

발 간 등 록 번 호

11-1360709-000071-01



수치예보기술 개발전략계획 수립을 위한 연구

Research on Establishment of Development Strategic Plan

for Numerical Forecasting Technology

2022 년도

기 상 청

제 출 문

기 상 청 장 귀 하

본 보고서를 “수치예보기술 개발전략계획 수립을 위한 연구” 최종보고서
로 제출합니다.

2022년 10월 31일

- 연구용역기관명 : 봄인사이언스컨설팅
- 연구기간 : 2022년 5월 12일~10월 31일
- 연구용역책임자 : 김 춘 지
- 참여연구원
연 구 원 : 이 희 렬
연 구 원 : 한 병 속

목 차

표 목차	vii
그림 목차	x
요 약 문	xiii
제 1 장 서 론	1
1.1. 연구 추진 배경	1
1.2. 연구 필요성 및 목적	1
1.3. 연구 추진 방법	2
1.4. 연구 내용	3
제 2 장 수치모델자료 확대를 위한 외부 환경분석	4
2.1. 수치예보기술 개념 및 역할	4
2.1.1. 수치예보기술 개념	4
2.1.2. 수치예보기술 역할	9
2.1.3. 수치예보모델 자료 배포 현황	11
2.2. 국내 수치예보모델자료 활용 환경 분석	15
2.2.1. 정책적 환경	15
2.2.2. 경제적 환경	23
2.2.3. 사회적 환경	31
2.2.4. 기술적 환경	35
2.2.5. 유관기관 한국형수치모델 활용 계획	40
제 3 장 수치예보기술 관련 수요분석	46
3.1. 유관기관 한국형수치예보모델 활용 수요 분석	46
3.1.1. 수요조사 개요	46
3.1.2. 정량적 분석결과	52
3.1.3. 심층인터뷰 결과	98
3.1.4. 수치자료활용 확대를 위한 워크숍 결과	115
3.2. 수치모델 활용 확대 및 기상 정책 지원을 위한 미래기술 수요 분석	118
3.2.1. 국내 유관기관 미래기술 수요	118

3.2.2. 해외 기상분야 미래 기술 발전 방향	127
3.2.2. 국외 유관기관의 미래기술 키워드 조사 결과	128
제 4 장 한국형수치예보모델 확장·개발전략계획(2023~2030) 수립	143
4.1. 한국형수치예보모델 확장·전략계획 기본방향 도출	143
4.1.1. 상세하고 다양한 수치예보정보 생산	143
4.1.2. 수치모델 활용 확대를 위한 산출물 편의성 증대	146
4.2. 한국형수치예보모델 확장·전략계획	148
4.2.1. 비전 및 목표	148
4.2.2. 추진전략별 세부내용	150
4.2.3. 기상청 조직과의 연계성	168
4.2.4. 기대효과	169
[별첨①] 수요조사서	171
[별첨②] 기존과제와의 유사성 및 차별성 분석	183
[별첨③] 수치예보관련 교육 시스템 현황	186

표 목차

<표 1.3.1.> 연구 절차 및 연구 추진 방법	2
<표 2.1.1.> 기상기술분류상 예보 대분류 중 수치예보 중분류 구성	5
<표 2.1.2.> 기상예보에 따른 수치예보모델 운영 현황	7
<표 2.1.3.> 재난대응-기상예보-수치예보모델의 관계	10
<표 2.1.4.> 현업 수치예보시스템 운영 현황	11
<표 2.1.5.> 기상청의 수치예보모델자료의 유관기관 배포 현황	12
<표 2.2.1.> 제4차 과학기술기본계획(2018~2022) 중 기상관련 부분	15
<표 2.2.2.> 제4차 과학기술기본계획(2018~2022) 중 기상 관련 중점과학기술	15
<표 2.2.3.> 제2차 정부 R&D 중장기 투자전략(2019~2023) 중 기상관련 부분	16
<표 2.2.4.> 제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021) 중 동 과업 관련 부분	18
<표 2.2.5.> 연구개발(R&D) 중장기(2018~2027) 발전계획 중 동 과업 관련 부분	19
<표 2.2.6.> 수치모델링센터 업무혁신방안 중 동 과업 관련 부분	19
<표 2.2.7.> 인공지능 예보지원 연구개발 추진 단계별 목표	20
<표 2.2.8.> 인공지능 예보지원 연구개발 추진 세부기술 리스트	20
<표 2.2.9.> 정책적 환경분석 결과 요약	21
<표 2.2.10.> 기상청 정책기조 변화 분석 결과	22
<표 2.2.11.> 국외 기상 정보의 경제적 가치 추정 사례	26
<표 2.2.12.> 국내 기상 정보의 경제적 가치 추정 사례	27
<표 2.2.13.> 주요 산업분야별 민감 기상요소 및 기상정보 활용내용	28
<표 2.2.14.> 기상분야 연관 산업별 기상정보 활용 예시	29
<표 2.2.15.> 자연재해 항목별 관련기관	33
<표 2.2.16.> 재난관리와 기상서비스	33
<표 2.2.17.> 기상정보 관련 중점과학기술 기술수준	39
<표 2.2.18.> 기상정보 관련 중점과학기술 기술격차	39
<표 3.1.1.> 수요조사 대상 유관기관 현황	46
<표 3.1.2.> 기상청 유관기관 수치예보모델자료 사용자 설문지 세부 항목	50
<표 3.1.3.> 유관기관 수치예보모델자료 활용 경험별 답변 기관	53
<표 3.1.4.> 수치예보모델자료 수집 기관별 답변 기관	54
<표 3.1.5.> 기상청 수치예보모델을 활용하는 유관기관들의 자료 사용 목적	56
<표 3.1.6.> 기상청 수치예보모델자료의 규모별 답변 기관	57

<표 3.1.7.> 유관기관에서 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 변수	58
<표 3.1.8.> 유관기관에서 사용하는 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 특성	59
<표 3.1.9.> 유관기관에서 사용하는 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 변수	61
<표 3.1.10.> 기상청 수치예보모델자료의 규모별 만족도 답변 결과	63
<표 3.1.11.> 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항 항목별 답변 기관	66
<표 3.1.12.> 유관기관의 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 개선 요구사항	70
<표 3.1.13.> 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항 항목별 답변 기관	71
<표 3.1.14.> 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항별 답변 기관 ..	73
<표 3.1.15.> 수치예보모델자료 활용을 위해 사용하는 전산자원 별 답변 기관	76
<표 3.1.16.> 유관기관에서 수치예보모델자료를 사용하여 운영 중이거나 개발 예정인 자체 시스템	76
<표 3.1.17.> 수치예보모델자료 활용을 위해 사용하는 수집방법별 답변 기관	79
<표 3.1.18.> 기상청 수치예보모델자료 종류별 답변 기관	80
<표 3.1.19.> 향후 사용하고자하는 수치예보모델자료의 영역별 답변 기관	82
<표 3.1.20.> 유관기관의 기상청 수치예보모델 활용에 대한 교육 및 지원 필요성별 답 변 기관	86
<표 3.1.21.> 활용하고자하는 교육 및 지원 방법별 답변 기관	87
<표 3.1.22.> 유관기관에서 수치예보모델자료를 활용하여 미래에 구현하고자 계획하는 기술	91
<표 3.1.23.> 유관기관에서 계획하고 있는 미래기술에 필요한 수치예보모델자료의 정보 ..	93
<표 3.1.24.> 유관기관에서 계획하고 있는 미래기술에 필요한 수치예보모델자료의 정보의 규모	94
<표 3.1.25.> 유관기관에서 계획하고 있는 미래기술에 기상청 수치예보모델을 활용하기 위해 기상청에서 제공해야할 기술	97
<표 3.1.26.> 국립농업과학원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	98
<표 3.1.27.> 국립환경과학원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	99
<표 3.1.28.> 국립재난안전연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	100
<표 3.1.29.> 서울기술연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	101
<표 3.1.30.> 한국원자력안전기술원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	102
<표 3.1.31.> 한국수자원공사의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	103
<표 3.1.32.> 한국홍수통제소의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	104
<표 3.1.33.> 한국교통연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	105

<표 3.1.34.> 전력거래소의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	106
<표 3.1.35.> 한국에너지기술연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	107
<표 3.1.36.> 국립산림과학원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	108
<표 3.1.37.> 국립생태원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	109
<표 3.1.38.> 공군기상단의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	110
<표 3.1.39.> 국립문화재연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	111
<표 3.1.40.> 극지연구소의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	112
<표 3.1.41.> 한국해양과학기술원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항	113
<표 3.1.42.> 한국과학기술정보연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항 ...	114
<표 3.1.43.> 수치자료활용 확대를 위한 워크숍 내용	115
<표 3.2.1.> 한국형수치예보모델에 적용가능한 미래기술 후보군	118
<표 3.2.2.> 유관기관에서 계획하는 수치예보모델자료 관련 미래기술	120
<표 3.2.3.> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료	121
<표 3.2.4.> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 기상 서비스 및 기술	124
<표 3.2.5.> 유관기관의 수치예보모델자료 활용 미래기술	126
<표 3.2.6.> ONRL의 미래기술 키워드 조사 결과	128
<표 3.2.7.> AITO의 2021-2022년 목표	130
<표 3.2.8.> NOAA의 미래기술 키워드 조사 결과	132
<표 3.2.9.> NOAA Center for Artificial Intelligence (NCAI) 전략	134
<표 3.2.10.> JPL의 미래기술 키워드 조사 결과	136
<표 3.2.11.> 수치모델링센터의 미래기술 키워드 반영여부 검토 결과	137
<표 3.2.12.> ONRL의 미래기술 키워드의 국내 자문결과	138
<표 3.2.13.> NOAA의 미래기술 키워드의 국내 자문결과	140
<표 3.2.14.> JPL의 미래기술 키워드의 국내 자문결과	142
<표 4.1.1.> 「한국형수치예보모델 확장·전략계획」 추진전략 및 추진과제별 내용 ..	149
<표 4.1.2.> 기상청과 유관기관간 공동R&D 추진과제 리스트(안)	152
<표 4.1.3.> 공동연구 R&D 추진 프로세스	153
<표 4.1.4.> 유관기관 수치예보모델자료 활용 애로사항 보유항목	161
<표 4.1.5.> 유관기관 활용 지원 추진절차	163

그림 목차

<그림 2.1.1.> 기상 현상 및 초단기, 단기, 중기 예보모델의 시간 및 공간 예측 규모	7
<그림 2.1.2.> 현업 수치예보시스템 수행 흐름도	8
<그림 2.1.3.> 수치예보를 활용한 예보 생산 과정 모식도	9
<그림 2.1.4.> 예보 및 특보 업무 과정의 세분화를 통한 수치예측자료 역할: (상단) 예보업무 과정, (하단) 특보업무 과정	10
<그림 2.1.5.> 현업 수치예보시스템 운영 현황(기상청 “수치모델링센터 수치예보모델 소개”, 2022)	12
<그림 2.2.1.> 제2차 정부 R&D 중장기 투자전략 중 기상관련 부분	16
<그림 2.2.2.> 글로벌 기상예보서비스 시장규모 및 연평균성장률 전망	23
<그림 2.2.3.> 융합분야별 시장규모 및 연평균성장률 전망	24
<그림 2.2.4.> 기상정보의 value chain	24
<그림 2.2.5.> 기상정보의 활용목적	25
<그림 2.2.7.> 기상청의 기상정보 활용 단계와 동 과업의 범위	30
<그림 2.2.8.> 기상서비스 3대 지표 연도별 추이	31
<그림 2.2.9.> 자연재해 피해액(2020년도 환산가격 기준)(단위: 십억 원)	32
<그림 2.2.10.> 2011~2020년 자연재해 피해액과 복구액 현황	34
<그림 2.2.11.> 한국형수치예보모델의 개발단계별 내용	35
<그림 2.2.12.> 한국형수치예보모델의 구성	35
<그림 2.2.13.> 영국통합모델(UM) 한국형수치예보모델(KIM)간 예측 오차 비교	36
<그림 2.2.14.> 한국형수치예보모델과 시·공간 통합형 수치예보모델의 범위 비교	36
<그림 2.2.15.> 제주도 영역 육지 격자에 대한 한국형 모델(좌), 한국형지역모델(우) 비교	37
<그림 2.2.16.> 기상청 지역별 폭염 영향예보 현황	37
<그림 2.2.17.> 기상기후 빅데이터 분석 플랫폼-날씨마루	38
<그림 2.2.18.> 新농업기후변화 대응체계 구축사업 추진목적별 추진분야	40
<그림 2.2.19.> 제2차 국가방사능방재계획(2020-2024)	41
<그림 2.2.20.> 제2차 중장기 기술개발계획(2018~2027)	42
<그림 2.2.21.> 문화유산 R&D 기본계획	43
<그림 2.2.22.> 극지연구소 북극 기인 한반도 재해기상 모델링 시스템 개발 및 활용 과제 로드맵	44
<그림 2.2.23.> 극지연구소 남극 기상기후 변화 진단과 전지구 영향 평가 과제 로드맵	44

<그림 2.2.24.> 해양기후변화 감시와 예측 분야 중장기 로드맵	45
<그림 3.1.1.> 수요조사 대상 유관기관 위치	47
<그림 3.1.3.> 기상청 유관기관 수치예보모델자료 사용자 설문지	48
<그림 3.1.2.> 유관기관 수요조사 단계별 조사기간	49
<그림 3.1.4.> 기상청 유관기관 수치예보모델자료 사용자 설문지 흐름도	51
<그림 3.1.5.> 유관기관 수치예보모델자료 활용 경험	52
<그림 3.1.6.> 유관기관에서 사용하는 수치예보모델자료를 수집한 기관	54
<그림 3.1.7.> 유관기관이 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 규모(중복응답)	57
<그림 3.1.8.> 유관기관에서 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 지상 변수	58
<그림 3.1.9.> 유관기관에서 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 연직 변수	58
<그림 3.1.10.> 유관기관에서 사용하는 기상청의 수치예보모델자료의 지상 변수	60
<그림 3.1.11.> 유관기관에서 사용하는 기상청의 수치예보모델자료의 연직 변수	61
<그림 3.1.12.> 유관기관에서 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 만족도	63
<그림 3.1.13.> 유관기관에서의 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항	66
<그림 3.1.14.> 유관기관에서 사용하는 기상청 외 기관의 수치예보모델자료의 만족도 ...	71
<그림 3.1.15.> 유관기관에서의 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항 ...	73
<그림 3.1.16.> 유관기관에서 수치예보모델자료를 활용하기 위해 일반적으로 사용하는 전산자원의 종류	75
<그림 3.1.18.> 유관기관에서 수치예보모델자료를 수집하는 방법	78
<그림 3.1.19.> 유관기관에서 향후 사용하고자하는 수치예보모델자료 종류	80
<그림 3.1.20.> 유관기관에서 향후 사용하고자하는 수치예보모델자료의 영역	82
<그림 3.1.21.> 유관기관의 기상청 수치예보모델 활용에 대한 교육 및 지원 필요성 ..	85
<그림 3.1.22.> 유관기관에서 활용하고자하는 교육 및 지원 방법	86
<그림 3.2.1.> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료 변수별 빈도 ·	122
<그림 3.2.2.> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료의 영역	122
<그림 3.2.3.> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료의 시간해상도, 공 간해상도, 최대예측시간	123
<그림 3.2.4.> 유관기관 수요조사 단계별 조사기간	127
<그림 4.1.1.> 환경분석-수요조사-심층인터뷰 결과 요약①	145
<그림 4.1.2.> 환경분석-수요조사-심층인터뷰 결과 요약②	147
<그림 4.1.3.> 수요대응 수치예보모델자료 제공정보 확대 로드맵	152
<그림 4.1.4.> 수요대응 수치예보모델자료 미래융합 기술개발 로드맵	154

<그림 4.1.5.> 초단기 위험기상 예측기술개발 로드맵	156
<그림 4.1.6.> 단중기 이음새없는 수치예보모델 구축 로드맵 - 한국형모델	157
<그림 4.1.7.> 단중기 이음새없는 수치예보모델 구축 로드맵 - 한국형 지역모델	158
<그림 4.1.8.> ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ 데이터 제공 채널 일원화(외부)	161
<그림 4.1.9.> ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ 이행로드맵	162
<그림 4.1.10.> ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ ‘16년 기상기후데이터 수집 범위 ..	162
<그림 4.1.11.> 수치예보모델자료 정보공유 커뮤니티	165
<그림 4.1.12.> 수치예보모델자료 활용 교육프로그램 구축 단계(안)	167
<그림 4.1.13.> 기상청 내·외부 조직과의 연계·협력 방안	168
<그림 4.1.14.> 한국형수치예보모델 확장·전략계획 이행에 따른 기대효과	169

요약문

I. 추진배경

1 배경 및 필요성

□ 유관기관들의 수치예측자료에 대한 지원 요구 증대

- 최근 국민과 미래 기상정책에서 요구하는 선진국 수준의 예보정확도 향상과 위험기상 조기 진단 및 대응을 위한 선행시간 확보 등을 위하여 현업수치예보시스템은 자료의 정확도뿐만 아니라 점차 시공간적으로 고해상도화 및 다원화되고 예보요소 등이 추가되는 방향으로 개선 지속
- 또한, 교통안전, 신재생에너지, 항공 및 K-UAM 등 유관기관에서는 수치예측자료에 대한 지원 요구가 커지고 있음.

□ 미래기술을 수치예보 분야에 활용하기 위한 다양한 시도 추진

- 이에 주요 선진국들은 재해예측과 대응을 위해 초단기부터 연장 중기까지 이음새 없이 예측할 수 있는 통합형모델 개발을 추진 중임
 - * 영국기상청 통합모델, 미국기상청의 FV3 기반 전지구 모델 등
- 또한, 기상예측 및 서비스 분야에 대해 인공지능 기술의 도입을 시도하고 있는 등의 수치예보시스템의 효율적 활용 및 예측 불확실성 극복을 위한 연구를 체계적으로 추진 중임

□ 2020년 독자기술로 개발된 한국형수치예보모델의 현업 운영 시작

- 기상청 수치모델링센터는 이러한 국민적 요구와 세계적 흐름에 맞게 다양

한 수치예보기술 개발 및 자료를 생산하고 있음.

