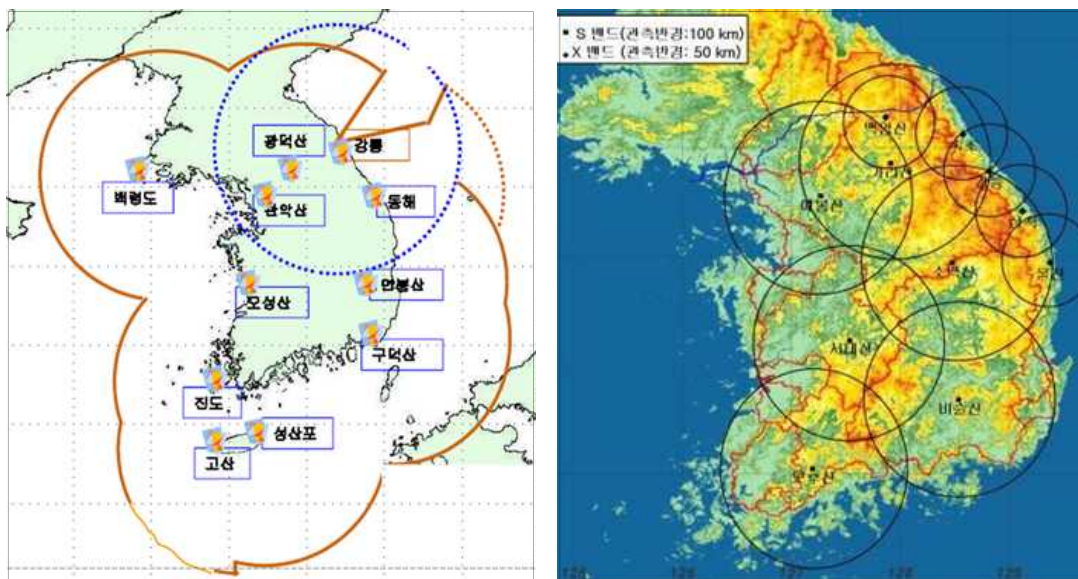


그림 15. 기상청 기상레이더 운영 현황(좌)과 국토부 강우레이더 운영 및 계획 현황

표 9. 국내에서 운영 중인 기상(강우)레이더 현황(*는 주한미군 이중편파 설치)

기관	위치	제조사	설치	모델명	대역	출력관	출력	특성
기상청 (기상 연구소)	무안(연구용)	ARC	'97	DWSR-200X	X	Mag	200kW	도플러, 편파
	관악산	EEC	'05	DWSR-8501S/K	S	Kly	850kW	도플러
	고산	GEMATRONIK	'06	METEOR-1500S	S	Kly	750kW	도플러
	성산	GEMATRONIK	'06	METEOR-1500S	S	Kly	750kW	도플러
	구덕산	EEC	'05	DWSR-8501S/K	S	Kly	850kW	도플러
	강릉	METSTAR	'08	WSR-98D/S	S	Kly	750kW	도플러
	오성산	METSTAR	'06	WSR-98D/S	S	Kly	750kW	도플러
	진도	GEMATRONIK	'01	METEOR-1500S	S	Kly	750kW	도플러
	광덕산	GEMATRONIK	'03	METEOR-1500S	S	Kly	750kW	도플러
	면봉산	METSTAR	'03	WSR-98D/C	C	Kly	250kW	도플러
	백령도	Kavouras	'00	TDR4384C	C	Kly	250kW	도플러
	인천공항	MISTUBISI	'01	TDWR	C	Kly	250kW	도플러

홍수 통제소	임진강	Radtec	'00	TDR43-250C	C	Kly	250kW	도플러
	비슬산	METSTAR	'09	WSR-98D/S	S	Kly	750kW	도플러, 편파
	소백산	METSTAR	'11	WSR-98D/S	S	Kly	750kW	도플러, 편파
	서대산 등 4개소		'14(예)		S			
	동해안 5개소		'16(예)		X			
공군	수원	Vaisala	'10	WRK-100	C	Kly	250kW	도플러
	중원	Vaisala	'10	WRK-100	C	Kly	250kW	도플러
	강릉	Vaisala	'10	WRK-100	C	Kly	250kW	도플러
	서산	GEMATRONIK	'98	METEOR-360AC	C	Mag	250kW	도플러
	대구	EEC	'00	DWSR-93C	C	Mag	250kW	도플러
	광주	EEC	'00	DWSR-93C	C	Mag	250kW	도플러
	사천	EEC	'00	DWSR-93C	C	Mag	250kW	도플러
	원주	EEC	'00	DWSR-93C	C	Mag	250kW	도플러
	예천	EEC	'01	DWSR-93C	C	Mag	250kW	도플러
기타	한국건설기술연구원 (일산)	EEC	'04	MiniMax-100C	C	PWRAMP	200W	도플러
		RLI	'13	RXM-25	X	Mag	25kW	도플러, 편파
	한국항공우주연구원 (고흥)	EEC	'05	DWSR-2501C/K	C	Kly	250kW	도플러
	주한미군(평택)		'13*	WSR-98D/C(DP)	C			도플러, 편파
	주한미군(군산)		'13*	WSR-98D/C(DP)	C			도플러, 편파

- 현재 국내기술은 대형 단일편파 레이더를 이용하여 시공간적인 해상도가 낮고 정확도는 미국에 비해 약 10-20% 정도로 크게 뒤쳐져 있으며, 특히 소형 X-밴드 수문레이더의 이용은 국내에서 전무한 실정
- 최근 레이더 활용 추세는 단일편파 레이더에서 이중편파 레이더로 전환하는 시점에 있으며, 단일편파 레이더의 반사도를 이용한 기존 강수량 추정 방법에서 이중편파 레이더의 다양한 관측변수를 이용한 새로운 강수량 추정 방법 연구가 이루어지고 있음
- 현재 기상청은 중장거리 관측을 위한 대형 단일편파 S밴드 및 C밴드 레이더를 사용하고 있는데, 대구 및 광주 지역은 지리적 특성으로 인해 대형레이더로는 저층관측이 어려운 상황이며, 서울은 지역적 중요성 때문에 관측망 확충이 필요한 실정
- 대도시 지역은 대부분 빌딩이 존재하거나 주위 산들에 의해 둘러싸여 있으므로 소형 이중편파 레이더망이 유용하나 아직까지 설치가 되지 않고 있음
- 국토교통부는 중거리(100 km 범위) 관측을 위해 대형 이중편파 S-밴드 레이더를 이용하고 있으며(그림 16좌) 향후 사각지대 관측을 위해 소형 X-밴드 레이더를 사용할 계획(현재 비슬산과 소백산에 2대의 대형 이중편파 레이더 운영 중, 향후 대형 S-밴드 레이더(6대) 및 소형 X-밴드 레이더(5대) 등 총 11대 운용 계획)
- 운영 측면에서 이중편파는 단일편파에 비해 다양한 관측 변수를 획득하여 품질 관리를 수행함으로써 더 정확한 기상, 강수 현상의 분석이 가능하므로(표 10) 향후 이중편파 레이더로 점차 교체될 것임



그림 16. S밴드 비슬산관측소(이중편파)(좌), X밴드 이동형 관측소(이중편파)(우)

표 10. 단일편파와 이중편파 레이더의 차이

특성	단일편파레이더	이중편파 레이더
관측 변수	반사도, 시선속도, 스펙트럼폭	수평/수직 반사도, 시선속도, 스펙트럼폭, 차등 반사도, 차등 위상차, 상관계수
강우량 추정	반사도로 추정	반사도로 추정, 반사도, 차등 반사도로 추정 반사도, 비차등 위상차로 추정 반사도, 차등반사도, 비차등 위상차로 추정
품질 관리	에코의 특성을 이용한 비기상에코 제거	다양한 변수를 이용한 비 기상에코 제거 용이
강수 형태	눈/비 구분	눈/비, 우박 구분 용이, 눈, 빙정 결정 구분 새, 곤충 등 생물학적 에코 구분
레이더 반사도 보정	하드웨어 보정 우적계를 이용한 보정	하드웨어 보정, 우적계를 이용한 보정 자기상관관계를 이용한 보정

나. 기상레이더 자료분석 기술

- 레이더 강우 분석 기술의 경우 기상청, 국토부, 공군 등에서 활용 중인 C밴드, S밴드 레이더 자료를 이용하여 강우를 분석하고, 이를 지상 관측소 및 AWS와 연계하여 정량 강우를 추정하는 기술(QPE) 등이 많이 개발
- 최근에는 국토교통부에서는 S밴드 이중편파 레이더를 비슬산에 설치하여 낙동강 유역을 대상으로 연구를 진행 중이며, 연구 목적으로는 기상청(무안 시범사업)과 한국건설기술연구원 등에서 X 밴드 이중편파 도플러 레이더를 도입하여 활용하고 있음 (그림 16우)
- 이와 함께 도시홍수재해방지연구단, 차세대홍수방어기술개발연구단, 한국건설기술연구원 등에서도 레이더를 활용한 강우 분석 등을 연구하는 등 수문기상학 분야에서도 많은 연구가 이루어지고 있음

다. 기상레이더 시스템 기술개발 동향

- 우리나라는 1968년 관악산 기상레이더 도입 이후 외국의 기상레이더 장비를 전량 수입하여 운영하였으나 2000년대 이후 독자적인 40여 년간 국내 기술에 의한 레이더 개발의 필요성이 제기되었음
- 그 결과 2011년부터 5년 계획으로 기상청의 발주로 STX엔진(주) 컨소시엄(웨더링크, 하이게인, 한국통신부품, 휴미디어 포함)은 97억원의 연구비를 투입하여 X밴드 기상 레이더를 국산화하기 위한 연구 개발을 수행 중이며, 200 W 급 반도체를 이용한 고체형 펄스 증폭기(Solid State Pulse Amplifier) 기반의 기상레이더를 개발하는 것을 목표로 하고 있음(그림 17).
- 2014년 현재 시제품이 개발되어 성능 테스트 중이며, 2016년 최종 개발을 목표로 진행 중임

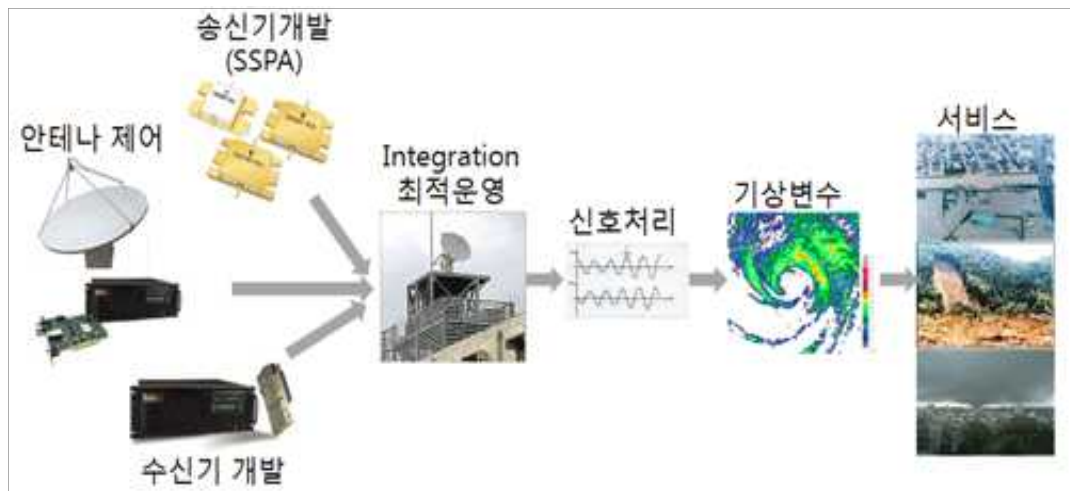


그림 17. 기상청에서 추진 중인 200 W급 SSPA 기상레이더 개발 개념도

- 그에 앞서 국내에서는 기상레이더 개발을 위한 전단계로 항공기 탑재형 Ka 밴드 소형레이더를 (주)밀리시스, 항공우주연구원, (주)STX에서 개발한 경험을 가지고 있음. 본 장비는 2002년부터 2007년까지 총 5년 동안 공동개발하였고(그림 18), 국립기상연구소에서 이 장비를 활용한 연구를 수행한 바 있음(그림 19).



그림 18. 국내 기술로 개발한 항공기 탑재용 소형 레이더(장기호 등, 2009)

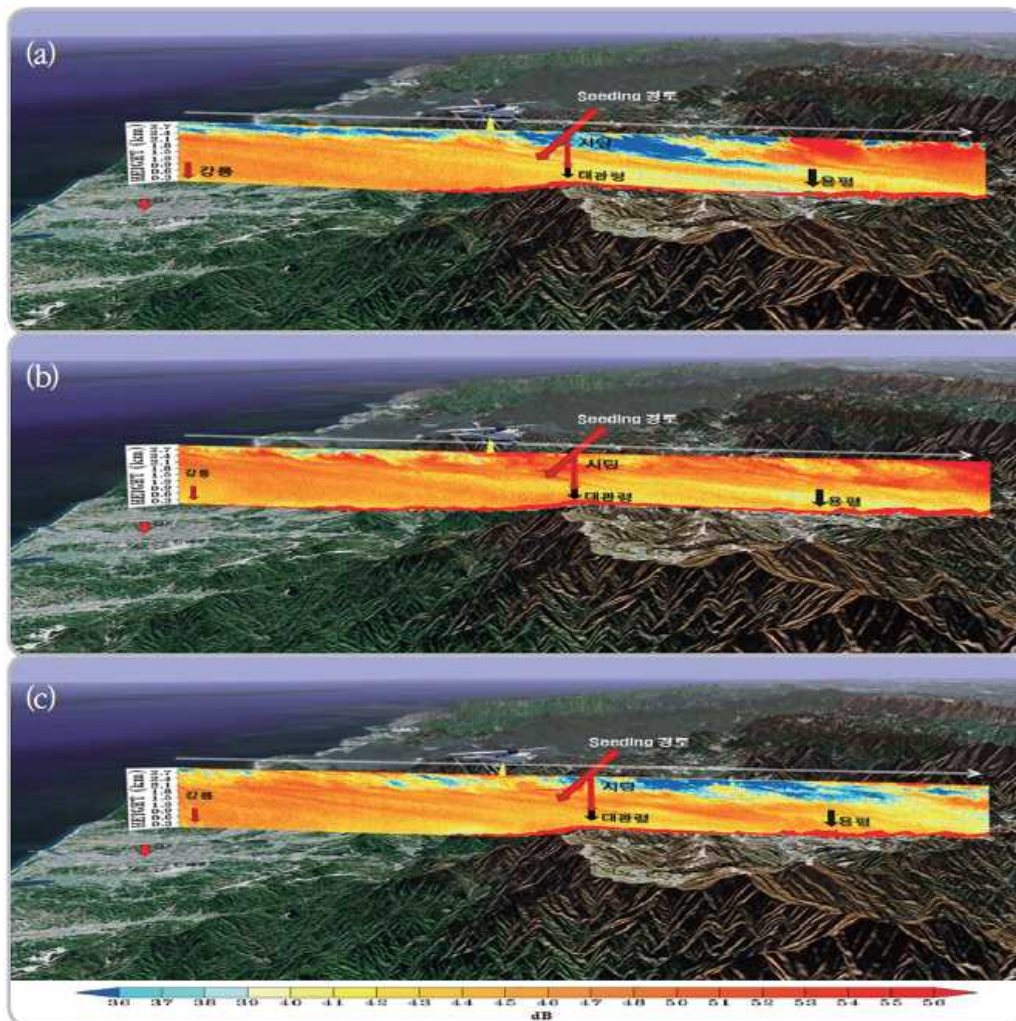


그림 19. 항공기 탑재 Ka밴드 레이더 반사도(2008년 3월 3일)(장기호 등, 2009)

2.4.4. 각국의 기상(강우)레이더 기술동향

- 기상(강우)레이더에 관한 국외 기술동향은 세계적으로 유명한 프로젝트 또는 기관 및 각국의 운영 현황을 중심으로 설명하며, 이외에 국가별 운영 현황도 간략하게 소개함
- 이하의 내용은 범정부적 레이더 관측전략 수립 및 관측체계 구현(I) 연구보고서(국토해양부·한강홍수통제소, 2012)와 수문레이더 기반 홍수·폭설재해 예측 및 경보 플랫폼 개발 기획보고서(한국건설기술연구원, 2012)의 내용을 주로 인용하였음

가. NEXRAD 프로그램(미국)

- 미국레이더운영센터(ROC, Radar Operations Center)는 1988년 오클라호마주의 Norman에 설립되었으며, 현재 WSR-88D(Weather Surveillance Radar-1988 Doppler)를 이용하는 NEXRAD 프로그램을 운영 중
- NEXRAD(Next Generation Weather Radar System)은 기상예측과 예보, 안전하고 효율적인 항공기 운용, 국가 경제 부흥의 기초가 되는 기상레이더 국가 관측망 수립을 목적으로 구축됨
- NEXRAD는 미국 전역 및 세계 여러 지점에 약 160개의 S-밴드 도플러 기상감시레이더(WSR-88D)를 운영 중임
- WSR 레이더는 상무부(121개소), 교통부(12개소) 및 국방부(22개소) 등에 소속되어 있고 운영 및 관리는 미국 국립기상청에서 담당(그림 20, 21, 22)
- 총괄적 기상레이더의 관리를 위해 1988년에 레이더 운영센터 설립, 기상청, 공군, 해군 및 연방항공국에 기상자료, 소프트웨어, 유지보수 등과 관련된 기술지원 실시
- NEXRAD는 이중편파 레이더로 업그레이드(Saffle 등, 2006)-2012년말까지 완료 예정

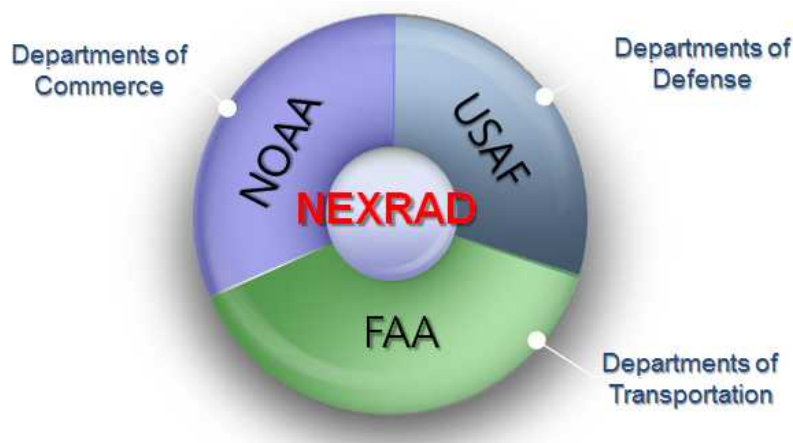


그림 20. NEXRAD의 3대 소관 부처

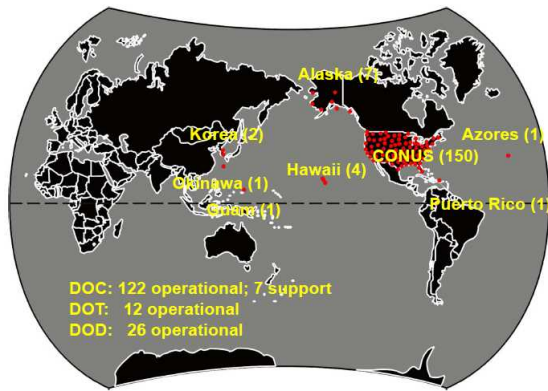


그림 21. 전세계 160개소의 NEXRAD(출처: Radar Operations Center)



그림 22. 미국 내 NEXRAD 커버리지(출처: Radar Operations Center)

나. CASA-ERC IP1(미국)

- 현업용 레이더의 대부분이 대형 레이더로 최소 반경 120 km 이상 영역을 관측하는데 목적을 둬으로써 지구 곡률로 인해 관측 거리 증가시 최저 고도 역시 증가하여 원거리에서 지상 부근 관측이 불가능해지는 문제를 해결하기 위한 새로운 개념의 프로젝트
- CASA(Center for Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere) 프로젝트(McLaughlin 등, 2009)의 목적은 1) 위상레이더를 이용하여 스캔속도를 제고함으로써 기상감시 능력 향상, 2) 다수의 소형 레이더를 활용한 저층, 초고속 스캔을 통해 고분해능의 자료를 획득하고 수치모델에 입력하여 초단기 예측성 향상, 3) 기상현상 및 뇌우 적응적 탐사를 통한 위험기상 감시 및 자료획득 극대화 등임(그림 23)
- 오클라호마의 이중편파 X-밴드레이더망을 이용한 토네이도 추적 및 강우 추정 프로젝트는 기존의 어떤 방법보다 정확도에서 뛰어난 결과 도출(그림 24)

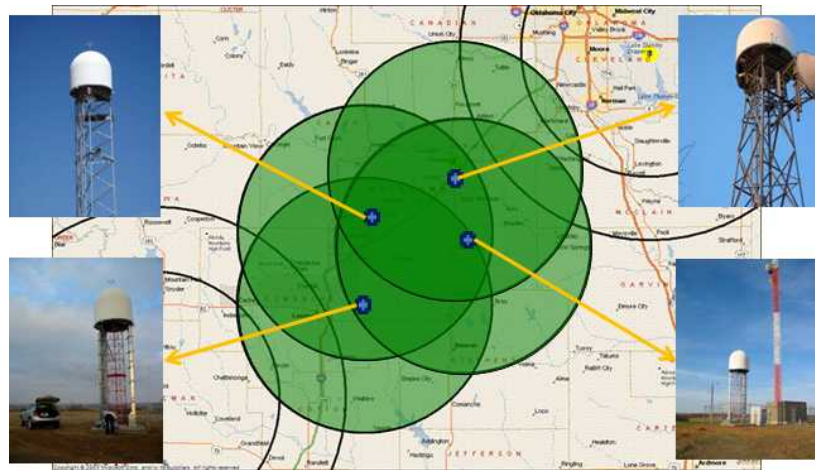


그림 23. CASA-ERC IP1 레이더망

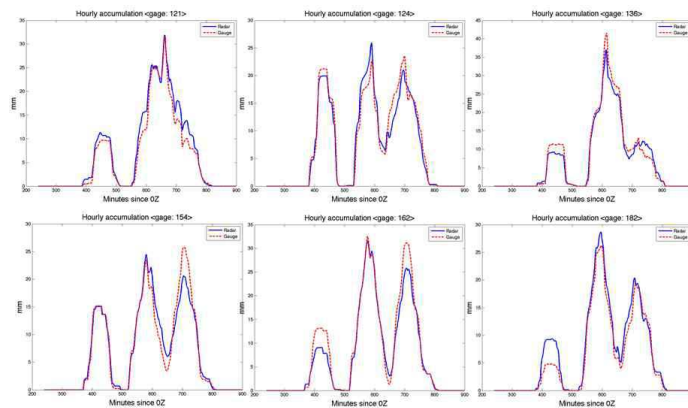


그림 24. CASA 프로젝트의 정량 강우 추정 결과

다. 미국 달라스/포트워스 테스트베드(미국)

- CASA-ERC와 NCTCOG(North Central Texas Council of Government)의 공동 프로젝트
- 인구가 밀집된 거대 도심환경에서 기상재해에 대한 발전된 예경보 시스템 구축 목적
- 1단계는 4개의 X-밴드 IP1 레이더 배치, 2단계는 OU/EEC 레이더 2개, EWR 레이더 1개, Ridgeline Instruments/CSU 레이더1개를 추가하여 총 8대의 X-밴드 레이더로 망구축, 3단계는 16-20개로 확장 계획(그림 25)
- 도심홍수 경보 시스템은 강우추정, 초단기 예보, 수문모형, 수력모형 등을 기반 구성

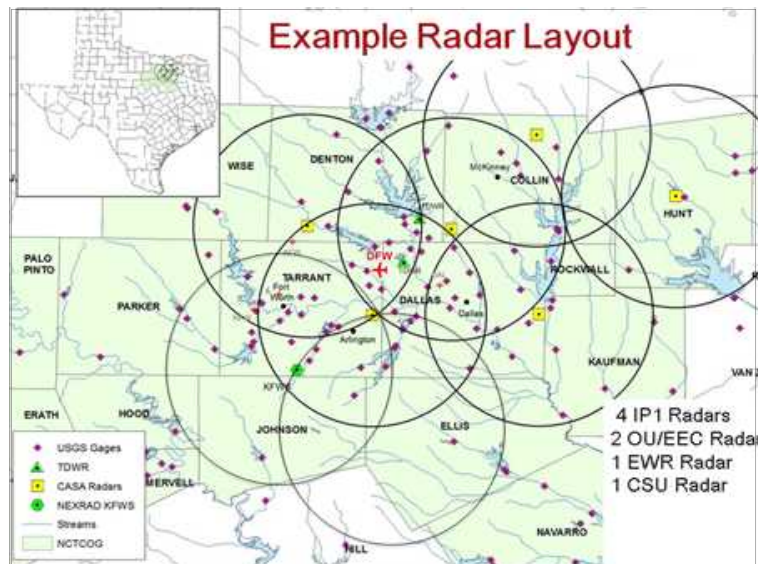


그림 25. 미국 DFW 레이더망

라. 미국립기상청(NOAA) 수문팀(HMT)(미국)

- 미국립기상청 수문기상팀은 보다 정확한 강우·강설 추정/예측과 이를 바탕으로 한 효율적 수자원·재해 관리 연구를 위해 미국 전역에 걸쳐 테스트베드 설치, 운영(그림 26)
- HMT-West(2005-2006년)는 복잡한 지형 특성을 가진 북부 캘리포니아 아메리칸 강 유역에 설치한 테스트베드로서 겨울 기상에 대한 연구를 수행
- 강우·강설 추정을 위해 기존 S-밴드 단일편파 레이더(NEXRAD 레이더) 외에 겹보강을 위한 C-밴드 단일편파 레이더와 X-밴드 이중편파 레이더로 레이더망 구축

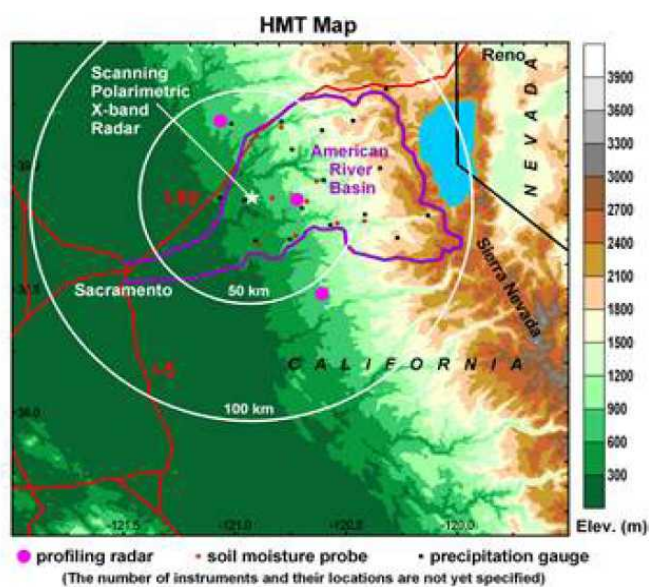


그림 26. NOAA HMT의 X밴드 레이더 운영 환경

마. CSU-CHILL 국가 레이더 시설(미국)

- CSU-CHILL (Colorado State University-University of Chicago-Illinois State Water Survey)은 콜로라도의 로키산맥 동쪽에 위치하여 다양한 알고리즘 개발과 다양한 형식의 이중편파기술을 시험하는 시설(그림 27, 28)
- CSU-CHILL 레이더는 이동형 레이더로서 두 개의 밴드(S, X-밴드)로 구성된 이중 편파 레이더이며, NSF의 지원으로 콜로라도 주립대에서 운영



그림 27. CSU-CHILL 레이더 시설

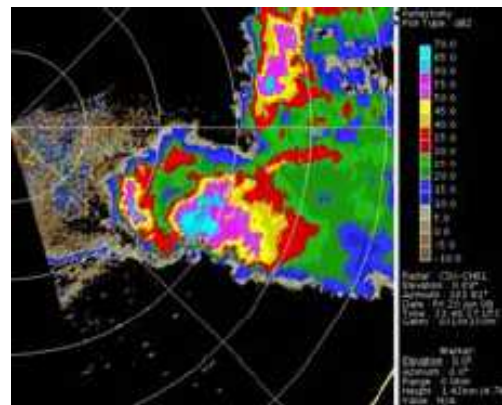


그림 28. 2008년 폭풍 관측

바. McGill 대학(캐나다)

- 캐나다의 경우 1970년대 National Research Council을 중심으로 다양한 이중편파기술이 시험한 후 1999년부터 J.S.Marshall 레이더 관측소에서 첫 현업용 이중 편파레이더 운영
- 레이더를 이용한 초단기 또는 실황 예보(Nowcasting or short-term forecasting)는 1953년 H. Ligda가 레이더 에코 외삽을 이용한 뇌우의 실황 예보를 제안한 이후 오랜 역사를 가지고 있으며 그 활용도가 높음
- 1960~1966년 Travelers Research Center에서는 상관계수를 이용한 예보방법 시도, 이후 최초의 현업용 실황예보시스템인 J.S.Marshall 레이더 관측소의 SHARP (SHort-term Automated Radar Prediction) 시스템이 1974년에 구축, 1978년부터 캐나다 기상청 현업 예보에 이용
- 현재 대표적인 레이더 실황예보 시스템은 McGill 대학의 MAPLE (McGill Algorithm for Precipitation-nowcasting by Lagrangian Extrapolation), TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation)이며, 그림 29는 MAPLE로 생성된 북미 전역에서의 실황예보와 검증을 위한 해당시간의 관측값을 나타냄(예보값과 관측값 일치)

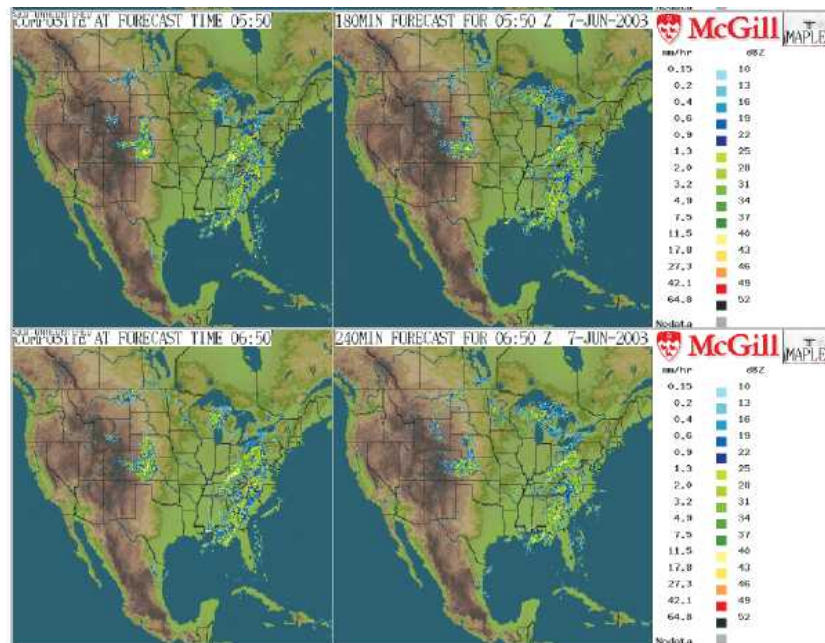


그림 29. McGill 대학의 MAPLE로 생성된 북미 전역의 실황예보

사. OPERA(유럽)

- OPERA(Operational Program for the Exchange of weather RADar information) 프로그램은 COST(European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research) 프로젝트 및 GORN(Group on Operational European Weather Radar Networking) 그룹 등을 토대로 계획, 추진
- COST 프로젝트는 레이더의 기상학적 활용성 및 적용성 검토/확장 목적으로 1979~1997년 동안 수행-기상레이더 하드웨어와 소프트웨어의 표준화에 기여
- GORN 그룹은 유럽 각국 기상청들간의 현업용 자료 교환을 목적으로 운영-GORN 그룹 활동 결과, 레이더 영상 자료 생산 규칙 합의, 레이더 영상자료의 표준화 설정
- GORN 그룹의 후속 사업으로써 출범한 OPERA 프로그램은 유럽 각국의 기상청에서 생산하는 기상레이더 정보의 공유 기술을 향상시키고 관련 규약을 통일시켜 표준화된 플랫폼을 제공하기 위해 운용
- OPERA 프로그램 참여 회원국은 총 30개국, 200 여대 레이더 운용(그림 30).
- OPERA 회원기관은 대부분이 단일편파 레이더이고 현업 목적이므로 안정적인 관측 전략으로 운용
- 관측 자료 및 합성자료의 종류는 각종 반사도 및 강우량 등으로 다양. 관측 공간해상도는 1×1 km 또는 2×2 km, 시간해상도는 10~15분
- 각 기관별, 국가별, 네트워크별, 프로그램별로 다양한 합성도가 제작되며, OPERA 합성도는 공간해상도 4×4 km, 시간해상도 10분임

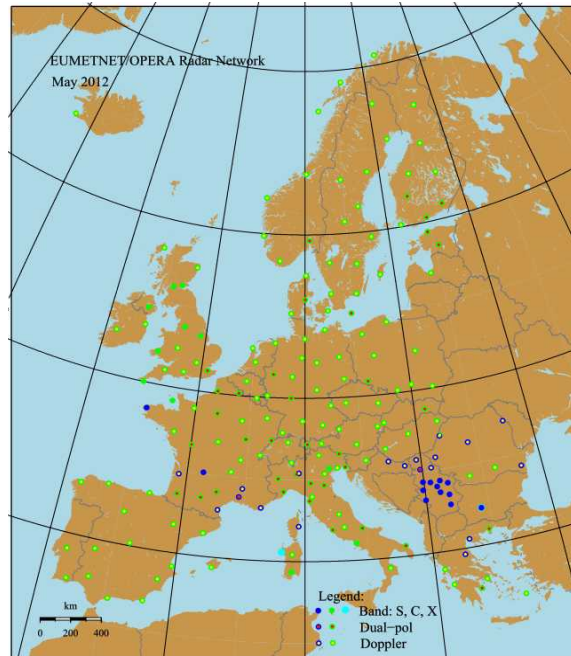


그림 30. OPERA 레이더 관측소 현황(출처: OPERA)

아. 일본 국토교통성 및 기상청 레이더

- 일본은 1954년 오사카에 설치한 X 밴드 레이더로써 현업 활용을 시작한 이래 관측망을 점차 확장하여 1971년에 전국 레이더 관측망 구축
- 일본레이더 관측시스템은 기상청과 국토교통성에 의해 운영
- 일본 기상청 현업용 레이더는 20개의 C밴드 도플러 레이더임(그림 31)
- 일본 기상청은 1875년 도쿄기상관측소에서 시작하였으며, 1954년 처음 레이더 관측을 시작하여 2001년부터는 국토교통성 산하기관이 됨

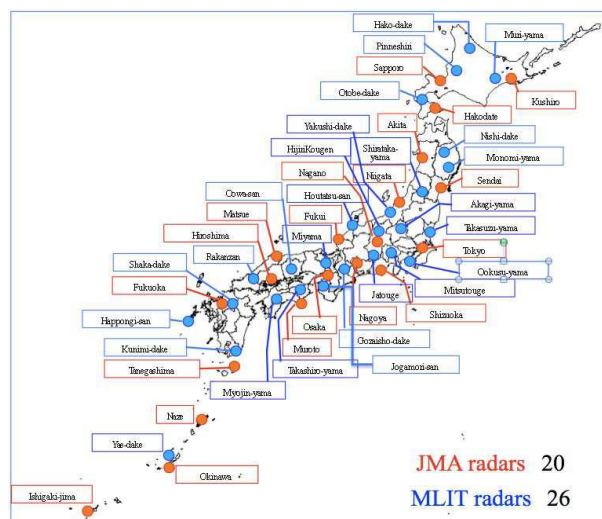


그림 31. 일본 기상청과 국토교통성 레이더 배치도

자. 방재과학기술연구소(NIED)의 X-NET(일본)

- 방재과학기술연구소는 도시홍수에 대한 효율적인 경보시스템 구축을 위한 연구개발 수행
- 이 시스템은 3개의 X-밴드 레이더 및 다른 도플러 레이더로 구성된 레이더망을 중심으로 하여 구성(그림 32)

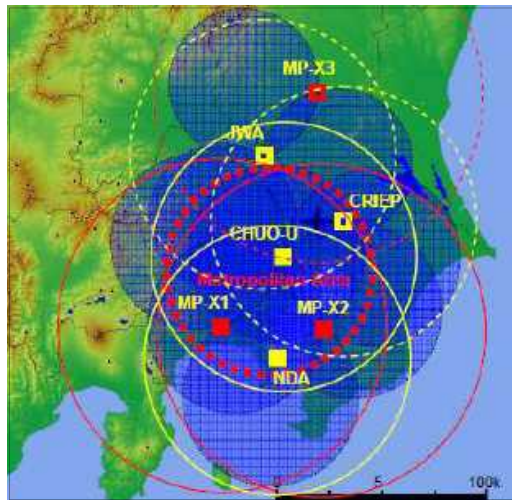


그림 32. NIED의 X-NET 시스템

- X-NET은 2011년 7월 5일 홍수에 대해 일본 기상청보다 50분 빠른 경보를 발행하는 등 기술적으로 앞서고 있으며, 민간 기업 및 철도 기업 등에 QPE, QPF 정보 제공

차. 중국의 CINRAD

- 1998년부터 중국 기상청(China Meteorological Administration)은 강우와 태풍 등의 경보 발행을 위한 정보 생산 목적으로 158기의 도플러 레이더로 구성된 CINRAD (China New Weather Radar)를 구축, 운용 중이며, 58기의 도플러 레이더를 추가할 계획(그림 33)
- CINRAD는 S밴드 및 C밴드로 구성되며, S밴드 레이더는 대부분 중국 남동부에 위치
- 레이더 관측반경과 빔폭은 각각 460km, 1.0°(S밴드), 150km, 0.75°(C밴드)으로 미국 WSR-88D와 유사한 볼륨관측전략 채택