- 특히 수치예보기술의 자립과 국제적인 경쟁력 확보를 위해 2011년부터 한반도 지형과 기후 특성에 적합한 한국형수치예보모델(Korea Integrated Model, KIM) 개발에 착수하였고, 2020년 4월 28일부터 현업으로 운영하며 지속적인 성능 개선 및 자체적인 예측 체계를 구축하고 있음.

□ **유관기관 대상의 기상기술 수요분석 및 미래수요에 대응할 수 있는 확장·개발전략계획을 수립 필요**

- 본 사업은 현업예보시스템의 체계적이고 실효성 있는 개선과 미래 수요 및 환경변화에 효율적으로 대응하기 위하여 미래기술을 발굴·적용하고 한국형수치예보모델 활용 확대를 위한 전략을 수립하고자 함.
- 이를 위해 국내 유관기관을 대상으로 기상기술 수요분석을 수행하고 현재 및 미래수요에 대응할 수 있는 한국형수치예보모델의 확장·개발전략계획을 수립하고자 함

□ 과제의 목적

- 수치예측성능 및 국민적 요구와 환경변화에 대응하기 위하여 현업수치예보 시스템의 효율적 개선 등에 필요한 수치예보 분야의 미래기술 발굴 및 유관기관에서 한국형수치예보모델 활용을 높이기 위한 체계적이고 실효성 있는 개발전략 수립

□ 추진 경과

- 서면 설문조사 기획(6월~7월)
 - 유관기관 대상의 수치예보모델자료 활용 현황, 기상청 수치예보모델로의 사용전환을 위해 필요한 환경조사, 미래기술 관련 계획 및 필요 정보 등에 대한 설문조사서 작성
- 온라인 사전 설명회 개최(7월)
 - 효과적인 응답 확보를 위해 설문조사 이전에 온라인 사전 설명회 개최
 - 수치모델링센터, 유관기관 전문위원 20인 참석
- 서면 설문조사 실시(7월)
 - 유관기관 전문위원 20인을 대상으로 서면 설문조사 실시
- 심층인터뷰 기획(7월)
 - 서면 설문조사 결과 분석을 통해 심층인터뷰 항목 기획
- 심층인터뷰(설문조사, 미래기술) 실시(7월)
 - 유관기관 전문위원 20인을 대상으로 대면 심층인터뷰 진행
- 유관기관 심층인터뷰 결과 피드백(8월)
 - 서면 설문조사 및 심층인터뷰 결과 정리 및 유관기관별 피드백 요청
- 해외기관 미래기술 키워드 조사(8월)

- 해외 유관기관(ORNL, NOAA, NASA/JPL)을 대상으로 미래기술 키워드 조사 실시

○ 수요분석(8월)

- 설문조사 및 심층인터뷰 결과를 바탕으로 국내 유관기관의 수치예보모델자료 수요분석

○ 기상청 미래기술 수요조사(8월)

- 기상청 수치모델링센터 연구관(5인) 대상
- 유관기관 미래기술 실현을 위해 필요한 기술 지원 가능성 및 해외 미래기술 키워드의 반영여부와 기존(2022~2026년) 및 미래(2027~2030년) 로드맵 검토

○ 수요조사 결과 설명회(8월)

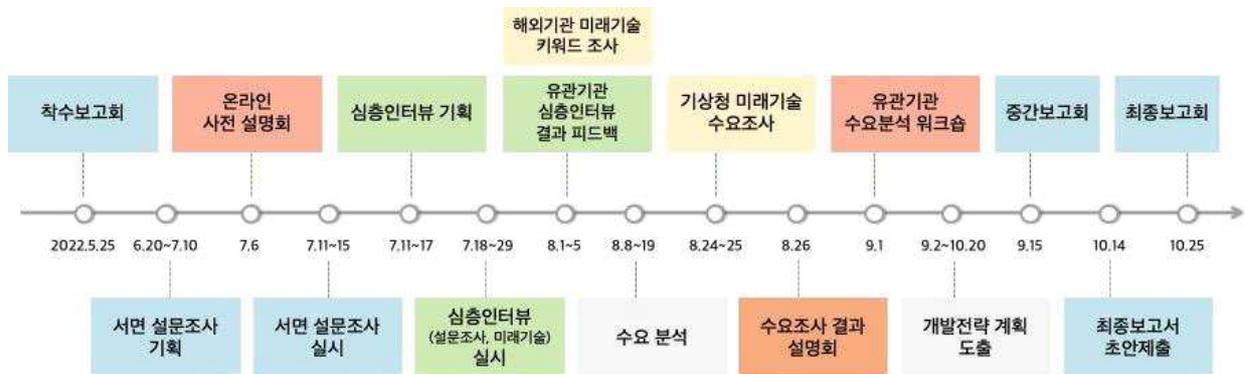
- 기상청 수치모델링센터를 대상으로 유관기관 수요조사 결과 공유 및 분석 방향 논의

○ 유관기관 수요분석 워크숍(9월)

- 수치예보모델자료 활용 확대를 위한 유관기관 수요분석 워크숍 실시
- 26인(수치모델링센터 11인, 유관기관 전문위원 12인, 불인사이언스컨설팅 3인) 참석

○ 개발전략 계획도출(9월~10월)

- 수요분석 결과를 바탕으로 한국형수치예보모델의 확장·개발전략계획을 수립



<그림 1> 사업 추진 일정

II. 환경분석 및 수요분석

1

환경분석

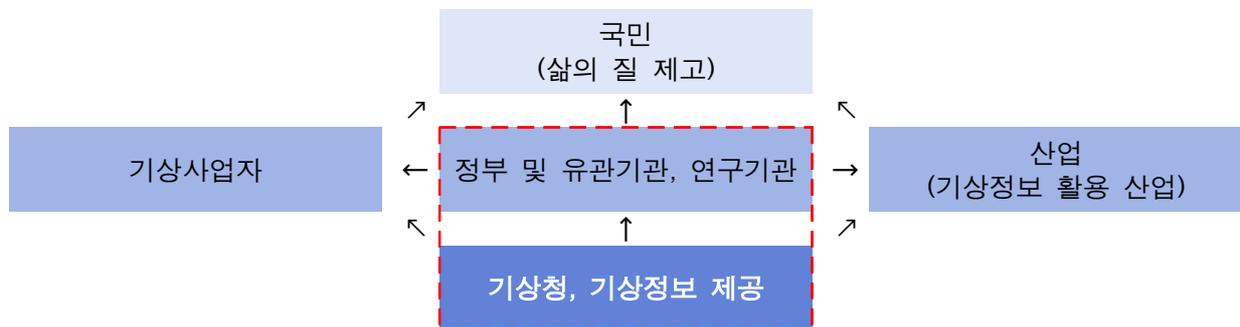
- (정책적 환경) 수치예보기술 관련 상위정책은 예측/예보 시스템 구축, ICT기술과 연계한 융합기술·미래기술 개발, 유관기관의 기상정보 활용을 위한 수요자 맞춤형 서비스 제공을 중심으로 추진 중
- 특히 기상청의 정책기조는 「제2차 기상업무발전 기본계획(2012~2016)」은 기상기후의 융합과 가치 확산에서 「제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021)」은 기상정보의 제공·활용·확산으로 변화하여 수치예보기술의 활용에 초점

<표 1> 기상청 정책기조 변화 분석 결과

구분	「제2차 기상업무발전 기본계획(2012~2016)」	「제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021)」
비전	기상기후의 융합과 가치 확산으로 국민안전과 국가경제 선도	신뢰받는 정보 제공으로 국민이 만족하는 기상서비스 실현
목표	범국가적 아젠다에 대한 선제적 대응 첨단 기상기술 확보와 기상인프라 강화 글로벌 기상·기후 공동체 구축	예보정확도 향상 및 신속한 정보 제공 기상기후정보 활용 확산 및 가치 창출 첨단 기상기술 및 우수 전문인력 확보
추진전략	1. 행복한 국민을 위한 기상서비스 강화 2. 풍요로운 사회를 위한 기상·기후정보 자원화 3. 튼튼한 국가를 위한 의사결정 기상서비스 강화 4. 공존하는 세계를 위한 글로벌 파트너십 강화 5. 미래사회 대비 기상업무 수행기반 구축	1. 기상예보 기술과 관측 인프라 고도화 2. 국민 안전 중심의 맞춤형 서비스 확대 3. 기상기후정보의 가치 제고 및 신성장 동력화 4. 기후변화 대응 국내외 역할 강화 5. 미래를 준비하는 기상업무 성장기반 조성
	↓	↓
	기상기후의 융합과 가치 확산	기상정보의 제공·활용·확산

- (경제적 환경) 기상정보는 산업구조의 복잡화·고도화로 산업 전반에서 중요성이 점차 증가하고 있으며, 경제적 파급효과도 증대되어 기상정보 활용의 편의성을 위한 정보제공 범위·방법, 지원방안 등 마련 필요

- 기상정보는 기상청이 제공한 이후 기상사업자, 정부 및 유관기관, 연구기관, 산업 등이 활용하며, 이의 효과는 국민 삶의 질 제고로 나타남
 - 기상정보를 수집하고 활용하는 형태는 주로 기상/지진 관측정보, 맞춤형 기상정보, 기후변화정보, 일반기상정보, 방재 기상/지진 정보임
 - 관측된 원시자료는 초단기 예보, 단기, 중기, 장기 예보, 기상특보, 대기오염 기상정보, 지진관련 정보, 고층기상 정보, 해양기상 정보, 항공기상 정보, 기상위성 정보, 기상레이더 정보, 낙뢰관측 정보 등으로 분류되며, 이들은 수치자료, 일기도 등 그래픽 자료 및 동영상 등의 형태로 제공



<그림 2> 기상청의 기상정보 활용 단계와 동 과업의 범위

- (사회적 환경) 2010~2020년 11년간 발생한 자연재해 피해액은 총 4조 4,193억 원으로 이에 대한 복구액도 함께 증가하여 자연재해 예측/사전예방/분석 관련 기관을 대상으로 자연재해 대비를 위한 기상정보 제공 필요
- (기술적 환경분석 요약) 기상청은 한국형수치예보모델(KIM)의 개발 완료 및 현업운영 중으로 자연재해 예방·대응 및 산업적 기상정보 활용 수요에 대응하기 위한 자원 기보유
 - 또한 폭염예보 서비스나 날씨마루 등 기상정보 대국민 제공 서비스 기운영
 - 향후 기상정보 활용 수요를 보유한 유관기관 대상의 맞춤형 기상정보 제공으로 유관기관별 기상정보 활용목적에 따른 재가공, 악기상 대응책 마련 등 유관기관 고유 역할 수행 지원 필요
- (유관기관 한국형수치모델 활용 계획) 국립농업과학원, 국립환경과학원, 국립재난안전연구원, 한국원자력안전기술원, 한국수자원공사 등 유관기관은 기상

청의 한국형수치예보모델자료 활용을 내부 계획이나 중점 사업에 반영

<표 2> 유관기관의 한국형수치예보모델 활용 관련 정책반영 사항

유관기관명	관련 정책이나 중점추진사업	내용
국립농업과학원	新농업기후변화 대응체계 구축사업	<ul style="list-style-type: none"> 농장의 기장재해 및 작물재배 적지분석 등 예측을 위해 기상자료 활용 계획 보유
국립문화재연구원	제1차 문화유산 보존·관리 및 활용 연구개발 기본계획(2021~2025)	<ul style="list-style-type: none"> ‘재해·재난 예방 및 유지관리 기술 개발’, ‘SMART 모니터링 및 재난 대응 기술 개발’, ‘화재·지진 피해 최소화 기술 개발’, ‘전통재료 제작 기술 복원’ 등에 한국형수치예보모델자료 활용 가능
국립산림과학원	제2차 중장기기술개발계획(2018~2027)	<ul style="list-style-type: none"> ‘전략과제 4. 산림재해 및 산림병해충의 과학적 관리체계 고도화’ 중 ‘4-2 산지토사재해 예방기술 개발’ 에서 산사태 예경보 체계 고도화 관련 연구 수행 연구과제는 “(가제)경험·물리혼합모델 및 기계학습 활용 산지토사재해 위험도 평가기술 고도화” 가 계획 중
국립재난안전연구원	재난안전 연구 데이터 통합관리·활용 발전전략 중장기계획	<ul style="list-style-type: none"> ‘타기관 시스템 DB의 정형데이터 연계’ 부분에서 수치예보모델자료를 활용한 등 자연재난 위험 예측도 활용 중 홍수, 태풍, 가뭄 등에 대한 연구 시 한국형수치예보모델자료(특히 강우)는 사용 중
국립환경과학원	대기환경개선 종합계획, 미세먼지 관리 특별대책 등	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화에 따른 대기질 전망을 위하여 미래 기후 변화 시나리오별 기후전망 수치자료, 미세먼지 예보 개선을 위해 한국형수치예보모델자료 활용 계획 보유
한국수자원공사	중장기 통합기술전략(2021~2025)	<ul style="list-style-type: none"> 미래 대비 기술개발 중 ‘수재해 대비 기상분석 및 예측 기술’, ‘기상수치모델 고도화 기술’ 이 포함
한국원자력안전기술원	제2차 국가방사능방재계획(2020-2024)	<ul style="list-style-type: none"> 사고영향 예측·감시 체계 정밀화 과제에서 환경감시 결과를 이용한 예상선량 재평가 개발, 다수의 기상모델을 이용한 앙상블 예측기술 도입을 통해 방사성물질 확산예측 및 예상피폭선량 정확도 제고 계획
한국해양과학기술원	KIOST 2030 중장기 전략	<ul style="list-style-type: none"> 전지구모형과 북서태평양 지역해 모형의 연계시스템 구축이 계획되었고, 지역해 모형에 기상자료의 활용 예정

□ 국내 유관기관의 수치예보모델자료 수요분석

<표 3> 국내 유관기관의 수치예보모델자료 수요분석 결과 요약

항목	수요 분석 결과
수치예보모델자료 활용 경험	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관은 과업수행을 목적으로 기상청과 해외기관의 수치예보모델자료를 가공하여 활용 미사용자는 공공데이터 관측자료와 홈페이지 예측결과 활용, 수치예보모델자료 지식 부족(교육 필요)
수치예보모델자료 사용 목적	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델자료는 미래 예측자료의 정확도 향상 및 국민 피해 저감을 위해 정책 의사결정 지원에 주로 활용 환경, 방재, 수문, 교통, 에너지 등 수치예보모델자료 활용 분야는 공공기관의 연구개발 및 자료 제공을 위해 국가 기관의 기술력이 집약된 분야로, 유관기관의 수요를 적극 반영 필요
사용하는 기상청 수치예보모델자료의 규모/변수	<ul style="list-style-type: none"> 한반도와 전구모델의 정확도 개선이 우선적으로 필요, 이후 초단기모델 개선 필요 우선적으로 강수, 기온, 바람(풍향/풍속) 등의 변수 정확도 향상을 위한 기술 개발 전략 필요
기상청 수치예보모델자료 만족도	<ul style="list-style-type: none"> 지역모델 만족도가 가장 크며, 수요가 높은 영역에 대한 모델(전구, 국지, 초단기 모델)의 만족도 개선 필요 수요가 집중되는 시기는 하계이며, 예측 자료의 정확도, 시공간 해상도, 예측 시간, 수요기관의 맞춤형 변수 제공 등 수치예보모델자료 개선·추가개발 필요
기상청 수치예보모델자료 애로사항	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관은 수치예보모델자료의 시공간 해상도, 변수 정확도 등 정보 부족으로 자료 활용 애로사항 보유 자료의 활용을 위한 프로그램, 네트워크 설비개선 등 기상청 보유기반 활용 어려움 유관기관의 수치예보모델자료 활용 확대를 위한 변수 현황, 특성 등의 교육과 홍보 부족에 애로사항 보유
유관기관 전산자원 현황	<ul style="list-style-type: none"> 대부분의 유관기관의 자체 전산시스템은 저용량의 예측 자료를 생산하므로 낮은 수준이거나 일반 PC 사용 이에 기상청 자료를 받는 시간은 자료를 활용하여 예측 자료를 생산하는 데 소요되는 시간보다 훨씬 오래 걸림 → 자료의 수신 시간이 길수록 사용 가능한 기상청 자료의 범위가 축소됨 → 자료 수신기간 단축 지원 필요
유관기관 자료 수집 방법	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 중 자체 연결망이 있지만 기상청에서 예측 자료를 제공하는 우선순위에 따라 수신이 지체되는 기관 존재 → 유관기관의 수치예보자료 수집 주기를 고려한 자료 전송 시스템 구축 필요수집주기 매시간(8개 기관), 수집자료 형태 바이너리(8개 기관)
유관기관에서 향후 사용하고자 하는 자료 종류/영역	<ul style="list-style-type: none"> 대부분 유관기관은 현재 사용하고 있는 예측자료를 향후에도 지속적으로 사용할 계획 기상청의 재분석 자료는 유관기관의 예측 모델에 대한 검증에 적극 활용되어 예측성 향상에 도움 → 기상청의 예측자료, 재분석 자료 제공과 한반도 영역의 자료제공 우선시
기상청 수치예보모델 활용 교육 및 지원	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델자료 사용자 대상의 기본교육과 API 수치예보자료 활성화 등 실무교육 등 온·오프라인 교육 프로그램 운영 필요(한국기상산업기술원 등 외부 교육 전담 기관과 연계) 유관기관 지원 전담 조직 구성으로 자료제공, 정보 공유 등 통합관리시스템 구축 필요

□ 국내 유관기관의 수치예보모델 활용 미래기술

○ 유관기관에서 계획하는 미래기술

- 주요 미래기술은 고해상도, 세분화, 정확도 개선으로 국가 자산 보호 및 인명 피해 저감을 위한 고품질 정보 생산
- 의사결정 지원을 위한 구체적이고 정교한 미래기술 활용 범위 요구
- 예측 시스템의 성능 고도화로 미래기술의 기반 구축

○ 유관기관 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료

- 주요 필요항목 - 다목적 수요자 맞춤형 상세 변수 생산
- 수치예보모델자료의 단계적 제공 변수 확대로 유관기관의 수치예보모델자료 활용성 제고 지원 필요
- 첨단 보정 기술의 표준화로 산출 자료의 공간해상도 맞춤형 지원 필요

○ 유관기관 미래기술 구현을 위해 필요한 기상 서비스 및 기술

- 다양한 대용량 예측자료를 신속하고 안전하게 일괄적으로 전송할 수 있는 전용망 기능의 네트워크 환경 필요
- 유관기관 맞춤형 시공간 분해능을 예측 자료를 재생산하기 위한 시공간 보정 기술 개발 필요
- 기상청의 상세 기상 자료와 유관기관의 상세 자료를 융합한 2차 정보 가공 기술 필요

□ 해외 기상분야 미래 기술 발전 방향

- 국외 유관기관(미국 오크리지 국립연구소, 미국 해양대기청, 미국 제트추진연구소)의 미래 발전 전략을 기반으로 미래기술 키워드 조사하고, 조사결과를 바탕으로 기상청 수치모델링센터에서의 미래기술 수요조사(반영여부)를 수행함.

<표 4> 수치모델링센터의 미래기술 키워드 반영여부 검토 결과

분야	미래기술 키워드	기반영	반영가능	반영불가
인공지능	대체 모델 개발	●	●●	
	수치 모델의 자동 보정 기술 개발	●	●●	●
	딥러닝 기반 기상 예측 모델 개발		●●	●
	위성자료 이용을 위한 AI 기반의 엔터프라이즈 알고리즘		●●●	
	전지구 신경망 바람-파랑 모델		●●●	
	연안변화분석 프로그램		●●	●
	기후 예측 개선을 위한 해양 상태 모니터링		●●●	
	딥 뉴런 네트워크와 위상학적 자료 분석		●●●	
	AI 기반 번개 예측		●●●	
	다변수 산불 예측		●●●	
컴퓨팅/빅데이터	Exa 규모 컴퓨팅		●●	
	하이브리드 컴퓨팅 전략	●	●	
	하이브리드 클라우드		●●	
	클라우드 네이티브		●●	
	컴포저블 코드		●●	
	양자 컴퓨팅			●●
	뉴로모픽 컴퓨팅			●●
	불확실성 정량화		●●	
클라우드 베이스 데이터베이스		●●		
연구 개발 플랫폼	공동 모델 개발 플랫폼	●●	●●	
	클라우드 컴퓨팅 사용 플랫폼	●	●●●	
	아웃룩 지도		●●●	
	개방형 데이터 보급 프로그램		●●●	
	4D weather cube		●●●	
	라벨 박스, 아마존 세이지메이커		●●●	

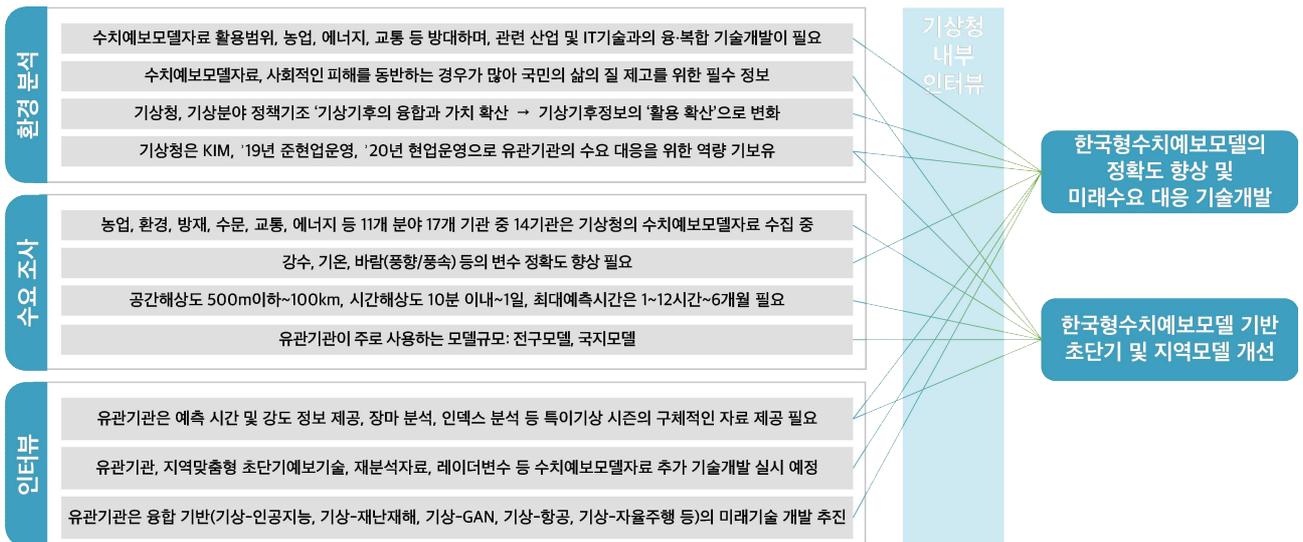
● 가이드نس, ● 상상블, ● 전지구물리과정

III. 한국형수치예보모델 확장 · 전략계획 기본방향 도출

1

상세하고 다양한 수치예보정보 생산

- (환경분석) 한국형수치예보모델(KIM)은 국민의 ‘삶의 질’ 제고를 위한 수치예보모델자료의 활용을 지원 중이며, 향후 예보정확도 제고와 유관기관의 정보 활용 확대를 위한 수요자 맞춤형 기상서비스 제공 중요성 확대
- (수요조사) 수치예보모델자료는 미래 예측자료의 정확도 향상 및 국민 피해 저감을 위해 유관기관에서 적극적으로 활용 중이며, 한반도모델의 강수, 기온, 바람 등 변수 정확도 향상 필요
- (인터뷰) 유관기관은 수치예보모델자료의 정확도 개선과 자료활용 프로그램 및 네트워크 설비 개선 요구 중이며, 지역 맞춤형 초단기예보기술, 재분석자료 등 수치예보모델자료 기술개발 계획 보유 중

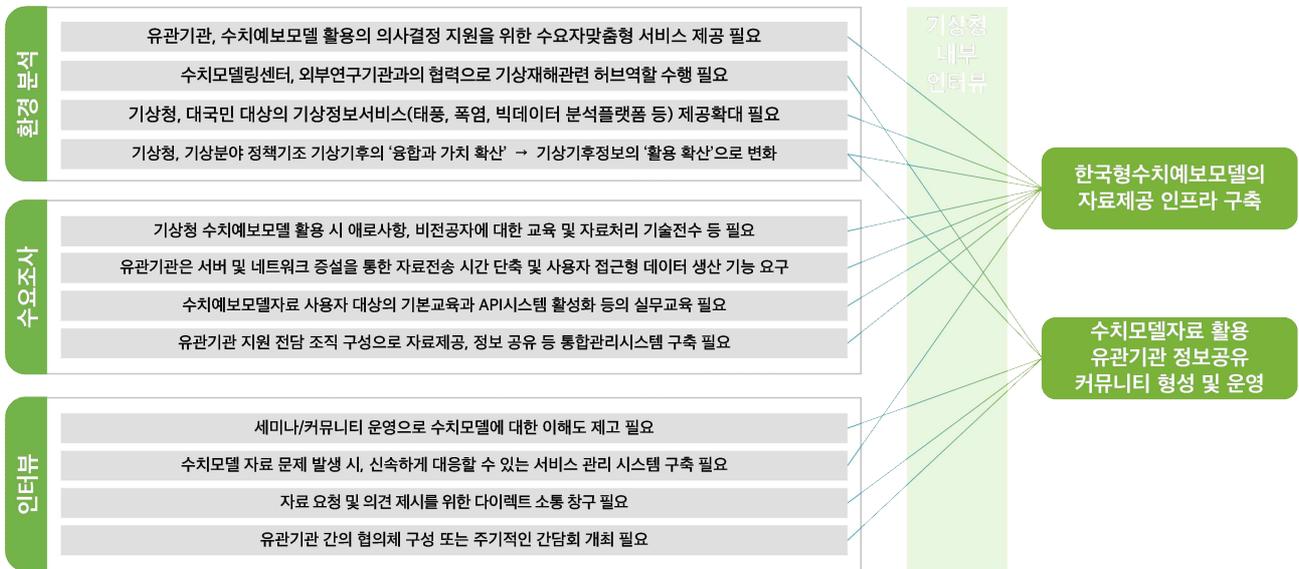


<그림 3> 환경분석-수요조사-심층인터뷰 결과 요약①

2

수치모델 활용 확대를 위한 산출물 편의성 증대

- (환경분석) 기상청은 유관기관이 기상정보를 활용하여 적절한 의사결정을 할 수 있도록 맞춤형 서비스 확대가 필요하며, 유관기관과의 지속가능한 동반자 관계 조성으로 수치모델링센터의 기상재해 관련 허브역할 수행 요구 중
- (수요조사) 기상청의 수치예보모델자료를 활용한 경험이 있는 수요조사 응답자는 정기교육과정(기본, 실무)과 기상청의 수치예보모델자료 활용자 대상 전담조직 구성으로 애로사항 해결 지원 요구 중
- (인터뷰) 유관기관은 수치예보모델의 활용을 위한 정기적인 교육 프로그램 운영 및 애로사항 해결 지원창구 마련과 협의체 구성 요구 중



<그림 4> 환경분석-수요조사-심층인터뷰 결과 요약②

IV. 한국형수치예보모델 확장 · 전략 계획

1

비전 및 목표

기상청
비전

신속하고 정확하며 가치있는 기상서비스 실현

목표

국가 기본 수치예측자료로서의 한국형수치예보모델
위상 제고

추진 전략

추진 과제

한국형수치예보모델
활용 미래기술 기반
조성

- ① 한국형수치예보모델의 정확도 향상 및
미래수요 대응 기술개발
- ② 한국형수치예보모델 기반 초단기 및 지역모델 개선

미래
한국형수치예보모델자료
서비스 기반 마련

- ① 한국형수치예보모델의 자료제공 인프라 구축
- ② 수치모델자료 활용 유관기관 정보공유 커뮤니티
형성 및 운영

2

추진전략별 세부내용

추진전략 1

한국형수치예보모델 활용 미래기술 기반 조성

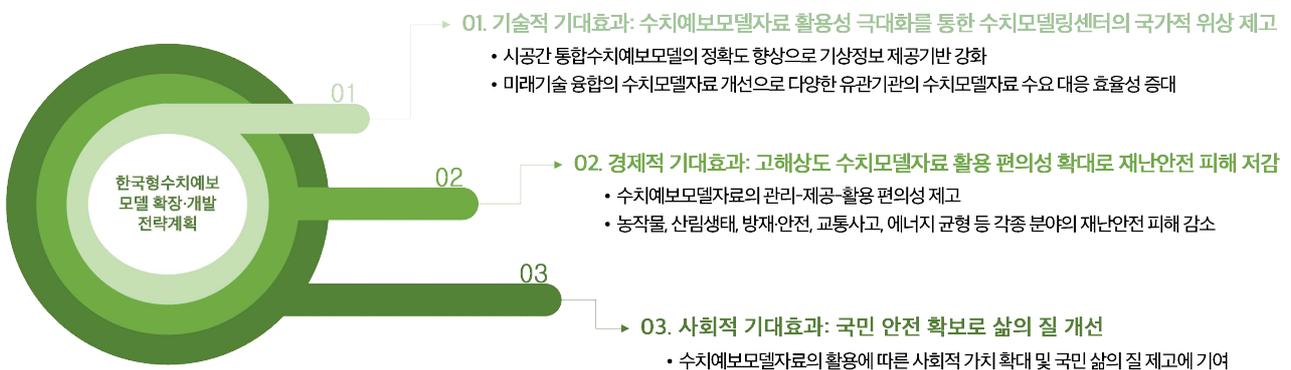
목표	<ul style="list-style-type: none"> 초단기·단중기 예측성능 향상과 미래기술 융합의 수치예보모델 개선 	
내용	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관이 요구하는 수치예보자료 제공을 위한 1km 초단기 분석 예측시스템 개발 및 한국형수치예보모델(KIM) 기반의 고해상도·가변격자 모델 개선으로 단중기 수치예보모델 구축 유관기관 수요 맞춤형 모델자료 제공정보를 다양화하고, 4차 산업혁명 관련 미래기술 융합의 수치예보모델 개선, 유관기관과의 단계적 공동연구 수행 	
추진과제별 전략	① 한국형수치예보모델의 정확도 향상 및 미래수요 대응 기술개발	② 한국형수치예보모델 기반 초단기 및 지역모델 개선
1단계 (23~24)	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보자료의 상세정보 제공, 수치예보모델자료의 2차 자료가공 자율성 제공 하이브리드 클라우드 기술개발 및 하이브리드 컴퓨팅 전략 도출(양상블) 수치모델링센터와 유관기관 간 공동R&D 사전기획 	<ul style="list-style-type: none"> 3km 초단기분석 체계 구축 및 예측시스템 현업화 한국형모델의 고해상도(8km) 체계 구축 및 계통오차 진단분석 24km해상도 자료동화 및 위성 관측자료 전처리개선 한반도 주변 3~1km 해상도 역학과과정과 연직이류개선, 동아시아 영역 고해상도 관측자료 활용 확대
2단계 (25~27)	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델자료의 모델 예측수준 정보를 500hPa, RMSE 등 제공 위성자료 이용의 시 기반 엔터프라이즈 알고리즘 개발, 전지구신경망 바람-파랑 모델 개발 수치모델링센터와 유관기관 간 공동R&D 예산 확보 및 지침 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 한반도 1km 배경장/분석장생성체계 구축 및 초단기모델 시범운영 시작 장대교량 GNSS 자료 활용체계와 윈드라이다자료 활용체계 개발 및 적용 가변격자 기반 대기-해양 자료동화체계 배경오차 개선 및 관측자료 전처리과정 개선한국형 지역모델 시범운영
3단계 (28~30)	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델의 모형 산출 결과 제공 및 기상청 제공 격자단위 정보를 지리적 단위로 제공 딥러닝 기반 예측모델 개발 및 연안변화 분석 프로그램 개발 등 추진 수치모델링센터와 유관기관 간 공동R&D 실시 및 성과 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 한반도 1km 초단기모델 시범운영 및 고도화·최적화 가변격자모델 운영체계·물리과정 최적화 가변격자 기반 대기-해양 자료동화체계 관측오차 및 위성 관측자료 개선·최적화 한국형 지역모델 고도화 및 최적화
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> 한국형수치예보모델의 초단기·단중기 예측성능 향상, 유관기관-수치모델링센터 공동연구로 수치예보모델자료 활용성 제고 및 국민 삶의 질 제고에 기여 	

추진전략 2

미래 한국형수치예보모델자료 서비스 기반 마련

<p>목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 미래 수치예보모델자료 제공시스템 고도화 및 미래 수치예보모델자료의 활용 지원을 위한 컴퓨팅·스토리지·네트워크 등 인프라 및 지원서비스 구축 • 유관기관 정보공유 커뮤니티 분기별 운영으로 수치예보모델자료 활용 아이디어 공유 및 활용교육 운영 	
<p>내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관의 미래 수치예보모델자료 활용을 위해 수치예보모델자료를 원스탑으로 검색하고, 활용할 수 있는 시스템을 구축하고, 수치예보모델자료 관리 시스템 활용 애로사항 해결을 위한 지원시스템 운영 • 한국형수치예보모델 자료를 활용 중이거나 활용 계획이 있는 유관기관을 대상으로 커뮤니티를 형성하여 정기 교류 추진 	
<p>단계별 전략</p>	<p>① 한국형수치예보모델의 자료제공 인프라 구축</p>	<p>② 수치모델자료 활용 유관기관 정보공유 커뮤니티 형성 및 운영</p>
<p>1단계 (23~24)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 유관기관과 저장공간, 모델자료 분석도구 등 공유 시스템 고도화 - AI/빅데이터 분석 시스템 재구축 및 DR 개념 백업체계 구축 - 유관기관 활용현장 맞춤형 밀착지원을 위한 서비스 아이디어 수집 및 도출방안 마련 	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 각 유관기관별로 수치예보모델자료 활용 중인 연구자 참여를 위한 정보공유 커뮤니티 수행체계 구축 및 구성 - 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 개발계획 수립
<p>2단계 (25~27)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 예측 모델링, 수치예보모델자료 시각화, 재분석장 등 공유 시스템 구축·시범운영 - 인프라 제공 범위별 활용 수요 파악 및 세부기획으로 통합 시스템 인프라 증설 - 유관기관 애로사항 긴급 해결지원을 위한 원격지원 시스템 시범운영 	<ul style="list-style-type: none"> - 유관기관 정보공유 커뮤니티 시범운영 - 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 검토 및 시범운영
<p>3단계 (28~30)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 수치예보모델자료 수집·분석 클라우드 시스템 구축 - 수치예보모델자료 보존 영역 구축 - 유관기관 애로사항 긴급 해결지원을 위한 원격지원 시스템 실시 - 유관기관 수치예보모델 활용현장 맞춤형 밀착지원 시범운영 	<ul style="list-style-type: none"> - 유관기관 정보공유 커뮤니티 정착 - 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 참여자간 역량별 교육과정 매핑
<p>기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관의 수치예보모델자료의 이해도를 제고하고, 모델자료의 활용범위 다양화로 수치예보모델자료의 활용에 따른 사회적 가치 확대 • 유관기관간 수치예보모델자료 활용 인프라 기반 정보 공유로 수치예보모델자료의 활용 성과 공유에 따른 유관기관간 활용범위 다양화·고도화 	