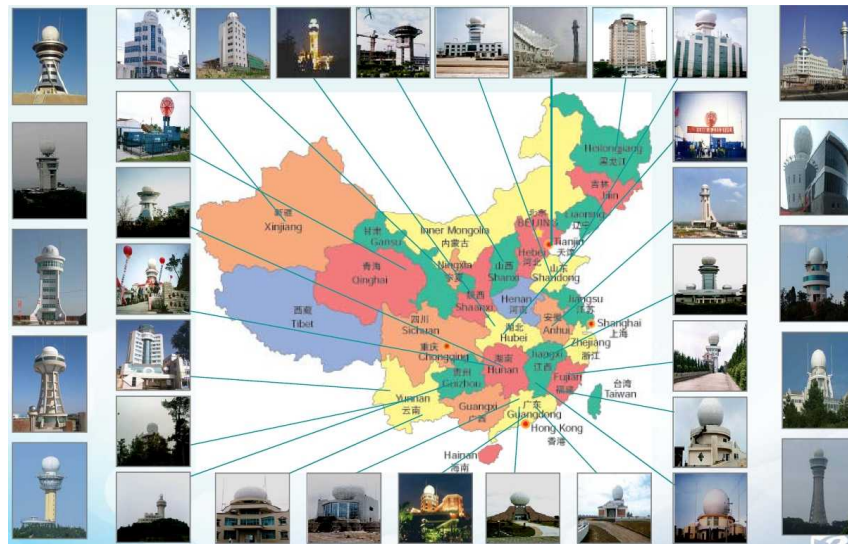


그림 33. 중국 CINRAD 레이더망

카. 덴마크 DHI 국지기상레이더(Local Area Weather Radar)

- DHI는 1998년 저렴한 비용의 국지기상레이더(LAWR)를 개발하였으며, 통상적인 관측 범위는 60 km이고, 정량강우 산정(QPE)을 위해서는 20 km 이내의 자료만을 사용함
- DHI의 LAWR은 표준 해양 FURUNO X-밴드 레이더(FAR-2127)를 활용하며, 두 대의 고성능 PC를 이용하여 신호처리 및 통신을 수행

타. 기타의 최근 기술 동향

- 선진국에서 최근 개발되고 있는 기상레이더 관련 기술은 이중편파 레이더, 위상배열 레이더, 다중 주파수 대역(parametric) 레이더의 혼용 등을 통해 구름과 기상 현상을 복합적으로 분석하는데 초점이 맞추어져 있음
- 이중편파 레이더는 앞서 언급한 것처럼 전세계적으로 기상레이더 분야에서 연구가 활발하며, 미국, 캐나다 등에서 연구를 주도하고 있음. 이중편파레이더를 이용할 경우 강수 다양한 파라미터를 활용하여 강수 정보의 보정과 필터링이 가능하며, 강수형태의 구별도 가능함(그림 34).
- 위상배열 기상레이더는 미국, 일본 등에서만 개발이 이루어졌으며, 레이더 빔의 스캔이 간단하면서도 3차원적으로 동시에 입체적인 정보를 얻을 수 있음. 미국의 NOAA(그림 35)와 일본의 NICT가 위상배열 기상레이더를 개발하고 테스트한 바 있음(그림 36, 37)
- 다중 주파수 레이더는 일반적인 X밴드 이외에 K, W밴드 등의 전자파를 동시에 활용하는 것으로 이 역시 차세대 기상레이더 기술로서 각광받고 있음(그림 38, 39)

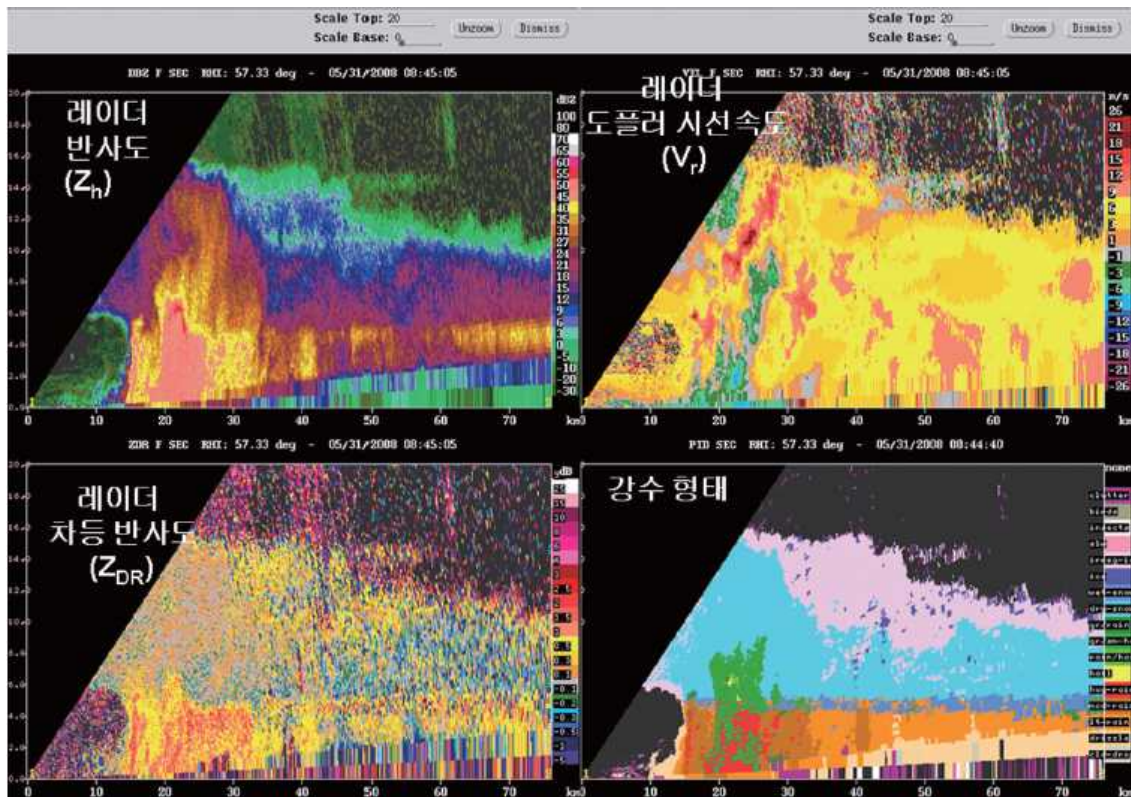


그림 34. NCAR의 S-Pol로 관측한 이중편파변수 및 퍼지원리를 이용하여 구별된 강수 형태



그림 35. 미국 NOAA NSSL의 위상배열 기상 레이더(NSSL, 2014)



그림 36. 일본 NICT에서 개발한 위상배열 기상 레이더(NICT, 2014)

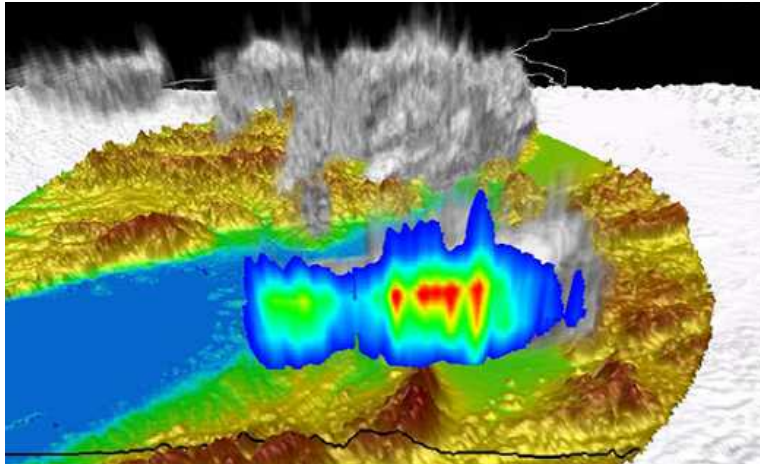


그림 37. 위성배열 레이더에 의한 태풍의 강우특성
가시화(NICT, 2014)



그림 38. mm파를 사용하는 연구용 구름
레이더(ESRL, 2013)

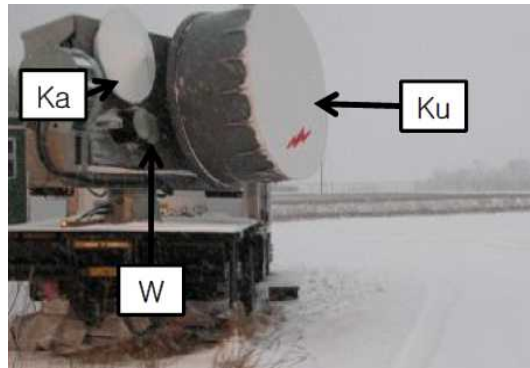


그림 39. Ku, Ka, W 밴드를 이용한 다중
주파수 연구용 레이더

2.4.5. 국내 레이더 기술동향

- 기상레이더는 표적 식별 등에 활용되는 일반적 탐지 레이더와는 그 성능상의 요구 수준 및 정교함이 다르나 전자파를 이용한 탐지라는 측면에서 공통됨
- 기상레이더 또는 전파강수계의 개발을 위해서는 레이더 시스템에 대한 기술기반 필요
- 우리나라는 방위 산업을 비롯하여 자동차, 선박 등 여러 분야에서 활용 가능한 레이더 기술을 보유하여 기상레이더의 개발 잠재력이 충분한 것으로 평가(광주과학기술원, 2009)

가. 국방 레이더 시스템

- 국내 산업계에서 레이더 개발은 군수, 방산용을 위주로 개발되어 왔으며, 방위사업청의 지원 및 방위산업체들의 적극적인 개발 참여로 다수의 군사용 레이더가 개발됨
- 현재까지 개발된 레이더는 해안 감시레이더(그림 40), 이동 표적 추적레이더, 고고

도 지상 영상측정 레이더, 중장거리 대공 추적 레이더(그림 41), 항공기 탑재용 다목적 레이더 등으로 국내 독자적으로 지상군 및 해군용 전투장비에 탑재되는 다양한 대역의 레이더 장비 자체 개발

- 국내에서 군사용으로 제작된 레이더의 사례를 볼 때, 충분한 레이더 하드웨어 기술을 보유하고 있으며, 최신 기술인 능동위상배열 레이더의 개발을 포함하여(김태환 등, 2011), 세계 수준에 버금가는 레이더 제조 잠재력 보유
- 방산 관련 레이더 업체는 STX엔진(주), LIG넥스원, 삼성탈레스 등이 있음



그림 40. 해안 감시용 레이더(STX엔진,2014)



그림 41. 군용 장거리 레이더(LIG넥스원,2013)

나. 민간 레이더 기술

- 최근 초고주파 대역(K, W, 밀리미터파 등)을 이용하여 지능형 순항 제어 시스템(ACC)을 위한 차량용 레이더의 개발이 이루어지고 있으며, 관련 업체는 만도, LG 이노텍, 센싱테크 등이 있음(박민 등, 2012)
- 레이더 장비의 부품과 관련해서 보면, 국내에서는 분야별로 선진국 기술에 근접해 있으며, 안테나는 첨단 초고속 고주파 대역 이동통신기술의 발달과 함께 몇몇 업체가 세계적인 기술력을 보유하고 있고, 최근에는 K 밴드 이상의 초고주파 대역에 대한 파라볼릭 안테나 등을 제작하고 있으며, 자체적인 제작 및 시험 설비 역시 보유하고 있음.
- 또한 RF 송수신 및 처리에 필수적인 반도체 기반의 무선 통신용 증폭기(SSPA), RF 모듈, 주파수합성기 등 레이더 우량계 개발에 필요한 H/W 및 부품 역시 국내 기술 수준이 상당하여 개발 잠재력이 있음
- 기술 측면에서는 Bistatic/Mono-static 레이더, 연속파/펄스레이더, 펄스압축레이더, 기계식/전자식 스캐닝 레이더 등 다양한 기술이 국내 기술진에 의해 개발되었음

2.4.6. 전파강수계 개발을 위한 국내 기술적 잠재력

- 본 연구의 전파강수계 개발에는 레이더 기술력과 기상(강우)레이더 관련 기술이 필요하며, 이와 관련된 기술적 잠재력을 살펴보면 다음과 같음

가. 국내 주요기관 및 업체

- 전파강수계의 개발을 위한 잠재적인 기술 기반으로서는 국내의 레이더, 전자파 기술 관련 주요 기관, 업체는 다음과 같음

1) 기상연구소(기상레이더센터)

- 기상청 산하의 기상연구소는 1969년 이래로 지속적으로 기상레이더를 운영, 분석해 왔으며, 기상레이더 운영 기술과 함께 자료 품질관리, 검보정 및 알고리즘 기술 개발에 강점을 가지고 있음
- 기상청은 산하에 11대의 S, C, X밴드 기상레이더를 운영 중임

2) 국토교통부 한강홍수통제소(강우레이더통합운영센터)

- 국토교통부는 현재 임진강, 소백산, 비슬산 등 3대의 S, C 밴드 강우레이더를 운영 중이며, 이중 2대의 이중편파 레이더를 운영하고 있고, 향후 추가적인 설비의 도입, 운영을 예상하고 있음

3) 한국건설기술연구원(수문레이더센터)

- 한국건설기술연구원은 2013년부터 자체적으로 X밴드 이중편파 수문레이더를 운영하고 있으며, 호우 및 폭설 관련 연구 개발을 주도적으로 수행하고 있음

4) 레이더 개발, 제조 관련 업체

- 국내에는 기상(강우)레이더를 전문적으로 개발하는 업체는 없으나 방산 및 이동통신 기술의 발달로 레이더를 자체적으로 개발, 제조하는 업체가 여러 곳이 있음(표 11). 이들 업체 중에서 일부(STX엔진, 웨더링크, 하이게인안테나, 휴미디어 등)는 기상청의 X밴드 이중편파 기상레이더 개발 사업에 참여하고 있음(STX엔진, 2011)

표 11. 국내 레이더 관련 주요 업체/기관

분야	업체/기관	주요 보유 기술
방산, 선박, 차량용 레이더	STX엔진	방산 레이더 시스템, 기상레이더(개발 중)
	LIG넥스원	군용/방산 레이더
	삼성탈레스	군용/방산 레이더
	현대중공업	선박용 레이더
	만도	차량용 레이더
	LG이노텍	차량용 레이더
	센싱테크	차량용 레이더
	한국전기연구원	차량용 레이더
	전자통신연구원	차량용 레이더
	국방과학연구원	군용/방산 레이더 핵심 기술 전반
레이더 부품	에이스테크놀로지	레이더/RF 안테나
	하이게인안테나	레이더/RF 안테나
	휴미디어	RF 부품
	한국통신부품	RF 부품
	웨더링크	레이더 신호처리 기술
	밀리시스	밀리미터파 레이더 시스템
	브로던	레이더용 SSPA, 송수신기 모듈
	코모텍	고주파 대역 밀리미터파 RF 부품
	유텔	주파수 합성기, SSPA 모듈

- 위의 업체 외에도 제아정보통신, 코엠정보통신 등의 중소기업이 현재 국내에서 운영 중인 기상레이더의 유지보수 업무를 수행

나. 국내 전자파, 레이더 기술 분야 국가 R&D 추진 현황

- NTIS를 통해 2002년부터 2014년까지 수행 완료 및 수행 중인 레이더, 전자파 관련 연구과제 분석(표 12)
- 그동안 추진된 레이더, 전자파 분야 R&D 연구사업으로 인해 전자파를 이용한 계측 시스템 개발을 위한 인적, 제도적 기반 확보
- 레이더 관련 연구 과제는 기초 연구로는 교육부, 연구재단의 연구, 응용 및 산업 기술 개발은 중기청 및 산업자원부(지경부), 미래부 등에서 지원하는 연구 과제임

표 12. 레이더 기술 관련 국가 R&D 추진 현황(출처 : NTIS)

부처명	과 제 명	수행기관(책임자)	기간
중기청 (산기평)	10KW급 X-band 선박용 레이더 시스템 개발	티애플솔루션(이천희)	'10-'11
	산업용 FMCW 후방감지 레이더 개발	대전대(황인덕)	'10-'11
	77GHz 대역 전방 감지 레이더 센서용 송수신 MMIC Transceiver Module 개발	(주)엘트로닉스(조준경)	'10-'12
	24 GHz 차량용 레이더 시스템 고주파모듈 개발	밀리시스(주)(김용훈)	'09~'10
	ARPA 모듈 내장형 RADAR 시그널 처리 시스템 국산화 개발	진정보시스템(주)(정명국)	'12-'14
	Radar용 30W급 GaN 전력증폭기 MMIC 및 패키지 개발	전자통신연구원(염인복)	'12-'14
	차량용 24GHz 레이더 단말기	승진(박철승)	'13-'14
	근거리 충돌방지를 위한 선박용 레이더센서 개발	(주)넷웨이브(홍성훈)	'12-'13
중기청 (중기진흥원)	유동체 감지용 도플러 레이더 센서 개발	상지영서대학(김윤석)	'08-'09
	도플러레이더용 K밴드 안테나 개발	중앙대(김형석)	'05-'06
교과부/ 교육부 (연구재단)	차세대 레이더 및 밀리미터파 이미징 기술	서울대	'09~'16
	차세대 무선통신 및 다기능 레이더 응용을 위한 환경 적응형 가변 편파 특성을 가지는 다기능 위상배열 어레이 CMOS집적회로 및 모듈 기술 연구	중앙대(백동현)	'10-'13
	CMOS 130nm 공정을 이용한 보급형 Dual Channel 77GHz FMCW Radar Sensor 개발	울산과기대(변영재)	'11-'14
	지능형 자동차 레이더용 이중 대역 24GHz/77GHz 시스템-온-칩 개발	부경대(류지열)	'10-'15
교과부 (산기평)	휴대형 다기능 감지용 X-밴드 레이더 개발	한국과학기술원	'08-'11
미래부 (연구재단)	Injection-Locking 기술 기반 CMOS 77GHz/24GHz 듀얼모드 차량용 레이더 송수신 IC 연구	울산과기대(최재혁)	'12-'15
	On-chip 안테나가 집적된 밀리미터파 대역 차량용 레이더 수신기	한양대(윤태열)	'12-'15
	고안전 스마트카용 빔포밍 기법을 이용한 3차원 레이더 집적회로 및 시스템 연구	광운대(김정근)	'13-'16
미래부	냉음극을 적용한 35 GHz 마그네트론 발진기 개발	한국전기연구원	'08-'11
	고집적 CMOS Multi-Radar Sensor 기반 차량안전시스템 개발	ETRI(김천수)	'10-'14
산자부/ 지경부/ 미래부 (산기평)	비행기 탑재형 다목적 레이더 개발	한국항공우주연구원	'02~'07
	전방 충돌 회피를 위한 주행 시스템 개발	현대모비스(노용규)	'03~'11
	차량검지 및 교통분석을 위한 다중영역 교통 레이더 검지기 개발	(주)태광(심상만)	'02-'03
	레이더 및 영상 기반 자동차용 첨단안전 SoC 개발	(주)만도(오준남)	'07~'11
	지능형 77GHz 레이더시스템	(주)만도(오준남)	'10-'13
	차세대 소형선박용 디지털 레이더 시스템 개발	(주)신동디지텍	'09~'11
	국지성 방재를 위한 소형(SSPA 200W급) X-밴드 이중 편파 기상레이더 시스템 개발	STX엔진(신근섭)	'11~'16
	24Ghz 펄스모드 주파수 변조 레이더용 CMOS MMIC 개발	KIST(홍성철)	'09-'12
	X밴드펄스압축 SSPA 선박용 레이더 송신 및 SI 개발	(주)장산아이티(김홍곤)	'09-'12
	0.13nm-CMOS 기반 24GHz 협대역 차량용 근거리 레이더 개발	블루웨이브텔(주)(하재권)	'13-'14
	레이더용 고출력 증폭기 개발	세미텍(주)(조윤성)	'12-'15

다. 국내 기상(강우)레이더 및 시스템 관련 전문가

- 국내에서는 기상(강우)레이더 분야의 전문가가 많지 않으나 방산 및 차량 등과 관련한 레이더 전문가는 다수 있는 것으로 파악됨(표 13)

표 13. 기상레이더 전문가

성명	소 속	전문분야
김용훈	광주과기원	밀리미터파 레이더 시스템, 기상레이더 시스템
이규원	경북대	기상레이더 운영, 신호처리 알고리즘
이동인	부경대	레이더 기상관측, 알고리즘
박균명	기상청	레이더 기상관측, 레이더 시스템 운영
임상훈	한국건설기술연구원	강우레이더 시스템, 관측/운영 전략
이충기	한강홍수통제소	강우레이더 운영 및 시스템
오준남	유텔	자동차 레이더, 밀리미터파 레이더, 레이더 시스템
김천수	ETRI	레이더 시스템
이행선	서강대	RF 시스템

라. 기상, 수자원 및 레이더 분야 연구 현황

- 최근 약 10년간 수자원 및 기상레이더 분야에서 다양한 R&D 추진으로 R&D 관련 인적, 제도적, 기술적 역량 축적(표 14, 15)
- IT 등 첨단기술의 하천분야에 대한 접목은 새로운 시장분야로 국내의 경우 IT 기술에 대한 충분한 기반기술 확보 가능
- 국지성 집중호우, 폭설 피해 등으로 재해예방을 위한 다목적 악천후 관측에 관련된 국가적 관심이 증대되고 예산 투입 규모 증대로 기술개발에 대한 사회적 여건 성숙

표 14. 국토부 수자원분야 주요 R&D 사업 현황

연구사업명(지원부처)	기간	전문분야
수자원의 지속적 확보기술개발사업 (교과부/국토부)	'01~'11	수자원 계측 장비 및 기술 개발
도시홍수재해관리기술연구사업 (국토부)	'03~'08	도시홍수 해석에 필요한 기술 및 인적 인프라 확충
차세대 홍수방어기술개발 연구사업 (국토부)	'08~'13	레이더 강우 분석 기술 개발
첨단기술기반 하천관리 연구단 (국토부)	'11~'16	수자원 계측 장비 개발 및 첨단 하천 관리 기술
국토관측센서 기반 광역 및 지역 수재해 감시·평가·예측 기술 개발 (국토부)	'14~'19	위성, 레이더, AWS 기반 수재해 감시/평가/예측 기술

표 15. 기상(강우)레이더 관련 R&D 현황

부처명	과 제 명	수행기관(책임자)	기간
과기부 (연구재단)	이중 도플러 분석을 통한 강수시스템의 운동학적 특성 연구	경북대(김경익)	'06-'07
	원격기상탐사기술개발	경북대(김경익)	'05-'06
	원격기상탐사기술개발	부경대(김영섭)	'01-'04
	관측기술 지원 및 활용 연구	기상청(조천호)	'09-'11
	레이더 활용 기술 연구	기상연구소	'01-'08
	연구용 도플러 기상레이더 운영 및 자료분석 기술개발	기상연구소	'97-'15
	연구용 도플러 기상레이더 운영 및 자료분석 기술개발	기상연구소	'05-'05
	동지나해 공동해역에서의 대기 강수시스템 및 호우발달에 관한 연구	부경대(이동인)	'09-'10
	기상장비(기상레이더) 국산화 개발을 위한 타당성 연구	광주과기원(김용훈)	'09-'09
기상청	도플러 레이더 관측에 의한 한반도 대설의 발달 연구	경북대(김경익)	'07-'08
	범부처 융합 이중편파레이더 활용기술개발	기상레이더센터(박종서)	'13-'16
	기상레이더를 이용한 기상감시 및 예측기술개발 연구회	경북대(이규원)	'10-'10
	레이더 관측의 첨단화-선진화 및 국가레이더운영센터 신성-운영방안에 관한 연구	경북대(김경익)	'07-'10
국토부	강우레이더를 이용한 강우산정 및 예측기술	경북대(이규원)	'08-'13
안행부	레이더 자료를 이용한 통합형 홍수에경보 기반기술 개발	국립재난안전연구원(김경준)	'13-'17
미래부	수문레이더 기반 홍수 및 폭설재해 예측 및 경보 플랫폼 개발	한국건설기술연구원(이동률)	'13~'17
	전자파를 이용한 초소형우량계 개발	한국건설기술연구원(김원)	'14~'18

마. 기상(강우)레이더 개발 잠재력과 한계

- 한국에서 군사용으로 제작된 레이더들의 사례를 볼 때 한국은 충분한 레이더 하드웨어 기술을 보유하고 있어 레이더 하드웨어 개발 측면에서는 충분한 기술력을 바탕으로 세계 수준에 버금가는 레이더를 만들 수 있는 잠재력을 보유(표 16 참고)
- 다만 레이더 기술이 방위 시스템, 차량, 선박 기술 등에 국한되어 개발되어 왔으므로 기상레이더의 특수 기능 구현에 필수적인 기술이 부족(예를 들어, 높은 격리도의 편파 분리기, 고속 부피스캔 기능의 안테나, 고안정도의 송수신기, 목표물로부터 절대 수신 에너지 값을 측정하는 기술, 실시간 레이더 보정 기술, 방대한 수신 자료의 실시간 처리기술 등이 미흡)
- 국내에서는 기상(강우)레이더의 운영 기술이 축적되어 있으므로 일부 기술이 취약한 부분이 보완될 경우 기상 관측용 레이더와 전파강수계의 개발이 가능

표 16. 전파강수계 개발을 위한 국내 기술 수준 검토(광주과학기술원, 2009에서 수정)

구분	핵심소요기술	기술수준
시스템	도플러, 이중편파	△
안테나	파라볼릭	○
위상배열안테나	T/R Module	○
송신부	반도체 SSPA	○
고속, 고용량신호처리부	I/Q Demodulator, Synthesizer	△
기상자료 처리	실시간, 고속, 고용량 자료	△
기상신호처리 알고리즘 S/W	이중편파 분석 성능	△
네트워크/전시	Adaptive 망 운영, 자료 처리 기술	△

2.4.7. 요약 및 시사점

- 기상레이더는 1940년대 최초로 개발된 이후 현재 이중편파, 위상배열레이더, 다중 주파수 레이더 등 기술 개발이 지속적으로 이루어지고 있으며, 전세계적으로 기후변화에 대한 원격탐사 기술로서 그 가치가 높아가고 있고 그에 따라 선진 각국의 기술적 역량이 집중되고 있음. 따라서 기상장비 산업의 확대와 함께 전자파 기반 기상, 강수 관측 관련 시장도 점차 증가할 것으로 판단됨
- 현 시점에서 선진 각국의 기상(강우)레이더 기술은 X밴드 이상의 장거리 대형 레이더에 집중되어 있으며, 지상 관측장비 시장은 상대적으로 전파 기술의 적용이 많이 이루어지지 않은 상태이므로 전파강수계 개발시 틈새시장 진입이 가능하면서도 레이더 관련 기술력을 축적할 수 있을 것으로 보임
- 국내에서는 아직까지 기상(강우)레이더의 자체적 개발, 제조 기술이 확보되지 못하였으나, 관련 기술의 R&D가 진행 중에 있으며, 국방, 차량, 선박 등의 일반 탐지용 레이더 기술 수준이 충분히 높고, 안테나, RF 하드웨어 등 레이더 기반 기술의 저편이 잘 갖추어져 있으므로 IT 및 기상레이더 운영 기술을 접목할 경우 전파강수계의 개발이 충분히 가능할 것으로 판단됨

2.5. 특허동향

2.5.1. 특허 분석 개요

- 본 연구에서는 전파강수계의 연구 개발에 앞서 기존 시장 및 기술 동향을 파악하기 위해 특허 분석을 실시함
- 전파 강수계는 전자파 또는 라디오통을 이용하여 강우, 강설, 바람장을 측정하는 장비이므로 기존의 기상(강우)레이더 기술과 기본적으로 유사하므로 향후 개발 방향 설정에 앞서 특허 동향 분석을 통해 기술 회피 및 개발 계획 설계에 활용

2.5.2. 조사 범위

- 특허분석을 위해 대분류, 중분류, 소분류로 구별되는 기술트리를 표 17과 같이 작성
- 대분류는 본 연구의 기술이며, 중분류는 전파 강수계 하드웨어, 강수량 분석 기술과 같은 소프트웨어, 그리고 시스템 운영 및 검증 기술로 구별하였음

표 17. 분류별 특허동향 조사 범위

대분류	중분류	소분류	기술개요
전파강수계 및 강우 분석 기술 개발 (A)	전파 강수계 개발 (AA)	전파 강수계 (AAA)	강수량(비, 눈, 바람장) 측정을 위한 전파 강수계
		회로 설계 (AAB)	전파 강수계의 집적화 및 이에 대한 회로 설계
	강수량 분석 기술 개발 (AB)	강수 신호 처리 (ABA)	기상변수를 고려한 전파 강수계의 신호처리를 위한 알고리즘 개발
		분석 결과 표출 (ABB)	시공간적 강수량 정보를 운영자에게 적합하게 제시하기 위한 기술
	시스템 검증 및 최적 운영 기술 개발 (AC)	검증 기술 (ACA)	강수량 정보의 정확도와 신뢰도를 향상시키는 검증 기술
		최적운영기술 (ACB)	강수량 정보의 보정 기술 및 시스템의 최적 운영 기술

2.5.3. 조사 방법 설정

- 특허 조사는 위의 6개 소분류에 대해 실시하였음
- 분석은 핵심 키워드 및 한글/영문 확장 키워드를 사용하여 검색식을 구성하고 분석
- 1차로 한국(KR), 미국(US), 일본(JP), 유럽통합(EP), 중국(CN) 등 5개국 특허 검색
- 주요 검색 키워드는 강우, 강수, 강설, 바람장, 풍속, 홍수, 재해, 라디오, 전자파, 마이크로웨이브, 편파, 위상, 배열, 도플러, 밴드 등임
- 정량분석에서는 검색을 통해 선별한 1차 리스트를 토대로 노이즈 제거 기준을 적용

하여 유효특허를 선별한 후 분석을 실시하였음

- 정성분석에서는 핵심특허를 다시 추려낸 후 본 연구의 목표인 전파강수계의 개발과 관련하여 회피, 활용, 시장 진입 방안 등을 파악하기 위해 특허 내용(요약 및 청구항)을 분석하였음

2.5.4. 특허분석 결과

가. 정량 분석 결과

- 주요 검색 키워드를 적용한 결과 6개 소분류에 대해 노이즈를 포함하여 1970년부터 2013년까지 총 23,221건의 특허가 검색되었음(표 18)

표 18. 출원국가별 관련 특허 검색 건수(노이즈 제거 전)

소분류	검색건수					
	한국(KR)	미국(US)	일본(JP)	유럽(EP)	중국(CN)	계
전파 강수계(AAA)	408	1,516	447	204	1,160	3,735
회로 설계(AAB)	835	1,795	1,417	229	1,126	5,472
강수 신호 처리(ABA)	829	2,052	1,381	370	502	5,134
분석 결과 표출(ABB)	430	1,518	464	206	551	3,169
검증 기술(ACA)	70	692	55	31	204	1,052
최적 운영 기술(ACB)	674	1,632	827	223	1,303	4,659
총계	3,246	9,205	4,591	1,333	4,846	23,221

- 검색된 건수 중에서 전파 강수계에 직접적으로 관련되는 특허만을 선별하기 위해 노이즈를 제거하였으며, 그 결과 총 778건의 유효특허가 선별되었음(표 19)

표 19. 출원국가별 유효 특허 검색 건수(노이즈 제거 후)

소분류	검색건수					
	한국(KR)	미국(US)	일본(JP)	유럽(EP)	중국(CN)	계
전파 강수계(AAA)	38	66	131	15	56	306
회로 설계(AAB)	48	51	66	18	23	206
강수 신호 처리(ABA)	23	51	39	3	7	123
분석 결과 표출(ABB)	5	49	15	4	4	77
검증 기술(ACA)	4	13	8	4	4	33
최적 운영 기술(ACB)	11	5	14	3	0	33
총계	129	235	273	47	94	778

- 유효 특허를 기준으로 정량적 분석을 실시한 후 정성적 분석을 위한 핵심특허 81건을 선정하였음

- 기상(강우)레이더 기술이 발달한 것으로 판단되는 유럽 개별 국가(독일, 덴마크, 핀란드) 특허에 대해 LexisNexis의 TotalPatent™을 검색엔진으로 이용하여 분석하였으며, 총 538건 중에 17건을 핵심특허로 추가하였으며, 주로 독일 특허가 많은 것으로 나타남
- 정량적으로 보면 특허출원 건수는 전체적으로 완연한 증가세를 보이며, 2005년 이후의 특허출원이 이전에 비해 활발하며, 2005년경 기상현상관측에 대한 높은 관심에 따라 특허출원 건수가 증가되었고, 특히 2005년 일본에서 다수의 특허출원(20건) : 레이더 관련 Mitsubishi 4건, Toshiba 4건 등이 출원됨(그림 42)

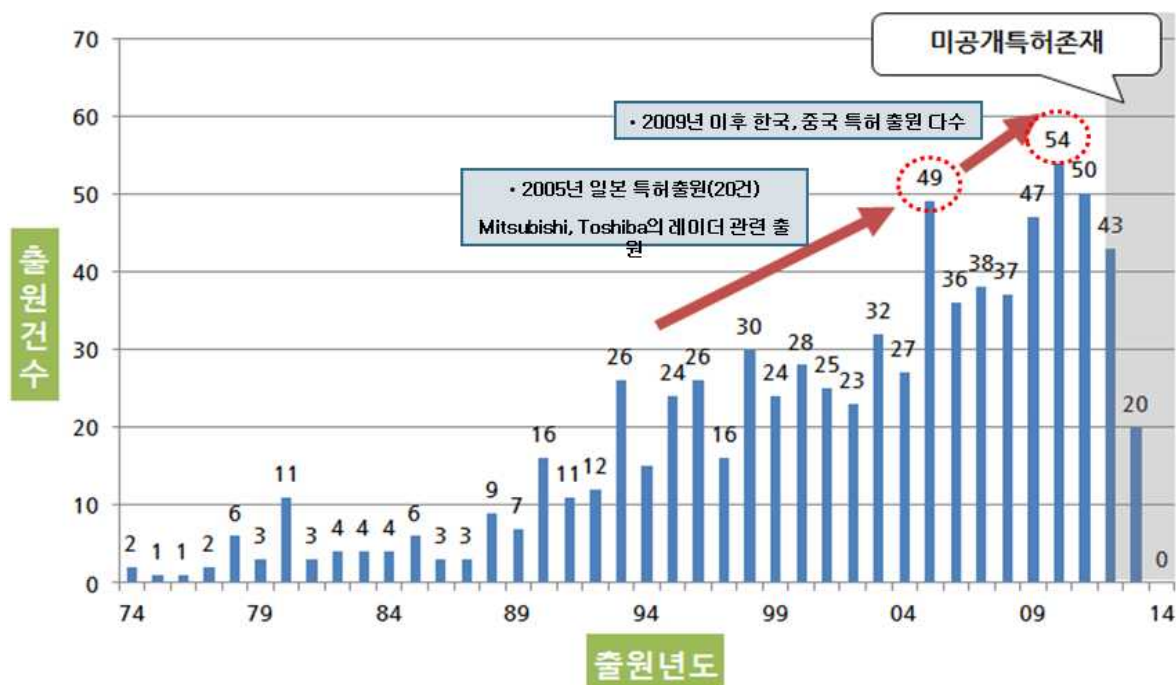


그림 42. 전파강수계 관련 5개국 연도별 출원 추이

- 2009년 이후 한국, 중국 특허출원은 계속 활발한데, 특히 대학/연구소를 중심으로 이루어짐 (2009년 이후 한국특허출원 및 중국특허출원 중 2/3 이상)
- 2009년 이후 다른 주요 시장국에서는 뚜렷한 증가세를 보이지 않음
- 전체 출원 건수 중 일본출원과 미국출원이 각각 35%, 30%를 차지함. 일본출원은 자국출원의 비중이 93%에 이르며, 유럽을 제외한 다른 시장국도 자국출원 비중이 높음(75% 이상). 일본 국적 출원인은 해외출원활동에도 적극적임
- 출원인수 및 출원건수 꾸준히 증가하는 경향으로 나타났는데, 이는 전체적으로 전형적인 성장기의 모습을 나타내고 있음(그림 43)

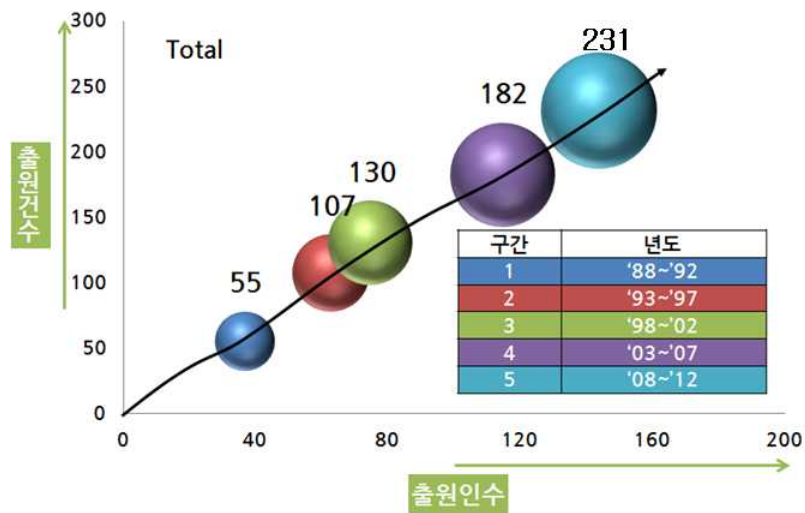


그림 43. 기간별 출원인수 및 출원건수 추이

- 국가별로 보면 한국은 지속적인 성장세, 중국은 최근 급격한 성장세이며, 미국과 일본은 성장기가 지난 것으로 판단되고, 유럽은 출원규모가 작아서 성장단계 파악 곤란