- (기술적) 수치예보모델자료 활용성 극대화를 통한 수치모델링센터의 국가적 위상 제고
 - 상세화된 수치예보모델자료 제공과 유관기관의 수치예보모델자료 활용 애로사항 해결을 위한 모델링 기법 등의 공동연구로 모델자료 활용성 제고, 수치예보모델자료 활용자의 역량 강화
 - 유관기관의 수치예보모델자료 활용을 위한 시스템·인프라 고도화로 수치예보자료 접근성 강화(진입장벽 감소) 및 활용 편의성 극대화
- (경제적) 고해상도 수치모델자료 활용 편의성 확대로 재난안전 피해 저감
 - 유관기관이 개별적으로 수치예보모델자료 활용 시 발생하는 애로사항을 해결할 경우 발생하는 애로사항 해결 기간 및 애로사항 보유로 도출될 수 있는 각종 문제사항의 사전 해결로 수치예보모델자료의 활용 편의성 제고, 초기 수치예보모델자료 활용 도입 시 안정적으로 수치예보모델자료를 활용하고 현장에 적용할 수 있는 기반 확보
- (사회적) 국민 안전 확보로 국민 삶의 질 개선
 - 유관기관의 수치예보모델자료의 이해도를 제고하고, 모델자료의 활용범위 다양화로 수치예보모델자료의 활용에 따른 사회적 가치 확대 및 국민 삶의 질 제고에 기여



<그림 5> 한국형수치예보모델 확장·전략계획 이행에 따른 기대효과

제 1 장 서 론

1.1. 연구 추진 배경

- 최근 국민과 미래 기상정책에서 요구하는 선진국 수준의 예보정확도 향상과 위험기상 조기 진단 및 대응을 위한 선행시간 확보 등을 위하여 현업수치 예보시스템은 자료의 정확도뿐만 아니라 점차 시공간적으로 고해상도화 및 다원화되고 예보요소 등이 추가되는 방향으로 개선 지속
- 교통안전, 신재생에너지, 항공 및 K-UAM 등 유관기관에서는 수치예측자료에 대한 지원 요구 증가
- 이에 주요 선진국들은 재해예측과 대응을 위해 초단기부터 연장 중기까지 이음새 없이 예측할 수 있는 통합형모델 개발 추진 중
- 또한, 기상예측 및 서비스 분야에 대해 인공지능 기술의 도입을 시도하고 있는 등의 수치예보시스템의 효율적 활용 및 예측 불확실성 극복을 위한 연구 추진 중
- 기상청 수치모델링센터는 국민적 요구와 세계적 흐름에 맞게 다양한 수치 예보기술 개발 및 자료 생산 중
- 수치예보기술의 자립과 국제적인 경쟁력 확보를 위해 2011년부터 한반도 지형과 기후 특성에 적합한 한국형수치예보모델(Korea Integrated Model, KIM) 개발에 착수하였고, 2020년 4월 28일부터 현업으로 운영하며 지속적인 성능 개선 및 자체적인 예측 체계 구축

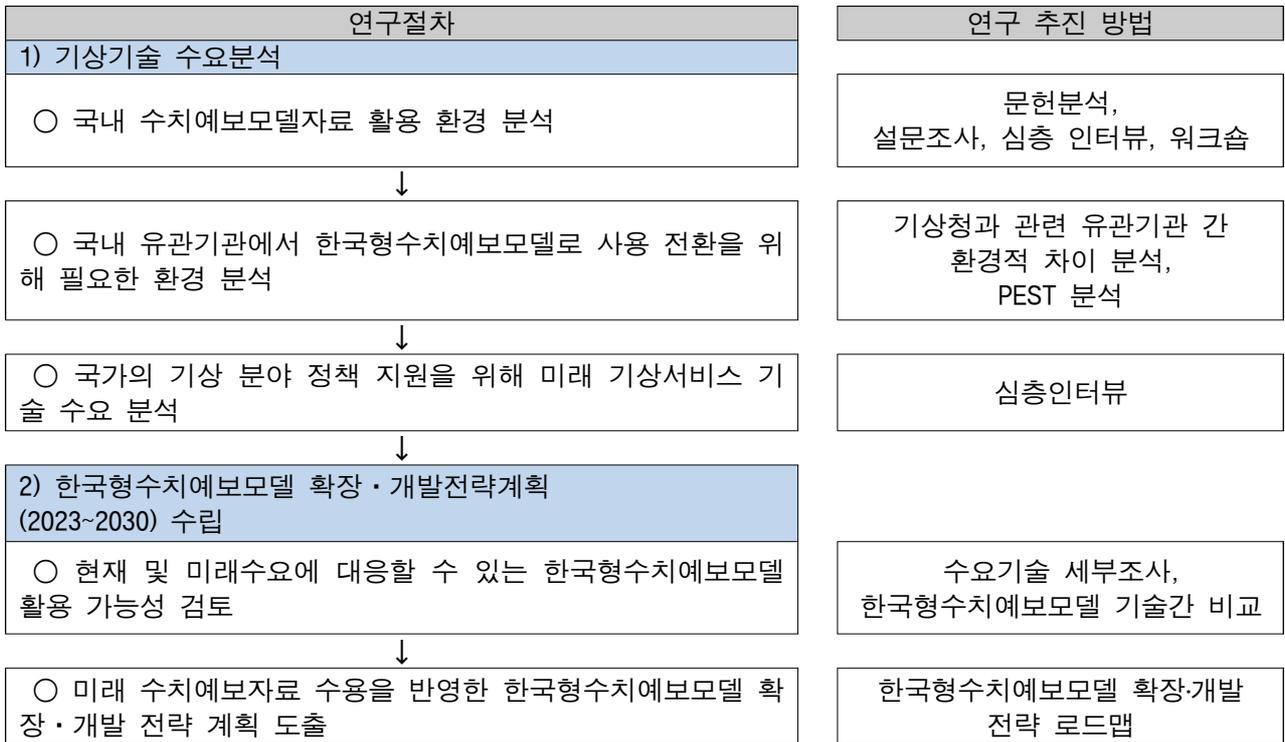
1.2. 연구 필요성 및 목적

- (필요성) 현업예보시스템의 체계적이고 실효성 있는 개선과 미래 수요 및 환경변화에 효율적으로 대응하기 위하여 미래기술을 발굴·적용하고 한국형수치예보모델 활용 확대를 위한 전략을 수립 필요
- 이를 위해 국내 유관기관을 대상으로 기상기술 수요분석을 수행하고 현재 및 미래 수요에 대응할 수 있는 한국형수치예보모델의 확장·개발전략계획을 수립하고자 함
- (목적) 수치예측성능 및 국민적 요구와 환경변화에 대응하기 위하여 현업수치예보시스템의 효율적 개선 등에 필요한 수치예보 분야의 미래기술 발굴 및 유관기관에서 한국형수치예보모델 활용을 높이기 위한 체계적이고 실효성 있는 개발전략 수립

1.3. 연구 추진 방법

- 기과제 문헌분석, 국내 유관기관 전문가를 대상으로 한 설문조사, 심층 인터뷰, 워크숍, PEST 분석을 통한 기상기술 수요분석
- 수요기술 세부조사, 한국형수치예보모델 기술간 비교, 한국형수치예보모델 확장·개발 전략 로드맵 분석을 통한 한국형수치예보모델 확장·개발전략계획 수립

<표 1.3.1.> 연구 절차 및 연구 추진 방법



1.4. 연구 내용

□ 기상기술 수요분석

- 국내 수치예보모델자료 활용 환경 분석
- 국내 유관기관에서 한국형수치예보모델로 사용 전환을 위해 필요한 환경 분석
- 국가의 기상 분야 정책 지원을 위해 미래 기상서비스 기술 수요 분석

□ 한국형수치예보모델 확장·개발전략계획(2023~2030) 수립

- 현재 및 미래수요에 대응할 수 있는 한국형수치예보모델 활용 가능성 검토
- 미래 수치예보자료 수용을 반영한 한국형수치예보모델 확장·개발 전략 계획 도출

제 2 장 수치모델자료 확대를 위한 외부 환경분석

2.1. 수치예보기술 개념 및 역할

2.1.1. 수치예보기술 개념¹⁾

- 수치예보는 수치예보모델을 이용하여 현재의 대기상태로부터 미래의 대기상태를 계산하여 예측자료를 생산하는 과정을 의미
- 수치예보모델은 대기의 흐름과 기상현상을 지배하는 운동 방정식, 열역학 방정식 등 수많은 미분방정식을 풀고(역학과정) 구름, 강수, 대기복사 등 물리과정 모수화를 통해 현재 대기상태로부터 미래의 대기상태를 예측하는 소프트웨어의 집합체
- 수치예보는 크게 전처리과정(관측자료 처리, 자료동화), 수치예보모델의 수행, 후처리 과정(수치자료 응용)으로 구성
 - (전처리 과정) 전 세계에서 관측한 다양한 종류의 관측자료 수집 → 자료해독 → 품질검사 → 객관분석 과정을 거쳐 수치모델에서 이용할 수 있는 형태로 변환하여 입력하는 과정
 - (수치예보모델 수행) 전처리과정에서 입력된 4차원의 현재 대기상태로부터 역학 및 물리방정식들을 이용하여 미래의 날씨를 예측하는 과정
 - (후처리 과정) 수치예보모델이 생산한 미래의 대기상태 예측자료로부터 일기도 생산 및 동네예보를 위한 자료의 분석·제공 등의 처리과정

1) 수치예보 업무지침 전부개정령(수치모델링센터, 2017.11.22.)

□ 수치예보 과정별 주요 수치예보기술은 아래와 같이 분류, 정의할 수 있음

<표 2.1.1> 기상기술분류상 예보 대분류 중 수치예보 중분류 구성

수치예보 과정	기상기술분류 중분류	기술정의
전처리	관측자료처리	관측자료 저장형식 및 품질검사, 모의 관측자료 생산 등 관측자료의 수치예보모델 활용 과정에 관련한 기술
	자료동화	수치예보모델의 초기 분석장 생성을 위한 자료동화 기법 및 각종 관측자료의 관측연산자 처리와 관련한 기술, 관측자료의 수치예보영향 평가 기술
수치모델	수치모델	초단기·국지·지역·전지구·확률(양상불) 등 수치예보시스템의 개발 및 개선, 모델역학과정·모델 물리과정·해상도 민감도 및 물리/역학과정 최적화·수치모델 검증 및 진단
후처리	수치자료응용	수치자료 해석 및 예보 지원을 위한 통계적 방법을 이용한 처리, 가이던스 생산 및 그래픽 처리 등의 응용 과정과 관련한 기술
	수치모델 기반기술	슈퍼컴퓨터에서의 수치예보시스템 운영 환경 최적화를 위한 하드웨어 연계 기술 및 소프트웨어 개발 관련 기술
기타	기타수치예보	성층권, 중간권, 열권 등 고층대기를 포함하는 수치모델링 기술 및 자료해석 기술 등 달리 분류되지 않는 수치예보기술

※ 출처: 기상업무 연구개발사업 처리규정(기상청 훈령 제921호)

○ 전처리과정은 4차원 대기정보를 만들어내기 위한 관측자료 처리 및 자료동화 과정으로 구분되며, 신규 관측자료 발굴 및 적용, 관측자료 품질확보, 관측자료 최적활용을 위한 분석체계 설계 및 자료동화 기법 개발, 관측자료 영향평가 등의 제반 기술로 구성됨

- (관측자료 처리) 기상, 고층, 선박 및 위성, 레이더, 항공 등 다양한 관측자료의 점검, 병합, 변환, 입력에 관련된 처리가 수치예보과정에서 가장 선행되어 이루어짐. 관측자료에 대한 지속적인 모니터링과 영향도 평가를 통해 자료의 효과적 활용방안에 대한 지속적인 개선이 필요함
- (자료동화) 수치예보모델의 초기자료를 실제 대기에 가깝도록 만들어주는 과정으로 관측된 기상자료를 충실히 반영하는 동시에 모델 고유의 역학적 원리에 어울리도록 균형을 충족해야 함. 다양한 관측 플랫폼에서 관측되어 시공간적으로 매우 다른 성질의 관측자료를 4차원적으로 조합시키는 기술로 관측오차와 모델에 대한 지식이 필수적임

- (모델과 연관성) 자료동화과정은 수치예보모델을 기반으로 구동되므로 모델의 발전과 가장 연관성이 높은 기술로 대형화, 복잡화되는 수치예보모델 환경변화에 자료동화과정 역시 빠른 기술변화환경에 대한 연동이 요구됨
- 수치모델은 다양한 규모의 대기상태를 모의하도록 역학과정, 물리과정기술로 구분하며, 역학과 물리과정 계산을 위한 전산관련 최적화 및 모델 성능평가를 위한 검증/진단 기술 등의 제반기술로 구성됨
- (역학과정) 실제 자연에서 연속적으로 움직이는 대기순환의 운동학적 변화를 전지구 또는 제한된 지역 격자체계(불연속 격자체계)에서 계산 효율과 정확도를 고려하여 수치해석적으로 코딩하는 기술임
- (물리과정) 대기의 온도나 습도 등의 상태변화(에너지, 열, 물의 변환 과정)를 예측하는 수치적 기법을 말하며, 태양 및 지표에서 방출되는 복사량 계산, 수증기의 상변화를 표현하는 구름물리과정, 지표부근의 가열과 마찰력에 의해 발생하는 난류과정 등을 이론 또는 실험에 근거한 경험식을 이용하여 표현하는 기술임
- (역학과 물리과정의 최적화 기술) 첨단 관측기술과 수치예보모델 기술이 발전할수록 수치예보모델 격자체계의 해상도가 조밀해지고, 예측할 수 있는 기상변수가 많아지며, 반영해야할 물리과정이 복잡해지므로 주어진 계산환경에서 정확도를 향상하면서도 계산효율성을 극대화하는 기술임
- (검증 및 진단기술) 수치예보시스템이 중단없이 운영되면서 실시간·주기적으로 산출되는 방대한 양의 예측결과를 실황과 객관적으로 비교하고 분석하는 기술임
- 후처리과정은 수치예보모델에서 생산된 예측자료의 예보 활용 및 과학적 이해를 위해 재구성하는 일련의 과정
- (가시화) 수치모델 수행 결과는 각 격자점에 대한 수치적인 데이터로 생산됨. 이는 바로 분석에 이용하기 어려우므로, 기호와 등치선 등으로 이루어진 기상일기도를 표현하는 기술임
- (예보가이드스) 통계기법 또는 최근의 모델 예측 경향성 등을 적용하여 수치모델 예측 결과를 개선하는 기술임

□ 수치예보시스템은 예보의 대상기간, 관심영역과 현상 등 목적에 따라 각각 운영되는 모델 자체와 전처리 및 후처리 과정을 모두 포함한 포괄적 의미를 가짐

- 현업 수치예보시스템은 전지구예보모델을 포함하여 지역·국지모델 등의 기본적인 기상모델과 해양기상모델, 황사예보모델 등의 응용모델로 구성되어 있음
- (예보기간에 따른 분류) 서로 다른 지속기간을 가지는 각각의 기상현상을 예측하기 위한 별도의 초단기예보모델(6시간 이내), 단기예보모델(3일 이내), 중기예보모델(10일 이내), 장기예보모델(~6개월 기후전망)

<표 2.1.2.> 기상예보에 따른 수치예보모델 운영 현황

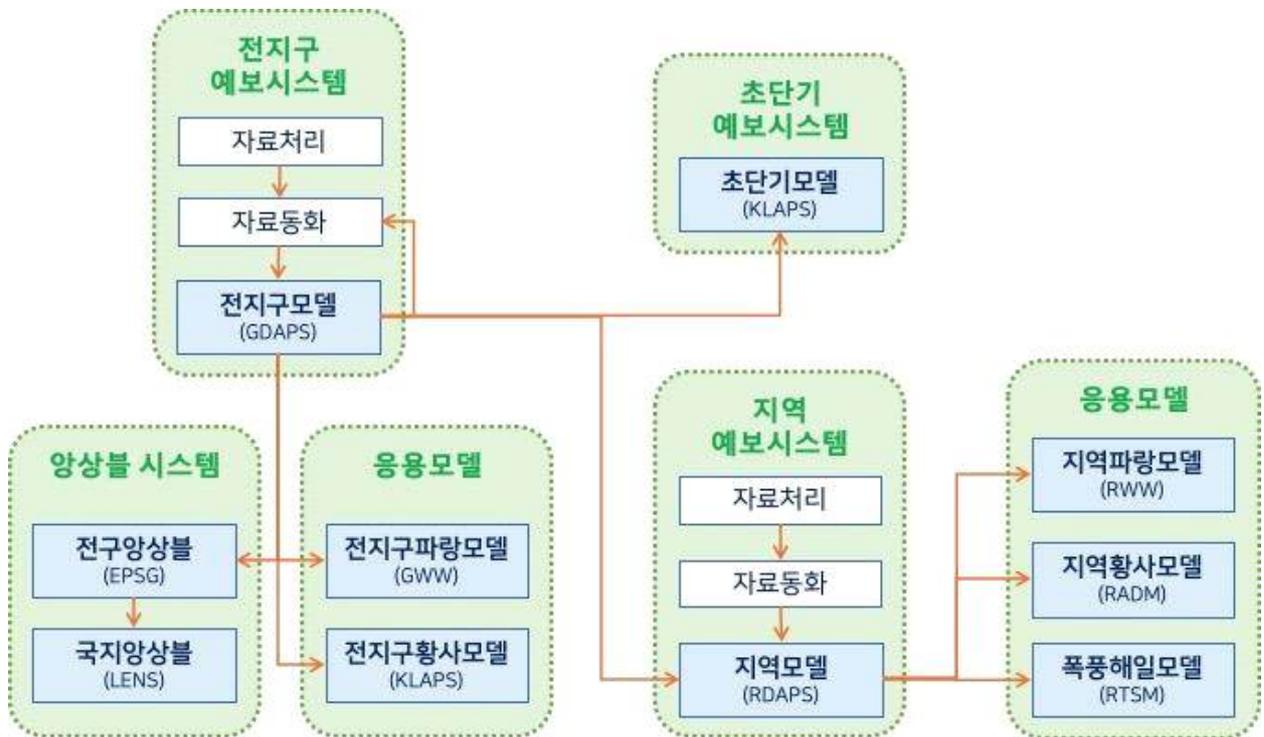
기간	D-10~3일	D~3일	D-36시간	D-6시간
예보종류	중기예보		단기예보	
지속기간에 따른 기상현상 종류	폭염 한파	태풍	호우	우박 소나기
			강풍 풍랑	
수치예보모델	전지구예보모델/전지구앙상블모델			
	지역예보모델/국지앙상블모델			초단기예보모델

- (예보영역에 따른 분류) 전지구예보모델, 지역예보모델(동아시아 영역), 국지예보모델(우리나라 영역)