표 20. 출원인별 출원건수

분석항목 출원인	출원인 국적	주요 IP시장국(건수, %)						3국 패밀리수 (건)	특허출원 증가율 (최근 5년)	주력기술분야 (중분류)	주력기술분야 (소분류)
		한국	미국	일본	유럽	중국	IP시장국 종합				
		KIPO	USPTO	JPO	EPO	SIPO					
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	JP	0	3	66	2	2	일본	2	-35%	AA	AAA
		0%	-4%	-90%	-3%	-3%					
TOSHIBA CORP	JP	0	5	32	1	0	일본	4	167%	AA	AAA
		0%	-13%	-84%	-3%	0%					
부경대학교 산학협력단	KR	18	0	0	0	0	한국	0	100%	AA	AAA
		-100%	0%	0%	0%	0%					
NEC CORP	JP	3	0	11	0	1	일본	3	-33%	AA	AAB
		-20%	0%	-73%	0%	-7%					
JAPAN RADIO CO LTD	JP	0	0	13	0	0	일본	0	100%	AA	AAA
		0%	0%	-100%	0%	0%					
Honeywell International	US	0	6	3	2	1	미국	8	133%	AA	AAB
		0%	-50%	-25%	-17%	-8%					
Rockwell Collins	US	0	9	0	0	0	미국	0	-50%	AA	AAA
		0%	-100%	0%	0%	0%					
Raytheon Company	US	0	10	1	1	0	미국	1	0%	AB	ABA
		0%	-83%	-8%	-8%	0%					
University Corporation for Atmospheric Research	DE	0	6	0	5	0	미국	0	0%	AA	AAA
		0%	-55%	0%	-45%	0%					
경북대학교 산학협력단	KR	11	0	0	0	0	한국	0	100%	AB	ABA
		-100%	0%	0%	0%	0%					

- 표 20은 출원인별 출원건수를 나타내는데, 일본, 미국의 출원인이 집중적으로 특허를 출원하고 있고, 한국에서는 부경대, 경북대에서 출원건수가 많음

- 출원건수가 많은 주요 출원인은 그림 44와 같이 Mitsubishi, Toshiba, 경북대, NEC, JRC 등임

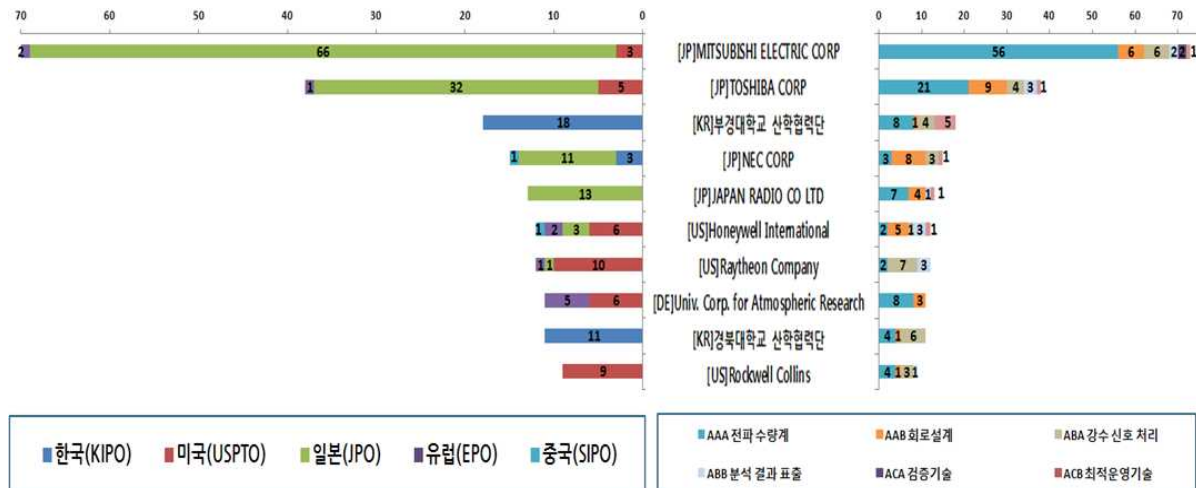


그림 44. 출원인별 출원국가 및 유형

- 주요출원인은 전파강수계(AAA), 회로설계(AAB), 강수신호처리(ABA) 분야에 주로 출원하는 경향을 보이며, 결과 표출(ABB), 검증기술(ACA), 운영기술(ACB) 분야의 비중은 상대적으로 낮음. 한국의 주요출원인(부경대, 경북대)은 국내출원에만 집중하고 있음(그림 45)

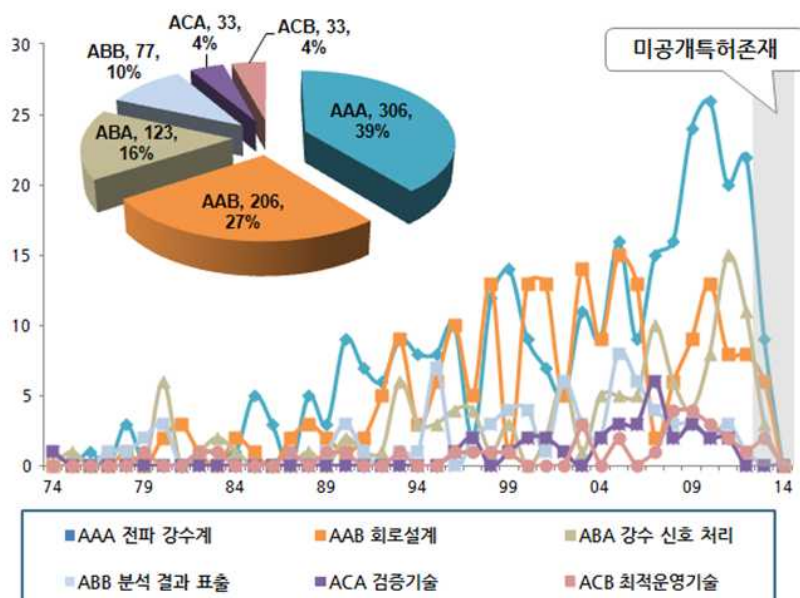


그림 45. 연도별 유형별 출원건수 추이

- 전파강수계(AAA) 분야에서 가장 높은 비율로 특허가 출원되고 있고, 회로설계(AAB) 분야에서 출원활동이 꾸준한데, 연도별로 분석할 경우에도 이러한 경향은 유사하게 유지되고 있음

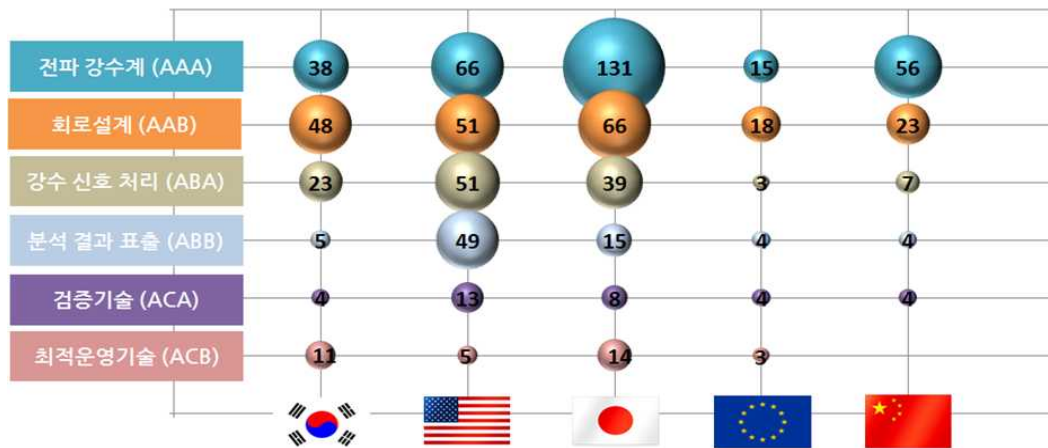


그림 46. 유형별, 출원국별 출원건수

- 각 시장국에서 전파강수계(AAA), 회로설계(AAB) 분야의 특허출원 비중이 높음
- 일본(JPO), 미국(USPTO)의 경우는 다른 분야에서도 대체적으로 우세함(그림 46)

나. 정성적 분석 결과

- 주요 5개국 및 독일, 덴마크, 핀란드의 특허 중에서 전파 강수계와 관련이 큰 핵심특허 총 105건 중에 1차 검토를 거쳐 81건을 추려내어 집중 분석(표 21)

표 21. 유형별 핵심특허 출원인

소분류	최종 핵심특허 및 관심 출원인	
	건수	주요 출원인(정량분석) / 총 출원인 수
전파 강수계(AAA)	50	Baron Service, DRS Weather System, Enterprise Electronics Corporation, Selex Systems Integration, Thomson-CSF, Vaisala OYJ (최다:4건), Japan Radio, TOSHIBA Corp, MITSUBISHI ELECTRIC CORP, 경북대학교, 부경대학교 등 (23)
회로 설계(AAB)	12	Baron Service, Thomson-CSF (최다:2건), Vaisala OYJ, Japan Radio, TOSHIBA Corp 등 (9)
강수 신호 처리(ABA)	14	Baron Service, Selex Systems Integration (최다:2건), Thomson-CSF, Vaisala OYJ / Rockwell Collins, Inc., 경북대학교, 부경대학교 등 (11)
분석 결과 표출(ABB)	1	Baron Service 등 (1)
검증 기술(ACA)	3	Colorado State University Research Foundation, McGill University, Vaisala OYJ 등 (3)
최적 운영 기술(ACB)	1	부경대학교 등 (1)
총계	81	

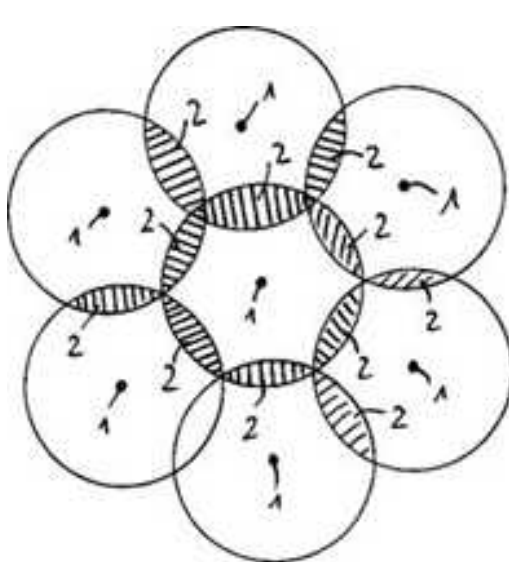
- 핵심특허 중에서 전파강수계 개발에 중요한 것으로 판단되는 특허 5건에 대해 공개특허정보를 활용하여 보다 상세한 분석을 실시하였음

System and method for processing data in weather radar (기상레이더의 자료 처리 시스템 및 방법)			
국가	US (미국)	법적 상태	등록
문헌종류	B2	출원인	Vaisala Inc.,
출원번호	2005-322524	발명자	Richard E. Passarelli, Jr. Alan D. Siggia
공개/등록번호	7589666	기술분류	AAA
요약	○ Systems and methods that adapt to the weather and clutter in a weather radar signal and apply a frequency domain approach that uses a Gaussian clutter model to remove ground clutter over a variable number of spectral components that is dependent on the assumed clutter width, signal power, Nyquist interval and number of samples. A Gaussian weather model is used to iteratively interpolate over the components that have been removed, if any, thus restoring any overlapped weather spectrum with minimal bias caused by the clutter filter. The system uses a DFT approach. In one embodiment, the process is first performed with a Hamming window and then, based on the outcome, the Hamming results are kept or a portion of the process is repeated with a different window. Thus, proper windows are utilized to minimize the negative impact of more aggressive windows. ○ 본 특허는 기상레이더 신호 분석시 Gaussian 모델을 적용하여 클러터를 제거하는 기술임		
대표 청구항	1. A system for processing a radar signal comprising: (a) a memory storing software and echo data related to a transmitted pulse, wherein the echo data includes an input time series; and (b) a processor for running the software, the processor being in communication with the memory, wherein the processor is operative to: (i) apply a window to the input time series; (ii) apply a discrete Fourier transform to the windowed input time series to obtain a Doppler power spectrum; (iii) filter the Doppler power spectrum to remove clutter points; and (iv) perform an iterative interpolation using a Gaussian model to replace the artifacts that are removed by filtering the Doppler power spectrum.		
대표 도면			
패밀리특허	US7589666B2, US2008-0001808A1		

**Radar protected against rain echoes, and
method for the protection of a radar against rain echoes
(강우 에코에 대해 레이더를 보호하는 기술)**

국가	EP (유럽)	법적 상태	권리 소멸
문헌종류	B1	출원인	THOMSON-CSF
출원번호	1987-400929	발명자	Montheil, Jean-Claude
공개/등록번호	0247911	기술분류	AAB
요약	◦ The radar is designed to identify and then eliminate rain clutter signals. For this, the radar works in circular polarization with alternately identical and opposite polarization directions at transmission and reception, from one recurrence to the next one. The signals are identified by a comparator which compares the sigma video signals relating to the same distance quanta for two successive recurrences, the identifying criterion being a major difference in the level of the signals compared, for rain clutter signals, and little difference for useful echo signals. A switch controlled by the comparator eliminates the parasite signals. ◦ 비교기에 의해 신호의 기생성분을 제거하는 기술		
대표 청구항	1. Radar working with circular polarization and allowing the identification of rain echoes, characterised in that it comprises: a single antenna (2); a polariser (3) associated with switching means (5, 6, 7) to reverse, from one repetition to the next, the direction of the circular polarization on transmission or on reception, in order to determine blocks formed from two successive repetitions having directions of polarization, on transmission and on reception, which are identical and opposite respectively; a demultiplexer (12) to demultiplex the video signals relating to one and to the other of the repetitions of a block; comparison means (14, 15, 16) for comparing the video sum signals of the two repetitions of a block; and a switch (17) controlled by the comparison means in order to eliminate, from among the video signals relating to one of the two repetitions of a block, those which the comparison means designate as relating to rain echoes.		
대표 도면			
패밀리특허	DE3782856D1, DE3782856T2, EP0247911A1, EP0247911B1, FR2598228A1, FR2598228B1, US4811020A		

Procedure for determining compound data of weather radars within an overlap range of the observation ranges of at least two weather radars
(2대 이상의 기상레이더의 중복 관측 범위의 처리 절차)

국가	DE (독일)	법적상태	권리 소멸
문헌종류	A1	출원인	SELEX SYSTEM INTEGRATION
출원번호	2007-10058345	발명자	Hannesen, Ronald, 40223 Düsseldorf, DE / Weipert, Andre, 41844 Wegberg, DE
공개/등록번호	102007058345	기술분류	ABA
요약	○ A method for determining combined data of weather radars (1) in an overlap region (2) of the observation regions of at least two weather radars (1), with polarimetric weather radars (1) being used as weather radars (1), and the measurements of each of at least two weather radars (1) being combined for measuring points in the overlap range (2), and the combined measuring points being used to carry out a radar echo classification. ○ 여러 기상레이더가 중복될 경우 그 중복 범위에 대한 레이더 에코 분포를 수행하는 방법		
대표 청구항	1. A method for determining combined data of weather radars (1) in an overlap region (2) of the observation regions of at least two weather radars (1), characterized in that polarimetric weather radars are used as the weather radars (1) and at least two measurements of each of the polarimetric weather radars (1) are combined) for measuring points in the overlap region (2) and a radar echo classification is carried out based on the combined measuring points.		
대표 도면			
패밀리특허	DE102007058345A1, EP2220514A1, US8368581, US20100315432, WO2009071232A1		

System and method for projecting storms using NEXRAD attributes
(NEXRAD 속성 정보를 이용하여 폭풍을 투영하는 시스템)

국가	US (미국)	법적상태	등록
문헌종류	B1	출원인	Baron Services, Inc.
출원번호	2001-933563	발명자	Baron / Robert O. / Thompson / Tom S. / Benson / Tony L.
공개/등록번호	6401039	기술분류	ABB
요약	The subject invention provides an improved system and method for combining data obtained from the NEXRAD® system of the National Weather Service ("NWS") with geographical and topological database information to achieve an improved and informative graphical storm-tracking display able to project the movement of a storm with a single user-operation. The method of projecting storm movement includes the following steps: collecting NEXRAD data attributes from a weather data source; calculating storm position using the collected NEXRAD attributes; calculating projected storm movement using the storm position and the collected NEXRAD attributes; displaying a graphic representation of the projected storm movement.		
대표 청구항	1. The method of processing meteorological data, said method comprising the steps of: receiving NEXRAD attribute data corresponding to a storm position relative to a radar site; deriving from said NEXRAD attribute data a storm location relative to a viewing area the center of which is remote from the radar site; and calculating a projected storm path using said derived storm location and said NEXRAD attribute data.		
대표 도면			
패밀리특허	US6125328A, US6278947B1, US6401039B1		

Retrieval of parameters in networked radar environments (네트워크 레이더 환경에서 관측변수를 보상하는 방법)			
국가	US (미국)	법적상태	등록
문헌종류	B2	출원인	Colorado State University Research Foundation
출원번호	2006-457335	발명자	ChandrasekaranVenkatachalam / Sang Hun Lim
공개/등록번호	7518544	기술분류	ACA
요약	Radar beams are generated with radars disposed at different positions within an environment that attenuates at least a portion of one of the radar beams. A measured reflectivity of the environment is determined along a path of each of the radar beams. An intrinsic reflectivity is determined from different volume elements within the environment from the measured reflectivity.		
대표 청구항	1. A method of operating a radar network, the method comprising: generating respective radar beams with each of a plurality of radars disposed at different positions within an environment; determining a respective measured reflectivity of the environment along a respective path of each of the respective radar beams from the generated respective radar beams, wherein the respective measured reflectivity is attenuated along at least a portion of the respective path of at least one of the respective radar beams; and determining an intrinsic reflectivity for different volume elements within the environment from the respective measured reflectivity along the respective path of each of the respective radar beams.		
대표 도면			
패밀리특허	EP2041603A2, EP2041603A4, US7518544B2, US2008-0012755A1, WOWO2008-079441A2, WOWO2008-079441A3		

2.5.5. 요약 및 시사점

가. 정량 특허 분석

- 일본, 미국이 전체 시장을 주도하고 있고 다수의 출원이 있음
- 일본 기업 Mitsubishi Electric Corp와 Toshiba Corp의 특허활동이 두드러짐
- Mitsubishi 특허는 기상 레이더 건이 다수이며, 바람장과 관련된 건 역시 상당수
- Toshiba 특허는 기상 레이더 건이 다수이며, 바람장보다 강우/강설 관측 건이 많음
- 국내 IP 시장은 부경대학교와 경북대학교 등 연구기관 중심으로 형성됨
- 기상레이더 신호를 처리하는 기술에 상대적으로 더 집중하는 경향(강우유형 분류, 강우감쇠 보정, 반사도 보정, 에코 분류 등)
- 전파 강수계(AAA) 분야에 대한 특허출원 비중이 가장 높음
- 전파 강수계(AAA), 회로설계(AAB) 분야에서 특허출원이 지속적
- 일본, 미국의 경우 다른 분야에서도 우세함
- 선진국 기업과 차별화되는 기술의 연구 개발과 이에 따른 국내의 지재권 확보를 위해서는 선행 특허문헌에 대한 검토가 필요함

나. 정성 특허 분석

- 핵심특허의 경우, 대부분 전파수량계(AAA)에 관한 기술이며, 대부분 해외 특허로 확인됨. 국내 핵심특허는 관심 출원인의 특허는 확인됨.
- 국산화가 용이한 분야인 것으로 판단됨
- 강우, 강설 및 바람장 모두를 측정하기 위한 여러 레이더를 이용하는 구성은 발견되지 않음
- 핵심특허에 대해서는 자유롭게 실시하거나 회피 설계가 가능한 것으로 판단됨
- 복수 개의 기상 레이더를 운용하는 네트워크 기술과 관련된 건은 좁은 권리범위를 가지고 있는 것으로 파악됨
- 국내 장벽특허가 거의 없는 것으로 판단되는바, 국산화가 용이할 것으로 사료됨
- 국외 공지 기술과 공백 기술을 활용하여 기상 강수계 개발 및 네트워크를 활용하는 방향으로 연구 방향을 설정할 필요가 있는 것으로 사료됨

2.6. 논문동향

- 최근의 연구 경향은 이중편파 기술과 정량강우산정 기술(QPE) 등이 최근 집중 연구되고 있고, 위상배열 레이더 연구는 초기 단계임
- 레이더와 관련한 연구 동향을 간략하게 정리하면 표 22와 같음

표 22. 레이더 연구 분야별 주요 주제

분야	주요 주제
Radar System	출력관(Magnetron, Klystron) 기술 반도체 Solid-state 송수신기 활용성 펄스 압축(pulse compression) 기술
Radar Network	대형 고고도 레이더 네트워크 레이더 음영지역 해결 기술 저고도 X-밴드 이중편파 레이더(CASA 등) 중첩 네트워크를 통한 성능 향상
Dual-Polarization	이중편파 레이더 특성을 이용한 QPE 정확도 제고 기존 도플러 레이더의 이중편파화를 통한 고도화
Forecasting	X-밴드 이중편파를 활용한 초단기국지성호우 예보 토네이도등 관측 기술 실측 정량강우와의 실시간 연계기술 등 도심 침수, 홍수 예보를 위한 복합 시스템 구축
기타	대기수상체 관별 다중주파수 레이더를 이용한 구름 물리 분석 위상배열 기상레이더 개발 및 적용성 분석 항공기 레이더 관측에 의한 악천후 관측 Parsivel, 2DVD등을 이용한 이중편파 검증

- 연구 분야별 주요 논문 동향은 아래와 같음

가. 강수의 공간적 차별성

- 강우와 강설 등 강수 현상은 공간적으로 차별성이 있는데, 그러한 현상이 넓은 지역이 아닌 좁은 지역에서 나타나는 것을 실험과 현장 계측을 통해 확인한 연구가 수행되었음
- 이러한 연구들은 지점의 지상우량계를 이용할 경우 호우 사상에 따라서는 티센망으로 환산되는 면적 우량의 큰 차이를 나타낼 수 있다는 점을 보여주고 있음
- 이와 관련하여 Huff와 Neill(1957)은 1950년대, Sandsborg(1969), Jackson(1969) 등은 1960년대 후반에 연구하였으며, 최근에는 Desa와 Niemczynowicz(1997), Pedersen과 Jensen(2010) 등이 연구를 수행한 바 있음
- 이러한 연구들의 공통적인 경향은 누적 우량이 증가할수록 우량계간 편차가 줄어들지만, 단일 강우 사상의 경우 공간 분포의 차이가 크게 발생하는 경우가 있다는 점임

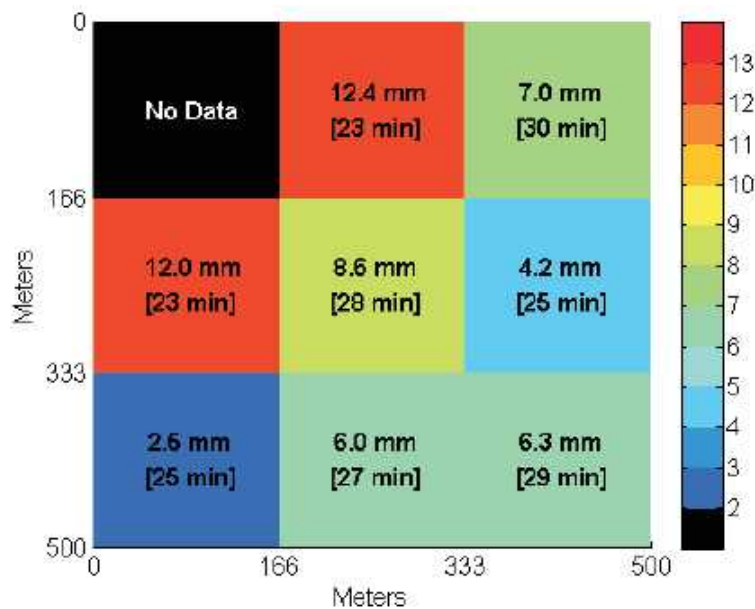


그림 47. 500*500 m 범위에서 일일누적강우량의 공간편차(Pedersen과 Jensen, 2010)

나. 레이더 시스템 및 네트워크

- 레이더 시스템과 관련해서는 최근에 여러 학회를 통해 해야될 수 없이 많은 논문이 발표되고 있음
- 주제별로 정리하면, 하드웨어에서 출력관(Magnetron, Klystron) 기술, 반도체 송수신기 기술, 그리고 저렴한 전력으로 향상된 탐지 기능을 발휘하는 펄스 압축 기술 등을 들 수 있음
- Junyent 등(2009)은 마그네트론관을 채택한 레이더 전송장치의 표류 주파수를 조절할 수 있는 기술을 제시한 바 있음
- Chatelet 등(2012)은 마그네트론관을 채택한 비응집성 전송기에서 발생하는 표류 주파수를 보정함으로써 응집성 레이더에서만 측정 가능하던 경계층의 반사도 측정이 가능함을 보여주었음
- Balkcum 등(2009)은 공랭식 1 MW급 클라이스트론관 기반의 C밴드 레이더를 개발하였음
- 반도체 기반의 고체 송수신기는 마그네트론이나 비교적 최근에 개발된 레이더 기술로서 상대적으로 적은 전력을 소모하면서 넓은 커버리지를 갖는 기술임. 이와 관련하여 Hanczor 등(1993)은 S밴드 대역에서 작동하는 12 kW 급 송수신기를 개발하였음.
- 이와 관련한 주요 문헌으로는 Ulanowicz와 Hooper(1988), Peyton과 Peebles(1998), Wada와 Mizutani(2009) 등이 있음
- 최근의 기상(강우)레이더 기술은 단독 레이더를 이용한 관측보다는 다수의 레이더를

네트워크로 구성하여 중첩, 저고도-고고도의 병행 관측, 그리고 상호연계를 통해 관측 성능을 향상시키는데 목표를 두고 있음

- 기상레이더의 네트워크 운영 기술과 관련하여 최근에 발표된 연구에는 Junyent와 Chandrasekar(2009), Junyent 등(2010), Maki 등(2008)이 있음

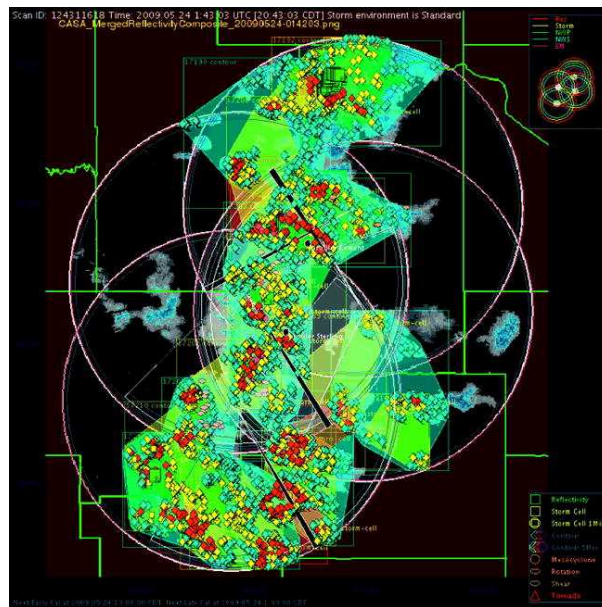


그림 48. CASA-IP1 레이더 네트워크 스캔 예
(Junyent 등, 2010)

다. 정량 강수 산정(Quantitative Precipitation Estimation)

- 단일 레이더 혹은 다중의 레이더 모두 결국은 정확한 강우량을 산정함으로써 홍수, 도심 침수 등의 재해 피해를 예방하는 예보를 하는데 목적이 있다고 볼 수 있으며, 이러한 관점에서 정량 강수 산정(QPE) 기술이 기상(강우)레이더 운영에 중요한 부분이라고 할 수 있음
- Ryzhkov 등(2005)은 미국 NEXRAD의 편파 시험용 WSR-88D 도플러 레이더를 이용하여 강우 추정에 적용한 바 있음
- Matrosov 등(2005)은 강우 매개변수의 정량적 추정에서 X밴드 편파 레이더의 활용성을 검토하였으며, Wang 등(2010)은 CASA 이중편파 레이더를 이용한 정량 강우 추정 결과를 제시한 바 있음
- 우리나라에서도 정량 강우 추정 연구는 많이 수행된 바 있는데, 그중에 대표적인 것은 석미경 등(2005)의 연구로 WPMM 모형을 이용하여 반사도를 이용한 정량 강우를 추정한 사례이며, 강미영 등(2011)의 경우 기상청 X밴드 이중편파 레이더를 이용한 강수량 추정 사례를 분석하였고, 전병국 등(2012)은 국토부 이중편파 레이더

자료를 활용하여 정량 강수량 추정 능력을 평가한 바 있음

- Chandrasekar 등(2008)은 정량 강우 추정 정확도가 높은 이중편파 레이더를 이용하여 위성 강수량 관측을 검보정하는 연구를 수행한 바 있음

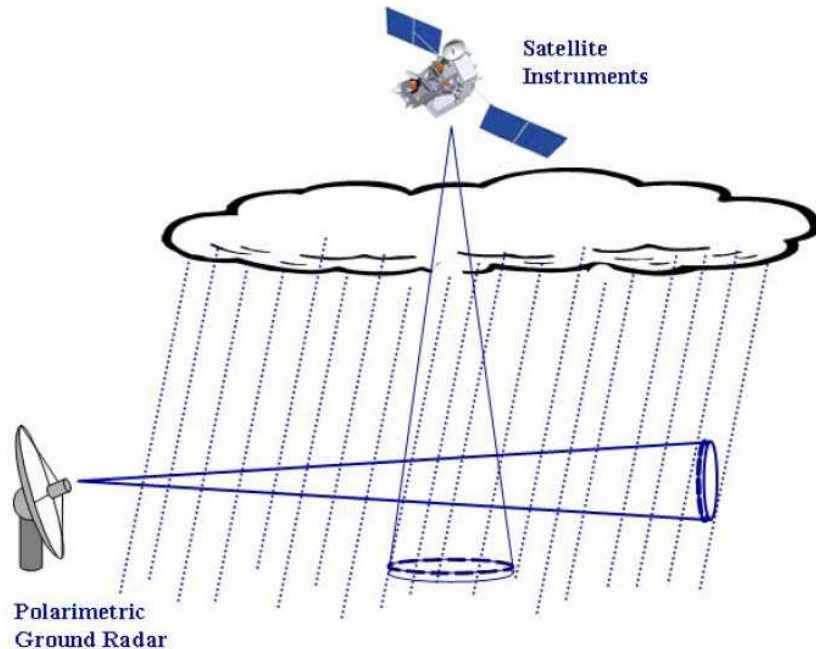


그림 49. 위성 강수 관측과 지상 기상레이더 보정
개념도(Chandrasekar 등, 2008)

라. 레이더 활용 예보기술

- 악천후 감시 및 방재 분야에서 기상(강우)레이더는 강수량 추정 뿐만 아니라 국지성 호우, 폭풍, 토네이도 등의 발생을 감지함으로써 초단기 예보(nowcasting) 등에 활용되고 있음
- 이와 관련하여 대표적인 기술은 캐나다 McGill 대학의 MAPLE 모델임
- Bellon 등(2010)은 MAPLE 모델을 한국 레이더 네트워크의 자료를 활용하여 변동 에코 추적 기법을 적용한 바 있으며, 이보다 먼저 Ishizaki 등(1989)은 에코 추적 기법을 적용하여 강수량을 추정하는 연구를 수행하였고, Kimura 등(2011) 역시 X-밴드 레이더를 이용한 예보에 관한 연구를 수행함

마. 기상장비 개발 및 기타

- 신동훈 등(2010)은 부력식 우량계를 개발하고 이를 이용한 관측사례를 제시한 바 있음
- 이규원(2009)은 외국의 기상레이더의 개발 동향을 분석하고 국내 기술 개발을 위한 제언을 한 바 있음

3. 연구개발과제 구성 및 추진 전략

3.1. SWOT 분석

	강점(Strength) • 방산/차량/선박 레이더 기술 보유 • IT 융합 기술 발달로 네트워크 구성 및 어플리케이션 개발 용이 • 기상(강우)레이더 운영을 통해 관련 기술 축적	약점(Weakness) • 레이더 강우에 대한 신호처리 기술적 경험 부족 • 기상레이더 개발 경험 미흡 • 자연 강우에 대한 검보정 기술 부족
기회요소(Opportunity) • 홍수, 집중호우, 폭설 등 악천후 재해에 대한 국민 관심 증가 • 기상청, 국토부, 지자체 등에서 기상/수문/방재레이더 보급확대 • 안전사회 국가 R&D 증가 추세	SO전략(시너지창출) • 국지성 악천후 및 재해 감시에 집중하는 전파강수계 개발 • 보급확대를 위한 경제적 센서 개발 • 국내 IT 기술을 응용한 사용자 지향성 인터페이스 개발	WO전략(약점보완) • 레이더 강우 전문가 확보 및 기술 내재화 • 범용 레이더와 수문기상 분야 전문가의 협업 체계 구축 • 신뢰성있는 검보정 기술 적용
위협요소(Threat) • 연구개발 후 불확실한 시장 여건 • 국내 자체 개발 기술에 대한 신뢰 부족 • 초기 개발시 외국 기술 대비 상대적 열위	ST전략(위험최소화) • 초기부터 수요처 의견 적극 반영 • 개도국 우선수출 및 운영을 통해 충분한 현장 검증 및 성능 제고 • 강우,바람장,강설 등 단계적 성능 구현을 통해 수요자 신뢰 구축	WT전략(위험극복) • 안정 성능의 신호처리기 우선 적용 • 실대형 실험을 통한 물리적 검보정 수행으로 신뢰성 제고 • 테스트베드 운영을 통한 성능 검증 및 지속적 개선, 홍보

- 자연재해로부터 안전한 사회를 추구하는 사회적 분위기를 고려할 때 전파강수계의 연구 개발 추진 동력은 충분
- 국내 기술적 수준을 고려하여 기술적 기대 수준이 낮은 개도국에 우선 적용함으로써 충분한 검증 및 운영을 하는 방향을 고려
- 충분한 연구비를 투입하고, 신뢰성 있는 성능을 발휘하기 위해 단계별 성능 검증과 지속적인 연구 개발이 필수적

3.2. 비전 및 목표 수립

3.2.1. 비전

비전	집중호우, 폭설, 폭풍 등 악천후를 정확히 측정·제공하여 자연재해로부터 안전한 사회 구현
----	--

목표	강우, 바람장, 강설의 공간분포를 동시에 측정할 수 있는 네트워크 기반의 24 GHz 이중편파 초소형 전파강수계 개발 1) POSS급 정확도의 강우량 공간분포 측정 2) POSS급 정확도의 강설 측정 3) 윈드 프로파일러급 정확도의 바람장 측정 4) 네트워크 Master-Slave 개념의 전파강수계
----	---

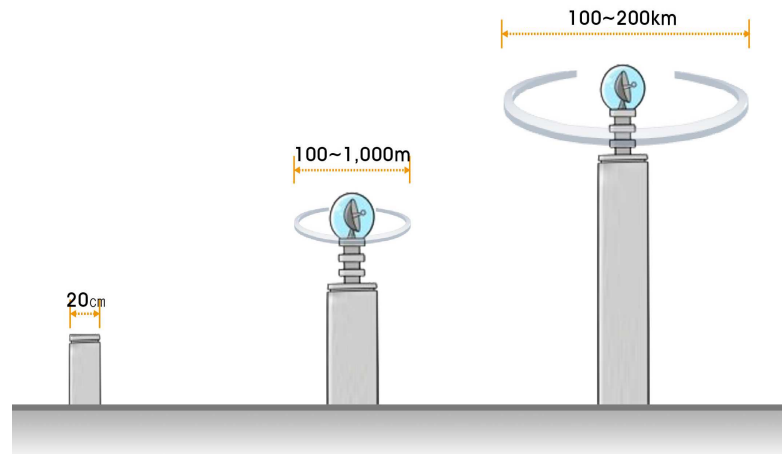
3.2.2. 목표

정성적 목표	1) 세계 최초, 최고 수준의 전자파 기반 고해상도 다목적 강수계 개발 2) 실시간 네트워크 기반의 강수정보 통합표출 시스템 개발
정량적 목표	국제 특허 5건
경제적 목표	1) 기존 강우, 풍향풍속, 강설계 대체 및 새로운 강수계 시장 창출 2) 강우, 강설, 태풍으로 인한 피해 20% 절감

3.2.3. 구체적인 연구개발 목표물

- 반경 1 km 내외에서 강우, 강설, 바람장을 정량적으로 측정할 수 있는 신개념의 소형 전파강수계 개발
- (하드웨어) 전자파(RF) 시스템 및 신호처리 플랫폼 개발
- (알고리즘 및 소프트웨어) 운영표출 시스템 및 강수 산출 알고리즘

- (시스템 통합 및 검증) 시스템 디자인, 성능검증, 테스트베드 운영, 네트워킹 알고리즘 및 제품화



	기존 우량계	전파강수계	기존 기상레이더
측정범위(직경)	20 cm	500-1,000m	40-200km
측정 자료	정량 강우	정량 강수	강수 분포
한계	측정범위 과소	-	정량 강수 불가능

3.3. 기술개발에 따른 미래상

3.3.1. 미래 니즈

가. 현재 및 미래 사회 문제

- 국지성 집중호우로 인해 하천홍수, 도심침수, 산사태 발생, 인명 및 재산 피해 급증
- 기후변화에 따라 국지성 집중호우의 강도, 돌발성, 국지성 심화
- 겨울철 폭설, 대설 증가로 인한 고립, 도시 기능 마비, 간선도로 마비 발생 증가
- 연안 및 내륙 지역에서 태풍, 돌풍 등에 의해 바람 피해 발생
- 도시 인구의 지속적인 증가 및 지상 공간의 한계로 인해 지하공간에 대한 수요 증가

나. 현재 기술 및 시장의 한계

- 지상강우량 측정 기술의 한계 : 공간적 대표성 부족, 면적 강우량 산정 곤란
- 지속적인 강우량 관측소 확충에도 불구하고 관측 밀도 제고에는 한계
- 강설 관측의 부정확성, 넓은 지역 범위에 비해 관측소 산재에 따른 대표성 부족