<그림 2.1.1.> 기상 현상 및 초단기, 단기, 중기 예보모델의 시간 및 공간 예측 규모

- (예보현상에 따른 분류) 기상예보모델(대기 상태), 해양기상모델(파랑, 폭풍해일), 황사모델 등
 - (기타) 확률예보를 위한 전지구 및 국지 앙상블예측시스템
- 현업 수치예보시스템은 일 4회 전지구예보모델의 운영으로부터 시작하며, 그 결과를 입력자료로 활용하여 지역예보모델을 비롯한 다양한 종류의 모델이 순차적으로 수행됨
- 아래 그림에서 화살표는 각 단위 과정의 순차적인 진행 방향 또는 자료의 연계과정을 보여주는 것으로 전지구모델(GDAPS)의 예측결과가 초단기, 지역, 국지, 앙상블모델로 연계되는 것을 보여줌



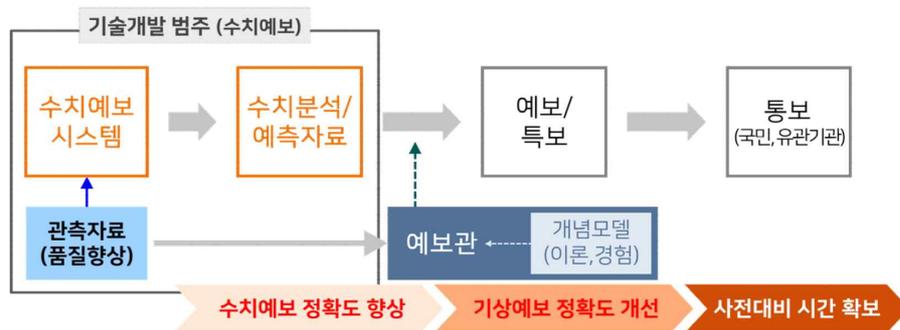
<그림 2.1.2> 현업 수치예보시스템 수행 흐름도

2.1.2. 수치예보기술 역할

□ 기상재해 사전대비는 국가 위기관리 표준매뉴얼에 의거한 위기경보 단계에 따라 기상청의 ‘선행적’ 이고 ‘정확한’ 예보와 특보로부터 시작되며, 이 과정에서 수치예측자료가 매우 핵심적인 역할

○ 수치예보기술은 기상학적 이론과 실제 관측자료 등에 기반하여 과학적인 예보 근거 자료를 생산하는 과정

- 기온, 강수를 포함한 일상적 날씨현상과 더불어 집중호우, 폭염 등 위험기상으로 인한 재해를 사전에 대응, 관리할 수 있도록 주기적으로 수행되고, 예보관 및 유관기관에 제공되는 매우 핵심적인 기술분야임²⁾



<그림 2.1.3> 수치예보를 활용한 예보 생산 과정 모식도

○ 예보 및 특보 업무 과정을 세분화하면 대부분의 과정에서 수치예측자료가 직간접적으로 사용됨

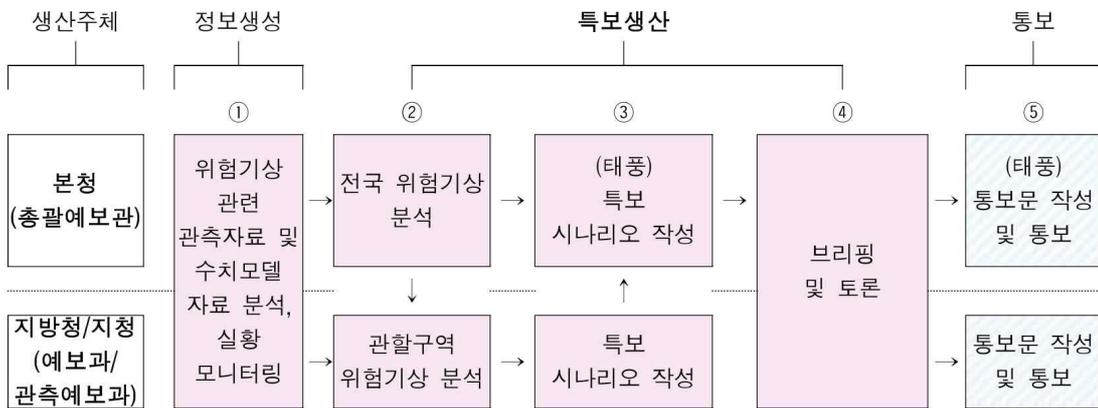
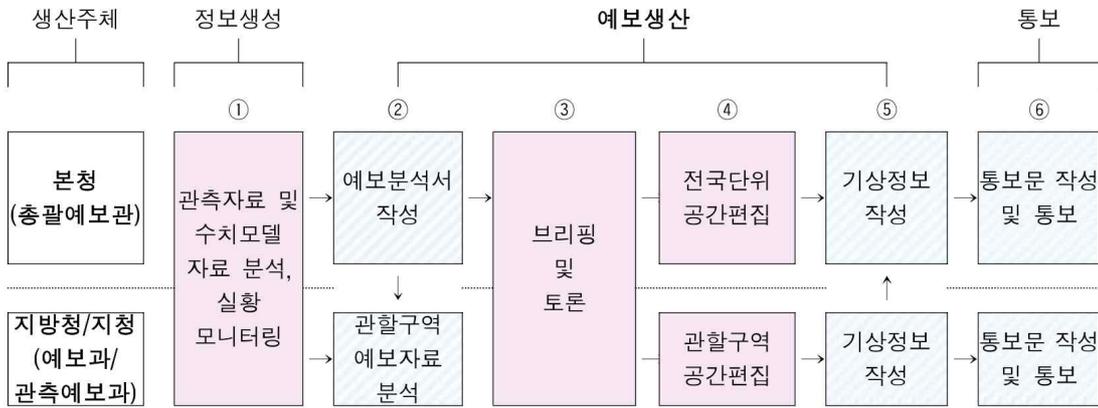
- 예보업무는 생산주체(본청 및 지방청/지청 예보관)가 관측 및 수치예측자료를 이용해 실황과 예측정보를 분석하는 것에서 시작하며, 예보분석서 작성 및 토론을 거쳐 기상정보 및 통보문을 작성하고 통보하는 일련의 과정으로 이루어짐

* 이 중 모델자료 생성·브리핑 및 토론·전국/관할 구역 단위의 예보편집 과정에 수치모델이 직접적으로 활용되고, 예보분석서 및 기상정보, 통보문 작성 과정에서는 간접적으로 활용됨

- 특보업무 또한 예보관이 실황 및 예측정보를 분석하는 것에서 시작하며, 특히 위험기상에 대한 집중분석 및 특보 시나리오 작성을 수행하며, 토론을 거쳐 통보문을 작성하고 통보하는 과정으로 이루어짐

* 통보문 작성을 제외함 모든 과정에서 수치예측자료가 직접적으로 사용됨

2) 예보역량 요소별 중요도는 수치예보모델 성능 40%, 관측역량 32%, 예보관역량 28%임(기상청, 2007)



※ 붉은색: 수치모델 직접 관련 / 파란색: 수치모델 간접 관련

<그림 2.1.4.> 예보 및 특보 업무 과정의 세분화를 통한 수치예측자료 역할: (상단) 예보업무 과정, (하단) 특보업무 과정

- 수치예보를 통한 기상예보는 일상적인 날씨현상부터 재난대응을 위한 특보에 이르기까지 대형화되고 빈발하고 있는 기상재해 사전대비 활동을 지원하는 역할을 담당하고 있으며, ‘수치예보-기상예보-재난대응’은 상호 순환적 관계를 갖고 있음

<표 2.1.3.> 재난대응-기상예보-수치예보모델의 관계

분류		대비기간		D-30~3일			D-3~1일		D-24~0시간	
		재난 대응	기상 예보	관심	일상 날씨	중기예보	계절예보	일상 날씨	예비특보	주요보
위험 기상	재난 대응			관심	일상 날씨	계절예보	일상 날씨	예비특보	주요보	경계~심각
	기상 예보			일상 날씨	중기예보	계절예보	일상 날씨	예비특보	주요보	경보
평시	재난 대응			관심	일상 날씨	계절예보	일상 날씨	예비특보	주요보	경계~심각
	기상 예보			일상 날씨	중기예보	계절예보	일상 날씨	예비특보	주요보	경보
수치예보모델				D-36~10일	D-10~3일	D-3일	D-3일	D-36시간	D-6시간	초단기예보
				전지구예보모델/전지구앙상블모델		지역예보모델/국지앙상블모델		초단기예보모델		

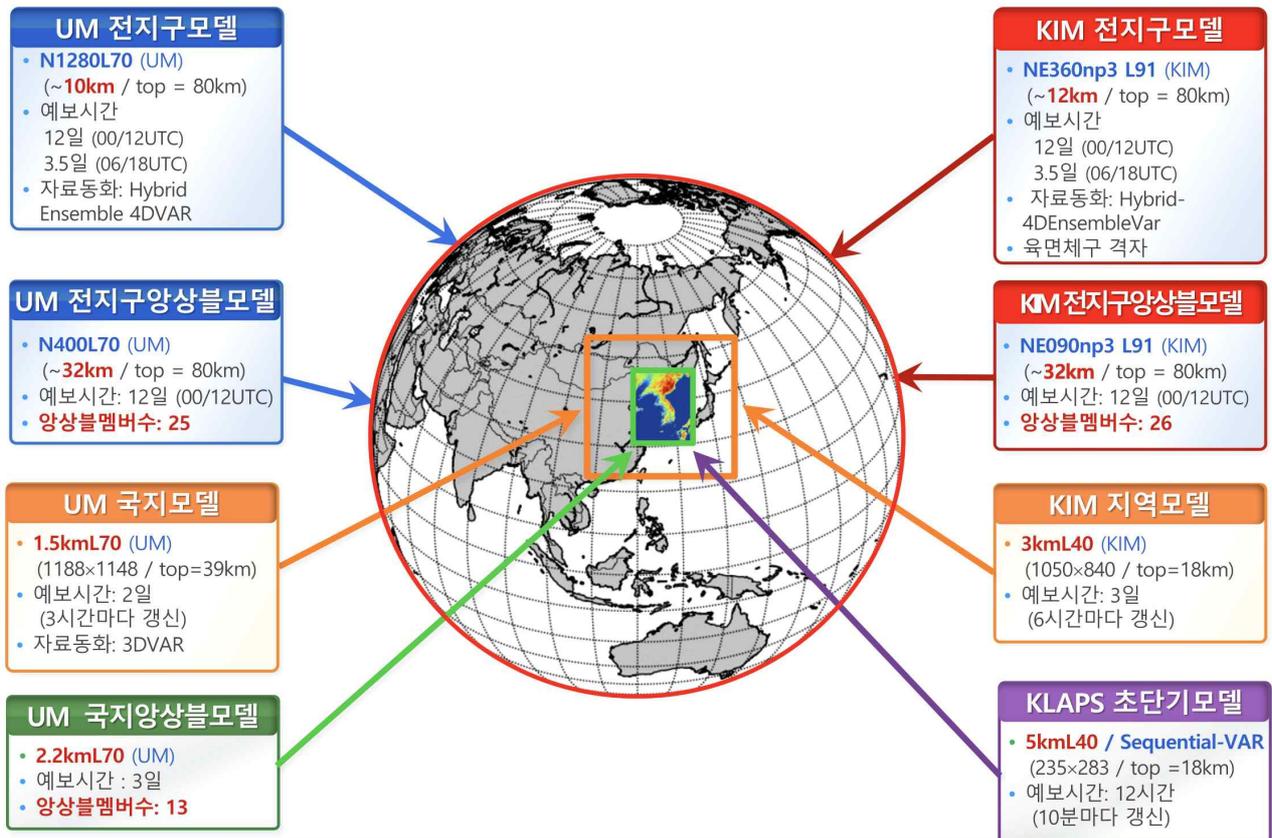
2.1.3. 수치예보모델 자료 배포 현황

□ 기상청 제공 자료 현황

- 기상청은 고유 기술로 적시 현업 운영이 가능한 전지구 수치예보모델을 개발하여 운영 중
- 기상청은 2010년 5월부터 영국 통합모델(UM; Unified Model)을 현업운영하고 있으며, 2011년 2월에 한국형 수치예보모델 개발사업에 착수하여 개발된 KIM을 2020년 4월부터 현업운영 중
 - (역학) 북극, 남극에서의 계산 불안정을 해소한 육면체구 격자구조
 - (물리) 독자적으로 개발, 수정, 보완한 물리과정 기술
 - (관측자료 처리) 관측자료를 모델격자에서 직접 처리할 수 있는 자료동화 고유기술 개발
- 기상재해와 연관성이 높은 기상현상들은 발생 요인에 따라 시공간적으로 다른 특징을 보이므로, 기상청은 예보 대상 기간, 지역, 현상에 따라 전지구·지역·국지 등 다수의 수치예보모델을 운영하여 기상재해 사전대비를 위한 수치예측자료를 생산하고 있음.
 - 현재는 UM과 KIM을 모두 이용하여 수치예측자료를 생산하여 제공함

<표 2.1.4> 현업 수치예보시스템 운영 현황

수치예보시스템	수평해상도 (연직층수)	예측영역	예보시간
UM 전지구모델	~10 km (70층)	전지구	12일 (00/12UTC) 3.5일 (06/18UTC)
UM 전지구앙상블모델	~32 km (70층)	전지구	12일 (00/12UTC)
UM 국지모델	1.5 km (70층)	동아시아	2일 (3시간마다 갱신)
UM 국지앙상블모델	2.2 km (70층)	한반도	3일
KIM 전지구모델	~12 km (91층)	전지구	12일 (00/12UTC) 3.5일 (06/18UTC)
KIM 전지구앙상블모델	~32 km (91층)	전지구	12일 (00/12UTC)
KIM 지역모델	3 km (40층)	동아시아	3일 (6시간마다 갱신)
KLAPS 초단기모델	5 km (40층)	한반도	12시간 (10분마다 갱신)



<그림 2.1.5> 현업 수치예보시스템 운영 현황(기상청 “수치모델링센터 수치예보모델 소개”, 2022)

□ 기상청의 유관기관 자료 배포 현황

- 기상청은 유관기관에 수치예보모델에서 생산된 데이터(전구/국지/초단기모델, 기타)와 일기도 자료 제공 중

<표 2.1.5> 기상청의 수치예보모델자료의 유관기관 배포 현황

기관명/부서명	수치예보자료 배포현황 및 활용 내역			
	파일종류	구분	활용여부	활용내역 및 분야
강원도보건환경연구원/ 대기평가과	데이터	전구모델	활용	기상예측모델(WRF), 역궤적분석모델(HYSPLIT)
공군기상단/ 수치예보실	데이터	전구모델	활용	검증용 자료
			미활용	WRF 초기자료
		기타	활용	WRF 초기자료
		국지모델	활용	검증용 자료
	초단기모델	미선택	WRF 초기자료	
	일기도	기타	활용	기상분석(공군기상정보시스템 웹 표출)
		분석일기도	활용	기상분석(공군기상정보시스템 웹 표출)
한국원자력안전기술원/ 원자력비상대책실	데이터	전구모델	활용	인접국 원전사고시 방사성물질 확산 예측모델(FLEXPART, HYSPLIT) 입력장

		기타	활용	인접국 원전사고시 방사성물질 확산 예측모델(FLEXPART, HYSPLIT) 입력장
		국지모델	활용	국내 원전사고시 방사성물질 확산예측모델(CALPUFF) 입력장
		초단기모델	미활용	낮은 해상도로 인해 현재 미활용 VDAPS로 대체 협의요청 예정
국립산림과학원/ 산림ICT연구센터	데이터	전구모델	활용	산불위험 중장기 예측
		국지모델	활용	산악지역 미기상 모의(WRF)
		초단기모델	활용	산사태 위험 예측
국립재난안전연구원/ 방재연구실	데이터	전구모델	활용	너울성 파랑 예측모델 입력장
		국지모델	미활용	
		지역해양파랑모델	활용	수치예측결과 비교 검증 활용
부산광역시 보건환경연구원/ 대기진단평가팀	데이터	전구모델	활용	진단평가 시스템 미세먼지 모델 입력장
	일기도	전구모델	활용	진단평가 시스템 C/S 표출
		국지모델	활용	진단평가 시스템 C/S 표출
		분석일기도	미선택	진단평가 시스템 C/S 표출
서울특별시 대기질통합분석센터	데이터	전구모델	활용	서울형대기질모델링 시스템 미세먼지 모델 입력장으로 활용
	일기도	분석일기도	활용	대기질모델링 시스템 및 진단평가 프로그램에서 C/S 표출자료로 활용
한강홍수통제소/ 수자원정보센터	데이터	전구모델	활용	사전홍수전망 입력자료
		국지모델	활용	강수예측자료분석시스템에 표출 및 모니터링
		앙상블모델	활용	사전홍수전망 입력자료
		초단기모델	활용	홍수예보모형 입력자료
		기타	활용	강수예측자료분석시스템에 표출 및 모니터링
	기타	활용	사전홍수전망 입력자료	
일기도	전구모델	활용	통합홍수예보시스템에 표출 및 모니터링	
한국수력원자력/ 방폐물환경그룹	데이터	전구모델	활용	대기확산평가 모델 입력 자료
		국지모델	활용	대기확산평가 모델 입력 자료
해양경찰청/기동방제과	데이터	전구모델	활용	해양오염방제지원시스템 웹표출
K-water/수자원운영처	데이터	전구모델	활용	물관리를 위한 예상강우 및 강우분포 분석, 수문방류 여부, 방류량, 방류기간 등 댐 운영 의사결정
		국지모델	활용	물관리를 위한 예상강우 및 강우분포 분석, 수문방류 여부, 방류량, 방류기간 등 댐 운영 의사결정
		앙상블모델	활용	물관리를 위한 예상강우 및 강우분포 분석, 수문방류 여부, 방류량, 방류기간 등 댐 운영 의사결정
		초단기모델	활용	물관리를 위한 예상강우 및 강우분포 분석, 수문방류 여부, 방류량, 방류기간 등 댐 운영 의사결정