- 대형 기상레이더는 대당 10억 이상인 고가의 장비로서 보급 확대에 애로, 선진국이 시장 장악으로 인해 기술적 진입 장벽이 높고 기술 이전 회피
- 기상청 및 국토교통부 기상(강우)레이더는 대면적 관측에 필수적인 고(高)고도 관측으로 지상 부근의 특성 파악 곤란하나 저고도 X-밴드 레이더의 보급은 지체
- 국지적 악천후 관측 및 경보 시스템 미흡
- 기상, 군사 분야 외에 선박, 차량, 교통 등 레이더 시스템 적용 분야 확대

다. 미래 니즈의 도출

- 기상 이변 등으로 인해 초래되는 홍수, 도심침수, 산사태, 폭설, 강풍 자연 재해로부터 안전한 생활공간 필요성 대두
- 도시 거주인구의 지속적 증가 및 지상 공간 부족에 따른 지하시설(도로, 지하철, 대심도 지하철, 지하 쇼핑시설 등) 건설 확대에 의해 도심 침수에 대한 취약성 증가
- 고령화 사회로 변화되면서 시민들의 재해 대응 능력이 약화됨에 따라 악천후 재해의 예보, 정보 제공 등에 대한 수요 증가
- 실시간, 고정확도 관측·감시 기술을 통해 자연재해에 대한 선제적 대응 및 예방 체제 구축 필요성
- 기후변화, 기상이변 등이 계속되어 자연재해, 악천후 관련 관측, 모니터링 수요가 공공부문 뿐만 아니라 민간 부분에서도 지속적으로 증가(예, SKT-웨더폰서비스(2013년), 다음-수해커뮤니티맵(2012년) 등)
- GPS, WiFi, 이동통신 네트워크 등이 연계된 3차원 위치 정보 서비스의 강화로 위치 기반 재난 재해 정보의 공유 필요성 증가
- 사물인터넷, 통합 센서 발달 등에 따라 기존 개별 측정 장비로부터 강우, 강설, 바람 등 다양한 기상요소를 동시에 측정할 수 있고, 재해예방에 활용 가능한 장비 개발 필요성 증대
- 기존 기상레이더보다 저렴하면서, 저고도의 악천후를 감시하는데 필요한 센서로서 틈새시장을 창출할 수 있는 제품 필요
- 공공과 민간에서 모두 활용도가 큰 보급형 저가, 고성능 제품이 필요
- 복합적이고 고정확도의 효율적인 악천후 감시를 위해 대형레이더 연계 및 ICT/네트워크 기술 활용 필요
- 고성능 네트워크 빅데이터 처리 기술을 기반으로 호우, 태풍, 폭설 등 각종 악천후에 대한 지상, 저고도, 고고도, 위성 등 중첩된 입체적인 관측 및 초단기 예보 시스템 구축

3.3.2. 기술개발에 따른 미래상

	현재(As is)	미래(To be)
악천후 관측 기술	○ 전통적인 원통형우량계에 의한 측정으로 면적대표성 부족, 홍수예보 불확실도 높음 ○ 강설, 바람 관측소 밀도가 낮아 대표성 부족, 국지성·돌발성 폭설, 폭풍 관측 곤란 ○ 대형 기상(강우)레이더와의 실시간 연계가 부족하여 입체적 관측 부족 ○ 고(高)고도 관측으로 지상 부근의 특성 파악 곤란	○ 공간 분포를 고려한 우량 측정으로 면적우량 정확도 향상, 홍수예보 정확도 향상 ○ 강우, 강설, 바람 등의 공간분포 측정으로 측정 대표성 제고 ○ 대형 기상(강우)레이더와 실시간 연계를 통한 국지성 악천후 관측 및 예보 기술 향상 ○ 지상부근 관측 성능 향상으로 고고도 관측 레이더와의 복합 기술 제고
재난 안전 사회	○ 국지성 집중호우의 감시 능력 부족으로 도심홍수, 국지성 산사태 등 대비 곤란 ○ 겨울철 폭설에 의한 교통마비, 산간지 고립 등 피해 지속 ○ 태풍, 돌풍 등에 의한 바람 피해 지속	○ 국지성 호우로 인한 침수, 산사태 피해 저감 ○ 강우, 강설, 바람 동시 측정으로 악천후로 인한 재난 예방 ○ 네트워크 시스템에 의한 폭우, 폭설 등 악천후 복합적, 첨단 관측으로 재난, 인명/재산 피해 최소화
국산화 및 시장 창출	○ 기상(강우)레이더 국내 자체 기술이 부족하여 대형 레이더 등의 국외 기술 의존도 심화, 첨단 강우 측정장비 등 기상장비 시장에서 국외 종속적, 대외 의존도 심화 ○ 대형 기상레이더는 고가의 장비로서 보급 곤란, 선진국이 시장 장악	○ 초소형 전파강수계 국산화 개발로 기상장비 국산화, 대외의존도 감소, 레이더 기술력 확보로 첨단 기상/재해 원격탐지기술 확보 ○ 저렴한 전자파 기반 관측 기술 확보로 기존 전통적 우량계 등 관측장비 혁신 및 틈새시장 창출

3.4. 목표사양 도출

3.4.1. 전파강수계의 측정 성능 사양 목표

- 본 연구를 통해 개발하고자 하는 전파강수계는 우량 및 강설 측정 성능은 POSS(강수발생검지장치, precipitation occurrence sensor system) 수준을 목표로 함
- 바람장 측정 성능은 강수시를 기준으로 윈드 프로파일러 수준의 성능을 목표로 함
- 최대 측정범위는 시스템 주파수(24 GHz), 관측 장비로서의 성능 및 실규모 실험을 통한 보정(calibration) 가능성 등을 검토하여 반경 1 km 로 결정
- 강수와 바람장의 면적 분포와 공간적 편차를 반영할 수 있도록 고해상도로 개발함
- Master 강수계의 경우 우량, 바람장, 강설을 모두 측정할 수 있도록 개발하며, 주변 Slave 시스템의 허브 역할을 담당하도록 개발함
- Slave 강수계의 경우 우량과 바람장 측정 기능만을 수행하도록 개발함

구분	항목	사양	비고
공통	최소-최대측정범위	1~1,000 m	강우강도 150 mm/hr 조건 강설강도 20 cm/hr 조건
	공간해상도	10~50 m	
	셀 개수	20~100 개	
	자료 출력주기	1회/분	
우량	측정정밀도	0.1 mm	매분, 시간 누적량
	강우강도의 측정 범위	0.1 ~ 150 mm/hr	
바람장 [강수시]	바람장 측정 범위	0.5 ~ 50 m/s	
	측정 변수	u, v, wp	
강설	측정정밀도	0.1 mm	매분, 시간 누적량
	강설 측정범위(적설기준)	0.1 ~ 20 cm/hr	

※ 위 표의 측정 성능 사양은 참고치이며, 개발 과정에서 성능 향상 등을 위해 변경될 수 있음

3.4.2. 시스템 사양

- 시스템 사양 중 가장 중요한 부분은 RF 성능을 구현할 전파 강수계의 주파수 대역이며, 본 연구에서는 24 GHz ISM 대역 주파수 사용
- 본 시스템은 휴대성을 확보하면서 고해상도의 측정 성능을 가질 수 있도록 안테나 크기를 줄일 필요가 있으며, 이에 따라 빔폭을 일반적인 기상(강우)레이더보다 다소 높은 3~4도로 선정함

구분	항목	사양	비고
RF 성능	주파수	24 GHz, $\lambda=1.25$ cm	ISM 대역
	빔폭	약 3~4°	직경 20~30 cm
	반사 정확도	± 1.0 dB (op. ± 0.5 dB)	최대거리, 최대강우
	해상도	10 m, BW=15 MHz 이상	
	도플러 정확도	0.5-50 m/s, 0.1-150 mm/hr	
	Tx ALC	Ca. < 20 dB, 1 dB step	extend dynamic range
안테나	안테나 편파	동시 이중편파 (V, H)	V-V, V-H, H-V, H-H
	안테나 빔 개수	단일 빔 : 스캔형 다중 빔 (2-4개) : 고정형	
	안테나 형태	평면 배열 (op. 파라볼릭)	부엽 <-20 dB 이하
운영전략	스캔방식	수평(0-360°), 수직(10-50°), 볼륨스캔	1 min 자료 생성
네트워킹	시간 동기화	GPS 표준시각	
신호처리	FPGA Model	Vertex 5급 이상	
	On-board Clock	150 MHz 이상	
	ADC 해상도	16 bit 이상	
	ADC 당 채널 수	Dual for V, H	
	Analog 입력 대역폭	30 MHz	
	인력신호 범위	TTL	
	데이터 전송	USB, G-Ethernet, RS232	
	Sampling time	TBD	
	System refresh time	< 100 Hz (TBD)	4 RX channel
	Memory	TBD	
	I-Q processing	I-Q mixer on FPGA	
	전원공급	220V to DC (5, 12V for FPGA, RF system)	
	인터페이스	USB, Gigabit-Ethernet	
기타	중량	20 kg 내외	

※ 위 표의 측정 성능 사양은 참고치이며, 개발 과정에서 성능 향상 등을 위해 변경될 수 있음

- 전자기파의 주파수 대역별 활용 현황은 표 23과 같으며, 국내외의 레이더 장비들은 L밴드, S밴드, C밴드, X밴드 등이 주종을 이루고 있음
- 수 십 km 이상의 도달거리를 갖는 일반적인 탐지형 기상(강우)레이더의 주파수 대역은 2.6 GHz(S밴드) ~ 9.6 GHz(X밴드)가 주로 활용됨
- K밴드 이상은 구름 물리 분석 등에서 활용되며, 최근 미세물리 연구에 W 밴드 등이 활용되고 있고, 복합적인 다중 밴드 레이더도 기상 분야에서 활용 중임

표 23. 주파수 대역에 따른 레이더 활용

구분 (IEEE 521-1984)		HF	VHF	UHF	L-band	S-band	C-band	X-band	Ku, K, Ka-band	V, W, mm wave
주파수 범위 (Hz)		3~30 M	30~300 M	300~1,000 M	1~2 G	2~4 G	4~8 G	8~12 G	Ku 12~18 G K 18~27 G Ka 27~40 G	V 40~75 G W 75~110 G mm 110~300 G
특징	단점	-협대역 -큰 대기 잡음 -큰 안테나 -레일리 영역	-협대역 -큰 대기 잡음 -큰 안테나 -레일리 영역	-협대역 -큰 안테나	-협대역 -큰 안테나	-불감속도, -저성능 MTI -탐지, -강우 감쇠 영향	-장거리 대공 감시 부적합	-탐지 -강우 감쇠 영향	-K-band 사용 제한 (수증기 공명) -고출력 송신기 미흡 -강우영향	-60GHz 사용 제한 (산소 흡수) -저손실 전송 기술 미흡
	장점	-원거리 탐지 -저비용 -전리층 반사	-저기술 -저비용	-원거리 탐지	-좁은 빔폭 -고출력 -소 외래잡음 -MTI	-좁은 빔폭 -고정밀 -ECCM -정확한 추적	-중거리 정밀 계측	-소형, 저중량 -광대역 -소형화 -좁은 빔폭	-광대역 -좁은 빔폭 -고정밀 분해능	
응용 분야		-OTH -해상상태 -태풍진로 -기상예보	-초장거리탐색 (위성탐색) -MTI 레이다 -강우반사신호 영향 적음	-초장거리탐색 (미사일, 우주선) -AMTI -Air-bone Early Warning	-장거리 탐색, -항공로 교통 관제 -군사용 3차원 레이다	-중거리 탐색 -공항의 항공 관제 (ASR) -장거리 기상 -공중 감시 -펄스도플러	-다기능 위상 배열 대공 방어 -장거리 추적 -항공기 탑재 중거리 기상 탐지	-사격통제용, 단거리추적 -미사일 유도 -항공기 탑재 기상 -항공기 요격 -항해 -속도 측정	-위성 고도계 -초정밀 지도 작성 -단거리 추적 -공항의 항공기 감시	-우주 공간용 -실험용 원격 탐사

- 전파강수계는 측정 공간 범위가 1 km 내외로 짧지만, 강수의 공간 분포를 세밀하게 측정하기 위해 셀 크기가 10~50 m인 고분해능의 측정 성능을 필요로 하므로 기존의 기상(강우)레이더에 비해 높은 주파수 대역 중에 검토
- 전파강수계의 대기수상체 분별 능력 및 정확도 제고를 위해 이중편파 필요
- 이중편파 구현이 가능하면서, 대기 및 수증기 조건에서의 전자파 흡수, 감쇠 등의 특성 등이 양호하고(그림 50, 51), 연구 개발 및 국내외 보급에 법적 제약이 없는 ISM(industry, science, medical) 대역에 속하는 24 GHz 대역을 선정하였음
- 우리나라 주파수분배표에도 24.125 GHz를 ISM설비로 지정하고 있음(방송통신위원회, 2008)
- 24 GHz 대역은 이미 외국에서도 기상 관측 목적의 수직형 레이더인 MRR(Micro Rain Radar) 등이 활용하고 있는데 탐지거리가 최대 약 6,000 m임을 고려하면 본

- 연구의 전파강수계는 폭우 측정을 위해 MRR보다 짧은 탐지 거리를 사양으로 제시
- 한편, 다중주파수 기상레이더에서도 K밴드 대역을 활용하고 있어 주파수의 활용성, 안정성이 검증되었다고 볼 수 있음

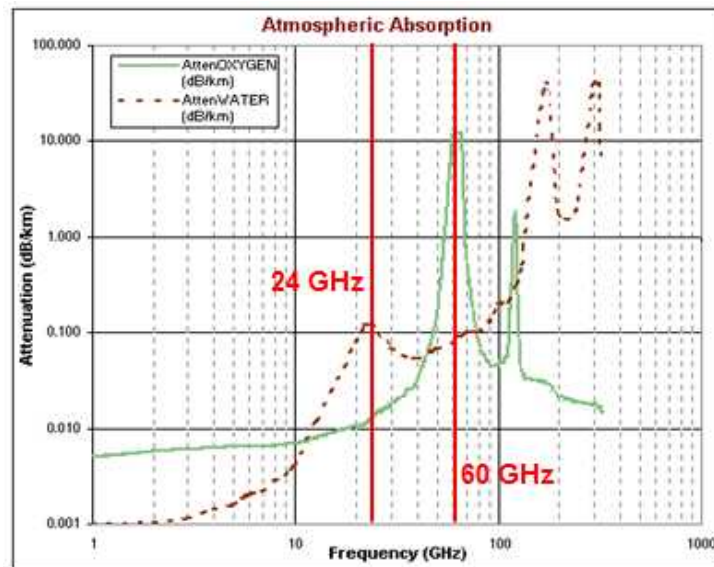


그림 50. 주파수별 대기 중 흡수도

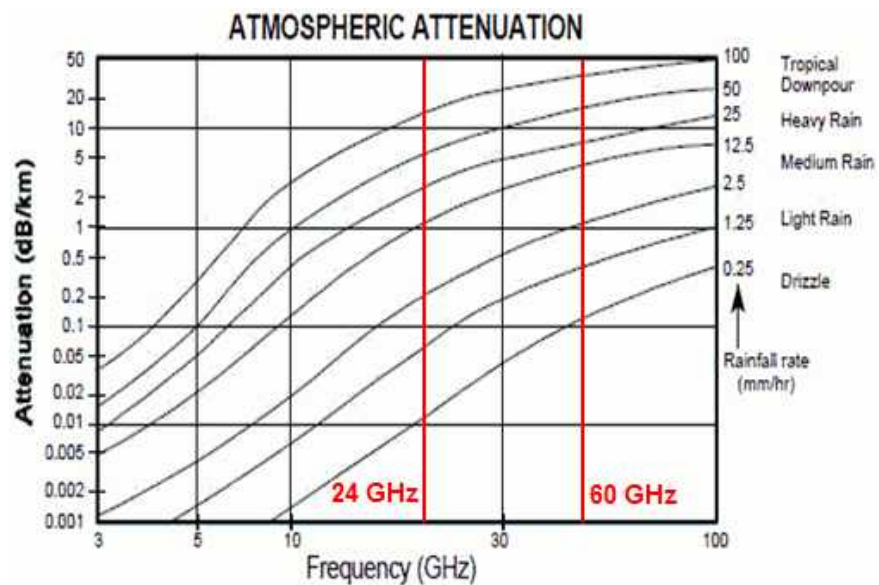


그림 51. 주파수별 대기 중 감쇄도

- 개발될 강수계는 Master-Slave 시스템으로 구별하여 개발하는 것이 바람직하며, Master는 강우, 바람장, 강설 등을 모두 측정하면서 주변의 Slave 시스템을 연결하여 데이터를 중계, 집합하는 허브 역할을 하고, Slave 시스템은 강우 및 바람장 측

정을 위주로 보다 다수를 배치하여 네트워크 방식으로 운영할 예정

- 네트워크 방식 운영시 바람장 측정의 정확성이 향상되면서 전파 강수계의 시스템 가격을 낮추어 경제성을 확보할 수 있음

3.4.3. 실대형 강수 실험장 사양

- 전파강수계의 성능을 검증하기 위해 구축하는 실대형 강수 실험장은 전자파의 방해가 최소화되면서 다양한 강우 조건에 대한 실험이 가능하여야 하며, 또한 정확한 보정 및 검증을 위해 지상에서의 관측 시설이 있어야 함
- 검증 실험장은 시설 본체와 인공 강우 분사 시설이 결합된 형태이며, 최대 측정 범위가 1,000 m에 달하는 전파강수계의 성능을 고려하여 넓은 지상 공간을 필요로 함

구분	항목	사양	비고
시설 본체	실험시설 크기	L 30m, W 20m, H 15m 이상	자연강수 재현 높이 고려
	구조	철골조	
	피복	레이더 흡수재 또는 반사도 저감 소재 코팅	
	기타	사방 가변 개폐형	전자파 장애물 최소화
	지상공간	L 200m, W 25m 이상	전자파 센서 측정 범위 고려
	제어 및 실험실	유량, 노즐 제어 및 측정	
인공 강우 시설	공급 유량	최대 0.3m ³ /s	
	노즐 형식	4중 1조식	
	노즐 배치	반경 1~1.5 m	
	강우 강도	10~250 mm/hr	지상관측 오차범위 3% 이내
	우적 크기	0.2 ~ 8 mm 내외	
	지상 관측	자동 우량계 등	
	강우 검증	광학 우적계 등	

※ 위 표는 참고적인 강우 실험장 사양이며, 예산 규모 및 전자파 센서의 성능 및 검증 범위에 맞추어 변경될 수 있음

3.5. 연구개발과제 구성

- 본 기획과제는 다른 기획과는 달리 단일한 시스템으로 구현되는 최종 성과물을 목표로 하므로 기술수요 조사 및 전문가 평가에 의한 연구과제 선정이 이루어지는 Bottom-up 방식이 아닌 Top-down 방식으로 연구개발 과제 구성
- 과제 규모는 연구단 규모로 하며 연구단 명칭은 “악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발”로 결정(잠정)
- 본 과제는 전파강수계 하드웨어 시스템 개발, 전파 신호를 분석, 처리하여 표출하고 반사파 강도와 이중편파 변수를 이용하여 강수를 산출하는 소프트웨어 개발, 그리고 전파강수계의 시스템을 통합하고 성능을 실험을 통해 검증하는 분야로 구성함
- 1세부 과제는 하드웨어 개발, 2세부 과제는 알고리즘 및 표출 소프트웨어, 3세부 과제는 시스템 통합 및 성능 검증으로 구성
- 과제는 초기 연구개발 및 시제품 제작과 성능 검증 단계와 이를 기반으로 상용 제품을 제작하는 제품화 단계로 구분하여 추진

연구단	악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발 연구단	
세부	세세부	예상 과업(산출물 또는 성과품)
1 하드웨어	1-1 RF 시스템 개발	▪ 안테나-송수신기 본체 ▪ 부대장치, 부품
	1-2 신호처리 플랫폼	▪ FPGA 보드 ▪ 프로그래머블 펌웨어
2 알고리즘 및 소프트웨어	2-1 운영표출 시스템	▪ 운영/표출 소프트웨어 ▪ DB 관리 소프트웨어
	2-2 강수 산출 알고리즘	▪ 강우/강설/바람장 정보 산출 알고리즘 ▪ 관측 및 자료 최적화 알고리즘
3 시스템 통합 및 검증	3-1 시스템 통합	▪ 전파강수계 시스템 디자인 ▪ 하드웨어, 소프트웨어 통합 툴 ▪ 운영 매뉴얼 ▪ 네트워킹 및 기존 기술과의 연계 알고리즘 ▪ 전파강수계 적용을 위한 정책 기반
	3-2 테스트베드 구축 및 운영	▪ 테스트베드 구축 ▪ 캘리브레이션 ▪ 성능 검증(밸리데이션)
	3-3 제품화	▪ 상용 제품 개발(4차년도 분리공모)

3.6. 세부과제별 주요 내용

3.6.1. 1세부 과제

- 1세부 과제는 전파강수계의 하드웨어 시스템을 개발하는 과제로 구성
- 과제명 : 전파강수계 하드웨어 시스템 개발

1-1 세세 부 과제	과제명	전파강수계 RF 시스템 개발
	내용	○ 전파강수계 RF 시스템 설계 요구사항 분석 ○ 전파강수계 운영방식에 따른 배열 안테나 및 스캔방식 설계 및 개발 ○ 소형, 경량의 전파강수계 송신기-수신기 RF 설계 및 개발
1-2 세세 부 과제	예상 성과물	○ 전파강수계용 단일, 다중 빔의 배열 안테나 시제품 ○ 전파강수계 RF 송수신기 시제품
1-2 세세 부 과제	과제명	전파강수계 신호처리 플랫폼 개발
	내용	○ 전파강수계 RF 시스템 제어 및 수신신호 처리용 FPGA 플랫폼 기술 개발 ○ FPGA 플랫폼 H/W 설계, 개발
1-2 세세 부 과제	예상 성과물	○ 전파강수계용 RF 시스템 제어 및 수신신호 처리용 FPGA 플랫폼 H/W 시제품 ○ FPGA 플랫폼 구동 S/W 및 통신 interface

3.6.2. 2세부 과제

- 2세부 과제는 전파 강수계의 반사파 신호를 포출하고 제어하며 강수로 변환하는 알고리즘을 개발하는 과제로 구성
- 과제명 : 전파강수계 운영 및 분석 기술 개발

2-1 세세 부 과제	과제명	전파강수계 하드웨어 운영 및 포출 시스템 개발
	내용	○ 전파강수계 H/W, S/W 운영·제어 소프트웨어 개발 ○ 전파강수계 포출 소프트웨어 개발 ○ DB 관리 소프트웨어 개발
2-2 세세 부 과제	예상 성과물	○ 신호처리 알고리즘과 연계된 전파강수계 운영·포출 소프트웨어
	과제명	전파강수계의 수문기상정보 산출을 위한 품질관리 및 분석 기술 개발
2-2 세세 부 과제	내용	○ 전파강수계에서 산출된 1차 자료(모멘트)를 이용하여 수문기상정보 산출 ○ 전파강수계로부터 양질의 자료 생산을 위하여 관측기법, 품질 임계변수 등을 최적화하고 품질관리 기법 개발 ○ 정확도, 정밀도 향상을 위한 관측망 연계 및 실시간 보정 기술
	예상 성과물	○ 전파강수계 강수정보 산출 알고리즘 및 S/W

3.6.3. 3세부 과제

- 3세부 과제는 전파강수계 시스템 개발을 총괄하고 성능을 검증하는 과제임
- 주요 내용은 전파 강수계의 전체 시스템의 개념을 설계하고, 각 모듈간 시스템 통합을 위한 툴을 개발하며, 개발 과정을 관리할 뿐만 아니라 시제품 개발 단계별로 보정 및 성능 검증을 위한 실험을 수행하고, 여러 대의 전파강수계를 네트워크로 연계하고 기존의 관측망 및 강우레이더와 연계하는 고속, 대용량 데이터 처리 기술도 적용하며, 현장 적용을 위한 정책적 기반 및 표준화 관련 연구 수행
- 3-1세세부 과제에서는 연구단 운영을 함께 추진
- 3-3세부 과제는 전파 강수계의 시제품 개발 및 1차적 성능 평가가 이루어진 후에 제품화를 위한 분리 공모 과제로 추진
- 과제명 : 전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영

3-1 세세부 과제	과제명	전파강수계 시스템 통합
	내용	○ 전파강수계 기본 설계 ○ 전파강수계의 각 모듈 간 시스템 통합 툴 개발 ○ 전파강수계 운영 기술 개발 및 매뉴얼 작성 ○ 전파강수계 네트워킹 및 통합 운영 기술 개발 ○ 전파강수계 시스템 신뢰도 검증 기법 개발 ○ 전파강수계 현장 적용을 위한 정책 기반, 표준 및 검인증 방안 제시 ○ 데이터 전파, 공유, 서비스 연계 기술 제시
3-2 세세부 과제	예상 성과물	○ Stand-alone 전파강수계 Prototype ○ System 제어/유지보수 Tool ○ 전파강수계 Interface, 운영 매뉴얼 ○ 네트워킹, 고속·대용량 처리 기술 및 기존 기술과의 연계 알고리즘 ○ 전파강수계 시스템 신뢰도 검증 기법 ○ 전파강수계 도입, 운영을 위한 정책적, 제도적 가이드라인
3-3 세세부 과제	과제명	전파강수계 성능 검증을 위한 테스트베드 구축 및 운영
	내용	○ 전파강수계의 성능 평가를 위한 인공강우 실험장 시설 구축 및 운영 ○ 자연 강수에 대한 성능 평가를 위한 현장 테스트베드 구축 및 운영 ○ 전파강수계 강수량 검보정을 위한 방법론 개발
3-3 세세부 과제	예상 성과물	○ 전파강수계 실험을 위한 실규모 인공강우 실험 시설 ○ 자연강우 실험을 위한 현장 테스트베드 ○ 보정, 검증, 성능 평가 실험 결과 ○ 전파강수계 검보정 기법
3-3 세세부 과제	과제명	전파강수계 제품화
	내용	○ 전파강수계의 시제품 성능 개선 및 실용화 문제점 해결 ○ 다목적 전파강수계 상용 제품 개발
3-3 세세부 과제	예상 성과물	○ 전파강수계 상용 제품

3.7. 추진 전략

- 연구개발의 성공 및 실용화 가능성을 높이기 위해 핵심기술 확보 및 검증 기술 확보, 조기 실용화 등 세 부분별 전략적 연구 추진

	핵심기술 확보 전략
국내외 전문가 활용	○ 국내 선진기술 보유 기관 및 전문가 참여 (전파전문가, 전자장비 전문가, 기상/수문 전문가 참여) ○ 해외 전문가 네트워크 구축 및 활용
성공 가능성 제고	○ 국내에서 기확보 또는 개발 성공한 차량용, 항공용, 선박용 전자파 기술을 최대한 응용하여 개발 추진 ○ 전자파 우량계 또는 기상레이더 개발 관련 국가 R&D의 기술적 성취도를 최대한 반영

	검증 기술 확보 전략
검증 시설 구축	○ 국내외 검증 실험시설 및 test-bed 벤치마킹 및 최적의 검증 시설 구축
테스트베드 운영	○ 도심 또는 산지 소유역 테스트베드에서 관측-모델링 연계 ○ 국내 보유 X밴드 레이더, 연직지향레이더, 기상청 시험장 등과의 비교 검증 실험

	기술의 조기 실용화를 위한 시장 친화적 연구개발 전략
조기 실용화 추진	○ 사회적 니즈에 부합하면서 틈새시장을 창출할 수 있도록 연구개발 수행 ○ 개발 제품의 조기 실용화와 활용을 위해 검인증, 표준화, 제도화를 포함하는 정책적 기반 마련 및 연구성과실용화진흥원 등과 연구개발 단계에서부터 협력
국외 시장 기반 마련	○ 개발도상국 등에서의 시범 운영 및 테스트베드 운영을 통한 잠재적 블루오션 진입 기반 구축

3.8. 세부 실행계획과 로드맵

- 세부 실행계획은 1안(기존 안)과 2안(기획연구타당성 검토결과 반영)으로 구분하여 추진
- 1안은 총 5년의 연구개발 기간으로 1~3차년도는 전파강수계 기본 사양 개발 및 1차 시제품 제작을 목표로 하며, 4~5차년도는 시제품에 대한 검증, 성능 개선을 토대로 상용 제품화를 목표로 함
- 1안에서는 시제품 검증을 위해 실규모 전용 강우실험장을 초기부터 설계, 구축하여 활용
- 2안은 총 6년의 연구개발 기간으로 2단계로 나누어 수행하되, 1단계에서 전파강수계 시제품 개발에 성공할 경우 2단계 사업을 추진함
- 1단계에 속하는 1~3차년도는 전파강수계 설계, 기본 사양 개발을 동일하게 추진하며, 기존 시설을 활용한 검보정을 실시함
- 2단계에 속하는 4~6차년도는 1단계 성과물을 개량, 성능 개선하여 상품화 단계에 진입하는 것을 목표로 하며, 검보정을 위한 실규모 전용 강우실험장 구축, 테스트베드 운영 등을 집중 수행함

가. 1안(3+2년 방안)

- 본 과제는 3+2년의 개발 단계를 거쳐 개발함
- 1~3차년도는 개별 기술, 즉 하드웨어, 소프트웨어, 검증 기술 및 이를 통합 관리하는 시스템 통합 부분으로 나뉘어 개발함. 그중에서 하드웨어 및 소프트웨어 부분은 시스템통합 과제와 연결하여 긴밀하게 추진하고, 검증 기술은 3차년도에 시제품에 대한 보정 및 검증을 수행할 수 있도록 실규모 실험장을 구축하는 방향으로 개발을 진행함
- 3차년도에는 하드웨어 및 소프트웨어가 연계된 전파강수계 시제품이 개발되며, 이는 실규모 실험을 통해 1차 보정 및 검증을 함으로써 시제품 개발을 마무리함
- 4-5차년도는 시제품을 개선 및 보완하여 제품화 수준에 이르는 단계로서 하드웨어 및 소프트웨어는 각 부분을 보완하고, 시제품을 개선하며, 이는 실규모 실험장 및 테스트베드에 지속적인 운영을 통해 성능을 구현, 개선하도록 함. 이와 함께 시스템 통합 부분에서는 GUI, 네트워킹 기술을 연계하고 개발된 전파강수계의 운영 매뉴얼 개발함
- 최종적으로 5차년도에는 통합된 제품으로서 운영 및 강수 정보 신호처리 S/W가 탑재된 Master-Slave 기반의 전파강수계를 최종 달성함



그림 52. 연구사업 전체 기술경로도(1안, 5년)

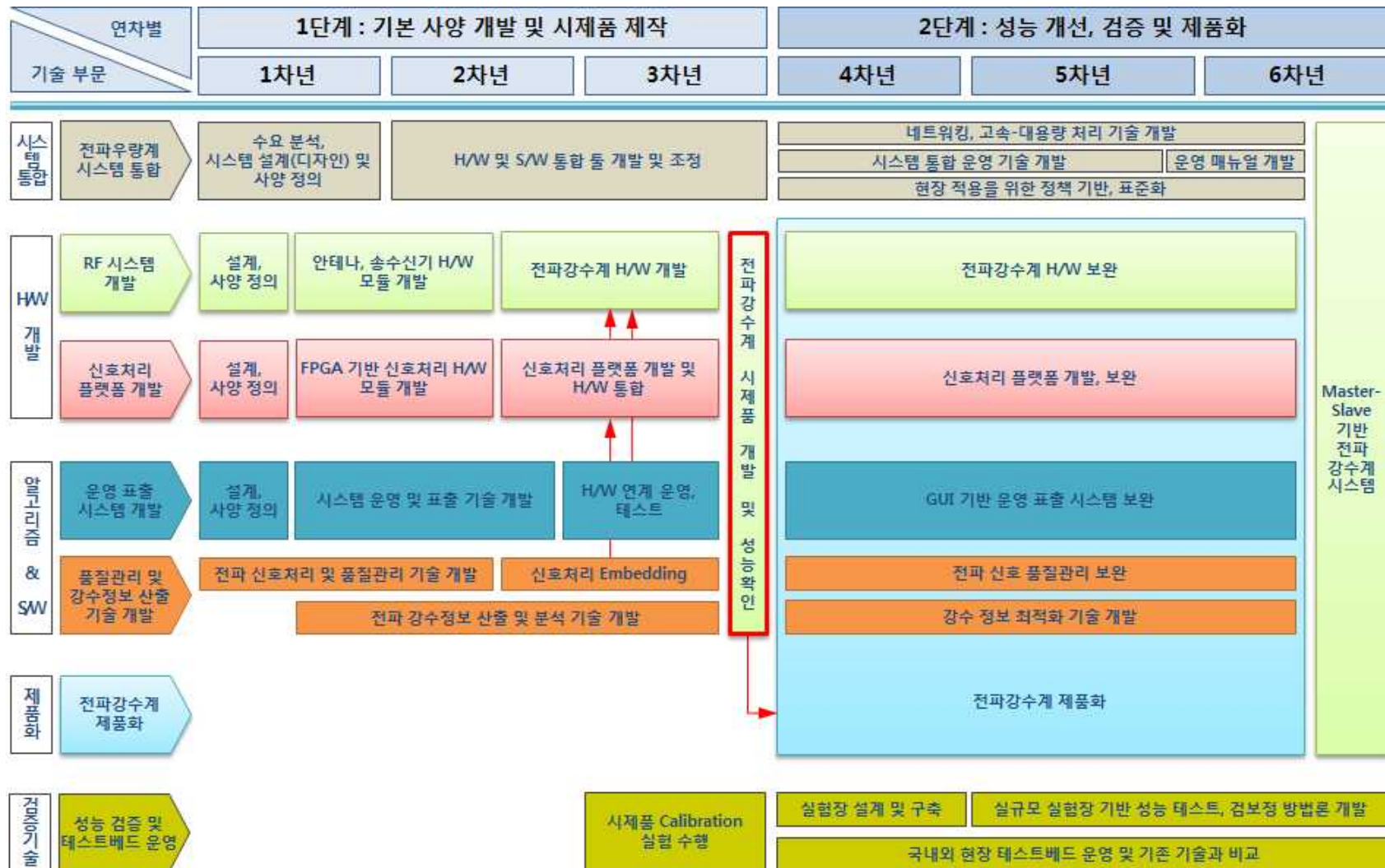


그림 53. 연구사업 전체 기술경로도(2안, 2단계 3+3년)

나. 2안(2단계, 3+3년 방안)

- 2안은 2단계 사업으로 추진하며, 1단계에서 전파강수계 시제품에 대한 평가를 기초로 2단계(제품화) 연구 수행 여부를 결정함
- 1~3차년도는 1안과 대부분 동일하게 진행하되, 전용 강우실험장 구축 없이 기존 시설을 위주로 전파강수계 검보정, 성능 평가를 실시함
- 4-6차년도에는 시제품을 개선 및 보완하여 제품화를 추진하며, 전용 강우실험장 구축 및 국내외 테스트베드 운영을 통해 실용성을 제고하는 목표를 달성하고자 함
- 전파강수계 최종 제품은 6차년도에 달성하는 것으로 함

다. 연구단 전체 TRL 추진단계

- TRL(Technical Readiness Level)은 연구 과제의 기술수준별 추진 단계를 나타냄
- 본 연구에서는 TRL 3단계부터 8단계까지 연구를 수행함
- 1안과 2안의 1~3차년도에서는 TRL 3단계에서 6단계를 수행하고, 4~5차년도(2안에서는 4~6차년도)에서는 6~8단계를 수행함
- 전파강수계는 시장성이 확립되지 않은 시스템으로써 제품화 단계인 4~5차년도(2안에서는 4~6차년도)에서 기업 참여를 통해 8단계(제품화)를 포함하여 수행하며, 개발 제품 현장 적용 실시

TRL 단계			연구과제 추진단계					
			1단계			2단계		
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
기초 연구 단계	1	기본 원리, 기초 이론						
	2	기술개념과 적용분야 확립						
실험 단계	3	분석·실험을 통한 기술개념 검증						
	4	연구실 환경에서의 Working Model 개발						
시작품 단계	5	유사 환경에서의 Working Model 검증						
	6	유사 환경에서의 시제품/프로토타입 개발						
실용화 단계	7	실제 환경에서 시제품 데모						
	8	상용 제품 시험평가 및 신뢰성 검증						
사업화 기술이전	9	상용 제품 생산						

라. 과제별 TRL 및 CTE

- 1세부 과제의 핵심기술요소(Critical Technology Element, CTE) 목록

<핵심기술요소(CTE) 목록>

CTE1 (부품)	(1-1) 전파강수계 단일, 다중 빔 배열 안테나
CTE2 (부품)	(1-1) 전파강수계 RF 송수신기 시제품
CTE3 (시스템)	(1-2) 전파강수계 RF 시스템 제어 및 신호 처리용 FPGA 플랫폼 H/W
CTE4 (시스템)	(1-2) FPGA 플랫폼 구동 S/W 및 통신 interface

TRL 단계			연구과제 추진단계					
			1단계			2단계 (1안:4~5차, 2안:4~6차)		
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
기초 연구 단계	1	기본 원리, 기초 이론						
	2	기술개념과 적용분야 확립						
실험 단계	3	분석·실험을 통한 기술개념 검증	CTE1					
			CTE2					
			CTE3					
			CTE4					
	4	연구실 환경에서의 Working Model 개발		CTE1				
				CTE2				
				CTE3				
				CTE4				
시작품 단계	5	유사 환경에서의 Working Model 검증			CTE1			
					CTE2			
					CTE3			
					CTE4			
	6	유사 환경에서의 시제품/프로토타입 개발				CTE1		
						CTE2		
						CTE3		
						CTE4		
실용화 단계	7	실제 환경에서 시제품 데모				CTE1		
						CTE2		
						CTE3		
						CTE4		
	8	상용 제품 시험평가 및 신뢰성 검증						
사업화 기술이전	9	상용 제품 생산						

- 2세부 과제의 핵심기술요소(Critical Technology Element, CTE) 목록

<핵심기술요소(CTE) 목록>

CTE5 (S/W)	(2-1) 전파강수계 운영·표출 소프트웨어
CTE6 (S/W)	(2-2) 전파강수계 강수정보 산출 알고리즘 및 S/W

TRL 단계			연구과제 추진단계					
			1단계			2단계 (1안:4~5차, 2안:4~6차)		
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
기초 연구 단계	1	기본 원리, 기초 이론						
	2	기술개념과 적용분야 확립						
실험 단계	3	분석·실험을 통한 기술개념 검증	CTE5 CTE6					
	4	연구실 환경에서의 Working Model 개발		CTE5 CTE6				
시작품 단계	5	유사 환경에서의 Working Model 검증			CTE5 CTE6			
	6	유사 환경에서의 시제품/프로토타입 개발				CTE5 CTE6		
실용화 단계	7	실제 환경에서 시제품 데모				CTE5 CTE6		
	8	상용 제품 시험평가 및 신뢰성 검증						
사업화 기술이전	9	상용 제품 생산						

- 3세부 과제의 핵심기술요소(Critical Technology Element, CTE) 목록

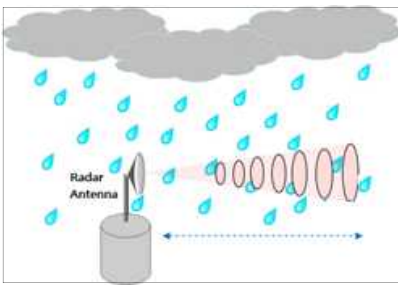
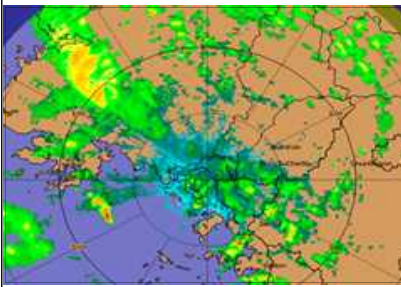
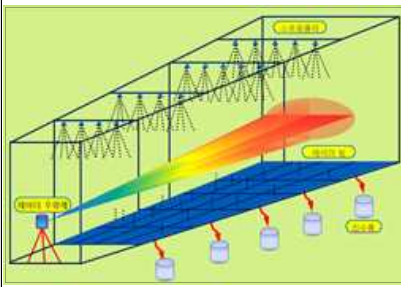
<핵심기술요소(CTE) 목록>

CTE7 (시스템)	(3-1) 전파강수계 1단계 시제품
CTE8 (시스템)	(3-1) 네트워크 기반 전파강수계 고속·대용량 데이터 처리 기술
CTE9 (시스템)	(3-3) 전파강수계 최종시제품 또는 2단계 시제품(제품화)

TRL 단계			연구과제 추진단계					
			1단계			2단계 (1안:4~5차, 2안:4~6차)		
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
기초 연구 단계	1	기본 원리, 기초 이론						
	2	기술개념과 적용분야 확립						
실험 단계	3	분석·실험을 통한 기술개념 검증	CTE8					
	4	연구실 환경에서의 Working Model 개발		CTE7 CTE8				
시작품 단계	5	유사 환경에서의 Working Model 검증			CTE7 CTE8			
	6	유사 환경에서의 시제품/프로토타입 개발				CTE7 CTE8 CTE9		
실용화 단계	7	실제 환경에서 시제품 데모				CTE7 CTE8 CTE9		
	8	상용 제품 시험평가 및 신뢰성 검증					CTE9	
사업화 기술이전	9	상용 제품 생산						

3.9. 최종 성과물

- 본 연구과제의 최종 성과물은 Master-Slave 기반의 전파강수계 시스템이며, 각 세부과제별 성과물은 다음과 같음

악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템		
1세부	2세부	3세부
RF 하드웨어	운영·표출, 강수정보 산출 소프트웨어	검증 시설 구축 및 운영
		

- 1세부 : 전파강수계 RF 하드웨어
- 2세부 : GUI 기반 전파강수계 운영·표출 시스템, 품질관리 및 강수 정보 산출 S/W
- 3세부 : 전파강수계 설계(디자인), 성능 검증 실험장 구축 및 시스템 통합운영 매뉴얼

3.10. 실용화 방안

가. 최종성과물의 최종 수요자

- 본 과업을 통해 얻는 최종 성과물은 주로 기상청, 국토교통부, 산림청, 한국수자원공사 및 지방자치단체와 같은 정부 기관과 한국수력원자력, 한국도로공사, 한국철도공사, 국립공원관리공단 등 강우, 강설, 바람 관측 및 기상 정보 필요, 방재업무 담당 기관에서 활용될 것임
- 악천후, 재해 등에 대한 사회적 관심 증가에 따라 기상사업 확대가 이루어질 경우 민간 부문의 수요 증가도 예상됨
- 외국의 경우 대규모 영농단지, 강수량 관측시설이 부족한 개도국 등에서도 활용 가능

나. 활용방안

- 기존 홍수예보를 위한 면적우량 산정의 핵심 알고리즘인 티센망 내부의 강우 공간분

포를 고려함으로써 면적우량 산정의 정확도 제고

- 서울, 부산 등의 침수 취약지에 도심홍수 예보를 위한 전파강수계 네트워크 기반 침수 예측 시스템 구축에 활용
- 강원도 동해안, 전라남북도 산간지역 등 폭설 피해가 잦은 지역의 악천후 감시 시스템 구축
- 강수(강우, 강설) 및 바람 관측 등에 활용하며, 기존 AWS 등 기상 관측장비 보완
- AWS, 고(高)고도 기상(강우)레이더, 위성 등과 결합하여 고해상도 강수, 폭설, 태풍 관련 재해 감시 및 예보 시스템 구축
- ODA 사업을 통해 국토가 넓고 강수 관측망이 발달하지 않은 개발도상국의 주요 취약지, 인구가 밀집한 도심 지역에 악천후 감시, 예보 시스템 구축
- 첨단 IT 기반 우량계 수출-기상장비 해외 수출

4. 사전 타당성 검토

4.1. 기술적 타당성

4.1.1. 기존 사업과의 중복성

가. 국지성 방재를 위한 소형(SSPA 200W급) X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템 개발

- 과제성격 : 국가연구개발사업
- 발주처 : 미래창조과학부
- 연구수행기관 : STX엔진
- 연구기간 : 2011~2016
- 연구내용 : X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템 개발(기상레이더 안테나 개발, 이중 편파기, 송수신기, 신호처리기, 기상변수 산출기, 전시기 등 개발, 제작)
- 차별성 : X-밴드 기상레이더는 탐지 장비로서 넓은 면적을 대상으로 하며, 셀 크기가 본 과제의 10배 이상으로 지상강수량 편차가 반영되기 곤란하여 강수량 추정 목적으로 활용하나, 본 과제는 강수량의 실측값 측정 센서를 개발에 목표(표 24)

표 24. 기상청 과제와의 차별성 비교표

과제명 항목	기상레이더 개발	본 과제	차별성
최종 성과물	X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템	이중편파 고정식 또는 회전식 전파강수계	본 과제는 강수 관측장비인 지상 우량계를 대체할 수 있는 전자파 기반 강수량계 개발
측정 대상	우량, 강설, 바람장	우량, 강설, 바람장	차별성 없음
측정 범위	40~50 km	반경 10~1,000 m	X-밴드 레이더는 탐지 장비로서 넓은 면적을 대상으로 하며, 단위 셀 크기가 본 과제의 10배 이상으로 지상 강수량 편차가 반영되기 곤란하여 측정 센서보다는 강수량 추정 목적으로 활용하나, 본 과제는 강수량의 실측값을 측정하는 센서를 개발 목표임
단위 셀 크기	100 m	10 m 내외	
주파수	9.3 GHz	24 GHz	둘 다 이중편파가 가능한 주파수이나 24 GHz는 보다 미세한 강수 입자 관측 가능
용도	대형 레이더의 음영 지역인 저고도 기상 현상, 악천후 탐지	강수량의 직접적 측정	X-밴드는 지상 우량계의 문제점(공간적 불균일성, 바람, 건물 등 환경에 의한 측정 오차)을 그대로 사용하나 본 과제는 지상 우량계의 문제점을 해결하는 대체품(강수계)을 개발하는 것임. 또한 실측에 의한 검증이 가능하다는 측면에서 X-밴드와 다름
정량 강우 산정	지상우량계를 통한 보정	실규모 실험을 통한 보정, 검증	

나. 전자파를 이용한 초소형우량계 개발

- 과제성격 : 정부출연연구기관 자체연구사업
- 연구수행기관 : 한국건설기술연구원
- 연구기간 : 2014~2018
- 연구내용 : 77 GHz 고정식 다방향 전자파 강우량 센서 개발
- 차별성 : 상기 과제는 공간 범위는 100 m 이내인 77 GHz 고정식 강우량 센서만을 개발하며 단일편파를 사용하는데 비해 본 과제는 이중편파 24 GHz 전자파를 채택하며, 강우, 강설, 바람장을 동시에 측정함으로써 홍수, 폭설, 폭풍 등 악천후 관측에 활용할 수 있는 다목적 센서 개발(표 25)

표 25. 한국건설기술연구원 과제와의 차별성 비교표

과제명 항목	초소형우량계 개발	본 과제	차별성
최종 성과물	고정식 다방향 전자파 강우량 센서	이중편파 고정식 또는 회전식 전파강수계(강우, 강설, 바람장)	본 과제에서는 강우, 강설, 바람장을 동 시에 모두 측정함으로써 홍수, 폭설, 폭 풍 등을 측정할 수 있는 다목적 수문기 상 센서 개발
측정 대상	우량	우량, 강설, 벡터바람장	이중편파 적용으로 강설 측정 가능, 우 적 형태 분석, 벡터 바람장 측정 및 자 가 보정 기능(건설연 과제는 이중편파 적용 곤란)
측정 범위	2~100 m	반경 10~1,000 m	본 과제에서는 보다 넓은 범위에 활용 될 수 있는 센서 개발
주파수	77 GHz	24 GHz	강우와 강설을 동시에 측정하기 위해서 이중편파가 가능한 주파수 대역 사용
기타	단일 센서 또는 병렬 네트워크	Master-slave 방식의 네트워크 시스템	주변의 slave 시스템의 자료를 전송 받 고 처리하는 Master 시스템(강우, 강 설, 바람장 가능)과 강우를 측정하면서 바람장에 대한 보조 역할을 수행하는 slave 센서로 구성. Slave 센서는 저 렴한 제품으로 개발

다. 수문레이더 운영 및 웹·모바일 경보 플랫폼 개발

- 과제성격 : 정부출연연구기관 자체연구사업
- 연구수행기관 : 한국건설기술연구원
- 연구기간 : 2013~2017
- 연구내용 : 이중편파 X밴드 레이더를 이용한 폭우·폭설 관측 기술, 정량강우 산정 기술, 웹·모바일 표출 등 개발
- 주요 차별점 : 상기 과제는 X밴드 수문레이더를 활용하는 기술로서 직접적인 강수량 관측 센서를 개발하는 본 과제와는 차별화됨

라. 국토관측센서 기반 광역 및 지역 수재해 감시·평가·예측 기술 개발

- 과제성격 : 국가연구개발사업
- 발주처 : 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
- 연구수행기관 : 한국수자원공사
- 연구기간 : 2014~2019
- 연구내용 : 국토관측센서(위성, 수문레이더, AWS)를 이용하여 가뭄, 홍수 등 수재해 실시간 감시, 평가, 예측 기술 개발, X밴드 레이더 네트워크 활용 기술 개발
- 주요 차별점 : 상기 과제는 기존에 운영 중인 기상위성, 수문레이더, 지상우량계 등을 통합하여 수재해를 감시, 예측하는 기술로서 직접적인 강수량 관측 센서를 개발하는 본 과제와는 차별화됨

마. 벤치마킹 및 연계 방안

표 26. 기존 과제와의 벤치마킹 및 연계방안

과제명	벤치마킹 방안	연계 방안
국지성 방재를 위한 소형(SSPA 200W급) X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템 개발	좌기 과제 및 기존 기상레이더 관련 하드웨어 및 신호처리 관련 축적된 기술을 최대한 활용	관측된 기상자료의 표출 기술 및 포맷을 상호 연동이 가능하도록 개발시 처리
전자파를 이용한 초소형우량계 개발	패널형 안테나 기반의 하드웨어 기술 개발시 빔 특성을 향상시키는 기술 검토 필요	저고도 강수량 공간관측 시스템 간의 연계 방안 강구
수문레이더 운영 및 웹·모바일 정보 플랫폼 개발	강설, 바람장 관측 관련 자료 분석, 처리 기술 최대한 활용	기존 X밴드 레이더와의 실시간 연계기법 개발
국토관측센서 기반 광역 및 지역 수재해 감시·평가·예측 기술 개발	없음	전파강수계 개발시 SRA(위성, 레이더, AWS) 시스템에 연계할 수 있도록 처리

4.1.2. 기술개발 우수성

- 본 기술은 전자파를 이용하여 물리적, 정량적 강우의 공간 분포를 고정확도로 실측하는 기술로서 기존의 전통적 기상관측 장비(AWS)를 대체할 수 있는 기술임
- 본 기술의 관측 범위는 반경 1,000m 로서 기존 전통적 우량계의 20 cm 에 비해 훨씬 더 넓으며, 따라서 건물, 바람, 지형 지물 등으로 인해 발생하는 강수 관측의 오차를 최소화하고, 정확한 면적 강수량을 산정함으로써 홍수 예보의 정확도를 높일 수 있는 기술임
- 전파강수계는 도심 빌딩, 산지 등 관측 대상 지역에 근접하여 설치할 수 있으며, 저고도 지상 부근의 실제 강수 현상을 정밀하게 측정할 수 있는 기술로서 대범위의 기상레이더의 사각지대를 보완하고 정확한 강수 측정 능력을 통해 기상레이더의 관측 및 예측 기술을 향상시킬 수 있는 기술임
- 현재 기상(강우)레이더는 지상에서 최소 500 m 이상의 고고도 관측을 위주로 함으로써 지상 부근의 악천후 관측에 한계를 가지고 있으며, 관측 고도는 레이더 위치에서 멀어질수록 증가하여 주변부에서는 1 km 이상의 고고도 관측에 집중되고 있어 지상 부근의 강수 현상 측정에 한계

4.1.3. 기술개발 성공 가능성

- 본 기술 개발을 위해 i) 전자파 하드웨어 기술, ii) 신호처리 기술, iii) 전파 강우 해석기술 등 3가지 핵심 기술 필요
- 전파(RF) 하드웨어 기술은 이동통신 및 방산/차량/선박용 레이더 제조 및 개발 기술을 토대로 하며, 선진국 대비 90% 이상이고, 전자통신 신호처리 기술은 선진국 대비 90%, 전파 강우 해석기술은 기상레이더 운영 경험 축적으로 선진국 대비 80% 수준임
- 종합적으로 볼 때, 기술 개발 잠재력이 높으며, 강수 특성 분석 및 정확한 강수 측정을 위해 물리적 검보정 시설을 구축하고 활용하여 개발할 경우 고정확도의 전파강수계 개발 가능

4.1.4. 기타

- 본 기술은 기존의 지상 기상관측 기술의 한계를 돌파할 수 있는 미래 지향적 기술이며, 선점시 세계 기상 장비 시장을 개척할 수 있음
- 20세기말부터 기후 변화와 관련하여 각종 기상관련 재난 재해가 급증하고 있으며 이에 따라 기상 관측, 재난 대비 관련된 기술의 중요성이 증대되고 있는 바, 본 기술은 이러한 시대적 요구에 필요한 기술임

4.2. 정책적 타당성

4.2.1. 국가 전략적 중요성

- 기상이변과 기후변화에 대응하는 일은 국정과제에 포함되는 국가 전략적인 목표에 해당하며, 제3차 과학기술기본계획('13~'17)에서 나타난 것처럼 기후변화 등으로 인한 자연재해에 선제적으로 대응함으로써 피해를 최소화하기 위해서는 자연재해 모니터링/예측/대응기술이 가장 시급하게 필요함
- 미국, 일본, 유럽 등 선진 각국에서도 자연재해에 대한 정책적 대응을 지속적으로 추진하고 있음
- 악천후 관측, 재난재해 예방 기술은 국민의 안전을 위해 반드시 필요한 분야이나 현재는 민간 시장이 발달하지 않은 분야이므로 정부 주도로 개발하는 것이 타당함
- 미국 등 선진국의 경우 국가기술로서 중요성이 높은 경우 경제성이 충분하지 않더라도 지속적으로 투자함으로써 원천 기술을 확보하는데 주력하고 있음
- 창조경제를 육성하고, 경제를 혁신하기 위해서는 과학기술에 기반한 융합신산업이 요구되는 바, 본 연구의 전자파 강수계는 ICT 기술과 기상 기술이 융합된 기술 분야로

서 재해 예방, 대응에 필수적인 탐지 기술을 개발하는 것으로 미래에 중추적인 신산업으로 발전할 가능성이 높음

- 집중호우, 폭설, 태풍 등은 매년 반복되고 있으며 이로 인해 도심침수, 범람, 산사태, 산간마을 고립, 도시/교통로 마비 등이 발생하는 바, 본 기술은 악천후 감시를 통해 국민 체감도가 높은 이러한 각종 자연재해의 피해 발생을 억제할 수 있는 기술로서 기술 개발이 시급함

4.2.2. 상위계획과의 부합성

- 2장의 정책동향에서 분석한대로 본 과제는 국가 상위계획과 충분하게 부합함
- 제3차 과학기술기본계획('13~'17)(2013. 7.)은 6-1 중점과제 : 선제적 자연재해 대응과 피해 최소화(국토부, 기상청, 안행부)를 제시하였으며, 이를 위해 자연재해 모니터링/예측/대응기술을 제시하였음. 아울러 16-1 중점과제에서 신시장 개척지원-융합 기술·제품 개발 촉진(미래부, 산업부)이 본 연구와 관련됨
- 제2차 건설교통기술 연구개발사업 중장기계획('13~'17)(2012. 5.)에서는 미래사회 전망 중에 5 : 기후변화로 인한 자연재해 및 안전에 대한 관심 증가를 제시하였으며, 이는 지구온난화에 의한 기후변화 가속화로 홍수·지진 등 복합재해가 대형화·광역화, 세계적 갈등과 분쟁 지속화 등 위기대응 필요하기 때문임. 이에 대응하여 위험으로부터 안전하고 편안한 사회 실현을 기본 방향으로 기후변화, 대형 재해·재난 및 국내외 적 갈등·분쟁의 심화 등에 따른 위기대응과 안보, 지속가능한 성장 등을 위한 기술적 전략 마련을 제안하였음
- 과학기술 기반 사회문제 해결 종합실천계획('14~'18)(2013. 12.)에서는 걱정없는 안심사회를 목표로 재난·재해로 발생하는 피해를 예측·예방하고 체계적 대응과 관리를 통해 국민의 생명·재산을 안전하게 보호하는 기술을 개발해야 함을 제시하였으며, 그 예시로 홍수피해 저감기술, 감염병 대응 기술, 신종재난 대응 기술 등을 제시한 바 있음. 이와 관련하여 기상재해로 인하여 발생할 수 있는 인적·물적 피해저감을 위한 기상재해 예보 및 대응시스템 구축이 과제로 포함되었음
- 박근혜정부의 국정과제(2013. 2.)에서도 총체적인 국가 재난관리체계 강화, 홍수·산사태 등 재해 걱정 없는 안심국토 실현을 목표로 세웠으며, 이를 위해 재해예방적 토지이용체계 확립, 도시하천유역 종합치수계획 마련, 강우레이더구축, 홍수위험지도 제작, 비탈면 정비, 상습 침수지역 하수관 확충 및 저류시설 설치, 산림재해 안전망 구축 등을 계획으로 수립하였음
- 종합적으로 볼 때, 본 연구의 계획은 국가 상위계획과 충분하게 부합하는 것으로 볼 수 있음(표 27)

표 27. 국가 정책 및 계획의 주요 내용

정책 및 계획	주요 내용
국정과제(2013.2.)	총체적인 국가 재난관리체계 강화, 홍수·산사태 등 재해 걱정 없는 안심국토 실현
제3차 과학기술 기본계획 (2013.7.)	선제적 자연재해 대응과 피해 최소화(국토부, 기상청, 안행부) 자연재해 모니터링/예측/대응기술
제2차 건설교통기술 R&D 사업 중장기계획 (2012.5.)	기후변화로 인한 자연재해 및 안전에 대한 관심 증가 위험으로부터 안전하고 편안한 사회 실현
창조경제실현계획 (2013.6.)	창조경제 기반이 되는 과학기술과 ICT 혁신역량 강화
미래부 2014년 재난·재해 R&D 투자전략 (2013.6.)	반복 발생 자연재해, 미래형·복합형 재난 및 인적·사회적 재난 중심으로 4개 중점투자분야 선정과 중점투자 분야별 주요 기술 제시
미래부 사회문제 해결 17대 기술 (2013.7.)	침수예측을 위한 강우측정 소형 레이더 우량계 개발
과학기술기반 사회문제해결 종합실천계획 (2013.12.)	재난·재해로 발생하는 피해를 예측·예방하고 체계적 대응과 관리를 통해 국민의 생명·재산을 안전하게 보호
2015년 정부 연구개발 방향	2015년도 정부연구개발 투자방향 중점추진분야로 '걱정 없는 안전사회 구축'을 제시

4.3. 경제적 타당성

4.3.1. 과학기술적 파급효과

- 본 연구가 성공적으로 수행될 경우 세계 최초의 IT 기술을 융합한 전파 강우계 기술 개발이 이루어지며, 이에 따라 기존의 AWS를 대체할 수 있는 다기능의 고효율, 저가격의 전파강수계 상용화를 이루게 됨
- 집중호우, 폭설, 폭풍 등을 지상 부근에서 고정확도로 측정, 감시함으로써 재해 피해를 예방할 수 있는 전파강수계 시제품을 세계 최초로 상품화
- 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정·감시를 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공
- 기존 점 우량 측정값을 기초로 한 홍수예보시 우량의 공간 분포의 불확실성 내포하고 있어 홍수예보 모형 개선의 효과가 미흡하나 전파강수계에 의한 공간 우량 측정시 불확실성 해소를 통해 홍수예보 정확도 제고가 가능하며, 특히 강우 편차가 큰 도심 부

근 침수 예측 정확도 향상

- 저고도의 강우 분포 측정을 통해 고고도 탐지 위주의 기상(강우)레이더의 국지적 강우 추정 능력 제고 및 기상(강우)레이더와의 연계를 통해 악천후 대응 능력 향상
- 전파강수계 개발시 이중편파 기술, 신호처리 기술 등 기상레이더 관련 원천 기술 확보할 가능하며, 향후 기상레이더를 국내 독자기술로 개발하기 위한 발판 마련
- 21세기 기후변화로 인한 각종 재난, 재해에 대응하기 위해 필수적인 원격탐지 기반의 기상 관측, 예측 및 응용 기술의 국산화

4.3.2. 사회적 파급효과

- 정확한 면적강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상, 집중호우 피해 저감이 가능한 바, 특히 도시형 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통해 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting)에 적용함으로써 도시 홍수 예방 및 대피 시간 확보
- 폭설의 공간 분포에 대한 정확한 측정을 통해 대설 관련 재해 예방 및 대피 정보 제공을 통해 재해로부터 안전한 사회 구현
- 해안 저지대 침수, 각종 시설물 피해를 유발하는 강풍 피해 저감
- 이러한 파급효과로 인해 도시거주 시민, 지하/저지대/침수지대 거주자, 지하시설 이용자 등이 수해를 볼 수 있으며, 재난관리 담당 정부 및 지자체, 각종 공공기관, 기상관서, 항공청 등에 활용될 수 있는 기술임

4.3.3. 추정되는 경제적 파급효과

가. 국내외 기상장비 시장규모 추정

- 핀란드의 Vaisala(전세계 기상장비 매출 27%)의 2013년 매출액이 2.73억 유로이므로 세계시장 규모는 약 1.4조원으로 추정(Vaisala, 2013; 방기석, 2009)
- 다른 출처인 한국기상산업진흥원(2012)은 세계 기상장비 시장의 규모가 2008년 기준으로 약 5조원이며, 2014년 7.9조원으로 확대될 것으로 추정한 바 있음
- 기상장비의 세계 시장 규모는 기관별로 추정치가 서로 다르므로 정확한 파악이 어렵지만, 종합적이고 보수적으로 볼 때 연간 시장 규모는 2~3조원 사이로 추정됨
- 기상장비 중 강우량계, 강설량계 등의 비율을 5%로 잡을 경우, 우량계 시장은 연간 약 1,000억원, 국내 시장은 세계 시장의 2% 정도로 추정하여 대략 20억원 규모로 추정 가능
- 전세계에서 운영 중인 기상레이더는 약 2,000여대로 추산, 기상레이더의 수명년수를 10년으로 볼 경우, 연간 200여대의 교체 수요가 발생, 대당 10억의 단가 적용시 2,000억원 정도로 추정(STX엔진, 2011)

나. 전파강수계 예상 시장 규모 추정

- 전파강수계가 개발되어 강수량 측정 장비 및 소형 기상(강우)레이더 시장에 진출할 경우 예측되는 시장 규모 추정
- 전파강수계의 목표 가격대는 기존 우량계 대비 높은 약 2,000만원(슬레이브 기준)이며, 높은 가격과 기상청, 지자체, 공공기관 등의 수요자 특성을 감안하여 국내 시장에서 우량계 교체수요의 약 10%인 100대를 매년 대체할 경우 약 20억원 정도의 매출이 추정됨
- 세계 우량계 시장에서 점유율 1% 적용시에는 연간 10억원 정도의 매출 추정
- 세계 기상(강우)레이더 시장에서 1% 점유율을 고려할 경우 약 20억원의 매출 추정
- 기타 지자체 등의 국지성 강우, 강설관측 시스템 구축, 농업, 수자원, 교통(강우, 폭설) 등 각 분야 활용 확대를 고려한 추가 시장 창출 가능
- 종합적으로 우량계 수준의 정확도를 구현할 경우 연간 50억원 정도의 매출 추정

다. 홍수, 폭설 등의 피해 저감액 추정

- 홍수예보 정확도 향상시 침수로 인한 피해 저감액을 약 20%로 추정할 경우 연평균 피해액 1.6조원의 피해액을 기준으로 3,200~4,000억원의 경제적 효과 발생(최우정, 2011; 미래부, 2013)
- 현재는 산간지역, 고속도로 등에 강설 관측소가 희소하여 폭설 등으로 인한 인명, 재산 피해 예방이 어려운 상황이나 전파강수계를 통한 폭설 관측시 피해를 약 20% 저감할 경우 약 260억원의 경제적 효과 발생(미래부, 2013)
- 종합적으로 연간 4,000억원 이상의 간접적 경제 효과 가능

5. 소요예산 산정

5.1. 1안(5년) 총괄

- 전파강수계 개발을 위한 연구단급 과제 추진에 필요한 예산은 1안 기준으로 200억 원임
- 1차년도인 2015년에 30억을 시작으로 매년 30~50억을 투입하는 것으로 계획 수립
- 1세부(H/W 시스템)는 66억, 2세부(S/W)는 48억, 3세부(연구단, 통합 및 실험검증)은 86억으로 편성

과 제 명	연도					합계
	2015	2016	2017	2018	2019	
(연구단) 악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발	3,000	5,000	5,000	4,000	3,000	20,000
(1세부) 전파강수계 하드웨어 시스템 개발	1,000	1,800	1,800	1,200	800	6,600
(1-1) 전파강수계 RF 시스템 개발	800	1,200	1,200	900	600	4,700
(1-2) 전파 강수계 신호처리 플랫폼 개발	200	600	600	300	200	1,900
(2세부) 전파강수계 운영 및 분석 기술 개발	700	1,200	1,200	1,000	700	4,800
(2-1) 전파강수계 시스템 운영 및 표출 시스템 개발	250	500	500	400	250	1,900
(2-2) 전파강수계의 수문기상정보 산출을 위한 품질관리 및 분석 기술 개발	450	700	700	600	450	2,900
(3세부) 전파강수계 시스템 통합 및 성능 검증	1,300	2,000	2,000	1,800	1,500	8,600
(3-1) 전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영	300	500	500	400	300	2,000
(3-2) 전파강수계 검보정을 위한 실규모 실험 시설 구축·운영	1,000	1,500	1,500	600	500	5,100
(3-3) 전파강수계 상용화				800	700	1,500

5.1.1. 연구단 : 악천후 재해 예방을 위한 전파강수계 시스템 개발

소요예산	구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	3,000	5,000	5,000	4,000	3,000
		민간 (추정)					
	합계		3,000	5,000	5,000	4,000	3,000
	총 연구비 (백만원)	정부	20,000				
		민간					
		총합계	20,000				

5.1.2. 세부과제별

1) 1세부과제 : 전파강수계 하드웨어 시스템 개발

소요예산	구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	1,000	1,800	1,800	1,200	800
		민간 (추정)					
	합계		1,000	1,800	1,800	1,200	800
	총 연구비 (백만원)	정부	6,600				
		민간					
		총합계	6,600				

2) 2세부과제 : 전파강수계 운영 및 분석 기술 개발

소요예산 산정	구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	700	1,200	1,200	1,000	700
		민간 (추정)					
	합계		700	1,200	1,200	1,000	700
	총 연구비 (백만원)	정부	4,800				
		민간					
		총합계	4,800				

3) 3세부과제 : 전파강수계 시스템 통합 및 성능 검증

소요예산 산정	구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	1,300	2,000	2,000	1,800	1,500
		민간 (추정)					
	합계		1,300	2,000	2,000	1,800	1,500
	총 연구비 (백만원)	정부	8,600				
		민간					
		총합계	8,600				

5.2. 2안(2단계, 3+3년) 총괄

- 연구과제 추진을 위한 세부 실행계획 중 기획연구타당성 검토결과를 고려한 2안은 1단계 50억, 2단계 100억으로 연구비를 분할하여 추진
- 2단계 추진계획은 1단계에서 시제품 개발 결과를 평가한 후 성공 평가시 2단계 추진

과 제 명	연도						합계
	1단계			2단계			
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
(연구단) 악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발	500	2,000	2,500	3,000	4,000	3,000	15,000
(1세부) 전파강수계 하드웨어 시스템 개발	200	800	900	500	800	600	3,800
(1-1) 전파강수계 RF 시스템 개발	120	500	550	300	500	350	2,320
(1-2) 전파강수계 신호처리 플랫폼 개발	80	300	350	200	300	250	1,480
(2세부) 전파강수계 운영 및 분석 기술 개발	150	600	900	500	600	600	3,350
(2-1) 전파강수계 시스템 운영 및 표출 시스템 개발	70	250	400	200	250	250	1,420
(2-2) 전파강수계의 수문기상정보 산출을 위한 품질관리 및 분석 기술 개발	80	350	500	300	350	350	1,930
(3세부) 전파강수계 시스템 통합 및 성능 검증	150	600	700	2,000	2,400	1,800	7,650
(3-1) 전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영	150	600	450	400	800	600	3,000
(3-2) 전파강수계 검보정을 위한 실규모 실험 시설 구축·운영	-	-	250	1,200	1,000	600	3,050
(3-3) 전파강수계 상용화				400	600	600	1,600

5.2.1. 연구단 : 악천후 재해 예방을 위한 전파강수계 시스템 개발

소요 예산	구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	500	2,000	2,500	3,000	4,000	3,000
		민간(추정)						
	합계		500	2,000	2,500	3,000	4,000	3,000
	총 연구비 (백만원)	정부	15,000					
		민간						
		총합계	15,000					

5.2.2. 세부과제별

1) 1세부과제 : 전파강수계 하드웨어 시스템 개발

소요 예산	구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	200	800	900	500	800	600
		민간 (추정)						
	합계		200	800	900	500	800	600
	총 연구비 (백만원)	정부	3,800					
		민간						
		총합계	3,800					

2) 2세부과제 : 전파강수계 운영 및 분석 기술 개발

소요 예산	구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	150	600	900	500	600	600
		민간 (추정)						
	합계		150	600	900	500	600	600
	총 연구비 (백만원)	정부	3,350					
		민간						
		총합계	3,350					

3) 3세부과제 : 전파강수계 시스템 통합 및 성능 검증

소요 예산	구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	150	600	700	2,000	2,400	1,800
		민간 (추정)						
	합계		150	600	700	2,000	2,400	1,800
	총 연구비 (백만원)	정부	7,650					
		민간						
		총합계	7,650					

6. 과제 제안요구서(RFP)

6.1. 1안(총 5년 기준)

과제명	(연구단) 악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발
1. 연구 목표	강우, 강설, 바람장을 동시 측정할 수 있는 다목적 전파강수계 개발 ○ 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능한 신개념의 계측기로서 전파강수계 개발 - 전파강수계 시스템 설계 및 통합 운영 툴 개발 - 전파강수계 H/W 시스템 및 신호처리 플랫폼 개발 - 전파 강수계 운영, 표출 S/W 개발 - 고정확도 강수 측정을 위한 강수정보 산출 S/W 개발 - 전파강수계의 보정, 성능 검증을 위한 테스트베드 구축 및 운영
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	☐ 연구개발의 필요성 ○ 국가과학기술위원회의 2012년 설문조사 결과 피해 우려가 가장 높은 자연재해 중 에 호우/홍수, 태풍/폭풍, 그리고 폭설이 각각 1, 2, 5위를 차지하나 재해 예방 및 대응 기술은 선진국 대비 78% 수준에 불과하여 재난재해 관련 기술 개발이 시급 ○ 강우량, 강설, 바람 등에 대한 기존 관측 기술은 공간적으로 산재한 관측소에서의 지점(point) 관측에 의존하고 있어 돌발적이고 국지적인 호우, 폭설 등의 재해에 대한 관측 및 대응이 곤란 - 홍수, 도심 침수 및 산사태 발생 등과 직결되는 우량의 경우 공간적 차별성에 비해 관측소의 면적 대표성이 부족하여 예보 정확도 저하의 원인으로 작용 - 폭설은 겨울철 산간주민 고립, 시설물 피해, 간선도로 마비 등을 야기하나 관측소가 적고 관측 정확성이 떨어지므로 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 - 태풍, 폭풍 등의 경우 해안지역을 중심으로 인명과 시설물 피해를 일으키는 주요 요인이 되고 있음 ○ 기상레이더의 경우 넓은 면적에 대한 강우, 강설, 바람의 공간 분포를 파악하는데 활용되고 있으나, 설치 및 운영비용이 크고, 주로 높은 고도에 집중되어 있어 저고도의 실제 관측 장비로 활용하기에는 미흡함 ○ 급증하는 집중호우, 폭설, 태풍 등을 지상과 가까운 저고도에서 효율적으로 관측함으로써 재해 예방에 기여할 수 있는 전자파 기반의 미래지향적인 첨단 기술 및 관측 장비 개발 필요 ☐ 기술동향 ○ 2013년 현재 3,827개소가 운영되고 있는 지상우량관측소는 대부분 원통 구조의 전도형 내지는 중량식 우량계가 사용되고 있음

- 2000년대 들어 강우입자를 분석하여 우량을 측정하는 디스트로미터가 보급되고 있으며, 광학 방식의 PARSIVEL과 전자파 방식의 POSS 등이 개발, 활용되고 있으나 지점 측정 방식의 한계를 내포하고 있음
- 기상레이더의 경우 미국, 독일, 일본, 중국, 덴마크, 프랑스 등 선진국을 중심으로 개발, 제작되고 있음
 - 기상레이더는 S밴드급의 대형 레이더가 주종을 이루고 있으며, 최근 강우 측정 성능이 향상된 이중편파 기반의 X밴드급 레이더의 활용이 증가하는 추세임
 - 최근에는 국지적이고 돌발적인 기상 재해에 대처하기 위해 다수의 기상레이더를 복합적으로 활용하는 기술이 개발되고 있음
- 우리나라는 주로 외산 광역 기상레이더를 활용하는 기술이 많이 개발되고 있으며, 2011년 이후 X밴드급 기상레이더를 자체 개발하고 있으므로 전자파를 이용한 관측 기술이 축적되어 있음
- 방산 분야의 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공 레이더 역시 국내 기술로 개발, 제작하고 있어 전파를 이용한 강수계 개발을 위한 기초 기술이 확보되어 있음

3. 연구개발 내용

- 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능한 신개념의 계측기로서 전파강수계 개발
- 1세부 과제 : 전파강수계 H/W 시스템 및 신호처리 플랫폼 개발
 - 전파강수계의 RF 시스템 설계 및 개발
 - 전파강수계 RF 시스템 제어 및 신호처리 플랫폼 설계 및 개발
- 2세부 과제 : 전파강수계 운영 및 분석 S/W 기술 개발
 - 전파강수계 운영, 표출, DB 관리 S/W 개발
 - 전파강수계 품질관리 및 강수정보 산출 기술 개발
- 3세부 과제 : 전파강수계 시스템 통합 및 검증 기술 개발
 - 전파강수계 시스템 설계 및 통합 운영 툴 개발
 - 강수 측정 성능 검증을 위한 테스트베드 시설 구축 및 운영
 - 전파강수계 실용화 및 상용제품 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 인공강수 실험 시설은 전파 강수계 검증의 핵심 시설로서 국내외 선행 기술을 최대한 검토하여 실험에 적합하도록 전자파 특성을 고려한 구조물 설계, 시공
- 인공강수 실험의 기술적 타당성을 검토하기 위해 국내외 기존 인공강수시설에 대한 사전 검토
- 자연강수의 입자 특성에 대한 면밀한 분석을 통해 인공강수 재현
- 전파 강수계 시제품의 보정 및 검증 실험에 차질이 없도록 실험실 및 현장 테스트 베드 구축 일정 계획 수립 및 추진
- 도심, 산간지 등 어떤 환경에서도 쉽게 설치, 운영할 수 있는 컴팩트 시스템 개발
- 기상, 수문, 재해 관련 사용자 요구에 부합하는 전파강수계 시스템 개발