경기도 보건환경연구원/ 미세먼지연구부	일기도	전구모델	활용	경기도 대기환경 진단평가 시스템 내부 분석 (gdps_skew_*.gif 수신자료는 대폭 축소 예정으로 현재 국가기후 데이터센터와 협의 중)
		국지모델	활용	경기도 대기환경 진단평가 시스템 내부 분석
		분석일기도	활용	경기도 대기환경 진단평가 시스템 내부 분석
경북 보건환경연구원/ 대기보전과	데이터	전구모델	활용	경북형 대기질 진단시스템 대기질 모 델 입력장
	일기도	전구모델	활용	경북형 대기질 진단시스템 C/S 프로 그램 표출
		국지모델	활용	경북형 대기질 진단시스템 C/S 프로 그램 표출
		분석일기도	활용	경북형 대기질 진단시스템 C/S 프로 그램 표출
국립환경과학원/ 대기질통합예보센터	데이터	전구모델	활용	대기질 현업 모델링 초기입력장으로 활용
		기타	미기재	
	일기도	기타	활용	대기질 현업 모델링 초기입력장으로 활용
		분석일기도	활용	국가대기질예보지원시스템 표출
인천보건환경연구원/ 대기평가과	데이터	전구모델	활용	인천시 대기질 진단·평가 시스템 대 기질 모델 입력장
부경대학교/ 극지예측연구실	데이터	국지모델	활용	부산 복합강수 가이드스 활용
		국지모델	활용	부산 복합강수 가이드스 활용
	일기도	분석일기도	활용	부산 복합강수 가이드스 활용
KBS/재난미디어센터	데이터	전구모델	활용	방송용 기상 그래픽 장비 표출 입력 데일리 날씨 및 재난방송 일기도 표출(g512) 강수예상도, 강풍예상도(g120)
		지역해양파 랑모델	활용	방송용 기상 그래픽 장비 표출 입력 데일리 날씨 및 재난방송 풍랑 예상도
		초단기모델	활용	지역별 초단기 실황 보완용 활용 초단기 강수예측 자료 등 활용 예정
SBS/미디어IT팀	데이터	전구모델	활용	기상방송용 일기도, 예상강수, 예상 눈, 바람 그래픽 생성(UNIS) 기상 방송용 바람 그래픽 생성 (PRES)

2.2. 국내 수치예보모델자료 활용 환경 분석

2.2.1. 정책적 환경

□ 과학기술정보통신부 「제4차 과학기술기본계획(2018~2022)」에서는 19개 중점추진과제 중, ‘17. 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현’에서 스마트 재난안전관리 시스템 확보 관련 세부과제 및 중점과학기술 제시

○ 중점추진과제 17에서 본 과업과 관련있는 부분은 기상 상황으로 인한 자연 재해를 조기에 발견하고 정보를 제공하는 시스템 구축과 위치정보, 위성영상 등 융합기술을 활용한 예측기술 및 재난대응 시스템 구축임

<표 2.2.1.> 제4차 과학기술기본계획(2018~2022) 중 기상관련 부분

비전	과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여
추진전략	과학기술로 모두가 행복한 삶 구현
중점추진과제	17. 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현
세부과제	세부과제③ 재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보 ■ 대규모 재해로부터 국민을 지키는 안전확보 체계 구축 ■ 기상, 지변 등으로 인한 자연재해 예측 및 조기경보시스템 구축과 복합재난 예측 및 신속 대응기술 개발 ■ 위치정보, 위성영상, 지능정보기술, 3D 공간정보 등을 융합한 위험대비 통합예측기술 및 상황관리기술과 재난대응 시스템 구축

※ 출처: 「제4차 과학기술기본계획(2017~2022)」(과학기술정보통신부, 2018)

○ (중점과학기술) 환경·기상, 재난안전 분야에서 기후변화 감시·예측·적응 기술, 자연재해 감시·예측·대응 기술, 복합재난 스마트 예측·대응기술 등 수치예보 모델개발 및 활용 관련 기술 포함 중

<표 2.2.2.> 제4차 과학기술기본계획(2018~2022) 중 기상 관련 중점과학기술

대분류	중분류	중점과학기술명
환경·기상 (12)	기후·대기	미세먼지 등 대기오염 대응기술, 기후변화 감시·예측·적응 기술, 고효율 친환경 Non-CO2 온실가스 저감 기술, 자연재해 감시·예측·대응 기술
재난안전 (4)	재난안전	복합재난 스마트 예측·대응기술, 재난 전주기 정보통신체계기술, 범죄·테러 통합 지능형 예측·대응시스템 기술, 재난현장 소방구조 장비·시스템 기술

※ 출처: 「제4차 과학기술기본계획(2017~2022)」(과학기술정보통신부, 2018)

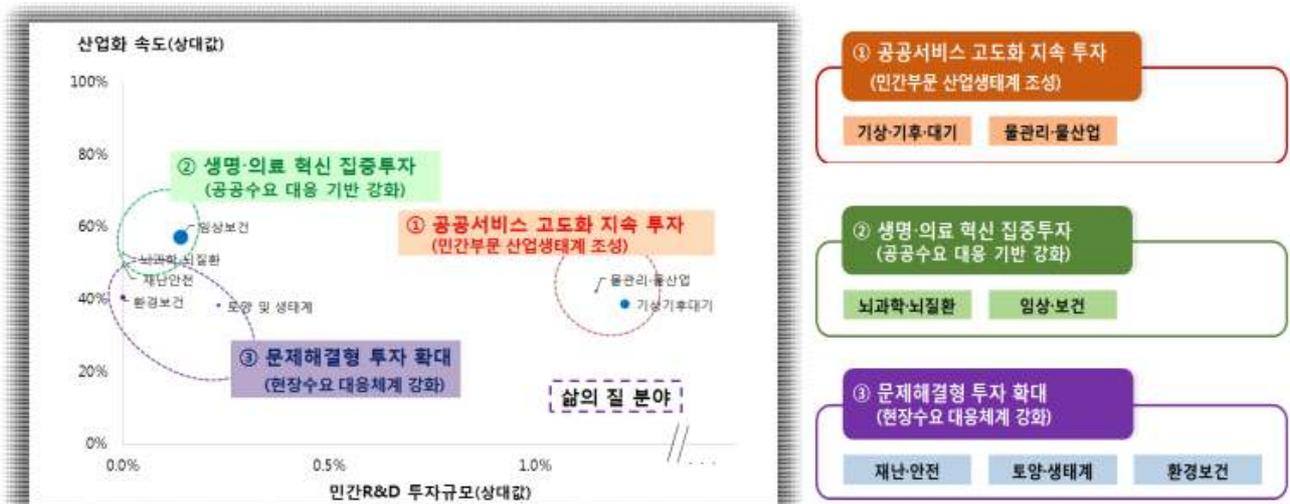
□ 과학기술정보통신부 「제2차 정부 R&D 중장기 투자전략(2019~2023)」은 ‘삶의 질(환경·보전·안전)’ 분야에 기상·기후·대기 분야를 포함하고 쾌적하고 편안한 생활환경을 추구하기 위한 기술에 해당기술 정의 중

<표 2.2.3.> 제2차 정부 R&D 중장기 투자전략(2019~2023) 중 기상관련 부분

중분야	정의 및 주요기술	비고
기상·기후·대기	<ul style="list-style-type: none"> · 기상 : 집중호우, 태풍, 지진 화산, 황사, 해양기상 등 기상현상의 과학적 이해와 영향을 연구하는 분야로 관측기술, 예보기술, 융합기상기술, 지진 화산기술 등을 포괄 · 기후 : 기후현상의 통계적 특성, 기후 변동성 및 인위적인 변화를 연구하는 분야로 기후현상 감시 및 원인규명, 미래예측, 기후변화 영향평가 및 적응 기술 등을 포괄 · 대기 : 대기질 예측 측정 예보 발생기작 등의 분석기술, 대기오염물질 배출저감을 위한 사전저감기술, 배출된 대기오염물질 제거를 위한 사후저감기술 등을 포괄 	

※ 출처: 「제2차 정부 R&D 중장기 투자전략(2019~2023)」(과학기술정보통신부, 2018)

○ ‘삶의 질’ 중 기상 분야의 세부 투자전략 중 본 연구와 관련있는 내용은 기후변화 및 산업화로 인한 환경문제를 위한 R&D 역할 확대임



<그림 2.2.1.> 제2차 정부 R&D 중장기 투자전략 중 기상관련 부분

※ 출처: 「제2차 정부 R&D 중장기 투자전략(2019~2023)」(과학기술정보통신부, 2018)

- 기상청 「제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021)」은 유관기관의 만족도 제고를 위한 예보시스템 개선, 수요자 맞춤형 예보서비스, 기상기후 융합서비스, 미래 기상기후자료 수요대응 기술개발 및 인프라 확충 등 반영
- 전략1은 예보정확도 제고를 위한 핵심기술을 개발하고, 유관기관의 기상정보 활용 만족도 제고를 위한 맞춤형 정보 제공 내용을 포함함
- 전략2는 기상정보 활용의 의사결정을 지원하기 위해 영향예보서비스를 제공하고, 수요자 맞춤형 서비스를 확대하는 내용을 포함
- 전략3은 기상정보 활용을 증진시키기 위해 미래기술과 기상정보를 융합한 미래 유망형 기상기후 서비스 개발을 지원하는 내용임
- 전략5는 미래 수요의 대응을 위해 기상예보와 관측과 인공지능을 융합한 기술을 개발하고, 기상정보의 서비스 최적화를 위한 시스템을 구축하고, 기상데이터 통합 서비스 환경을 제공하는 내용임

<표 2.2.4.> 제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021) 중 등 과업 관련 부분

비전	신뢰받는 정보 제공으로 국민이 만족하는 기상서비스 실현
전략1. 기상예보 기술과 관측 인프라 고도화	1-1. 예보기술력 향상 및 예보시스템 개선 ① 예보정확도 제고를 위한 핵심기술 개발 및 기술력 확보 - 한국형 수치예보모델의 기상청 단·중기 수치예보 현업 활용 및 지역수치모델과 응용모델 연계 ③ 국민과 유관기관의 만족도 제고를 위한 능동적 소통체계 마련 - 클라우드 기반의 방재기상정보시스템을 통한 유관기관 대상의 맞춤형 방재업무 지원 체계 강화
전략2. 국민 안전 중심의 맞춤형 서비스 확대	2-2. 의사결정 지원 공공기상서비스 확대 ① 기상현상의 사회·경제적 영향을 고려한 영향예보서비스 실시 - 집중호우, 폭염, 대설 등 위험기상에 관한 재해모델 개발 및 이를 활용한 영향정보 생산 기술 개발 - 수치모델 기반의 고분해능 확률예측 자료 및 과거 재분석자료 생산 - 위성과 레이더를 활용한 영향예보 지원 산출물 생산 기술 개발 ② 국민 안전을 위한 분야별 수요자 맞춤형 서비스 확대 - 유관기관의 물 관리 업무 지원을 위해 호우예측모델 고도화 및 유역별 맞춤형 기상정보 제공 단계적 확대 - 고해상도 도시·농림 응용기상모델을 활용한 부문별 맞춤형 콘텐츠 개발 및 서비스
전략3. 기상기후정보의 가치 제고 및 신성장 동력화	3-1. 기상기후자료 활용 증진 및 융합서비스 확산 ② 기상기후 융합서비스 고도화 및 활용 확산 - 데이터 기반 지능형 기술(기계학습, 상황인식, 빅데이터, 스마트센서 등)을 활용한 미래 유망형 기상기후 융합서비스 개발
전략5. 미래를 준비하는 기상업무 성장기반 조성	5-1. 신기술 및 융합 R&D를 통한 기상업무 선진화 ① 미래 수요 선제적 대응을 위한 연구개발 활성화 - 기상예보, 관측 등에 인공지능 활용 방안 정립 및 기술 개발 ② 안정적 기상업무 수행을 위한 정보통신 인프라 확충 및 고도화 - 기상자료 수집·처리·분배 및 유통·활용 서비스 최적화를 위한 차세대 종합기상정보시스템 구축 - 수치예보모델 운영, 기상 예·특보 생산 등의 현업 및 기상기술 개발을 지원하는 기상데이터 통합 서비스 환경 조성

※ 출처: 「제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021)」(기상청, 2016)

□ 기상청 ‘연구개발(R&D) 중장기(2018~2027) 발전계획’에서는 예보정확도 향상을 위한 핵심기술 개발과 미래수요 대응을 위한 융합기상 R&D 지원을 추진

- 추진전략2에서 국민이 체감할 수 있고, 기상재해 저감이 가능한 초단기·단·중기 예측 및 예보 향상 기술과 극한기상 예측·영향 평가기술 개발을 포함
- 추진전략5에서는 수요자 맞춤형 기상서비스를 제공하고, IoT, 빅데이터 등 ICT 기술을 활용한 기상정보 제공기술 개발을 포함함

<표 2.2.5.> 연구개발(R&D) 중장기(2018~2027) 발전계획 중 동 과업 관련 부분

비전	이슈 대응형 기상 R&D 추진으로 국민안전확보 및 국가경제성장 지원
추진전략	2. [예보] 예보정확도 향상을 위한 핵심기술개발 - 국민이 체감할 수 있는 초단기·단·중기 예측 및 예보 향상 기술 개발 - 기상재해 저감을 위한 극한기상 예측·영향 평가 및 조기경보 기술개발
	5. [융합기상] 미래 수요 대응을 위한 융합기상 R&D 지원 - 재해저감, 생산성 증대, 생활편의향상 등 수요자 맞춤형 기상서비스 지원 기술개발 - IoT 기반 기상정보 표준 플랫폼 구축 및 영향예보 서비스 기술 개발 - ICT 기술을 활용한 기상기후 빅데이터 통합분석·관리기술 개발

※ 출처: 「연구개발(R&D) 중장기(2018~2027) 발전계획」(기상청, 2017)

- 기상청 ‘수치모델링센터 업무혁신방안’은 세계 정상급 수치예보 강국으로 도약을 비전으로 선제적 수치예보 서비스 혁신(추진전략 1), 지속적 수치모델개발 역량 강화(추진전략 2), 적극적 미래기술과 융합(추진전략 3)을 포함
- 추진전략 1에서는 현안에 대응하고, 국민 요구에 부합한 수치예보서비스를 제공하는 것을 내용으로 함
- 추진전략 2에서는 외부연구기관과의 협력을 강화하고, 기상재해관련 허브역할로 유관기관과의 지속가능한 동반자 관계를 조성하는 것을 포함함
- 추진전략 3에서는 인공지능과 융합한 물리·자료동화 개발, 정량강수예측 등을 개발하고, 미래기술을 추가 발굴하며 내재화하는 내용을 포함함

<표 2.2.6.> 수치모델링센터 업무혁신방안 중 동 과업 관련 부분

비전	세계 정상급 수치예보 강국으로 도약
추진전략	Ⅱ. 지속적 수치모델개발 역량 강화
중점과제	② 지속가능한 동반자 관계를 통한 R2O2R 생태계 조성
추진전략	Ⅲ. 적극적 미래기술과 융합
중점과제	① 수치모델개발과정에 인공지능 기술 적극적 융합 ② 미래기술을 융합한 현안대응 수치예측체계 개발 ③ 미래기술 발굴 및 내재화

※ 출처: 「수치모델링센터 업무혁신방안」(기상청, 2021)

- 기상정보와 ICT기술과의 융합과 관련하여 기상청은 2020년 「인공지능기술 지원 및 활용 연구 중장기(2030년) 연구개발 추진전략」을 수립하고, ‘맞춤형 기상-인공지능(AD) 통합 시스템’ 구축 중
- 기상분야는 현재 지능형 인공지능 기술 도입기에 해당하며, 단계적 검증 실

시로 베타버전 개발부터 시스템 구축, 확산, 활성화 단계를 거칠 예정

<표 2.2.7.> 인공지능 예보지원 연구개발 추진 단계별 목표

단계	벤처형조직		1단계			2단계			3단계		
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
목표	예보지원 베타버전 개발		인공지능 예보지원 시스템 구축			인공지능 예보지원 시스템 확산			지속개선 및 민간연계 활성화		

※출처: 「인공지능기술지원 및 활용연구 중장기 연구개발 추진전략」(기상청 국립기상과학원, 2020)

<표 2.2.8.> 인공지능 예보지원 연구개발 추진 세부기술 리스트

전략	세부과제	세세부과제
기상·AI 융합으로 기상예측의 신속·정확성 확보	1. AI 기상 예측	1-1 AI 기법을 활용한 한반도 특화 강수 예측
		1-2 AI 기상예측 융합기술
		1-3 설명 가능한* AI 기상예측활용 기술 개발 * AI의 의사결정 근거를 예보관이 이해할 수 있는 형태로 제공
사람 중심의 인공지능 예보 지원체계 확립	2. AI 예보지원 및 활용	2-1 AI 예보지원 기술 개발
		2-2 맞춤형 AI 예보활용기술 개발

※출처: 「인공지능기술지원 및 활용연구 중장기 연구개발 추진전략」(기상청 국립기상과학원, 2020)

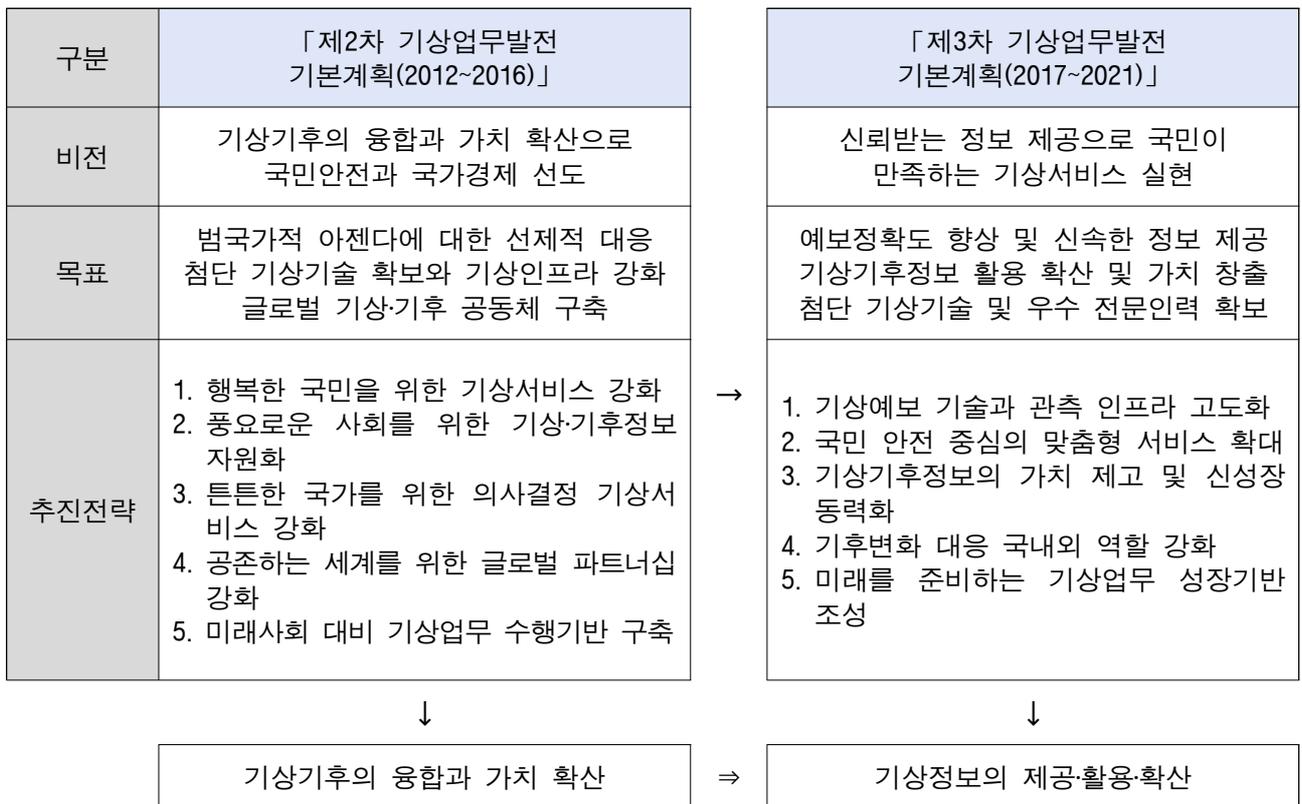
□ (정책적 환경분석 요약) 수치예보기술 관련 상위정책은 예측/예보 시스템 구축, ICT기술과 연계한 융합기술·미래기술 개발, 유관기관의 기상정보 활용을 위한 수요자 맞춤형 서비스 제공을 중심으로 추진 중

<표 2.2.9.> 정책적 환경분석 결과 요약

정책명	정책내용	본 연구 관련 내용	주요 키워드
제4차 과학기술기본 계획 (2018~2022)	17. 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현	자연재해 예측 및 조기경보시스템 구축 융합기술 활용의 통합예측기술 및 재난대응 시스템 구축	→ 예측/예보 시스템 구축 융합기술 활용
제2차 정부 R&D 중장기 투자전략 (2019~2023)	‘삶의 질(환경·보건·안전)’ 분야에 기상·기후·대기 분야를 포함	기후변화 및 산업화로 인한 환경문제 해결을 위한 R&D역할 확대	→ 환경문제 해결 R&D 수행
제3차 기상업무발전 기본계획 (2017~2021)	전략1. 기상예보 기술과 관측 인프라 고도화	예보정확도 제고를 위한 핵심기술을 개발하고, 유관기관의 기상정보 활용 만족도 제고를 위한 맞춤형 정보 제공	→ 핵심기술 개발 유관기관의 맞춤형 정보 제공
	전략2. 국민 안전 중심의 맞춤형 서비스 확대	기상정보 활용의 의사결정을 지원하기 위해 영향예보서비스를 제공하고, 수요자 맞춤형 서비스를 확대	→ 기상정보 활용의 의사결정 지원 수요자 맞춤형 서비스
	전략3. 기상기후정보의 가치 제고 및 신성장 동력화	미래기술과 기상정보를 융합한 미래유망형 기상기후 서비스 개발	→ 미래유망형 기상서비스 개발
	전략5. 미래를 준비하는 기상업무 성장기반 조성	기상예보와 관측과 인공지능을 융합한 기술을 개발하고, 기상정보의 서비스 최적화를 위한 시스템을 구축하고, 기상데이터 통합 서비스 환경을 제공	→ 융합 기상정보 서비스 최적화
연구개발(R&D) 중장기(2018~2027) 발전계획	추진전략 2. [예보] 예보정확도 향상을 위한 핵심기술개발	초단기·단·중기 예측 및 예보 향상 기술개발	→ 예측/예보 향상 기술개발
	추진전략 5. [융합기상] 미래 수요 대응을 위한 융합기상 R&D 지원	수요자 맞춤형 기상서비스를 제공하고, IoT, 빅데이터 등 ICT 기술을 활용한 기상정보 제공기술 개발	→ 수요자 맞춤형 기상서비스 제공 ICT기술 활용
수치모델링센터 업무혁신방안	추진전략Ⅱ. 지속적 수치모델개발 역량 강화	외부연구기관과의 협력을 강화하고, 기상재해관련 허브역할로 유관기관과의 지속가능한 동반자 관계를 조성	→ 외부연구기관과의 협력 기상재해관련 허브역할
	추진전략Ⅲ. 적극적 미래기술과 융합	인공지능과 융합한 물리·자료동화 개발, 정량강수예측 등을 개발하고, 미래기술을 추가 발굴하며 내재화	→ 융합기술 개발 미래기술 추가 발굴

- 기상청의 정책기조는 「제2차 기상업무발전 기본계획(2012~2016)」은 기상기후의 융합과 가치 확산에서 「제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021)」 기상정보의 제공·활용·확산으로 변화하여 수치예보기술의 활용에 초점
 - 특히 수치예보기술의 활용과 관련하여 데이터 기반 지능형 기술(기계학습, 상황인식, 빅데이터, 스마트센서 등)을 활용한 미래 유망형 기상기후 융합서비스 개발 추진

<표 2.2.10.> 기상청 정책기조 변화 분석 결과



2.2.2. 경제적 환경

□ (기상예보서비스 시장규모) '21년 글로벌 기상예보서비스 시장규모는 3조 7,579억 원(20억 8,528만 달러)에서 '28년 7조 1,071억 원(58억 3,504만 달러) 규모로 약 89.1% 성장 전망

○ 기상예보서비스 시장은 자연재해 등과 관련하여 생활·안전에 대한 전세계적 관심 증대로 기상정보를 활용하는 산업 분야가 다양해지면서 시장규모가 지속적으로 성장 중



<그림 2.2.2> 글로벌 기상예보서비스 시장규모 및 연평균성장률 전망

※ 출처: 글로벌 기상예보서비스 시장동향 및 주요기업 현황(한국기상산업기술원, 2022)

□ (융합분야 시장 성장률) 최근 5년간 기상예보 분야와의 융합분야인 항공, 미디어, 에너지·공공 등의 시장 성장률은 미디어(9.29%), 농업(9.25%)이 높음

- '21년 이후에는 농업(10.42%), 해양(10.22%)분야의 시장이 성장할 것으로 전망
- 미디어 분야의 높은 시장 성장률은 웹사이트, 방송 등 미디어 산업과 스포츠, 놀이공원 등 야외 활동에서의 소비활동 증가에 기인함
- 농업 분야는 수확, 축산, 식량 관리 등 농업에 필수적인 기상정보를 위성, 센

서, 드론 등 IT기술과 융합하여 의사결정에 활용하는 수요가 증가할 전망

- 해양분야는 풍량, 해류 등 기상정보 활용으로 해운의 안전성 확보와 위험관리 및 해상풍력의 효율적인 운영과 비용 절감을 위해 기상예보서비스 이용을 확대할 것으로 예상됨



<그림 2.2.3> 융합분야별 시장규모 및 연평균성장률 전망

※ 출처: 글로벌 기상예보서비스 시장동향 및 주요기업 현황(한국기상산업기술원, 2022)

- (기상정보 value chain) 기상정보는 관측감시/예측/전파/활용 단계를 거치며, 활용범위는 국제기구, 연구기관기업부터 정부, 국민, 기업 등 다양함

- 기상정보 value chain 중 기상청의 연구개발 단계에 포함되는 영역은 관측부터 생산까지임
- 기상/지진관측 정보나 기후변화 정보, 방재 기상/지진정보는 연구기관, 정부, 방재기관 등이 주로 활용



<그림 2.2.4> 기상정보의 value chain

※ 출처: 기상정보활용 실태조사 및 날씨위험관리 기법 연구(기상청, 2013)

- 연구기관, 정부 및 유관기관이 사용하는 정보는 국민의 삶의 질을 제고하기 위해 생활 편리성 증대와 공공정보 제공을 목적으로 함

관측	생산	유통	활용	
<ul style="list-style-type: none"> • 지상, 고층, 해양 • 항공 • 위성 • 레이다 • AWS(자동기상관측) • 윈드프로파일러 • 지진 	<ul style="list-style-type: none"> • 자료동화 • 수치분석 • 슈퍼컴퓨터 • 예보관 • 생산자료 : 초단기, 단기, 중기, 장기 예보, 기상특보, 대기오염 기상정보, 지진관련, 고층기상, 해양기상, 항공기상, 기상위성, 기상레이더, 낙뢰관측 • 생산형태 : 수치자료, 일기도 등 그래픽자료, 동영상 	<ul style="list-style-type: none"> • 유료, 무료 • 국민, 기업, 연구기관, 기상사업자, 항공, 국제기구, 협력기관, 유관기관(환경, 교통, 방재, 수문, 해양, 방송, 소방, 에너지, 농업, 국방, 산림) • 유통매체(팩스/전화, 인터넷, 개인단말기, 스마트폰, 태블릿 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • 국제기구(지구대기관측정보) • 연구기관, 기업 (기상/지진관측정보, 맞춤형기상정보) • 정부 및 유관기관(기후변화정보, 일반기상정보, 방재 기상/지진 정보) • 국민(일반기상정보, 기상특보, 기상예보) • 기상사업자(기후변화정보, 일반기상정보, 기상특보, 맞춤형 기상정보, 방재 기상/지진정보) 	<ul style="list-style-type: none"> 생활 편리성 증대 공공 정보 제공 수익 창출

<그림 2.2.5> 기상정보의 활용목적

※ 출처: 기상정보활용 실태조사 및 날씨위험관리 기법 연구(기상청, 2013)

- (기상 정보의 가치) 세계기상기구, 미국, EU 등은 기상 정보가 농업, 에너지, 교통, 어업, 수자원 등 다양한 분야와 연관되어 자연재해 손실 감소 편익을 4~36배, 수송 및 물류에 4.6조 달러 기여 등 경제적 가치를 창출하는 것으로 추정 중

- 세계기상기구는 기상·기후 정보의 제공 및 서비스를 담당하는 국가 기상 수문부서의 편익을 개발도상국은 자연재해 손실 감소의 편익률을 4~36배로, 선진국의 기상수문부서의 예보 개선에 따른 가계 편익률을 최소 4배로 평가 (WM0, 2015)
- 미국 해양대기청(NOAA)는 기상·기후 정보의 산업분야별 기여 정도를 수송 및 물류 4.6조 달러, 어업 600억 달러, 관광 1100억 달러, 보험 및 재보험 1.5조 달러, 농업 3억 달러, 전력 1조 달러, 건설 8260억 달러로 평가 (NOAA, 2018)
- 유럽연합은 지구관측 프로그램(Earth Observation Programme)인 코페르니쿠스 프로그램(Copernicus Programme)의 대기, 해양, 육상, 기후 변화, 안보, 재난 및 재해 등의 자료 활용을 통해 162~213억 유로의 경제적 가치를 창

출한 것으로 추정(PwC, 2019)

- 이외에도 농업, 에너지, 교통, 어업, 수자원 관리 분야에서 기상 정보를 활용하고, 비용 절감, 수익 증가, 손실 감소 등의 항목으로 기상 정보의 경제적 가치를 추정 중

<표 2.2.11.> 국외 기상 정보의 경제적 가치 추정 사례

분야	활용예시
농업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 농업에서 ENSO 위상정보의 전세계 연간 가치는 3억 9,900만달러에서 139만 달러로 추정
에너지	<ul style="list-style-type: none"> ■ ENSO 기반 겨울 온도 예측으로 Northern Illinois University 의 천연 가스 구입 비용 50만 달러 절감 ■ 24시간 예측으로 상업용 건물의 연간 에너지 절감액 \$6,881 (24% 비용 감소) ■ 48시간 및 24시간 허리케인 예보로 멕시코만 연안 석유와 가스 생산업체들의 연평균 절감액 각각 810만 달러와 1,050만 달러로 예상 ■ 완벽한 ENSO와 PDO(Pacific Decadal Oscillation) 기반 하천 흐름 예측을 통해 콜롬비아 강 수력발전 댐의 연평균 수익 1억 5300만 달러 증가 ■ 완벽한 ENSO 기반 강수량 예측으로 에티오피아를 위한 10년 주기 수력 발전 이익 10억 달러에서 65억 달러 ■ ENSO 및 PDO 예측에 근거한 잠재적 전력 수송으로 인해 캘리포니아와 태평양 북서부에 대한 평균 연간 이익 1억3,600만 달러 (에너지 비용 절감)와 7천 9백만 달러(수익 증가)
교통	<ul style="list-style-type: none"> ■ 항공기 지연을 줄이기 위한 터미널 바람 정보의 연간 이익: 로스앤젤레스 공항 2570만 달러, 시애틀 공항 1670만 달러, 샌프란시스코 공항 1억1900만 달러 ■ 터미널 비행장 예측 정보 개선으로 인해 호주 시드니 공항에서 콰타스 항공(Qantas Airlines)의 추가 연료 운반 비용 1,100만 달러 절감 ■ ENSO 예측 사용으로 파나마운하 (Panama Canal)의 운하 운송 및 발전 부문 연간 평균 소득 2,000만 달러 증가(~3%) ■ 연방 항공국의 터미널 대류 기상 예측을 사용으로 미국 공항들의 연간 지연 감소 5억 8천만 달러 ■ 워싱턴 주 (State of Washington)의 빙결방지 및 도로 폐쇄 손실 50% 감소 ■ 교통 부문의 기상서비스 이용으로 스위스 경제에 5610만 달러에서 6010만 달러 사이의 비용 절감, 1420만 달러에서 2530만 달러의 부가가치
어업	<ul style="list-style-type: none"> ■ HAB 주파수, 예측 정확도, 대응 조치에 따라 HAB 예측으로 뉴잉글랜드 근해 상업용 조개 어장에 30년간 90만~513만 달러의 이익 ■ 멕시코만의 해양관측시스템으로 해상운송, 상업어업, 레크리에이션 어업 및 기타 분야에 대한 연평균 8,500만~1억 2,600만 달러의 이익
수자원 관리	<ul style="list-style-type: none"> ■ 조지아 주에서 맞춤형 강수량 지수 예측을 기반으로 한 물 관리 전략을 사용하여 가뭄 기간(2001, 2002년)에 주 정부의 연간 이익 1억~3억5,000만 달러. 비가뭄해에는 5백만~3천만 달러의 비용 절감 효과 ■ 대만 북부지역 물 시장에서 완벽한 ENSO 예측을 사용으로 연간 복지 이익 최대 1,160만 달러

※ 출처: 차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사(기상청, 2020)

- 국내에서는 논문 등에서 기상·기후 정보의 경제적 가치를 추정 한 사례가 있으며, 전력산업, 건설업, 유통업, 재해경감, 교통혼잡 비용절감 등 분야에서 편의 뿐만 아니라 기상예보 서비스의 지불의사액을 활용하여 경제적 가치 추정 중

<표 2.2.12.> 국내 기상 정보의 경제적 가치 추정 사례

분야	활용예시
김경택 외(2012)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상정보 서비스의 편익을 분석한 결과, 5개(전력산업, 건설업, 유통업, 재해경감, 교통혼잡 비용절감) 분야에서 기상정보 서비스의 편익은 증가할 것으로 추정 ■ 향후 10년(2020~2029) 동안 재해경감 939.7억 원, 교통혼잡비용 절감 147.1 억 원으로 공공서비스 측면의 편익은 1,086.8억 원 ■ 산업적 측면의 편익은 전력산업 136.0억 원, 건설업 219.0억 원, 유통업 402.1 억 원으로 총 757.1 억 원 ■ 기상정보 서비스의 향후 10년 간 총 경제적 편익은 1,843.9억 원
박선영 외(2015)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1.5 경계모형과 스파이크모형을 결합한 조건부 가치추정법을 이용하여 분석한 결과 기상예보 서비스를 위한 연간 가구당 평균 지불의사액은 20,421원으로 분석, 전국 환산 기상예보 서비스의 경제적 가치는 연간 3,589억원 ■ 기상청의 2010년 예산은 2,470억원이며, 기상청이 제공하고 있는 기상서비스에 대한 가계부문의 경제적 가치는 3,589억원. 이 두 값을 나눈 경제적 가치 대 예산 비율은 1.45(기상청의 예산보다 가계 부문에서 느끼고 있는 경제적 가치가 더 큼)
심교문 외(2017)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상청의 각종 정보(기상실황, 동네예보, 중기예보)를 상세화하여 개발된 기상재해 조기경보서비스를 전국 시·군 농가 50%가 6개월간 이용한다고 가정하면, 편익의 현재가치(Present Value, PV)는 10a당 2만6,342원, 비용의 PV는 1만 1,967원, 이의 순현재가치는 1만 4,375원이 되어 B/C ratio가 2.2로 높음(사회적 할인율 5.5% 가정)

※ 출처: 차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사(기상청, 2020)

□ (기상정보 활용) 기상정보는 산업 구조가 복잡·고도화됨에 따라 날씨에 의한 영향이 산업 전반으로 확산되고 있으며, 농업, 유통, 레저, 건설, 에너지, 보험 등 다양한 산업에서 기상정보 활용 수요 증가(기상청, 2018)

- 전통적으로 기상에 민감한 농업, 수산업은 물론 건설, 교통, 유통, 의류, 레저, 식품 등 해당 산업 분야의 사회·경제적 의사결정 시 기상정보 활용 중