○ 하드웨어, 소프트웨어 최적 성능 발휘를 위한 산학연 협력 체계 구축 ○ 실규모 인공강수 실험을 위한 테스트베드를 구축, 운영함으로써 성능 검증에 기반한 전파강수계 시스템 개발 ○ 상용화 가능성 제고를 위해 국내 선행 기술 역량 최대한 활용 ○ 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립 □ 추진체계 ○ 기상청 등 현장 테스트베드 운영 기관과의 협조를 통해 현장 테스트베드 설계 및 운영에 활용
5. 최종성과물
○ 전파강수계 시스템 시제품
6. 기대효과 및 파급효과
○ 기존 자동기상관측장비(AWS) 대체 ○ 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 정확한 지상 면적 강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상 ○ 폭설의 공간분포에 대한 정확한 측정을 통해 폭설 재해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 강풍으로 인한 시설물, 해안지대 피해 저감
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2020. 6. (5년) ○ 총 정부출연금 : 20,000 백만원 이내 1차년도 : 3,000 백만원 2차년도 : 5,000 백만원 3차년도 : 5,000 백만원 4차년도 : 4,000 백만원 5차년도 : 3,000 백만원
8. 기타
○

연구과제명	1-1. 전파강수계 RF 시스템 개발
1. 연구 목표	강수, 강설, 바람장을 동시에 정밀 측정할 수 있는 신개념 전파강수계의 RF 시스템 개발
	○ 전파강수계 RF 시스템 설계 요구사항 분석 - 주파수 최적 선정 및 주파수에 따른 RF 시스템 분석 - 전파강수계 RF 시스템 세부 설계 ○ 전파강수계 운영방식에 따른 배열 안테나 및 스캔방식 설계 및 개발 - 단일-다중 빔의 배열 안테나 설계 및 개발 - 최적의 수평, 수직 스캔 방식의 안테나 설계 개발 ○ 소형, 경량의 전파강수계 송신기-수신기 RF 설계 및 개발 - RF 요구사항에 부합하는 송신기 및 수신기 개발 - 전파 강수계 RF H/W 및 제어 플랫폼과의 인터페이스 설계 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국지성 집중호우에 의한 도심, 중소하천 및 계곡 주변의 침수와 산사태 등 재난이 발생하여 노약자 등을 포함한 인명과 재산 피해 급증 ○ 현재 강우량 측정은 원통형 우량계를 이용하므로 면적대표성이 부족하고, 바람, 건물, 나무 등 주변 환경의 영향으로 인해 강우량 측정의 정확도가 떨어지고 있음 ○ 우량 측정의 정확도 향상은 기상 관측 측면뿐만 아니라 도심 홍수 및 산사태 등을 예측하는데도 필수적이며, 홍수 예보 정확도 향상에 결정적임 ○ 강설의 경우 폭설로 인한 고립, 시설물 파손 등 인명 및 재산 피해가 발생하고, 강설시 도로 교통 및 보행자 관련 사고 등이 발생하는 등 대비가 필요하나 지상 적설량 관측은 바람 등의 영향으로 부정확하여 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 ○ 기존 기상관측소 및 AWS의 경우 강수 및 바람에 대해 지점 관측만 시행되고 있어 기상 요소의 공간적 분포를 파악할 수 없으며, 개별 센서에 의존함에 따라 비용이 상승하고, 유지관리가 곤란 ○ 기존의 기상레이더의 경우 대면적에 대한 강수, 바람장 분포를 파악할 수 있으나 설치 및 유지관리 비용이 비싸고, 정량 관측 역할에는 미흡함 ○ 우량, 강설, 바람장을 원통형의 원점 측정 방식이 아닌 광역 측정을 할 수 있는 전자파를 이용한 측정방식으로 새로운 개념의 전파강수계 개발로 신융합 산업 창출 ○ 전자파를 이용할 경우 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능함에 따라 미래지향적인 신개념의 기상 관측 장비의 개발은 새로운 관측 장비 시장을 창출할 수 있음 □ 기술동향 ○ 국내 강우레이더는 기상청, 국토부 등이 수입한 외산의 광역(100~250km 직경) 레이더로서 기상 예보나 현황분석에 주로 활용 ○ 2006년 현재 3,479개소 우량관측소는 도심 위주로 편중 배치되어 일관성 있는 강

우자료 확보 곤란 및 수자원관리 한계 ○ 국내에서 현재 강우 측정목적의 레이더 센서의 개발 및 이와 관련된 소형화 및 자립형 기술개발은 레이더 강우의 분석·응용 기술에 비해 상대적으로 개발이 미진 ○ 군사 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기용 레이더 센서는 국내 기술로 개발, 제조되고 있음 ○ 미국, 독일, 덴마크, 프랑스 등에서 기상레이더 센서가 제조되고 있으며, 국지형 20~60km, 광역형 100~250km 등이 있으며, 공간 강우의 일치도를 높이려는 노력이 계속되고 있으나 지상우량계를 대체하는 수준에는 아직 미치지 못하고 있음
3. 연구개발 내용 ○ 전파강수계 RF 시스템 설계 요구사항 분석 - 주파수 최적 선정 및 주파수에 따른 RF 시스템 분석 - 전파강수계 RF 시스템 세부 설계 ○ 측정반경 1 km 이내 강우, 강설, 바람장을 동시에 측정할 수 있는 전파 강수계 배열 안테나 및 스캔방식 설계 및 개발 - 단일-다중 빔의 배열 안테나 설계 및 개발 - 최적의 수평, 수직 스캔 방식의 안테나 설계 개발 ○ 소형, 경량의 전파강수계 송신기-수신기 RF 설계 및 개발 - RF 요구사항에 부합하는 송신기 및 수신기 개발 - 전파 강수계 RF H/W 및 제어 플랫폼과의 인터페이스 설계 개발
4. 연구개발 추진방법 ☐ 추진전략 ○ IT 기술과 접목한 사용자 요구에 부합하는 신개념 융합형 전파강수계 시스템 개발 ○ 개발초기부터 국내는 물론 해외 수출 전략형으로 RF 시스템 개발을 위주로 하고 국내 보유 선행 기술 역량을 최대한 활용 ○ 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립 ☐ 추진체계 ○ 센서, 통신, S/W, 실험을 담당한 참여기관간의 긴밀한 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 국내외 초음파 관련 전문가 활용 ○ 산학연 공동연구를 위한 협업체계 구축 및 활용
5. 최종성과물 ☐ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 RF 시스템 시제품

□ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파강수계용 단일, 다중 빔의 배열 안테나 시제품 ○ 전파강수계 RF 송수신기 시제품
6. 기대효과 및 파급효과 ○ 세계 최초의 IT 기술을 융합한 전파강수계 기술 개발 ○ 수출목적 기존 AWS를 대체할 수 있는 다기능, 고효율, 저가격 전파강수계 상용화 ○ 국내 도로의 강우, 강설 예보를 위한 전파강수계 시제품 상품화
7. 연구개발기간 및 소요예산 ○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2020. 6. (5년) ○ 총 정부출연금 : 4,700 백만원 이내 1차년도 : 800 백만원 2차년도 : 1,200 백만원 3차년도 : 1,200 백만원 4차년도 : 900 백만원 5차년도 : 600 백만원
8. 기타

연구과제명	1-2. 전파강수계 신호처리 플랫폼 개발
1. 연구 목표	전파강수계 RF 시스템의 제어 및 신호처리 플랫폼 개발 ○ 전파강수계 RF 시스템 제어 및 수신신호 처리용 FPGA 플랫폼 기술 개발 - 전파강수계 실시간 제어 및 신호처리 위한 FPGA 플랫폼 요구사항 분석, 설계 - RF 시스템과의 인터페이스 요구사항 분석 및 설계 - FPGA 플랫폼 H/W 및 구동 S/W 세부 설계 ○ FPGA 플랫폼 H/W 설계, 개발 - 강수계용 플랫폼 아키텍처 설계 - FPGA H/W 설계 및 제작 - FPGA 구동 S/W 설계 개발 - 외부 인터페이스 Ethernet, USB3.0, UART 설계 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국지성 집중호우에 의한 도심, 중소하천 및 계곡 주변의 침수와 산사태 등 재난이 발생하여 노약자 등을 포함한 인명과 재산 피해 급증 ○ 현재 강수량 측정은 원통형 우량계를 주로 이용하므로 면적대표성이 부족하고, 바람, 건물, 나무 등 주변 환경의 영향으로 인해 강수량 측정 정확도가 떨어지고 있음 ○ 우량 측정의 정확도 향상은 기상 관측 측면뿐만 아니라 도심 홍수 및 산사태 등을 예측하는데도 필수적이며, 홍수 예보 정확도 향상에 결정적임 ○ 강설의 경우 폭설로 인한 고립, 시설물 파손 등 인명 및 재산 피해가 발생하고, 강설시 도로 교통 및 보행자 관련 사고 등이 발생하는 등 대비가 필요하나 지상 적설량 관측은 바람 등의 영향으로 부정확하여 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 ○ 기존 기상관측소 및 AWS의 경우 강수 및 바람에 대해 지점 관측만 시행되고 있어 기상 요소의 공간적 분포를 파악할 수 없으며, 개별 센서에 의존함에 따라 비용이 상승하고, 유지관리가 곤란 ○ 기존의 기상레이더의 경우 대면적에 대한 강수, 바람장 분포를 파악할 수 있으나 설치 및 유지관리 비용이 비싸고, 정량 관측 역할에는 미흡함 ○ 우량, 강설, 바람장을 원통형의 원점 측정 방식이 아닌 광역 측정을 할 수 있는 전파를 이용한 측정방식으로 새로운 개념의 전파강수계 개발로 신융합 산업 창출 ○ 전자파를 이용할 경우 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능함에 따라 미래지향적인 신개념의 기상 관측 장비의 개발은 새로운 관측 장비 시장을 창출할 수 있음 □ 기술동향 ○ 국내 강우레이더는 기상청, 국토부 등이 수입한 외산의 광역(100~250km 직경) 레이더로서 기상 예보나 실태분석에 주로 활용 ○ 2006년 현재 3,479개소 우량관측소는 도심 위주로 편중 배치되어 일관성 있는 강우자료 확보 곤란 및 수자원관리 한계

- 국내에서 현재 강우를 목적으로한 레이더 센서의 개발 및 이와 관련된 소형화 및 자립형 기술 개발은 레이더 강우의 분석, 응용 기술에 비해 상대적으로 개발이 미진한 실정임
- 미국, 독일, 덴마크, 프랑스 등에서 기상 레이더 센서가 제조되고 있으며, 국지형은 20~60km, 광역형은 100~250km 등이 있으며, 공간 강우의 일치도를 높이려는 노력이 계속되고 있으나 지상 강우량계를 대체하는 수준에는 아직 미치지 못하고 있음

3. 연구개발 내용

- 전파강수계 RF 시스템 실시간 제어 및 신호처리용 플랫폼 기술 개발
 - 전파강수계 실시간 제어 및 신호처리 위한 FPGA 플랫폼 요구사항 분석, 설계
 - RF 시스템과의 인터페이스 요구사항 분석 및 설계
 - FPGA 플랫폼 H/W 및 구동 S/W 세부 설계
- 전파강수계 RF 시스템에서 측정하는 반경 1 km 이내 강우, 강설, 바람장 자료를 1분마다 산출할 수 있는 성능을 보유한 신호처리 FPGA 플랫폼 H/W, 및 구동 S/W 개발 (알고리즘은 미포함)
 - 강수계용 플랫폼 아키텍처 설계
 - FPGA H/W 설계 및 제작
 - FPGA 구동 S/W 설계 개발
 - 외부 인터페이스 Ethernet, USB3.0, UART 설계 개발
- 주요기능
 - 우량 산출 : 0.1~150 mm/hr (0.1 mm 정밀도)
 - 강설 산출 : 0.1~20 cm/hr (0.1 mm 정밀도)
 - 바람장 산출 : 0.5~50 m/s ($u, v \leq 0.2$ m/s, $w_p \leq 2^\circ$)

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- IT 기술과 접목한 사용자 요구에 부합하는 새로운 형태의 융합형 전파강수계 RF 시스템 개발을 위한 custom designed 된 FPGA 플랫폼 개발로 소형, 다기능, 가격 경쟁력을 가지는 전파 강수계 개발로 시장 창출
- 개발초기부터 국내는 물론 해외 수출 전략형의 전파강수계를 위한 고성능 실시간 제어 및 신호 처리계로 RF 시스템 성능을 최대한 발휘할 수 있도록 국내 보유 선행 기술 역량을 최대한 활용
- 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립

□ 추진체계

- 본 과제는 RF 시스템과 연관된 내용이므로 RF 개발 기관간의 긴밀한 협력을 통하여 과제간 연계성 확보 및 긴밀한 협력 체계를 구축하여 수행

○ 국내외 기상 레이더 및 관련 신호처리 플랫폼 개발 전문가를 적극 활용 ○ 산학연 공동연구를 위한 협업체계 구축 및 활용
5. 최종성과물
☐ 주요 최종성과물 ○ 전파 강수계 RF 시스템과 연동되는 custom 설계 제작된 FPGA 플랫폼 H/W 및 구동, 제어, 통신 인터페이스 S/W 제품 ☐ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파 강수계용 RF 시스템 제어 및 수신 신호 처리용 FPGA 플랫폼 H/W 시제품 ○ FPGA 플랫폼 구동 S/W 및 통신 interface
6. 기대효과 및 파급효과
○ 세계 최초의 IT 기술을 융합한 전파강수계 기술 개발 ○ 수출 목적의 기존의 AWS를 대체할 수 있는 다기능의 고효율, 저가격의 전파 강수계 상용화 ○ 국내 도로의 강우, 강설 예보를 위한 전파강수계 시제품 상품화
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2020. 6. (5년) ○ 총 정부출연금 : 1,900 백만원 이내 1차년도 : 200 백만원 2차년도 : 600 백만원 3차년도 : 600 백만원 4차년도 : 300 백만원 5차년도 : 200 백만원
8. 기타
○

연구과제명	2-1. 전파강수계 시스템 운영 및 표출 시스템 개발
1. 연구 목표	전파강수계의 제어, 운영을 위한 사용자 시스템 개발
○ 전파강수계 운영 소프트웨어 개발 - 송수신 및 신호처리 기술을 통한 전파 강수계 운영 기술 개발 ○ 전파강수계 표출 소프트웨어 개발 - 강수 산출 알고리즘과 연계된 표출 기술 개발 - 다양한 전파 강수 산출물 생성 및 표출 기술 개발 ○ DB 관리 소프트웨어 개발 - 전파 강수 자료의 정량적 강수 추정을 위한 최적 DB 기술 개발 - 사용자 중심의 자료 처리 및 통합 관리 기술 개발	
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
□ 연구개발의 필요성 ○ 국지성 집중호우에 의한 도심, 중소하천 및 계곡 주변의 침수와 산사태 등 재난이 발생하여 노약자 등을 포함한 인명과 재산 피해 급증 ○ 현재 강수량 측정은 원통형 우량계를 주로 이용하므로 면적 대표성이 부족하고, 바람, 건물, 나무 등 각종 주변 환경의 영향으로 인해 강수량 측정의 정확도가 떨어지고 있음 ○ 우량 측정의 정확도 향상은 기상 관측 측면뿐만 아니라 도심 홍수 및 산사태 등을 예측하는데도 필수적이며, 홍수 예보 정확도 향상에 결정적임 ○ 강설의 경우 폭설로 인한 고립, 시설물 파손 등 인명 및 재산 피해가 발생하고, 강설시 도로 교통 및 보행자 관련 사고 등이 발생하는 등 대비가 필요하나 지상 적설량 관측은 바람 등의 영향으로 부정확하여 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 ○ 강수와 동반하여 발생하는 태풍, 폭풍 등의 경우 시설물 파손 등의 피해를 유발 ○ 기존 기상관측소 및 AWS의 경우 강수 및 바람에 대해 지점 관측만 시행되고 있어 기상 요소의 공간적 분포를 파악할 수 없으며, 개별 센서에 의존함에 따라 비용이 상승하고, 유지관리가 곤란 ○ 기존의 기상레이더의 경우 대면적에 대한 강수, 바람장 분포를 파악할 수 있으나 설치 및 유지관리 비용이 비싸고, 정량 관측 역할에는 미흡함 ○ 전자파를 이용할 경우 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능함에 따라 미래지향적인 신개념의 기상 관측 장비의 개발은 새로운 관측 장비 시장을 창출할 수 있음 □ 기술동향 ○ 국내 강우레이더는 기상청, 국토부 등이 수입한 외산의 광역(100~250km 직경) 레이더로서 기상 예보나 실태분석에 주로 활용 ○ 2006년 현재 3,479개소 우량관측소는 도심 위주로 편중 배치되어 일관성 있는 강우자료 확보 곤란 및 수자원관리 한계 ○ 국내에서 현재 강우를 목적으로한 레이더 센서의 개발 및 이와 관련된 소형화 및	

자립형 기술 개발은 레이더 강우의 분석, 응용 기술에 비해 상대적으로 개발이 미진한 실정임

- 군사 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기용 레이더 센서는 국내 기술로 개발, 제조되고 있음
- 미국, 독일, 덴마크, 프랑스 등에서 기상 레이더 센서가 제조되고 있으며, 국지형은 20~60km, 광역형은 100~250km 등이 있으며, 공간 강우의 일치도를 높이려는 노력이 계속되고 있으나 지상 강우량계를 대체하는 수준에는 아직 미치지 못하고 있음

3. 연구개발 내용

- 전파강수계 운영 소프트웨어 개발
 - 송수신 및 신호처리 기술을 통한 전파 강수계 운영 기술 개발
 - RF 시스템 파라미터 설정 및 제어
 - 신호처리 방식에 따른 설정 및 제어 (FFT/DFT, IIR 등)
 - 운영 모드에 따른 설정 및 제어 (수평, 수직, 볼륨 등)
 - 편파 모드에 따른 설정 및 제어 (H-H, H-V, V-H, V-V 등)
 - 장치별 상태 정보(BITE) 표출
- 전파강수계 표출 소프트웨어 개발
 - 강수 산출 알고리즘과 연계된 표출 기술 개발
 - 강수 변수(이중편파) 산출 정보 표출
 - GIS 기반의 스캔 방식별 실시간 표출(수평(PPI), 수직(RHI), 고정(Point))
 - 다양한 전파 강수 산출물 생성 및 표출 기술 개발
 - 편파 모드에 따른 전파 강수 산출물 생성 및 표출
 - 강우 및 강설에 따른 산출물 생성 및 표출
 - 대기수상체 산출물 생성 및 표출
- DB 관리 소프트웨어 개발
 - 전파 강수 자료의 정량적 강수 추정을 위한 최적 DB 기술 개발
 - 이중편파에 따른 정량적 강수 추정 알고리즘 적용
 - 사용자 중심의 자료 처리 및 통합 관리 기술 개발

4. 연구개발 추진방법

☐ 추진전략

- 현장 적용성 제고를 위해 사용자 요구에 부합하는 전파 강수계 시스템 개발
- 상용화 가능성 제고를 위해 국내 선행 기술 역량 최대한 활용
- 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립

☐ 추진체계

- 센서, 통신, S/W, 실험을 담당한 참여기관간의 긴밀한 협력을 통한 기술개발 과제

간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 국내외 초음파 관련 전문가 활용 ○ 산학연 공동연구를 위한 협업체계 구축 및 활용
5. 최종성과물
☐ 주요 최종성과물 ○ 전파 강수계 시제품 ☐ 세부과제별 최종성과물 ○ 2-1. 전파 강수계 운영표출소프트웨어 1식
6. 기대효과 및 파급효과
○ 세계 최초의 IT 기술을 융합한 전파강수계 기술 개발 ○ 수출 목적의 기존의 AWS를 대체할 수 있는 다기능의 고효율, 저가격의 전파 강수계 상용화 ○ 국내 도로의 강우, 강설 예보를 위한 전파강수계 시제품 상품화
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2020. 6. (5년) ○ 총 정부출연금 : 1,900 백만원 이내 1차년도 : 250 백만원 2차년도 : 500 백만원 3차년도 : 500 백만원 4차년도 : 400 백만원 5차년도 : 250 백만원
8. 기타
○ 알고리즘과 연계된 소프트웨어 개발 - 신호처리 알고리즘과 연계된 운영 소프트웨어 개발 - 강수 산출 알고리즘과 연계된 표출 소프트웨어 개발

연구과제명	2-2. 전파강수계의 수문기상정보 산출을 위한 품질관리 및 분석 기술 개발
1. 연구 목표	전파강수계 신호 자료의 품질 관리 및 강수 정보 생성을 위한 자료 처리 알고리즘 개발
	○ 전파강수계에서 생산되는 1차 산출자료(모멘트 자료)를 이용하여 수문기상정보 산출 - 전파우량계를 이용하여 정확도 및 시, 공간 해상도가 높고 면적 강우 및 강설정보를 생산할 수 있는 알고리즘 개발 - 전파강수계의 전자파 신호를 이용하여 강수 이외의 바람 정보를 산출할 수 있는 기술 개발 ○ 전파강수계로부터 양질의 자료 생산을 위하여 관측기법, 품질 임계변수 등을 최적화하는 품질관리 기법 개발 - 양질의 자료 생산을 위한 전파강수계로 최적의 품질관리기법 개발 및 최적화 - 최적의 모멘트 자료 생산을 위한 품질임계변수 최적화
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
	□ 연구개발의 필요성 ○ 현재 사용 중인 우량계는 대부분 되(bucket)을 이용하기 때문에 되의 크기에 따라 자료의 해상도 및 정확도가 결정됨. 또한 물을 되에 받아서 직접 측정하기 때문에 이 과정에서 오차가 발생함. ○ 되에 포획되는 강수의 정확도는 포획률(catch ratio)에 의존하며 바람에 의하여 1보다 작은 포획률을 가짐. 또한 강설의 경우 바람의 영향이 더 강하게 작용하여 포획률은 더 작아짐. 따라서 현업 적용 중인 대부분의 강수계는 항상 적은 량의 강수량을 제공하며 이에 대한 보정이 필요한 실정임. ○ 강수를 포획하는 포집구(orifice)는 대부분 50cm 이하이기 때문에 강우량계의 관측값은 공간 대표성이 낮을 뿐만 아니라 면적 강우를 제공하지 못하여 그 활용에 한계가 존재함. ○ 강설의 관측은 1) 지상에 떨어진 눈의 양을 적설척 또는 광학기계를 이용하여 그 두께를 측정하거나 2) 포집구에 떨어진 강설의 무게 또는 물의 양으로 환산한 눈의 양을 측정. 따라서 두 관측 모두 바람, 지형, 온도 등의 영향을 크게 받음. 따라서 이러한 영향을 최소화할 수 있는 non-catchment 형태의 강수계 개발 필요. ○ 대부분의 우량계 또는 강수계는 강수의 관측만이 가능. 그러나 전자기파를 이용할 경우 강수뿐만 아니라 강수의 이동에 의한 전자파의 도플러편이값을 관측할 수 있음. 따라서 이를 이용하여 강수뿐만 아니라 바람을 동시에 관측할 수 있는 전파강수계의 개발이 필요함. ○ 이러한 전파우량계의 활용성을 향상하고 현업적용을 위해서는 양질의 자료생산이 필수적임. 따라서 전파우량계에 적합한 품질관리기법의 개발이 필요함. ○ 전파우량계에서 생산된 양질의 자료를 이용하여 고정확도, 고해상도의 면적 강우량을 생산하고 전파정보를 이용한 바람산출기법을 개발하여 전파강수계의 활용성을

증대할 필요성

□ 기술동향

- 국내에서 운용중인 3천개 이상의 우량계망에서는 대부분 뿔(bucket)를 이용하여 강우 관측을 수행중이며 이로 인하여 시간 분해능이 떨어지고 공간 대표성이 적음.
- 현재 국내에서 운용중인 강설관측이 가능한 강수계(무계식 강수계)는 기상청에서 운영 중인 60여개소가 전부임.
- 현재 국내에서는 non-catchment 형태의 강수계의 개발은 전무함.
- 전 세계적으로 광학의 원리를 이용한 강수계(2차원 광학우적계, Parsivel, ORG, 등)가 개발되어 활용 중임.
- 1960년에 레이더 기술의 발달로 레이더를 연직지향으로 관측하여 우적크기분포 또는 강수값을 산출하는 기법이 개발됨. 이러한 기술이 연직공기속도의 관측이 가능한 장파장 윈드프로파일러에 적용됨.
- 레이더를 이용한 우적계로는 MRR, POSS, VertiX 등이 개발되어 활용되고 있음. POSS의 경우 캐나다 공항에 100개 이상이 설치되어 강수관측에 활용되었음. 이러한 레이더 원리의 우적계는 한 지점에서 강수계를 관측하기 때문에 면적강우 제공에는 한계

3. 연구개발 내용

- 전파강수계를 이용한 강수정보 산출기술 개발
 - 전파강수계를 이용한 강우정보 산출기술 개발
 - 전파강수계를 이용한 강설정보 산출기술 개발
 - 전파강수계를 이용한 바람정보 산출기술 개발
 - 산출 강우, 강설, 바람정보의 정확도 평가 및 고도화
 - 산출기술의 최적화 및 현업화
- 전파강수계의 관측 및 자료 최적화 기술개발
 - 전파강수계의 관측기법 최적화
 - 전파강수계의 품질 임계지수 최적화
 - 전파강수계의 자료 품질관리기술 개발
 - 품질관리기법의 최적화 및 현업화

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 현장 적용성 제고를 위해 현장에서 운용 가능한 알고리즘 개발
- 현업 운용성 향상을 위하여 표준화 및 최적화를 추진하고 정확도를 담보할 수 있는 알고리즘 디자인.
- 상용화 가능성 제고를 위해 국내 선행 기술 역량 최대한 활용
- 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립

☐ 추진체계 ○ H/W, S/W, 알고리즘을 담당한 참여기관간의 긴밀한 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 국내외 강수계, 수문/기상레이더 전문가 활용 ○ 산학연 공동연구를 위한 협업체계 구축 및 활용
5. 최종성과물
☐ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 강수정보 산출 알고리즘 및 S/W ○ 전파강수계 품질관리 알고리즘 및 S/W
☐ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파강수계 강수정보 산출 알고리즘 및 S/W
6. 기대효과 및 파급효과
○ 전파강수계의 강수산출알고리즘의 국산화 ○ 전파강수계의 상용화를 위한 기반 마련 ○ 전파강수계를 이용한 양질의 고해상도 면적 강수량 생성을 통한 수문 활용성 제고 ○ 면적강수량의 수문모델 활용을 통한 방재 기능 증대 ○ 전파강수계의 상용화를 통한 수출력 증대
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2020. 6. (5년) ○ 총 정부출연금 : 2,900 백만원 이내 1차년도 : 450 백만원 2차년도 : 700 백만원 3차년도 : 700 백만원 4차년도 : 600 백만원 5차년도 : 450 백만원
8. 기타
○

연구과제명	3-1. 전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영
1. 연구 목표	전파강수계 개발을 위한 각 H/W, 알고리즘 및 S/W의 제원 설계, 개발된 각 모듈 간의 시스템 통합 및 운영 매뉴얼 개발, 전파강수계 네트워크 및 기존 시스템과의 연계 기술 개발
	○ 전파강수계 기본 설계 - 기초 사양에 따른 기본 시스템 설계 - 전파강수계의 확장성 및 네트워킹을 고려한 시스템 설계 - 최종자료 포맷 개발 ○ 전파강수계의 각 모듈 간 시스템 통합 툴 개발 - 전파 강수계의 H/W, S/W 및 User 간 인터페이스 개발 - Stand-alone 타입의 전파강수계 통합 시스템 구축 ○ 전파강수계 운영 기술 개발 및 매뉴얼 작성 - 시스템 유지보수를 위한 시스템 레벨의 제어 툴 개발 ○ 전파강수계 네트워킹 및 통합 운영 기술 개발 - 전파강수계 네트워크 구축 및 운영 기술 개발 - 고속, 대용량 데이터 전송, 통합, 표출 기술 개발 - 지상 및 고고도 강우레이더와의 실시간 연계 기술 개발 ○ 전파강수계 시스템 신뢰도 검증 기법 개발 ○ 전파강수계 현장 적용을 위한 정책 기반, 표준 및 검인증 방안 제시
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
□ 연구개발의 필요성 ○ 국가과학기술위원회 2012년 설문조사 결과 피해 우려가 가장 높은 자연재해 중 에 호우/홍수, 태풍/폭풍, 그리고 폭설이 각각 1, 2, 5위를 차지하나 재해 예방 및 대응 기술은 선진국 대비 78% 수준에 불과하여 재난재해 관련 기술 개발이 시급 ○ 강우량, 강설, 바람 등에 대한 기존 관측 기술은 공간적으로 산재한 관측소에서의 지점(point) 관측에 의존하고 있어 국지·돌발성 호우, 폭설 재해 관측, 대응 곤란 - 홍수, 도심 침수 및 산사태 발생 등과 직결되는 우량의 경우 공간적 차별성에 비해 관측소의 면적 대표성이 부족하여 예보 정확도 저하의 원인으로 작용 - 폭설은 겨울철 산간주민 고립, 시설물 피해, 간선도로 마비 등을 야기하나 관측소가 적고 관측 정확성이 떨어지므로 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 - 태풍, 폭풍의 경우 해안지 인명과 시설물 피해의 주요 요인이 되고 있음 ○ 기상레이더의 경우 넓은 면적에 대한 강우, 강설, 바람의 공간 분포를 파악하는데 활용되고 있으나, 설치 및 운영비용이 크고, 주로 높은 고도에 집중되어 있어 저고도의 실제 관측 장비로 활용하기에는 미흡함 ○ 급증하는 집중호우, 폭설, 태풍 등을 지상과 가까운 저고도에서 효율적으로 관측함으로써 재해 예방에 기여할 수 있는 전자파 기반의 미래지향적인 첨단 기술 및 관측 장비 개발 필요 □ 기술동향 ○ 2013년 현재 3,827개소가 운영되고 있는 우량관측소는 대부분 원통 구조의 전도	

형 내지는 중량식 우량계가 사용되고 있음

- 2000년대 들어 강우입자를 분석하여 우량을 측정하는 디스트로미터가 보급되고 있으며, 광학 방식의 PARSIVEL과 전자파 방식의 POSS 등이 개발, 활용되고 있으나 지점 측정 방식의 한계를 내포하고 있음
- 기상레이더의 경우 미국, 독일, 일본, 중국, 덴마크 등 선진국을 중심으로 개발, 제작
 - 기상레이더는 S밴드급의 대형 레이더가 주종을 이루고 있으며, 최근 강우 측정 성능이 향상된 이중편파 기반의 X밴드급 레이더의 활용이 증가하는 추세임
 - 최근에는 국지적이고 돌발적인 기상 재해에 대처하기 위해 다수의 기상레이더를 복합적으로 활용하는 기술이 개발되고 있음
- 우리나라는 주로 외산 광역 기상레이더를 활용하는 기술이 많이 개발되고 있으며, 2011년 이후 X밴드급 기상레이더를 자체 개발하고 있으므로 전자파를 이용한 관측 기술이 축적되어 있음
- 방산 분야의 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공 레이더 역시 국내 기술로 개발, 제작하고 있어 전파를 이용한 강수계 개발을 위한 기초 기술이 확보되어 있음

3. 연구개발 내용

- 전파강수계 기본 설계
 - 전파강수계 실물(외형) 디자인
 - 전파강수계의 하드웨어, 소프트웨어(알고리즘) 사양 결정 및 설계
 - 시스템 확장성/네트워킹을 고려한 UI 및 파일/네트워킹 프로토콜 기술 설계
 - 네트워킹, 사용자친화성 및 지리정보와의 호환성 등을 고려한 데이터 포맷 개발
- 전파강수계 각 모듈 간 시스템 통합 툴 개발
 - 전파 강수계의 H/W, S/W 및 User 간 인터페이스 설계
 - Stand-alone 전파강수계 통합 시스템 구축
- 전파강수계 운영 매뉴얼 개발
 - 유지보수, H/W 관리를 위한 시스템 레벨의 하드웨어 제어 툴 개발
 - 전파강수계 통합 시스템 및 설치 백서 작성
 - 전파강수계 운영 매뉴얼 개발
- 전파강수계 네트워킹 및 통합 운영 기술 개발
 - Master-Slave 기반의 전파강수계 네트워크 구축 및 운영 기술 개발
 - 전파강수계 대용량 관측 데이터의 실시간 고속 처리 기술 개발
 - 네트워크 기반의 통합 강우, 강설, 바람장 산출 기법 개발
 - 지상우량계, 고고도 강우레이더 등과의 실시간 연계, 보정, 통합 기술 개발
- 전파강수계 시스템 신뢰도 평가 및 검증 기법 개발
- 데이터 전파, 공유, 서비스 플랫폼 연계 기술 제시
- 전파강수계 현장 적용을 위한 정책 기반, 표준 및 검인증 방안 제시
 - 전파강수계 보급을 위한 국내외 제도, 정책적 기반 구축
 - 기상, 수문관측장비로서 전파강수계 활용을 위한 표준, 검인증 방안 제시

4. 연구개발 추진방법

☐ 추진전략

- 도심, 산간 등 어떤 환경에서도 쉽게 설치, 운영할 수 있는 경량·컴팩트 시스템 개발

○ 기상, 수문, 재해 관련 사용자 요구에 부합하는 전파 강수계 시스템 개발 ○ 상용화 가능성 제고를 위해 국내 선행 기술 역량 최대한 활용 ○ 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립 ○ 현장 적용을 위해 관련 기관 등이 참여, 협의할 수 있는 기반을 마련함으로써 신기술 활용성 제고 □ 추진체계 ○ 본 과제에서는 전파강수계 H/W, S/W 담당 연구팀을 총괄하여 전파강수계 시스템을 설계하고, 개발 단계에서 긴밀한 협력을 통해 최종 성과 도출되도록 조정 필요 ○ 국내외 우량, 강설, 바람 관측 전문가 활용하여 개발 방향 수립, 사용자 니즈 파악 ○ 기상, 수문 사용자 기관의 전문가 자문 및 현장 적용을 위해 지속적인 협의 과정 수행
5. 최종성과물 □ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 시스템 시제품 □ 세부과제별 최종성과물 ○ Stand-alone 전파강수계 Prototype ○ System 제어/유지보수 Tool ○ 전파강수계 Interface, 운영 매뉴얼 등. ○ 전파강수계 시스템 신뢰도 검증 기법 ○ 전파강수계 도입, 운영을 위한 정책적, 제도적 가이드라인
6. 기대효과 및 파급효과 ○ 기존 AWS 대체 ○ 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 정확한 지상 면적 강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상 ○ 폭설의 공간분포에 대한 정확한 측정을 통해 대설 재해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 강풍으로 인한 피해 저감 ○ 전파강수계 현장 적용성 및 활용도 강화
7. 연구개발기간 및 소요예산 ○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2020. 6. (5년) ○ 총 정부출연금 : 2,000 백만원 이내 1차년도 : 300 백만원 2차년도 : 500 백만원 3차년도 : 500 백만원 4차년도 : 400 백만원 5차년도 : 300 백만원
8. 기타 ○

연구과제명	3-2. 전파강수계 검보정을 위한 실규모 실험 시설 구축·운영
1. 연구 목표	전파-강우 보정과 개발된 전파 강수계 시제품의 성능을 평가, 검증하기 위한 실규모 인공강수 실험 시설 구축, 운영과 실험 지원
	○ 전파강수계의 성능 평가를 위한 인공강수 실험장 시설 구축 및 운영 - 인공강수 실험장 시설 설계 및 구축 - 인공강수 시설을 이용한 전파강수계 보정 및 성능 평가 실험 지원 ○ 자연강수에 대한 성능 평가를 위한 현장 테스트베드 구축 및 운영 - 자연강수 실험용 현장 테스트베드 구축 - 현장 성능 평가 실험 지원 ○ 전파강수계 강우량 검보정을 위한 방법론 개발 및 적용
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국가과학기술위원회의 2012년 설문조사 결과 피해 우려가 가장 높은 자연재해 중 에 호우/홍수, 태풍/폭풍, 그리고 폭설이 각각 1, 2, 5위를 차지하나 재해 예방 및 대응 기술은 선진국 대비 78% 수준에 불과하여 재난재해 관련 기술 개발이 시급 ○ 강우량, 강설, 바람 등에 대한 기존 관측 기술은 공간적으로 산재한 관측소에서의 지점(point) 관측에 의존하고 있어 돌발적이고 국지적인 호우, 폭설 등의 재해에 대한 관측 및 대응이 곤란 - 홍수, 도심 침수 및 산사태 발생 등과 직결되는 우량의 경우 공간적 차별성에 비 해 관측소의 면적 대표성이 부족하여 예보 정확도 저하의 원인으로 작용 - 폭설은 겨울철 산간주민 고립, 시설물 피해, 간선도로 마비 등을 야기하나 관측 소가 적고 관측 정확성이 떨어지므로 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 - 태풍, 폭풍 등의 경우 해안지역을 중심으로 인명과 시설물 피해를 일으키는 주요 요인이 되고 있음 ○ 기상레이더의 경우 넓은 면적에 대한 강우, 강설, 바람의 공간 분포를 파악하는데 활용되고 있으나, 설치 및 운영비용이 크고, 주로 높은 고도에 집중되어 있어 저고 도의 실제 관측 장비로 활용하기에는 미흡함 ○ 급증하는 집중호우, 폭설, 태풍 등을 지상과 가까운 저고도에서 효율적으로 관측함 으로써 재해 예방에 기여할 수 있는 전자파 기반의 미래지향적인 첨단 기술 및 관 측 장비 개발 필요 □ 기술동향 ○ 2006년 현재 3,479개소가 운영되고 있는 우량관측소는 대부분 원통 구조의 전도 형 내지는 중량식 우량계가 사용되고 있음 ○ 2000년대 들어 강우입자를 분석하여 우량을 측정하는 디스트로미터가 보급되고 있으며, 광학 방식의 PARSIVEL과 전자파 방식의 POSS 등이 개발, 활용되고 있

으나 지점 측정 방식의 한계를 내포하고 있음

- 기상레이더의 경우 미국, 독일, 일본, 중국, 덴마크, 프랑스 등 선진국을 중심으로 개발, 제작되고 있음
 - 기상레이더는 S밴드급의 대형 레이더가 주종을 이루고 있으며, 최근 강우 측정 성능이 향상된 이중편파 기반의 X밴드급 레이더의 활용이 증가하는 추세임
 - 최근에는 국지적이고 돌발적인 기상 재해에 대처하기 위해 다수의 기상레이더를 복합적으로 활용하는 기술이 개발되고 있음
- 우리나라는 주로 외산 광역 기상레이더를 활용하는 기술이 많이 개발되고 있으며, 2011년 이후 X밴드급 기상레이더를 자체 개발하고 있으므로 전자파를 이용한 관측 기술이 축적되어 있음
- 방산 분야의 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기용 레이더 역시 국내 기술로 개발, 제작되고 있어 전자파를 이용한 강수계 개발을 위한 기초 기술이 확보

3. 연구개발 내용

- 전파 강수계의 성능 평가를 위한 테스트베드 시설 구축 및 운영
 - 국내외 인공강수 실험시설 현황 검토
 - 폭 20 m 이상의 실규모 인공강수 실험시설 설계 및 건설
 - 자연강수 재현을 위한 스프링클러 최적 운영 조건 도출
 - 강설현상 재현을 위한 최적 조건 도출
- 인공강수 시설을 이용한 전파 강수계 보정 및 검증 실험 지원
 - 전파 강수계의 반사파-강수 특성 간 보정 실험 지원
 - 강우 측정성능 평가 실험 실시
 - 강설 측정성능 평가 실험 실시
- 자연강수에 대한 성능 평가를 위한 현장 테스트베드 구축 및 운영
 - 기존 현장 테스트베드 벤치마킹
 - 현장 실험 시설 구축
 - 자연강수 및 바람장 실험 지원
- 전파강수계 강수량 검보정을 위한 방법론 개발 및 적용

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 인공강수 실험 시설은 전파 강수계 검증의 핵심 시설로서 국내외 선행 기술을 최대한 검토하여 실험에 적합하도록 전자파 특성을 고려한 구조물 설계, 시공
- 인공강수 실험의 기술적 타당성을 검토하기 위해 국내외 기존 인공강수시설에 대한 사전 검토
- 자연강수의 입자 특성에 대한 면밀한 분석을 통해 인공강수 재현
- 전파 강수계 시제품의 보정 및 검증 실험에 차질이 없도록 실험실 및 현장 테스트 베드 구축 일정 계획 수립 및 추진

☐ 추진체계 ○ 국내외 인공강수 실험시설 전문가 활용으로 실험 품질 제고 ○ 전파 강수계 H/W, S/W 담당 연구팀과의 긴밀한 협력을 통해 검증 실험 실시 ○ 기상청 등 현장 테스트베드 운영 기관과의 협조를 통해 현장 테스트베드 설계 및 운영에 활용
5. 최종성과물
☐ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 시스템 시제품 ☐ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파 강수계 실험을 위한 실규모 인공강수 실험 시설 ○ 자연강우 실험을 위한 현장 테스트베드 ○ 전파강수계 검보정 기법 및 보고서
6. 기대효과 및 파급효과
○ 기존 AWS 대체 ○ 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 정확한 지상 면적 강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상 ○ 폭설의 공간 분포에 대한 정확한 측정을 통해 대설 재해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 강풍으로 인한 피해 저감
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2020. 6. (5년) ○ 총 정부출연금 : 5,100 백만원 이내 1차년도 : 1,000 백만원 2차년도 : 1,500 백만원 3차년도 : 1,500 백만원 4차년도 : 600 백만원 5차년도 : 500 백만원
8. 기타
○

연구과제명	3-3. 전파강수계 상용화
1. 연구 목표	전파강수계 시제품을 바탕으로 상용 제품 수준까지 개선, 실용화
	○ 사용자 편의를 고려한 전파강수계 상용 시스템 개발 - 방수, 방진을 고려한 하드웨어 및 하우징, 케이블 등 개발 - 전파강수계 하드웨어 모듈화 및 최적화 - 전파 신호 품질관리 및 강수 산출 알고리즘 최적화 및 튜닝 - 네트워크 시스템 최적화
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국가과학기술위원회의 2012년 설문조사 결과 피해 우려가 가장 높은 자연재해 중 에 호우/홍수, 태풍/폭풍, 그리고 폭설이 각각 1, 2, 5위를 차지하나 재해 예방 및 대응 기술은 선진국 대비 78% 수준에 불과하여 재난재해 관련 기술 개발이 시급 ○ 강우량, 강설, 바람 등에 대한 기존 관측 기술은 공간적으로 산재한 관측소에서의 지점(point) 관측에 의존하고 있어 돌발적이고 국지적인 호우, 폭설 등의 재해에 대한 관측 및 대응이 곤란 - 홍수, 도심 침수 및 산사태 발생 등과 직결되는 우량의 경우 공간적 차별성에 비 해 관측소의 면적 대표성이 부족하여 예보 정확도 저하의 원인으로 작용 - 폭설은 겨울철 산간주민 고립, 시설물 피해, 간선도로 마비 등을 야기하나 관측 소가 적고 관측 정확성이 떨어지므로 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 - 태풍, 폭풍 등의 경우 해안지역을 중심으로 인명과 시설물 피해를 일으키는 주요 요인이 되고 있음 ○ 기상레이더의 경우 넓은 면적에 대한 강우, 강설, 바람의 공간 분포를 파악하는데 활용되고 있으나, 설치 및 운영비용이 크고, 주로 높은 고도에 집중되어 있어 저고 도의 실제 관측 장비로 활용하기에는 미흡함 ○ 급증하는 집중호우, 폭설, 태풍 등을 지상과 가까운 저고도에서 효율적으로 관측함 으로써 재해 예방에 기여할 수 있는 전자파 기반의 미래지향적인 첨단 기술 및 관 측 장비 개발 필요 □ 기술동향 ○ 2006년 현재 3,479개소가 운영되고 있는 우량관측소는 대부분 원통 구조의 전도 형 내지는 중량식 우량계가 사용되고 있음 ○ 2000년대 들어 강우입자를 분석하여 우량을 측정하는 디스트로미터가 보급되고 있으며, 광학 방식의 PARSIVEL과 전자파 방식의 POSS 등이 개발, 활용되고 있 으나 지점 측정 방식의 한계를 내포하고 있음 ○ 기상레이더의 경우 미국, 독일, 일본, 중국, 덴마크, 프랑스 등 선진국을 중심으로

개발, 제작되고 있음 - 기상레이더는 S밴드급의 대형 레이더가 주종을 이루고 있으며, 최근 강우 측정 성능이 향상된 이중편파 기반의 X밴드급 레이더의 활용이 증가하는 추세임 - 최근에는 국지적이고 돌발적인 기상 재해에 대처하기 위해 다수의 기상레이더를 복합적으로 활용하는 기술이 개발되고 있음 ○ 우리나라는 주로 외산 광역 기상레이더를 활용하는 기술이 많이 개발되고 있으며, 2011년 이후 X밴드급 기상레이더를 자체 개발하고 있으므로 전자파를 이용한 관측 기술이 축적되어 있음 ○ 방산 분야의 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기용 레이더 역시 국내 기술로 개발, 제작되고 있어 전자파를 이용한 강수계 개발을 위한 기초 기술 확보
3. 연구개발 내용
○ 사용자 편의성을 고려한 시스템 재구조화 - 전파강수계 하드웨어 모듈화 및 최적화 - 전파 신호 품질관리 및 강수 산출 알고리즘 최적화 및 튜닝 - 네트워크 시스템 최적화 ○ 양산용 시스템을 위한 내외관 설계 및 제작 - 방수, 방진을 고려한 하드웨어 및 하우징, 케이블 등 설계, 디자인 - 내외부 하드웨어 가공 및 제작
4. 연구개발 추진방법
□ 추진전략 ○ 전파강수계 시제품을 기초로 규격, 형상, 사용 편의성 등을 고려한 최종 양산품을 설계하고 이에 대해 제품화를 추진 ○ 시제품 단계에서 불필요한 장비, 자료 처리 단계를 최대한 간소화하고 시스템 및 데이터 전송과 처리를 최적화하도록 재구성 ○ 하드웨어, 소프트웨어 분야 개발을 담당한 연구진들과의 충분한 협조를 통해 양산 시스템에 적합한 방식을 도출하여 개발 ○ 실규모 실험장에서의 연속 테스트를 수행하고, 내구성, 내습성, 내오염성 등 양산 제품에 필수적인 테스트 항목에 대한 검증을 실시 ○ 시제품 및 기존 관측 기기들과의 동시 비교(intercomparison) 측정을 수행할 수 있는 테스트베드를 통해 성능 검증 □ 추진체계 ○ 기술을 실용화하고 제품을 양산할 수 있는 건실한 업체의 참여를 통해 과제 추진 ○ 1~3차년도 요소 기술을 개발한 연구진들과의 협력 및 실험, 검증을 통해 상용품 성능 확보 ○ 외관, 방수, 방진, 내구성 설계를 위해 최종 수요자 요구사항을 충분히 반영할 수

있도록 자문단 및 평가단 구성 운영
5. 최종성과물
☐ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 상용품
☐ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파강수계 상용품 설계서 ○ 성능 검증 및 보증 자료
6. 기대효과 및 파급효과
○ 기존 AWS 대체 ○ 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 정확한 지상 면적 강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상 ○ 폭설의 공간 분포에 대한 정확한 측정을 통해 대설 재해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 강풍으로 인한 피해 저감
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2018. 6. ~ 2020. 6. (2년) ○ 총 정부출연금 : 1,500 백만원 이내 4차년도 : 800 백만원 5차년도 : 700 백만원
8. 기타
○

6.2. 2안(총 6년 기준)

과제명	(연구단) 악천후 재해 감시를 위한 전파강수계 시스템 개발
1. 연구 목표	강우, 강설, 바람장을 동시 측정할 수 있는 다목적 전파강수계 개발 ○ 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능한 신개념의 계측기로서 전파강수계 개발 - 전파강수계 시스템 설계 및 통합 운영 툴 개발 - 전파강수계 H/W 시스템 및 신호처리 플랫폼 개발 - 전파 강수계 운영, 표출 S/W 개발 - 고정확도 강수 측정을 위한 강수정보 산출 S/W 개발 - 전파강수계의 보정, 성능 검증을 위한 테스트베드 구축 및 운영
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국가과학기술위원회의 2012년 설문조사 결과 피해 우려가 가장 높은 자연재해 중 에 호우/홍수, 태풍/폭풍, 그리고 폭설이 각각 1, 2, 5위를 차지하나 재해 예방 및 대응 기술은 선진국 대비 78% 수준에 불과하여 재난재해 관련 기술 개발이 시급 ○ 강우량, 강설, 바람 등에 대한 기존 관측 기술은 공간적으로 산재한 관측소에서의 지점(point) 관측에 의존하고 있어 돌발적이고 국지적인 호우, 폭설 등의 재해에 대한 관측 및 대응이 곤란 - 홍수, 도심 침수 및 산사태 발생 등과 직결되는 우량의 경우 공간적 차별성에 비해 관측소의 면적 대표성이 부족하여 예보 정확도 저하의 원인으로 작용 - 폭설은 겨울철 산간주민 고립, 시설물 피해, 간선도로 마비 등을 야기하나 관측소가 적고 관측 정확성이 떨어지므로 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 - 태풍, 폭풍 등의 경우 해안지역을 중심으로 인명과 시설물 피해를 일으키는 주요 요인이 되고 있음 ○ 기상레이더의 경우 넓은 면적에 대한 강우, 강설, 바람의 공간 분포를 파악하는데 활용되고 있으나, 설치 및 운영비용이 크고, 주로 높은 고도에 집중되어 있어 저고도의 실제 관측 장비로 활용하기에는 미흡함 ○ 급증하는 집중호우, 폭설, 태풍 등을 지상과 가까운 저고도에서 효율적으로 관측함으로써 재해 예방에 기여할 수 있는 전자파 기반의 미래지향적인 첨단 기술 및 관측 장비 개발 필요 □ 기술동향 ○ 2013년 현재 3,827개소가 운영되고 있는 지상우량관측소는 대부분 원통 구조의 전도형 내지는 중량식 우량계가 사용되고 있음

- 2000년대 들어 강우입자를 분석하여 우량을 측정하는 디스트로미터가 보급되고 있으며, 광학 방식의 PARSIVEL과 전자파 방식의 POSS 등이 개발, 활용되고 있으나 지점 측정 방식의 한계를 내포하고 있음
- 기상레이더의 경우 미국, 독일, 일본, 중국, 덴마크, 프랑스 등 선진국을 중심으로 개발, 제작되고 있음
 - 기상레이더는 S밴드급의 대형 레이더가 주종을 이루고 있으며, 최근 강우 측정 성능이 향상된 이중편파 기반의 X밴드급 레이더의 활용이 증가하는 추세임
 - 최근에는 국지적이고 돌발적인 기상 재해에 대처하기 위해 다수의 기상레이더를 복합적으로 활용하는 기술이 개발되고 있음
- 우리나라는 주로 외산 광역 기상레이더를 활용하는 기술이 많이 개발되고 있으며, 2011년 이후 X밴드급 기상레이더를 자체 개발하고 있으므로 전자파를 이용한 관측 기술이 축적되어 있음
- 방산 분야의 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공용 레이더 역시 국내 기술로 개발, 제작되고 있어 전자파를 이용한 강수계 개발을 위한 기초 기술이 확보되어 있음

3. 연구개발 내용

- 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능한 신개념의 계측기로서 전파강수계 개발
- 1세부 과제 : 전파강수계 H/W 시스템 및 신호처리 플랫폼 개발
 - 전파강수계의 RF 시스템 설계 및 개발
 - 전파강수계 RF 시스템 제어 및 신호처리 플랫폼 설계 및 개발
- 2세부 과제 : 전파강수계 운영 및 분석 S/W 기술 개발
 - 전파강수계 운영, 표출, DB 관리 S/W 개발
 - 전파강수계 품질관리 및 강수정보 산출 기술 개발
- 3세부 과제 : 전파강수계 시스템 통합 및 검증 기술 개발
 - 전파강수계 시스템 설계 및 통합 운영 툴 개발
 - 강수 측정 성능 검증을 위한 테스트베드 시설 구축 및 운영
 - 전파강수계 실용화 및 상용제품 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 인공강수 실험 시설은 전파 강수계 검증의 핵심 시설로서 국내외 선행 기술을 최대한 검토하여 실험에 적합하도록 전자파 특성을 고려한 구조물 설계, 시공
- 인공강수 실험의 기술적 타당성을 검토하기 위해 국내외 기존 인공강수시설에 대한 사전 검토
- 자연강수의 입자 특성에 대한 면밀한 분석을 통해 인공강수 재현
- 전파 강수계 시제품의 보정 및 검증 실험에 차질이 없도록 실험실 및 현장 테스트

베드 구축 일정 계획 수립 및 추진 ○ 도심, 산간지 등 어떤 환경에서도 쉽게 설치, 운영할 수 있는 경량, 컴팩트한 시스템 개발 ○ 기상, 수문, 재해 관련 사용자 요구에 부합하는 전파강수계 시스템 개발 ○ 하드웨어, 소프트웨어 최적 성능 발휘를 위한 산학연 협력 체계 구축 ○ 실규모 인공강수 실험을 위한 테스트베드를 구축, 운영함으로써 성능 검증에 기반한 전파강수계 시스템 개발 ○ 상용화 가능성 제고를 위해 국내 선행 기술 역량 최대한 활용 ○ 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립 □ 추진체계 ○ 기상청 등 현장 테스트베드 운영 기관과의 협조를 통해 현장 테스트베드 설계 및 운영에 활용
5. 최종성과물 ○ 전파강수계 시스템 시제품
6. 기대효과 및 파급효과 ○ 기존 자동기상관측장비(AWS) 대체 ○ 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 정확한 지상 면적 강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상 ○ 폭설의 공간분포에 대한 정확한 측정을 통해 폭설 재해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 강풍으로 인한 시설물, 해안지대 피해 저감
7. 연구개발기간 및 소요예산 ○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2021. 6. (6년, 1단계 3년+2단계 3년) ○ 총 정부출연금 : 15,000 백만원 이내 1단계 1차년도 : 500 백만원 2차년도 : 2,000 백만원 3차년도 : 2,500 백만원 2단계 4차년도 : 3,000 백만원 5차년도 : 4,000 백만원 6차년도 : 3,000 백만원
8. 기타 ○

연구과제명	1-1. 전파강수계 RF 시스템 개발
1. 연구 목표	강수, 강설, 바람장을 동시에 정밀 측정할 수 있는 신개념 전파강수계의 RF 시스템 개발
○ 전파강수계 RF 시스템 설계 요구사항 분석 - 주파수 최적 선정 및 주파수에 따른 RF 시스템 분석 - 전파강수계 RF 시스템 세부 설계 ○ 전파강수계 운영방식에 따른 배열 안테나 및 스캔방식 설계 및 개발 - 단일-다중 빔의 배열 안테나 설계 및 개발 - 최적의 수평, 수직 스캔 방식의 안테나 설계 개발 ○ 소형, 경량의 전파강수계 송신기-수신기 RF 설계 및 개발 - RF 요구사항에 부합하는 송신기 및 수신기 개발 - 전파 강수계 RF H/W 및 제어 플랫폼과의 인터페이스 설계 개발	
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
□ 연구개발의 필요성 ○ 국지성 집중호우에 의한 도심, 중소하천 및 계곡 주변의 침수와 산사태 등 재난이 발생하여 노약자 등을 포함한 인명과 재산 피해 급증 ○ 현재 강우량 측정은 원통형 우량계를 주로 이용하므로 면적 대표성이 부족하고, 바람, 건물, 나무 등 각종 주변 환경의 영향으로 인해 강우량 측정의 정확도가 떨어지고 있음 ○ 우량 측정의 정확도 향상은 기상 관측 측면뿐만 아니라 도심 홍수 및 산사태 등을 예측하는데도 필수적이며, 홍수 예보 정확도 향상에 결정적임 ○ 강설의 경우 폭설로 인한 고립, 시설물 파손 등 인명 및 재산 피해가 발생하고, 강설시 도로 교통 및 보행자 관련 사고 등이 발생하는 등 대비가 필요하나 지상 적설량 관측은 바람 등의 영향으로 부정확하여 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 ○ 기존 기상관측소 및 AWS의 경우 강수 및 바람에 대해 지점 관측만 시행되고 있어 기상 요소의 공간적 분포를 파악할 수 없으며, 개별 센서에 의존함에 따라 비용이 상승하고, 유지관리가 곤란 ○ 기존의 기상레이더의 경우 대면적에 대한 강수, 바람장 분포를 파악할 수 있으나 설치 및 유지관리 비용이 비싸고, 정량 관측 역할에는 미흡함 ○ 우량, 강설, 바람장을 원통형의 원점 측정 방식이 아닌 광역 측정을 할 수 있는 전자파를 이용한 측정방식으로 새로운 개념의 전파강수계 개발로 신융합 산업 창출 ○ 전자파를 이용할 경우 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능함에 따라 미래지향적인 신개념의 기상 관측 장비의 개발은 새로운 관측 장비 시장을 창출할 수 있음	

□ 기술동향

- 국내 강우레이더는 기상청, 국토부 등이 수입한 외산의 광역(100~250km 직경) 레이더로서 기상 예보나 실태분석에 주로 활용
- 2006년 현재 3,479개소 우량관측소는 도심 위주로 편중 배치되어 일관성 있는 강우자료 확보 곤란 및 수자원관리 한계
- 국내에서 현재 강우 측정목적의 레이더 센서의 개발 및 이와 관련된 소형화 및 자립형 기술개발은 레이더 강우의 분석·응용 기술에 비해 상대적으로 개발이 미진
- 군사 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기용 레이더 센서는 국내 기술로 개발, 제조되고 있음
- 미국, 독일, 덴마크, 프랑스 등에서 기상 레이더 센서가 제조되고 있으며, 국지형은 20~60km, 광역형은 100~250km 등이 있으며, 공간 강우의 일치도를 높이려는 노력이 계속되고 있으나 지상 강우량계를 대체하는 수준에는 아직 미치지 못하고 있음

3. 연구개발 내용

- 전파강수계 RF 시스템 설계 요구사항 분석
 - 주파수 최적 선정 및 주파수에 따른 RF 시스템 분석
 - 전파강수계 RF 시스템 세부 설계
- 측정반경 1 km 이내 강우, 강설, 바람장을 동시에 측정할 수 있는 전파 강수계 배열 안테나 및 스캔방식 설계 및 개발
 - 단일-다중 빔의 배열 안테나 설계 및 개발
 - 최적의 수평, 수직 스캔 방식의 안테나 설계 개발
- 소형, 경량의 전파강수계 송신기-수신기 RF 설계 및 개발
 - RF 요구사항에 부합하는 송신기 및 수신기 개발
 - 전파 강수계 RF H/W 및 제어 플랫폼과의 인터페이스 설계 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- IT 기술과 접목한 사용자 요구에 부합하는 신개념 융합형 전파강수계 시스템 개발
- 개발초기부터 국내는 물론 해외 수출 전략형으로 RF 시스템 개발을 위주로 하고 국내 보유 선행 기술 역량을 최대한 활용
- 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립

□ 추진체계

- 센서, 통신, S/W, 실험을 담당할 참여기관간의 긴밀한 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조체계 구축

○ 국내외 초음파 관련 전문가 활용 ○ 산학연 공동연구를 위한 협업체계 구축 및 활용
5. 최종성과물
☐ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 RF 시제품
☐ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파강수계용 단일, 다중 빔의 배열 안테나 시제품 ○ 전파강수계 RF 송수신기 시제품
6. 기대효과 및 파급효과
○ 세계 최초의 IT 기술을 융합한 전파강수계 기술 개발 ○ 수출목적 기존 AWS를 대체할 수 있는 다기능, 고효율, 저가격 전파강수계 상용화 ○ 국내 도로의 강우, 강설 예보를 위한 전파강수계 시제품 상품화
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2021. 6. (6년, 1단계 3년+2단계 3년) ○ 총 정부출연금 : 2,320 백만원 이내 1단계 1차년도 : 120 백만원 2차년도 : 500 백만원 3차년도 : 550 백만원 2단계 4차년도 : 300 백만원 5차년도 : 500 백만원 6차년도 : 350 백만원
8. 기타
○

연구과제명	1-2. 전파강수계 신호처리 플랫폼 개발
1. 연구 목표	전파강수계 RF 시스템의 제어 및 신호처리 플랫폼 개발 ○ 전파강수계 RF 시스템 제어 및 수신신호 처리용 FPGA 플랫폼 기술 개발 - 전파강수계 실시간 제어 및 신호처리 위한 FPGA 플랫폼 요구사항 분석, 설계 - RF 시스템과의 인터페이스 요구사항 분석 및 설계 - FPGA 플랫폼 H/W 및 구동 S/W 세부 설계 ○ FPGA 플랫폼 H/W 설계, 개발 - 강수계용 플랫폼 아키텍처 설계 - FPGA H/W 설계 및 제작 - FPGA 구동 S/W 설계 개발 - 외부 인터페이스 Ethernet, USB3.0, UART 설계 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국지성 집중호우에 의한 도심, 중소하천 및 계곡 주변의 침수와 산사태 등 재난이 발생하여 노약자 등을 포함한 인명과 재산 피해 급증 ○ 현재 강수량 측정은 원통형 우량계를 주로 이용하므로 면적대표성이 부족하고, 바람, 건물, 나무 등 주변 환경의 영향으로 인해 강수량 측정 정확도가 떨어지고 있음 ○ 우량 측정의 정확도 향상은 기상 관측 측면뿐만 아니라 도심 홍수 및 산사태 등을 예측하는데도 필수적이며, 홍수 예보 정확도 향상에 결정적임 ○ 강설의 경우 폭설로 인한 고립, 시설물 파손 등 인명 및 재산 피해가 발생하고, 강설시 도로 교통 및 보행자 관련 사고 등이 발생하는 등 대비가 필요하나 지상 적설량 관측은 바람 등의 영향으로 부정확하여 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 ○ 기존 기상관측소 및 AWS의 경우 강수 및 바람에 대해 지점 관측만 시행되고 있어 기상 요소의 공간적 분포를 파악할 수 없으며, 개별 센서에 의존함에 따라 비용이 상승하고, 유지관리가 곤란 ○ 기존의 기상레이더의 경우 대면적에 대한 강수, 바람장 분포를 파악할 수 있으나 설치 및 유지관리 비용이 비싸고, 정량 관측 역할에는 미흡함 ○ 우량, 강설, 바람장을 원통형의 원점 측정 방식이 아닌 광역 측정을 할 수 있는 전자파를 이용한 측정방식으로 새로운 개념의 전파강수계 개발로 신융합 산업 창출 ○ 전자파를 이용할 경우 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능함에 따라 미래지향적인 신개념의 기상 관측 장비의 개발은 새로운 관측 장비 시장을 창출할 수 있음 □ 기술동향 ○ 국내 강우레이더는 기상청, 국토부 등이 수입한 외산의 광역(100~250km 직경)

레이더로서 기상 예보나 실황분석에 주로 활용

- 2006년 현재 3,479개소 우량관측소는 도심 위주로 편중 배치되어 일관성 있는 강우자료 확보 곤란 및 수자원관리 한계
- 국내에서 현재 강우를 목적으로한 레이더 센서의 개발 및 이와 관련된 소형화 및 자립형 기술 개발은 레이더 강우의 분석, 응용 기술에 비해 상대적으로 개발이 미진한 실정임
- 미국, 독일, 덴마크, 프랑스 등에서 기상 레이더 센서가 제조되고 있으며, 국지형은 20~60km, 광역형은 100~250km 등이 있으며, 공간 강우의 일치도를 높이려는 노력이 계속되고 있으나 지상 강우량계를 대체하는 수준에는 아직 미치지 못하고 있음

3. 연구개발 내용

- 전파강수계 RF 시스템 실시간 제어 및 신호처리용 플랫폼 기술 개발
 - 전파강수계 실시간 제어 및 신호처리 위한 FPGA 플랫폼 요구사항 분석, 설계
 - RF 시스템과의 인터페이스 요구사항 분석 및 설계
 - FPGA 플랫폼 H/W 및 구동 S/W 세부 설계
- 전파강수계 RF 시스템에서 측정하는 반경 1 km 이내 강우, 강설, 바람장 자료를 1분마다 산출할 수 있는 성능을 보유한 신호처리 FPGA 플랫폼 H/W, 및 구동 S/W 개발 (알고리즘은 미포함)
 - 강수계용 플랫폼 아키텍처 설계
 - FPGA H/W 설계 및 제작
 - FPGA 구동 S/W 설계 개발
 - 외부 인터페이스 Ethernet, USB3.0, UART 설계 개발
- 주요기능
 - 우량 산출 : 0.1~150 mm/hr (0.1 mm 정밀도)
 - 강설 산출 : 0.1~20 cm/hr (0.1 mm 정밀도)
 - 바람장 산출 : 0.5~50 m/s ($u, v \leq 0.2$ m/s, $w_p \leq 2^\circ$)

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- IT 기술과 접목한 사용자 요구에 부합하는 새로운 형태의 융합형 전파강수계 RF 시스템 개발을 위한 custom designed 된 FPGA 플랫폼 개발로 소형, 다기능, 가격 경쟁력을 가지는 전파 강수계 개발로 시장 창출
- 개발초기부터 국내는 물론 해외 수출 전략형의 전파강수계를 위한 고성능 실시간 제어 및 신호 처리계로 RF 시스템 성능을 최대한 발휘할 수 있도록 국내 보유 선행 기술 역량을 최대한 활용
- 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연

구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립 □ 추진체계 ○ 본 과제는 RF 시스템과 연관된 내용이므로 RF 개발 기관간의 긴밀한 협력을 통하여 과제간 연계성 확보 및 긴밀한 협력 체계를 구축하여 수행 ○ 국내외 기상 레이더 및 관련 신호처리 플랫폼 개발 전문가를 적극 활용 ○ 산학연 공동연구를 위한 협업체계 구축 및 활용
5. 최종성과물
□ 주요 최종성과물 ○ 전파 강수계 RF 시스템과 연동되는 custom 설계 제작된 FPGA 플랫폼 H/W 및 구동, 제어, 통신 인터페이스 S/W 제품 □ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파 강수계용 RF 시스템 제어 및 수신 신호 처리용 FPGA 플랫폼 H/W 시제품 ○ FPGA 플랫폼 구동 S/W 및 통신 interface
6. 기대효과 및 파급효과
○ 세계 최초의 IT 기술을 융합한 전파강수계 기술 개발 ○ 수출 목적의 기존의 AWS를 대체할 수 있는 다기능의 고효율, 저가격의 전파 강수계 상용화 ○ 국내 도로의 강우, 강설 예보를 위한 전파강수계 시제품 상품화
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2021. 6. (6년, 1단계 3년+2단계 3년) ○ 총 정부출연금 : 1,480 백만원 이내 1단계 1차년도 : 80 백만원 2차년도 : 300 백만원 3차년도 : 350 백만원 2단계 4차년도 : 200 백만원 5차년도 : 300 백만원 6차년도 : 250 백만원
8. 기타
○

연구과제명	2-1. 전파강수계 시스템 운영 및 표출 시스템 개발
1. 연구 목표	전파강수계의 제어, 운영을 위한 사용자 시스템 개발
○ 전파강수계 운영 소프트웨어 개발 - 송수신 및 신호처리 기술을 통한 전파 강수계 운영 기술 개발 ○ 전파강수계 표출 소프트웨어 개발 - 강수 산출 알고리즘과 연계된 표출 기술 개발 - 다양한 전파 강수 산출물 생성 및 표출 기술 개발 ○ DB 관리 소프트웨어 개발 - 전파 강수 자료의 정량적 강수 추정을 위한 최적 DB 기술 개발 - 사용자 중심의 자료 처리 및 통합 관리 기술 개발	
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
□ 연구개발의 필요성 ○ 국지성 집중호우에 의한 도심, 중소하천 및 계곡 주변의 침수와 산사태 등 재난이 발생하여 노약자 등을 포함한 인명과 재산 피해 급증 ○ 현재 강수량 측정은 원통형 우량계를 주로 이용하므로 면적 대표성이 부족하고, 바람, 건물, 나무 등 각종 주변 환경의 영향으로 인해 강수량 측정의 정확도가 떨어지고 있음 ○ 우량 측정의 정확도 향상은 기상 관측 측면뿐만 아니라 도심 홍수 및 산사태 등을 예측하는데도 필수적이며, 홍수 예보 정확도 향상에 결정적임 ○ 강설의 경우 폭설로 인한 고립, 시설물 파손 등 인명 및 재산 피해가 발생하고, 강설시 도로 교통 및 보행자 관련 사고 등이 발생하는 등 대비가 필요하나 지상 적설량 관측은 바람 등의 영향으로 부정확하여 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 ○ 강수와 동반하여 발생하는 태풍, 폭풍 등의 경우 시설물 파손 등의 피해를 유발 ○ 기존 기상관측소 및 AWS의 경우 강수 및 바람에 대해 지점 관측만 시행되고 있어 기상 요소의 공간적 분포를 파악할 수 없으며, 개별 센서에 의존함에 따라 비용이 상승하고, 유지관리가 곤란 ○ 기존의 기상레이더의 경우 대면적에 대한 강수, 바람장 분포를 파악할 수 있으나 설치 및 유지관리 비용이 비싸고, 정량 관측 역할에는 미흡함 ○ 전자파를 이용할 경우 강우, 강설, 바람장의 동시 측정이 가능함에 따라 미래지향적인 신개념의 기상 관측 장비의 개발은 새로운 관측 장비 시장을 창출할 수 있음 □ 기술동향 ○ 국내 강우레이더는 기상청, 국토부 등이 수입한 외산의 광역(100~250km 직경) 레이더로서 기상 예보나 실태분석에 주로 활용	

- 2006년 현재 3,479개소 우량관측소는 도심 위주로 편중 배치되어 일관성 있는 강우자료 확보 곤란 및 수자원관리 한계
- 국내에서 현재 강우를 목적으로한 레이더 센서의 개발 및 이와 관련된 소형화 및 자립형 기술 개발은 레이더 강우의 분석, 응용 기술에 비해 상대적으로 개발이 미진한 실정임
- 군사 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기용 레이더 센서는 국내 기술로 개발, 제조되고 있음
- 미국, 독일, 덴마크, 프랑스 등에서 기상 레이더 센서가 제조되고 있으며, 국지형은 20~60km, 광역형은 100~250km 등이 있으며, 공간 강우의 일치도를 높이려는 노력이 계속되고 있으나 지상 강우량계를 대체하는 수준에는 아직 미치지 못하고 있음

3. 연구개발 내용

- 전파강수계 운영 소프트웨어 개발
 - 송수신 및 신호처리 기술을 통한 전파 강수계 운영 기술 개발
 - RF 시스템 파라미터 설정 및 제어
 - 신호처리 방식에 따른 설정 및 제어 (FFT/DFT, IIR 등)
 - 운영 모드에 따른 설정 및 제어 (수평, 수직, 볼륨 등)
 - 편파 모드에 따른 설정 및 제어 (H-H, H-V, V-H, V-V 등)
 - 장치별 상태 정보(BITE) 표출
- 전파강수계 표출 소프트웨어 개발
 - 강수 산출 알고리즘과 연계된 표출 기술 개발
 - 강수 변수(이중편파) 산출 정보 표출
 - GIS 기반의 스캔 방식별 실시간 표출(수평(PPI), 수직(RHI), 고정(Point))
 - 다양한 전파 강수 산출물 생성 및 표출 기술 개발
 - 편파 모드에 따른 전파 강수 산출물 생성 및 표출
 - 강우 및 강설에 따른 산출물 생성 및 표출
 - 대기수상체 산출물 생성 및 표출
- DB 관리 소프트웨어 개발
 - 전파 강수 자료의 정량적 강수 추정을 위한 최적 DB 기술 개발
 - 이중편파에 따른 정량적 강수 추정 알고리즘 적용
 - 사용자 중심의 자료 처리 및 통합 관리 기술 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 현장 적용성 제고를 위해 사용자 요구에 부합하는 전파 강수계 시스템 개발
- 상용화 가능성 제고를 위해 국내 선행 기술 역량 최대한 활용

○ 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립
□ 추진체계 ○ 센서, 통신, S/W, 실험을 담당한 참여기관간의 긴밀한 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 국내외 초음파 관련 전문가 활용 ○ 산학연 공동연구를 위한 협업체계 구축 및 활용
5. 최종성과물
□ 주요 최종성과물 ○ 전파 강수계 시제품 □ 세부과제별 최종성과물 ○ 2-1. 전파 강수계 운영표출소프트웨어 1식
6. 기대효과 및 파급효과
○ 세계 최초의 IT 기술을 융합한 전파강수계 기술 개발 ○ 수출 목적의 기존의 AWS를 대체할 수 있는 다기능의 고효율, 저가격의 전파 강수계 상용화 ○ 국내 도로의 강우, 강설 예보를 위한 전파강수계 시제품 상품화
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2021. 6. (6년, 1단계 3년+2단계 3년) ○ 총 정부출연금 : 1,420 백만원 이내 1단계 1차년도 : 70 백만원 2차년도 : 250 백만원 3차년도 : 400 백만원 2단계 4차년도 : 200 백만원 5차년도 : 250 백만원 6차년도 : 250 백만원
8. 기타
○ 알고리즘과 연계된 소프트웨어 개발 - 신호처리 알고리즘과 연계된 운영 소프트웨어 개발 - 강수 산출 알고리즘과 연계된 표출 소프트웨어 개발

연구과제명	2-2. 전파강수계의 수문기상정보 산출을 위한 품질관리 및 분석 기술 개발
1. 연구 목표	전파강수계 신호 자료의 품질 관리 및 강수 정보 생성을 위한 자료 처리 알고리즘 개발
	○ 전파강수계에서 생산되는 1차 산출자료(모멘트자료)를 이용하여 수문기상정보 산출 - 전파우량계를 이용하여 정확도 및 시, 공간 해상도가 높고 면적 강우 및 강설정보를 생산할 수 있는 알고리즘 개발 - 전파강수계의 전파 신호를 이용하여 강수 이외의 바람 정보를 산출할 수 있는 기술 개발 ○ 전파강수계로부터 양질의 자료 생산을 위하여 관측기법, 품질 임계변수 등을 최적화하는 품질관리 기법 개발 - 양질의 자료 생산을 위한 전파강수계로 최적의 품질관리기법 개발 및 최적화 - 최적의 모멘트 자료 생산을 위한 품질임계변수 최적화
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
	□ 연구개발의 필요성 ○ 현재 사용 중인 우량계는 대부분 되(bucket)을 이용하기 때문에 되의 크기에 따라 자료의 해상도 및 정확도가 결정됨. 또한 물을 되에 받아서 직접 측정하기 때문에 이 과정에서 오차가 발생함. ○ 되에 포획되는 강수의 정확도는 포획률(catio ratio)에 의존하며 바람에 의하여 1보다 작은 포획률을 가짐. 또한 강설의 경우 바람의 영향이 더 강하게 작용하여 포획률은 더 작아짐. 따라서 현업 적용 중인 대부분의 강수계는 항상 적은 량의 강수량을 제공하며 이에 대한 보정이 필요한 실정임. ○ 강수를 포획하는 포집구(orifice)는 대부분 50cm 이하이기 때문에 강우량계의 관측값은 공간 대표성이 낮을 뿐만 아니라 면적 강우를 제공하지 못하여 그 활용에 한계가 존재함. ○ 강설의 관측은 1) 지상에 떨어진 눈의 양을 적설척 또는 광학기계를 이용하여 그 두께를 측정하거나 2) 포집구에 떨어진 강설의 무게 또는 물의 양으로 환산한 눈의 양을 측정. 따라서 두 관측 모두 바람, 지형, 온도 등의 영향을 크게 받음. 따라서 이러한 영향을 최소화할 수 있는 non-catchment 형태의 강수계 개발 필요. ○ 대부분의 우량계 또는 강수계는 강수의 관측만이 가능. 그러나 전자기파를 이용할 경우 강수뿐만 아니라 강수의 이동에 의한 전자파의 도플러편이값을 관측할 수 있음. 따라서 이를 이용하여 강수뿐만 아니라 바람을 동시에 관측할 수 있는 전파강수계의 개발이 필요함. ○ 이러한 전파우량계의 활용성을 향상하고 현업적용을 위해서는 양질의 자료생산이 필수적임. 따라서 전파우량계에 적합한 품질관리기법의 개발이 필요함.

- 전파우량계에서 생산된 양질의 자료를 이용하여 고정확도, 고해상도의 면적 강우량을 생산하고 전파정보를 이용한 바람산출기법을 개발하여 전파강수계의 활용성을 증대할 필요성

□ 기술동향

- 국내에서 운용중인 3천개 이상의 우량계망에서는 대부분 되(bucket)를 이용하여 강우 관측을 수행중이며 이로 인하여 시간 분해능이 떨어지고 공간 대표성이 적음.
- 현재 국내에서 운용중인 강설관측이 가능한 강수계(무계식 강수계)는 기상청에서 운영 중인 60여개소가 전부임.
- 현재 국내에서는 non-catchment 형태의 강수계의 개발은 전무함.
- 전 세계적으로 광학의 원리를 이용한 강수계(2차원 광학우적계, Parsivel, ORG, 등)가 개발되어 활용 중임.
- 1960년에 레이더 기술의 발달로 레이더를 연직지향으로 관측하여 우적크기분포 또는 강수값을 산출하는 기법이 개발됨. 이러한 기술이 연직공기속도의 관측이 가능한 장파장 윈드프로파일러에 적용됨.
- 레이더를 이용한 우적계로는 MRR, POSS, VertiX 등이 개발되어 활용되고 있음. POSS의 경우 캐나다 공항에 100개 이상이 설치되어 강수관측에 활용되었음. 이러한 레이더 원리의 우적계는 한 지점에서 강수계를 관측하기 때문에 면적강우 제공에는 한계

3. 연구개발 내용

- 전파강수계를 이용한 강수정보 산출기술 개발
 - 전파강수계를 이용한 강우정보 산출기술 개발
 - 전파강수계를 이용한 강설정보 산출기술 개발
 - 전파강수계를 이용한 바람정보 산출기술 개발
 - 산출 강우, 강설, 바람정보의 정확도 평가 및 고도화
 - 산출기술의 최적화 및 현업화
- 전파강수계의 관측 및 자료 최적화 기술개발
 - 전파강수계의 관측기법 최적화
 - 전파강수계의 품질 임계지수 최적화
 - 전파강수계의 자료 품질관리기술 개발
 - 품질관리기법의 최적화 및 현업화

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 현장 적용성 제고를 위해 현장에서 운용 가능한 알고리즘 개발
- 현업 운용성 향상을 위하여 표준화 및 최적화를 추진하고 정확도를 담보할 수 있는

알고리즘 디자인. ○ 상용화 가능성 제고를 위해 국내 선행 기술 역량 최대한 활용 ○ 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립 ☐ 추진체계 ○ H/W, S/W, 알고리즘을 담당한 참여기관간의 긴밀한 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 국내외 강수계, 수문/기상레이더 전문가 활용 ○ 산학연 공동연구를 위한 협업체계 구축 및 활용
5. 최종성과물
☐ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 강수정보 산출 알고리즘 및 S/W ○ 전파강수계 품질관리 알고리즘 및 S/W ☐ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파강수계 강수정보 산출 알고리즘 및 S/W
6. 기대효과 및 파급효과
○ 전파강수계의 강수산출알고리즘의 국산화 ○ 전파강수계의 상용화를 위한 기반 마련 ○ 전파강수계를 이용한 양질의 고해상도 면적 강수량 생성을 통한 수문 활용성 제고 ○ 면적강수량의 수문모델 활용을 통한 방재 기능 증대 ○ 전파강수계의 상용화를 통한 수출력 증대
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2021. 6. (6년, 1단계 3년+2단계 3년) ○ 총 정부출연금 : 1,930 백만원 이내 1단계 1차년도 : 80 백만원 2차년도 : 350 백만원 3차년도 : 500 백만원 2단계 4차년도 : 300 백만원 5차년도 : 350 백만원 6차년도 : 350 백만원
8. 기타
○

연구과제명	3-1. 전파강수계 시스템 통합 및 연구단 운영
1. 연구 목표	전파강수계 개발을 위한 각 H/W, 알고리즘 및 S/W의 제원 설계, 개발된 각 모듈 간의 시스템 통합 및 운영 매뉴얼 개발, 전파강수계 네트워크 및 기존 시스템과의 연계 기술 개발
	○ 전파강수계 기본 설계 - 기초 사양에 따른 기본 시스템 설계 - 전파강수계의 확장성 및 네트워킹을 고려한 시스템 설계 - 최종자료 포맷 개발 ○ 전파강수계의 각 모듈 간 시스템 통합 툴 개발 - 전파 강수계의 H/W, S/W 및 User 간 인터페이스 개발 - Stand-alone 타입의 전파강수계 통합 시스템 구축 ○ 전파강수계 운영 기술 개발 및 매뉴얼 작성 - 시스템 유지보수를 위한 시스템 레벨의 제어 툴 개발 - 운영 및 유지보수 매뉴얼 작성 ○ 전파강수계 네트워킹 및 통합 운영 기술 개발 - 전파강수계 네트워크 구축 및 운영 기술 개발 - 고속, 대용량 데이터 전송, 통합, 표출 기술 개발 - 지상 및 고고도 강우레이더와의 실시간 연계 기술 개발 ○ 전파강수계 시스템 신뢰도 검증 기법 개발 ○ 전파강수계 현장 적용을 위한 정책 기반, 표준 및 검인증 방안 제시
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
	☐ 연구개발의 필요성 ○ 국가과학기술위원회 2012년 설문조사 결과 피해 우려가 가장 높은 자연재해 중 에 호우/홍수, 태풍/폭풍, 그리고 폭설이 각각 1, 2, 5위를 차지하나 재해 예방 및 대응 기술은 선진국 대비 78% 수준에 불과하여 재난재해 관련 기술 개발이 시급 ○ 강우량, 강설, 바람 등에 대한 기존 관측 기술은 공간적으로 산재한 관측소에서의 지점(point) 관측에 의존하고 있어 국지·돌발성 호우, 폭설 재해 관측, 대응 곤란 - 홍수, 도심 침수 및 산사태 발생 등과 직결되는 우량의 경우 공간적 차별성에 비해 관측소의 면적 대표성이 부족하여 예보 정확도 저하의 원인으로 작용 - 폭설은 겨울철 산간주민 고립, 시설물 피해, 간선도로 마비 등을 야기하나 관측 소가 적고 관측 정확성이 떨어지므로 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 - 태풍, 폭풍의 경우 해안지 인명과 시설물 피해의 주요 요인이 되고 있음 ○ 기상레이더의 경우 넓은 면적에 대한 강우, 강설, 바람의 공간 분포를 파악하는데 활용되고 있으나, 설치 및 운영비용이 크고, 주로 높은 고도에 집중되어 있어 저고도의 실제 관측 장비로 활용하기에는 미흡함

- 급증하는 집중호우, 폭설, 태풍 등을 지상과 가까운 저고도에서 효율적으로 관측함으로써 재해 예방에 기여할 수 있는 전자파 기반의 미래지향적인 첨단 기술 및 관측 장비 개발 필요

□ 기술동향

- 2013년 현재 3,827개소가 운영되고 있는 우량관측소는 대부분 원통 구조의 전도형 내지는 중량식 우량계가 사용되고 있음
- 2000년대 들어 강우입자를 분석하여 우량을 측정하는 디스트로미터가 보급되고 있으며, 광학 방식의 PARSIVEL과 전자파 방식의 POSS 등이 개발, 활용되고 있으나 지점 측정 방식의 한계를 내포하고 있음
- 기상레이더의 경우 미국, 독일, 일본, 중국, 덴마크 등 선진국을 중심으로 개발, 제작
 - 기상레이더는 S밴드급의 대형 레이더가 주종을 이루고 있으며, 최근 강우 측정 성능이 향상된 이중편파 기반의 X밴드급 레이더의 활용이 증가하는 추세임
 - 최근에는 국지적이고 돌발적인 기상 재해에 대처하기 위해 다수의 기상레이더를 복합적으로 활용하는 기술이 개발되고 있음
- 우리나라는 주로 외산 광역 기상레이더를 활용하는 기술이 많이 개발되고 있으며, 2011년 이후 X밴드급 기상레이더를 자체 개발하고 있으므로 전자파를 이용한 관측 기술이 축적되어 있음
- 방산 분야의 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기 레이더 역시 국내 기술로 개발, 제작되고 있어 전자파를 이용한 강수계 개발을 위한 기초 기술이 확보되어 있음

3. 연구개발 내용

- 전파강수계 기본 설계
 - 전파강수계 실물(외형) 디자인
 - 전파강수계의 구체적 하드웨어 사양 결정 및 설계
 - 전파강수계의 필요 소프트웨어/알고리즘 설계
 - 시스템 확장성/네트워킹을 고려한 UI 및 파일/네트워킹 프로토콜 기술 설계
 - 네트워킹, 사용자친화성 및 지리정보와의 호환성 등을 고려한 데이터 포맷 개발
- 전파강수계 각 모듈 간 시스템 통합 툴 개발
 - 전파 강수계의 H/W, S/W 및 User 간 인터페이스 설계
 - Stand-alone 전파강수계 통합 시스템 구축
- 전파강수계 운영 매뉴얼 개발
 - 유지보수, H/W 관리를 위한 시스템 레벨의 하드웨어 제어 툴 개발
 - 전파강수계 통합 시스템 및 설치 백서 작성
 - 전파강수계 운영 매뉴얼 개발
- 전파강수계 네트워킹 및 통합 운영 기술 개발

- Master-Slave 기반의 전파강수계 네트워크 구축 및 운영 기술 개발 - 전파강수계 대용량 관측 데이터의 실시간 고속 처리 기술 개발 - 네트워크 기반의 통합 강우, 강설, 바람장 산출 기법 개발 - 지상우량계 등과의 실시간 연계, 보정, 통합 기술 개발 - 고고도 강우레이더와의 실시간 연계 기술 개발 ○ 전파강수계 시스템 신뢰도 평가 및 검증 기법 개발 ○ 데이터 전파, 공유, 서비스 플랫폼 연계 기술 제시 ○ 전파강수계 현장 적용을 위한 정책 기반, 표준 및 검인증 방안 제시 - 전파강수계 보급을 위한 국내외 제도, 정책적 기반 구축 - 기상, 수문관측장비로서 전파강수계 활용을 위한 표준, 검인증 방안 제시
4. 연구개발 추진방법
□ 추진전략 ○ 도심, 산간 등 어떤 환경에서도 쉽게 설치, 운영할 수 있는 경량·컴팩트 시스템 개발 ○ 기상, 수문, 재해 관련 사용자 요구에 부합하는 전파 강수계 시스템 개발 ○ 상용화 가능성 제고를 위해 국내 선행 기술 역량 최대한 활용 ○ 연차별 세부목표를 수립하고 핵심요소기술 개발 및 사업화 일정 등을 고려하여 연구추진전략, 일정계획, 성과계획을 수립 ○ 현장 적용을 위해 관련 기관 등이 참여, 협의할 수 있는 기반을 마련함으로써 신기술 활용성 제고 □ 추진체계 ○ 본 과제에서는 전파강수계 H/W, S/W 담당 연구팀을 총괄하여 전파강수계 시스템을 설계하고, 개발 단계에서 긴밀한 협력을 통해 최종 성과 도출되도록 조정 필요 ○ 국내외 우량, 강설, 바람 관측 전문가 활용하여 개발 방향 수립, 사용자 니즈 파악 ○ 다양한 기상, 수문 사용자 기관의 전문가 자문 및 현장 적용을 위해 지속적인 협의 과정 수행
5. 최종성과물
□ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 시스템 시제품 □ 세부과제별 최종성과물 ○ Stand-alone 전파강수계 Prototype ○ System 제어/유지보수 Tool ○ 전파강수계 Interface, 운영 매뉴얼 등. ○ 전파강수계 시스템 신뢰도 검증 기법

○ 전파강수계 도입, 운영을 위한 정책적, 제도적 가이드라인
6. 기대효과 및 파급효과
○ 기존 AWS 대체 ○ 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 정확한 지상 면적 강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상 ○ 폭설의 공간분포에 대한 정확한 측정을 통해 대설 재해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 강풍으로 인한 피해 저감 ○ 전파강수계 현장 적용성 및 활용도 강화
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2015. 6. ~ 2021. 6. (6년, 1단계 3년+2단계 3년) ○ 총 정부출연금 : 3,000 백만원 이내 1단계 1차년도 : 150 백만원 2차년도 : 600 백만원 3차년도 : 450 백만원 2단계 4차년도 : 400 백만원 5차년도 : 800 백만원 6차년도 : 600 백만원
8. 기타
○

연구과제명	3-2. 전파강수계 검보정을 위한 실규모 실험 시설 구축·운영
1. 연구 목표	전파-강우 보정과 개발된 전파 강수계 시제품의 성능을 평가, 검증하기 위한 실규모 인공강수 실험 시설 구축, 운영과 실험 지원
	○ 전파강수계의 성능 평가를 위한 인공강수 실험장 시설 구축 및 운영 - 인공강수 실험장 시설 설계 및 구축 - 인공강수 시설을 이용한 전파강수계 보정 및 성능 평가 실험 지원 ○ 자연강수에 대한 성능 평가를 위한 현장 테스트베드 구축 및 운영 - 자연강수 실험용 현장 테스트베드 구축 - 현장 성능 평가 실험 지원 ○ 전파강수계 강우량 검보정을 위한 방법론 개발 및 적용
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국가과학기술위원회의 2012년 설문조사 결과 피해 우려가 가장 높은 자연재해 중 에 호우/홍수, 태풍/폭풍, 그리고 폭설이 각각 1, 2, 5위를 차지하나 재해 예방 및 대응 기술은 선진국 대비 78% 수준에 불과하여 재난재해 관련 기술 개발이 시급 ○ 강우량, 강설, 바람 등에 대한 기존 관측 기술은 공간적으로 산재한 관측소에서의 지점(point) 관측에 의존하고 있어 돌발적이고 국지적인 호우, 폭설 등의 재해에 대한 관측 및 대응이 곤란 - 홍수, 도심 침수 및 산사태 발생 등과 직결되는 우량의 경우 공간적 차별성에 비 해 관측소의 면적 대표성이 부족하여 예보 정확도 저하의 원인으로 작용 - 폭설은 겨울철 산간주민 고립, 시설물 피해, 간선도로 마비 등을 야기하나 관측 소가 적고 관측 정확성이 떨어지므로 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 - 태풍, 폭풍 등의 경우 해안지역을 중심으로 인명과 시설물 피해를 일으키는 주요 요인이 되고 있음 ○ 기상레이더의 경우 넓은 면적에 대한 강우, 강설, 바람의 공간 분포를 파악하는데 활용되고 있으나, 설치 및 운영비용이 크고, 주로 높은 고도에 집중되어 있어 저고 도의 실제 관측 장비로 활용하기에는 미흡함 ○ 급증하는 집중호우, 폭설, 태풍 등을 지상과 가까운 저고도에서 효율적으로 관측함 으로써 재해 예방에 기여할 수 있는 전자파 기반의 미래지향적인 첨단 기술 및 관 측 장비 개발 필요 □ 기술동향 ○ 2006년 현재 3,479개소가 운영되고 있는 우량관측소는 대부분 원통 구조의 전도 형 내지는 중량식 우량계가 사용되고 있음

- 2000년대 들어 강우입자를 분석하여 우량을 측정하는 디스트로미터가 보급되고 있으며, 광학 방식의 PARSIVEL과 전자파 방식의 POSS 등이 개발, 활용되고 있으나 지점 측정 방식의 한계를 내포하고 있음
- 기상레이더의 경우 미국, 독일, 일본, 중국, 덴마크, 프랑스 등 선진국을 중심으로 개발, 제작되고 있음
 - 기상레이더는 S밴드급의 대형 레이더가 주종을 이루고 있으며, 최근 강우 측정 성능이 향상된 이중편파 기반의 X밴드급 레이더의 활용이 증가하는 추세임
 - 최근에는 국지적이고 돌발적인 기상 재해에 대처하기 위해 다수의 기상레이더를 복합적으로 활용하는 기술이 개발되고 있음
- 우리나라는 주로 외산 광역 기상레이더를 활용하는 기술이 많이 개발되고 있으며, 2011년 이후 X밴드급 기상레이더를 자체 개발하고 있으므로 전자파를 이용한 관측 기술이 축적되어 있음
- 방산 분야의 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기용 레이더 역시 국내 기술로 개발, 제작되고 있어 전자파를 이용한 강수계 개발을 위한 기초 기술이 확보

3. 연구개발 내용

- 전파 강수계의 성능 평가를 위한 테스트베드 시설 구축 및 운영
 - 국내외 인공강수 실험시설 현황 검토
 - 폭 18 m 이상의 실규모 인공강수 실험시설 설계 및 건설
 - 자연강수 재현을 위한 스프링클러 최적 운영 조건 도출
 - 강설현상 재현을 위한 최적 조건 도출
- 인공강수 시설을 이용한 전파 강수계 보정 및 검증 실험 지원
 - 전파 강수계의 반사파-강수 특성 간 보정 실험 지원
 - 강우 측정성능 평가 실험 실시
 - 강설 측정성능 평가 실험 실시
- 자연강수에 대한 성능 평가를 위한 현장 테스트베드 구축 및 운영
 - 기존 현장 테스트베드 벤치마킹
 - 현장 실험 시설 구축
 - 자연강수 및 바람장 실험 지원
- 전파강수계 강우량 검보정을 위한 방법론 개발 및 적용

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 인공강수 실험 시설은 전파 강수계 검증의 핵심 시설로서 국내외 선행 기술을 최대한 검토하여 실험에 적합하도록 전자파 특성을 고려한 구조물 설계, 시공
- 인공강수 실험의 기술적 타당성을 검토하기 위해 국내외 기존 인공강수시설에 대한 사전 검토

○ 자연강수의 입자 특성에 대한 면밀한 분석을 통해 인공강수 재현 ○ 전파 강수계 시제품의 보정 및 검증 실험에 차질이 없도록 실험실 및 현장 테스트 베드 구축 일정 계획 수립 및 추진
□ 추진체계 ○ 국내외 인공강수 실험시설 전문가 활용으로 실험 품질 제고 ○ 전파 강수계 H/W, S/W 담당 연구팀과의 긴밀한 협력을 통해 검증 실험 실시 ○ 기상청 등 현장 테스트베드 운영 기관과의 협조를 통해 현장 테스트베드 설계 및 운영에 활용
5. 최종성과물
□ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 시스템 시제품 □ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파 강수계 실험을 위한 실규모 인공강수 실험 시설 ○ 자연강수 실험을 위한 현장 테스트베드 ○ 전파강수계 검보정 기법 및 보고서
6. 기대효과 및 파급효과
○ 기존 AWS 대체 ○ 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 정확한 지상 면적 강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상 ○ 폭설의 공간 분포에 대한 정확한 측정을 통해 대설 재해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 강풍으로 인한 피해 저감
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2017. 6. ~ 2021. 6. (6년, 1단계 1년+2단계 3년) ○ 총 정부출연금 : 3,050 백만원 이내 1단계 3차년도 : 250 백만원 2단계 4차년도 : 1,200 백만원 5차년도 : 1,000 백만원 6차년도 : 600 백만원
8. 기타
○

연구과제명	3-3. 전파강수계 상용화
1. 연구 목표	전파강수계 시제품을 바탕으로 상용 제품 수준까지 개선, 실용화
	○ 사용자 편의를 고려한 전파강수계 상용 시스템 개발 - 방수, 방진을 고려한 하드웨어 및 하우징, 케이블 등 개발 - 전파강수계 하드웨어 모듈화 및 최적화 - 전파 신호 품질관리 및 강수 산출 알고리즘 최적화 및 튜닝 - 네트워크 시스템 최적화
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
	□ 연구개발의 필요성 ○ 국가과학기술위원회의 2012년 설문조사 결과 피해 우려가 가장 높은 자연재해 중 에 호우/홍수, 태풍/폭풍, 그리고 폭설이 각각 1, 2, 5위를 차지하나 재해 예방 및 대응 기술은 선진국 대비 78% 수준에 불과하여 재난재해 관련 기술 개발이 시급 ○ 강우량, 강설, 바람 등에 대한 기존 관측 기술은 공간적으로 산재한 관측소에서의 지점(point) 관측에 의존하고 있어 돌발적이고 국지적인 호우, 폭설 등의 재해에 대한 관측 및 대응이 곤란 - 홍수, 도심 침수 및 산사태 발생 등과 직결되는 우량의 경우 공간적 차별성에 비 해 관측소의 면적 대표성이 부족하여 예보 정확도 저하의 원인으로 작용 - 폭설은 겨울철 산간주민 고립, 시설물 피해, 간선도로 마비 등을 야기하나 관측 소가 적고 관측 정확성이 떨어지므로 최근 전자파를 이용한 측정 필요성 제기 - 태풍, 폭풍 등의 경우 해안지역을 중심으로 인명과 시설물 피해를 일으키는 주요 요인이 되고 있음 ○ 기상레이더의 경우 넓은 면적에 대한 강우, 강설, 바람의 공간 분포를 파악하는데 활용되고 있으나, 설치 및 운영비용이 크고, 주로 높은 고도에 집중되어 있어 저고 도의 실제 관측 장비로 활용하기에는 미흡함 ○ 급증하는 집중호우, 폭설, 태풍 등을 지상과 가까운 저고도에서 효율적으로 관측함 으로써 재해 예방에 기여할 수 있는 전자파 기반의 미래지향적인 첨단 기술 및 관 측 장비 개발 필요
	□ 기술동향 ○ 2006년 현재 3,479개소가 운영되고 있는 우량관측소는 대부분 원통 구조의 전도 형 내지는 중량식 우량계가 사용되고 있음 ○ 2000년대 들어 강우입자를 분석하여 우량을 측정하는 디스트로미터가 보급되고

있으며, 광학 방식의 PARSIVEL과 전자파 방식의 POSS 등이 개발, 활용되고 있으나 지점 측정 방식의 한계를 내포하고 있음 ○ 기상레이더의 경우 미국, 독일, 일본, 중국, 덴마크, 프랑스 등 선진국을 중심으로 개발, 제작되고 있음 - 기상레이더는 S밴드급의 대형 레이더가 주종을 이루고 있으며, 최근 강우 측정 성능이 향상된 이중편파 기반의 X밴드급 레이더의 활용이 증가하는 추세임 - 최근에는 국지적이고 돌발적인 기상 재해에 대처하기 위해 다수의 기상레이더를 복합적으로 활용하는 기술이 개발되고 있음 ○ 우리나라는 주로 외산 광역 기상레이더를 활용하는 기술이 많이 개발되고 있으며, 2011년 이후 X밴드급 기상레이더를 자체 개발하고 있으므로 전자파를 이용한 관측 기술이 축적되어 있음 ○ 방산 분야의 레이더 기술을 기초로 차량, 선박, 항공기용 레이더 역시 국내 기술로 개발, 제작되고 있어 전자파를 이용한 강수계 개발을 위한 기초 기술 확보
3. 연구개발 내용
○ 사용자 편의성을 고려한 시스템 재구조화 - 전파강수계 하드웨어 모듈화 및 최적화 - 전파 신호 품질관리 및 강수 산출 알고리즘 최적화 및 튜닝 - 네트워크 시스템 최적화 ○ 양산용 시스템을 위한 내외관 설계 및 제작 - 방수, 방진을 고려한 하드웨어 및 하우징, 케이블 등 설계, 디자인 - 내외부 하드웨어 가공 및 제작
4. 연구개발 추진방법
□ 추진전략 ○ 전파강수계 시제품을 기초로 규격, 형상, 사용 편의성 등을 고려한 최종 양산품을 설계하고 이에 대해 제품화를 추진 ○ 시제품 단계에서 불필요한 장비, 자료 처리 단계를 최대한 간소화하고 시스템 및 데이터 전송과 처리를 최적화하도록 재구성 ○ 하드웨어, 소프트웨어 분야 개발을 담당한 연구진들과의 충분한 협조를 통해 양산 시스템에 적합한 방식을 도출하여 개발 ○ 실규모 실험장에서의 연속 테스트를 수행하고, 내구성, 내습성, 내오염성 등 양산 제품에 필수적인 테스트 항목에 대한 검증을 실시 ○ 시제품 및 기존 관측 기기들과의 동시 비교(intercomparison) 측정을 수행할 수

있는 테스트베드를 통해 성능 검증 □ 추진체계 ○ 기술을 실용화하고 제품을 양산할 수 있는 견실한 업체의 참여를 통해 과제 추진 ○ 1~3차년도 요소 기술을 개발한 연구진들과의 협력 및 실험, 검증을 통해 상용품 성능 확보 ○ 외관, 방수, 방진, 내구성 설계를 위해 최종 수요자 요구사항을 충분히 반영할 수 있도록 자문단 및 평가단 구성 운영
5. 최종성과물
□ 주요 최종성과물 ○ 전파강수계 상용품 □ 세부과제별 최종성과물 ○ 전파강수계 상용품 설계서 ○ 성능 검증 및 보증 자료
6. 기대효과 및 파급효과
○ 기존 AWS 대체 ○ 국지성 집중호우에 대한 정확한 측정을 통한 초단기/돌발 홍수예보(nowcasting) 적용함으로써 도심과 산간지역 등의 산사태 피해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 정확한 지상 면적 강우량 산정으로 홍수예보 정확도 향상 ○ 폭설의 공간 분포에 대한 정확한 측정을 통해 대설 재해 예방 및 대피 정보 제공 ○ 강풍으로 인한 피해 저감
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구기간 : 2018. 6. ~ 2021. 6. (3년, 2단계) ○ 총 정부출연금 : 1,600 백만원 이내 2단계 4차년도 : 400 백만원 5차년도 : 600 백만원 6차년도 : 600 백만원
8. 기타
○

참고문헌

< 법, 제도, 지침, 국가계획 >

국토해양부(2012) 수문관측업무규정, 국토해양부훈령 제910호

기상청(2012) 관측업무규정, 기상청훈령 제735호

법제처(2014) 기상관측표준화법

법제처(2014) 기상법/기상법시행령/기상법시행규칙

법제처(2014) 자연재해대책법

법제처(2014) 하천법/하천법시행령/하천법시행규칙

한국수자원학회(2009) 하천설계기준·해설

국가과학기술심의회(2013) 과학기술 기반 사회문제 해결 종합실천계획(안) 141p.

국가과학기술심의회(2013) 제3차 과학기술기본계획('13~'17)(안) 62p.

국가과학기술심의회운영위원회(2013) 2014년 재난·재해 R&D 투자전략(안), 33p.

국가과학기술위원회(2007) 국가기상기술이행계획

국가과학기술위원회(2012) 건설교통 R&D 중장기계획안('13~'17) 22p.

국립재난안전연구원(2013) 동일본대지진 이후 일본재난관리 정책 변화

국토교통부(2012) 수문조사연보(강수량편)

국토해양부(2008) 수문조사기본계획 수립 보고서(2010년~2019년)

기상청(2012) 관측기관별 관측시설 현황(교신자료)

대통령직인수위원회(2013) 제18대 대통령직인수위원회 제안 박근혜정부 국정과제, 217p.

미래창조과학부(2013) 2014년 재난·재해 R&D 투자전략(안)

미래창조과학부(2014) 과학기술&ICT 정책·기술 동향

미래창조과학부·한국연구재단(2013) 사회문제 해결형 기술개발사업 공개토론회 자료

방송통신위원회(2008) 대한민국주파수분배표, 방송통신위원회고시 제2008-136호

소방방재청(2006) 재해연보 2006, 725p.

< 기술기사, 논문, 기타 자료 >

STX엔진(2011) 지식경제 기술혁신사업 계획서, 145p.

강남대학교 산학협력단(2008) 국가자연재난상황관리기술개발-풍수해 대응체계 고도화 기술개발

강미영, 남경엽, 최재천, 최영진(2011) 연구용 X-band 이중편파 레이더를 이용한 강수량 추정 사례분석, 한국기상학회 학술대회 논문집

광주과학기술원(2009) 기상장비 (기상레이더) 국산화 개발을 위한 타당성 연구보고서, 283p.

국립기상연구소 정책연구과(2011) 기상기술정책 제13호

국토해양부·한강홍수통제소(2012) 범정부적 레이더 관측전략 수립 및 관측체계 구현(I) 보고서, 465p.

- 국토해양부·한국건설교통기술평가원(2008) 차세대 홍수방어기술 기획연구 최종보고서, 548p.
- 기상산업진흥원(2010) 중소기업 과제발굴연구회 운영사업 기술기획보고서, 107p.
- 김태환, 이성주, 이동휘, 홍윤석, 조춘식(2011) 능동 위상 배열 레이더의 디지털 수신기 제작 및 측정, 한국전자과학회논문지, 22권 3호, pp.371-379
- 박광준(2012) 한국의 기상기후 산업 현황, 기상·기후예측 정보의 산업적활용 및 이익 창출 워크숍
- 박민, 박필재, 김동영, 김천수, 구본태, 정희범, 유현규(2012) 77GHz 자동차 레이더 부품 기술동향, 전자통신동향분석 제27권 제1호, pp.101-112
- 방기석(2009) 유럽의 기상장비 산업 현황: 핀란드 바이살라를 중심으로, 기상기술정책, 제5호, pp. 73-80
- 석미경, 남경엽, 김영화, 오성남(2005) WPMM을 이용한 레이더 반사도로부터 정량적 레이더 강우강도의 추정, 한국기상학회지 제41권 제1호, pp.123-138
- 신동훈, 권기훈, 이성용, 김정민, 한예진, 이부용(2010) 부력식 우량계를 이용한 강우 강도 연구, 한국환경과학회 2010년 정기학술발표회 논문집(제19권)
- 이규원(2009) 외국의 기상레이더 개발 동향과 제언, 기상기술정책 제5호, pp. 52-72
- 이부용(2009) 기상장비의 시장성 확보 전략 및 방향, 기상기술정책 제5호, pp. 42-51
- 장기호, 석미경, 김정희(2009) 기상레이더의 국산화 추진 방안, 기상기술정책 제5호, pp.22-29
- 전병국, 이충기, 김양수(2012) 이중편파 레이더의 강우관측 능력 평가, 방재학회논문집 12권 2호, pp. 215-224
- 최우정(2011) 2010년 9월 수도권 집중호우 피해 및 대책, 국립기상연구소-국립방재연구소-한강홍수통제소 제5회 공동연구워크숍, 11-27
- 특허청(2010) 특허동향-Soild-state 200W급 X-밴드 이중편파 기상레이더 개발 기술 특허동향조사 보고서, 38p.
- 한국건설기술연구원(2012) 수문레이더 기반 홍수·폭설재해 예측 및 경보 플랫폼 개발, 전기연 2012-203, 84p.
- 한국기상산업진흥원(2012) 기상장비 수출 유망국에 대한 수출 가이드라인 - 베트남, 케냐를 중심으로 -, 한국기상산업진흥원 ISSUE PAPER 2012-01, p.1
- 한국기상산업진흥원(2014) 기상장비 국산화율 현황 및 전망, R&D 브리프 2014-01, 12p.
- 허종완, 이상현(2011) 우리나라 주요 자연재난 대응 동향, 과학기술 및 연구개발사업 동향브리프, KISTEP 2011-12, 32p.
- 허철(2005) 수문조사 선진화 5개년 계획, 물과 미래, 제38권, 제5호, pp. 16-22

< 국외문헌 >

- Balkcum, A., Begum, R., Cattelino, M., Stockwell, B.(2009) Development of a megawatt C-band klystron for radar, Vacuum Electronics Conference, 2009. IVEC 2009. IEEE International

- BCC(2009) Business Communications Company market Research Report
- Bellon, A. Zawadzki, I. Kilambi, A. Lee H-C.(2010) "McGill algorithm for precipitation nowcasting by lagrangian extrapolation (MAPLE) applied to the South Korean radar network. Part I: Sensitivity studies of the Variational Echo Tracking (VET) Technique", Asia-Pacific Journal of Atmospheric Science, 46(3), pp.369-381
- Chandrasekar V., Hou, A., Smith, E., Bringi, V. N., Rutledge, S. A., Gorgucci, E., Petersen, W.A., Jackson, G. S.(2008) "Potential role of dual-polarization radar in the validation of satellite precipitation measurements: Rationale and opportunities." Bull. Amer. Meteor. Soc., 89, 1127 - 1145.
- Chatelet, J. P., Boudjabi, C., Besson, L., Caumont, O.(2012) Errors Caused by Long-Term Drifts of Magnetron Frequencies for Refractivity Measurement with a Radar: Theoretical Formulation and Initial Validation. Journal of Atmospheric. Oceanic Technololgy, 29, 1428 - 1434.
- Desa M. N., M., Niemczynowicz, J.(1997) Dynamics of short rainfall storms in a small scale urban area in Coly Limper, Malaysia, Atmospheric Research 44, pp. 293-315
- Goodison, B. E., Louie, P. Y. T., Yang, D.,(1998) WMO SOLID PRECIPITATION MEASUREMENT INTERCOMPARISON FINAL REPORT, WMO INSTRUMENTS AND OBSERVING METHODS REPORT No. 67, WMO/TD - No. 872
- Hanczor, M., Kumar, M.(2000) 12-kW S-band solid-state transmitter for modern radar systems, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions Vol. 41, Issue 12
- Huff, F. A., Neill, J. C.(1957) Rainfall relations on small area in Illinois, Bulletin No. 44, 61p.
- Ishizaki K. Yoshino. F., Takeuchi, K., Yoo. A.(1989) A study on short-term rainfall prediction by radar raingauge
- Jackson (1969) Tropical rainfall variations over a small area, Journal of Hydrology 8, pp. 99-110
- Junyent, F., Chandrasekar, V.(2009) "Theory and Characterization of Weather Radar Networks," Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Volume 26, Issue 3, pp. 474-491.
- Junyent, F., Chandrasekar, V., Bharadwaj, N.(2009) Uncertainties in phase and frequency estimation with a magnetron radar: Implication for clear air measurements, Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium 2009 IEEE International, IGARSS 2009 (Volume:3)

- Junyent, F., Chandrasekar, V., McLaughlin, D., Insanic, E., Bharadwaj, N.(2010) "The CASA Integrated Project 1 Networked Radar System", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Volume 27, Issue 1, pp. 61-78.
- Kimura, M.(2011) "Study on real-time flood forecasting method for locally heavy rainfall with high-resolution X-band polarimetric radar information". International Symposium on Weather Radar and Hydrology, Apr 18-21, Exeter, UK.
- Maki, M., Maesaka, T., Misumi, R., Iwanami, K., Suzuki, S., Kato, A., Shimizu, S., Kieda, K., Yamada, T., Hirano, H., Kobayashi, F., Masuda, A., Moriya, T. Suzuki, Y., Takahori, A., Lee, D-I., Kim, D-S., Chandrasekar, V., Wang, Y.(2008) "X-band Polarimetric Radar Network in the Tokyo Metropolitan Area -X-net-", Proceedings of ERAD 2008 - The Fifth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Helsinki, Finland, 2008
- Matrosov, S. Y., Kingsmill, D. E., Martner, B. E., Ralph, F. M.(2005) "The utility of X-band polarimetric radar for quantitative estimates of rainfall parameters.", J. Hydrometeor., 6, 248-262
- McLaughlin, D., Pepyne, D., Chandrasekar, V., Philips, B., Kurose, J., Zink, M., Droegemeier, K., Cruz-Pol, S., Junyent, F., Brotzge, J., Westbrook, D., Bharadwaj, N., Wang, Y., Lyons, E., Hondl, K., Liu, Y., Knapp, E., Xue, M., Hopf, A., Kloesel, K., Defonzo, A., Kollias, P., Brewster, K., Contreras, R., Dolan, B., Djaferis, T., Insanic, E., Frasier, S., and Carr, F.(2009) Short-Wavelength Technology and the Potential For Distributed Networks of Small Radar Systems. Bulltin of American Meteorological Society, Vol. 90, pp. 1797-1817.
- Pedersen, L, Jensen, N. E.(2010) Analysis of Small Scale Variability of Rainfall, Proceedings of the 10th International Precipitation Conference (IPC-10), Coimbra, Portugal
- Peyton Z., Peebles, JR.(1998) Radar Principles
- Ryzhkov, A.V., Giangrande, S.E., Schuur, T.J.(2005) "Rainfall Estimation with a Polarimetric Prototype of WSR-88D", J. Appl. Meteor., Vol. 44, pp. 502-515
- Saffle, R. E., Istok, M. J., Cate, G.(2006) NEXRAD product improvement-Update 2007. Preprints, 22nd Int. Conf. on IIPS for Meteorology, Hydrology and Hydrometeorology, San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, 9.1.
- Sandsborg (1969) Local rainfall variations over small, flat, cultivated areas, Tellus 21(5), pp. 673-684

Ulanowicz, E.M., Hooper, E.H.(1988) "A high performance transmitter for the NEXRAD radar system," Power Modulator Symposium, 1988. IEEE Conference Record of the 1988 Eighteenth, pp.13-20
 VAISALA Representative Meeting, June 4-8, Helsinki, Finland
 Wada, M., Mizutani, F.(2009) Development of Solid-State Weather Radar
 Wang, Y., Chandrasekar, V.(2010) "Quantitative Precipitation Estimation in the CASA X-band Dual-Polarization Radar Network". J. Atmos. Oceanic Technol., 27, 1665 - 1676

< 홈페이지 >

LIG넥스원(2014) 홈페이지 : rec.lignex1.com
 NTIS(2014) 홈페이지 : www.ntis.go.kr
 STX엔진(2014) 홈페이지 : www.stxengine.co.kr
 과학기술정책연구원(STEPI) (2014) 홈페이지 : www.stepi.re.kr
 국가과학기술위원회(2012) nstckorea.tistory.com/327
 기상청홈페이지 : www.kma.go.kr
 ESRL(2014) Homepage : www.esrl.noaa.gov
 HMEI-The Association of Hydro-Meteorological Equipment Industry(2014) Homepage : www.hmei.org
 McGill JSMarshall Radar Observatory (2014) Homepage : www.radar.mcgill.ca
 NICT(2014) Homepage : www.nict.go.jp
 NSSL(2014) Homepage : www.nssl.noaa.gov
 Vaisala(2014) Homepage : www.vaisala.com