<그림 2.2.6> 기상정보의 활용범위

※ 출처: '날씨경영이 선도한다' (한국기상산업협회, 2016)

- 제조업과 식음료업은 원재료의 공급이나 품목별 수요예측 등을 위해 기온과 강수량 정보가 중요하고, 에너지, 유통, 항공운수, 건설 산업은 강우, 강설, 기온 등의 기상정보가 중요함

<표 2.2.13> 주요 산업분야별 민감 기상요소 및 기상정보 활용내용

산업구분	민감 기상요소	기상정보 활용 내용(부분)
제조, 식음료	기온, 강수량	원재료 공급, 품목별 매출 등 소비자 구매변동 관련 수요예측, 일정관리, 생산량 조절
에너지	강우, 강설, 기온, 습도	시설물안전관리, 일정관리, 에너지 수요예측
유통	강우, 강설, 기온, 대기질	판매전략 수립/이행 관련 일정관리, 수요예측, 마케팅 행사
항공운수	강우, 강설, 바람, 기온	운항 안전 및 유류비 절감/비용효율, 일정관리, 시설물 관리, 수요예측
건설	강우, 강설, 기온	리스크 저감을 위한 일정관리, 시설물 안전관리, 원/부자재 구매 방재관리

※ 출처: 수치예보기술 R&D 사업 중기 성과관리 방안 연구(기상청, 2021)

- (활용 예시) 이외에도 기상정보는 축산업, 어업, 광산업, 자동차산업 등 다양한 산업에서 기상정보를 활용할 수 있으며, 이에 기상정보의 활용 가치는 지속적으로 증가할 것으로 예상

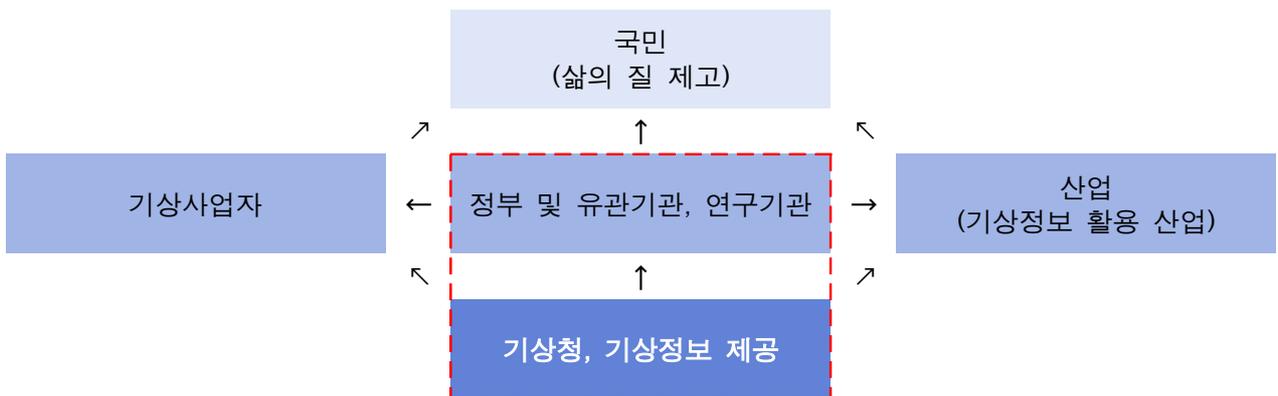
<표 2.2.14.> 기상분야 연관 산업별 기상정보 활용 예시

분야	활용예시
농업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상·기후 요인(기온, 강수량, 일조·일사 등)이 농업 생산량에 미치는 영향력을 분석해 농작물별 단위 면적당 생산량을 예측하고, 시뮬레이션을 통한 최고 당도의 과일 생산 조건 산출 시스템을 구축해 지역 맞춤형 스마트팜 모델을 개발
축산업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상·기후 빅데이터와 가축 사육 간의 상관관계 분석을 통한 사육밀도 향상 및 우수 생산량 증대, 폭염영향예보를 활용한 폭염재해 최소화 및 가축 사육환경 개선 등 가축 사육 방식의 과학화가 가능
어업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해조류 건조 작업시기 조절 등 상품 품질 제고, 수산자원 생산량 증가 및 어획 시기 최적화, 기상·기후 빅데이터 기반 어장관리시스템 구축 등에 활용
광산업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 태양광 LED에 빛의 밝기를 감지하는 조도 센서를 통해 기상 상황을 고려한 가로등 밝기 조절과 같은 기상·기후 변화 감지 인공지능형 스마트 조명 개발
조선업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해황 등 기상·기후 빅 데이터분석을 통해 운항 중인 선박의 이동 최적항로를 제공 ■ 안전항해 지원 및 운항비 절감 효과가 기대되며 선박 제조의 서비스화로 선박서비스 신시장을 창출
자동차산업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 노면 상태와 기상 상태 융합 분석을 통해 차량 안전 정보를 운전자에게 실시간으로 제공해 주는 시스템을 구축하고 스마트 트래픽 서비스 개발로 연계
에너지산업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기상·기후 빅데이터와 전력 빅데이터를 통합해 수요예측 오차율 감소 및 연료비 절감을 추진함으로써 냉/난방 수요예측을 위한 실시간 에너지인텔리전스(EI) 서비스 개발 ■ 날씨, 조수 간만의 차, 위성 이미지, 지리 데이터 등 빅데이터 분석을 통해 발전 효율은 높고 에너지 소비량은 적은 발전기 설치 위치 선정 및 설비에 대한 최적의 유지보수 일정을 도출할 수 있어서 풍력 발전기 설치 위치 선정 등에 활용 ■ 마이크로그리드에서 기상·기후 빅데이터와 블록체인 기술을 융합한 에너지 공급 모델 개발
유통산업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 점포 및 공간 데이터, 유동인구 데이터, 기상·기후 데이터 및 민간 부문의 카드사용 데이터 등 통합분석 플랫폼 구축 ■ 기상 정보를 결합한 상품 판매 패턴을 제공하면 제품 발주, 재고 관리, 상품 판매량 예측에 활용이 가능하고 수급 조절을 통한 상품 폐기율 감소를 기대 ■ 타 점포와 매출 비교, 주요 상품별 기온탄력성 등 날씨와 연계된 지수 개발, 계절별로 잘 팔리는 주요 상품군을 사전에 분석해 프로모션 지원 등
관광산업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 날씨 데이터와 행락 차량 간 상관관계 분석을 통한 시기별 위락시설 이용객 수 예측 ■ 실시간 SNS분석을 통한 관광지 체감 날씨 정보 제공으로 관광객의 정보 효용성을 강화 ■ 기상·기후 빅데이터와 휴가관련 언급량의 연관성을 분석해 휴가 기간 및 휴가 예상지 선택에 대한 사전 대응 체계를 구축 ■ 기상·기후 빅데이터와 관광 상품 간의 연관규칙 발견을 통한 계절별 특화 관광 상품 소개 및 추천 시스템 구축
스마트시티	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지자체의 스마트시티 조성 관련 데이터 통합관리 시스템 구축 시 기상·기후 빅데이터를 연동해 교통, 치안, 안전, 환경, 재난 등 공공부문의 통찰력 제고 및 분석의 정확도 향상을 기대 ■ 리빙랩형 스마트시티 실증을 위한 개방형 데이터 허브 플랫폼 구축 과정에서 내·외부데이터 연계 시 기상·기후 빅 데이터와 밀접한 환경 및 에너지 분야 맞춤형 데이터 허브 구축으로 차별화 가능

※ 출처: 기상·기후 빅데이터가 앞으로 지역의 미래(더퍼블릭뉴스, 2021)

□ (경제적 환경분석 요약) 기상정보는 산업구조의 복잡화고도화로 산업 전반에서 중요성이 점차 증가하고 있으며, 경제적 파급효과도 증대되어 기상정보 활용의 편의성을 위한 정보제공 범위·방법, 지원방안 등 마련 필요

- 기상정보는 기상청이 제공한 이후 기상사업자, 정부 및 유관기관, 연구기관, 산업 등이 활용하며, 이의 효과는 국민 삶의 질 제고로 나타남
 - 기상정보를 수집하고 활용하는 형태는 주로 기상/지진 관측정보, 맞춤형 기상정보, 기후변화정보, 일반기상정보, 방재 기상/지진 정보임
 - 관측된 원시자료는 초단기 예보, 단기, 중기, 장기 예보, 기상특보, 대기오염 기상정보, 지진관련 정보, 고층기상 정보, 해양기상 정보, 항공기상 정보, 기상위성 정보, 기상레이더 정보, 낙뢰관측 정보 등으로 분류되며, 이들은 수치자료, 일기도 등 그래픽 자료 및 동영상 등의 형태로 제공됨



<그림 2.2.7> 기상청의 기상정보 활용 단계와 동 과업의 범위

- 이 중 기상정보를 활용하는 산업은 농업, 축산업, 유통, 레저, 건설, 교통, 에너지, 제조, 항공운수 등 다양하며, 향후 기존 기상정보 활용산업의 핵심기술과 ICT기술과의 융합, 스마트시티 등으로 점차 확대될 것으로 전망
 - 농업, 축산업, 건설, 교통, 에너지 등 관련 정부기관은 국립산림과학원, 국립환경과학원, 국립농업과학원, 국립생태원, 한국교통연구원, 전력거래소, 한국에너지기술연구원, 한국수자원공사, 한강홍수통제소 등

2.2.3. 사회적 환경

- 기상정보는 도시화로 인한 인구 밀집, 인구 고령화, 소득 양극화 심화 등 사회 구조의 변화로 자연재해 취약계층이 증가함에 따라 환경에 따른 재해에 대한 취약성 증대되고, 피해가 확대되어 기상정보 제공의 중요성 확대 중
- 국내 고령인구(65세 이상)는 10년 11.0% → '20년 15.7% → '35년 28.4%로 증가할 전망
- 위험기상 예측이 빗나가 사회적인 피해를 동반하는 사례가 지속됨에 따라 기상예보 정확도 개선이 필요한 상황
 - 세계 주요국 수준의 예보 정확도(단기예보 정확도(강수 유무), 92.7%, '19년)에도 불구하고, 기상서비스에 대한 대국민 만족도는 낮은 수준



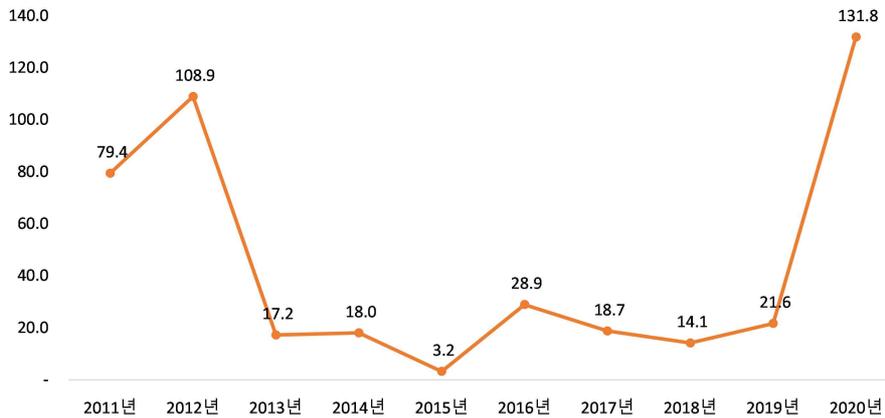
<그림 2.2.8> 기상서비스 3대 지표 연도별 추이

※ 출처 : 2020년도 기상업무 국민만족도조사 결과보고서(기상청, 2020)

- 최근 국지성호우 등 이상기상의 빈발로 기상상황에 따른 지역별, 산업별 영향 민감도가 확대되고 있으며, '20년 자연재해 피해액도 1,318억원으로 최근 10년 중 가장 높음
- 2020년 장마철 강수일수는 전국 28.3일, 전국 강수량은 693.4mm, 중부지방 강수량은 851.7mm, 장마기간은 중부지방과 제주가 각각 54일, 49일 지속
- 2020년 집중호우는 북랑릉 일 최대강수량이 217mm로 장마철 일 최대강수

량 역대 1위 기록

- 2022년 8월 장마전선의 정체로 인한 중부지역 국지성호우로 24시간 동안 381.5 mm의 비가 내리면서 사망자 15명, 실종자 5명 피해 발생
- 2011~2020년 자연재해 피해액³⁾은 4조 4,193억원이며, 2015년 319억원에서 2020년 1조 3,182억원으로 증가
- 2020년은 호우, 태풍, 풍랑·강풍, 한파 등으로 인해 피해액 급증



<그림 2.2.9.> 자연재해 피해액(2020년도 환산가격 기준)(단위: 십억 원)

※ 출처: 국민재난안전포털, 자연재난상황통계

- 자연재해는 인명, 침수, 건물, 선박, 농경지, 농작물, 공공시설, 사육시설로 구분되며, 공공시설 피해는 도로, 하천, 소하천, 수도, 항만, 어항, 학교, 철도, 수리, 사방, 군 시설, 소규모 시설물, 해양, 기타 등으로 구분
- 자연재해 대비를 위해 기상청의 기상정보를 활용하고 있거나, 기상정보를 제공할 필요가 있는 공공기관은 국립재난안전연구원 뿐만 아니라 한강홍수통제소, 한국수자원공사, 전력거래소, 한국에너지기술원, 한국원자력안전기술원, 한국수자원공사 등

3) 국민재난안전포털, 자연재난상황통계

<표 2.2.15.> 자연재해 항목별 관련기관

자연재해 종류	관련 기관	자연재해 종류	관련 기관
인명	-	농경지	국립농업과학원
침수	한강홍수통제소, 한국수자원공사	농작물	국립농업과학원
건물	국립문화재연구원	공공시설	국립산림과학원, 공군기상단, 한국교통연구원, 국립생태원 등
선박	한국해양과학기술원	사육시설	국립축산과학원
전체	국립재난안전연구원	기타 (간접적 관련기관)	전력거래소, 한국원자력안전기술원, 한국에너지기술연구원, 서울기술연구원 등

※ 출처: 자연재해 종류 - 자연재난상황통계, 관련기관- 봄인사이언스컨설팅 매칭

- 자연재해는 기상정보 제공으로 예방과 대비가 가능한 영역이며, 특히 중기 예보는 호우, 폭설, 폭염, 한파 등 악기상에 대비할 수 있고, 장기예보는 여름 또는 겨울철 악기상 관련 재해 경감을 위한 자원 확보 등에 활용 가능
- 중기예보는 내일부터 10일 간의 날씨전망을 제공하며, 재난관리 담당자가 악기상에 대비하여 방재시설물 및 위험지역 정비 등 재난 예방활동의 시간 확보가 가능
- 장기예보는 1개월, 3개월 및 계절예보를 제공하는 것으로 여름 또는 겨울철 악기상 관련 재해 경감을 위한 자원을 사전에 확보하는 등 효율적인 대책 마련의 근거자료로 활용 가능

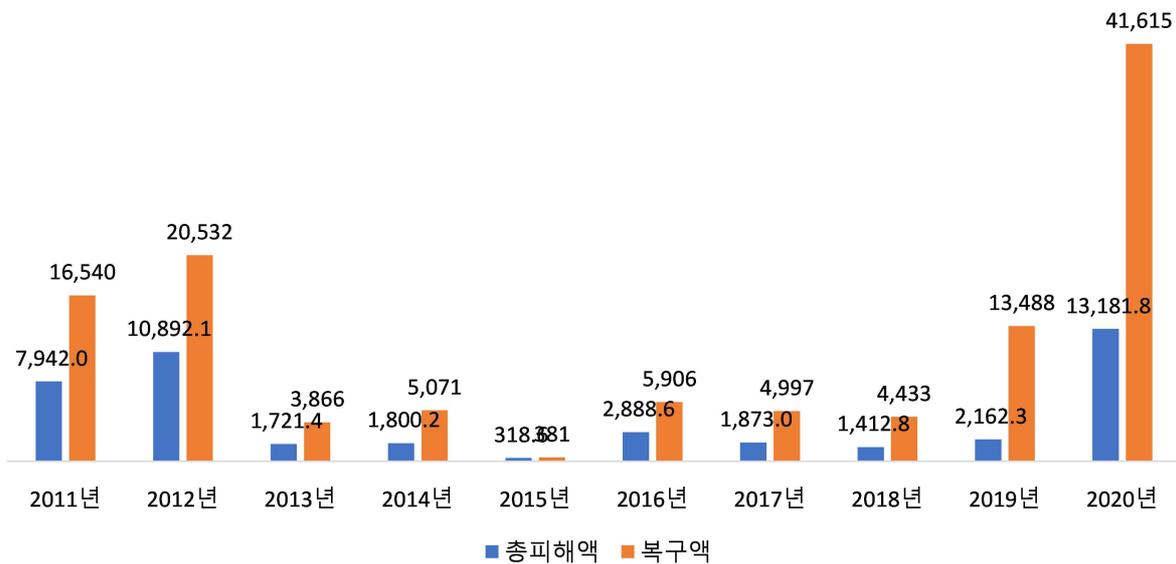
<표 2.2.16.> 재난관리와 기상서비스

구분	예방			대비	
	기후변화 전망	장기예보 (11일 이상) 1개월, 3개월, 계절	중기예보 (10일 이내)	단기예보 (3일 이내)	초단기예보 (6시간 이내)
기상·기후 서비스 종류	기후변화 전망	장기예보 (11일 이상) 1개월, 3개월, 계절	중기예보 (10일 이내)	단기예보 (3일 이내)	초단기예보 (6시간 이내)
상세 서비스	기후변화 시나리오	-	태풍, 황사 등 유형별 예측 정보	동네예보, 기상특보 등	
재난관리	방재기준 재설정 등 기후변화 적응대책	폭염종합대책, 겨울철재난대 책, 가뭄대비종합 대책 등	위험지역 비상대책 가동		현장 대응

※ 출처: 기상·기후 빅 데이터가 앞으로 지역의 미래(더퍼블릭뉴스, 2021)

□ (사회적 환경분석 요약) 2010~2020년 11년간 발생한 자연재해 피해액은 총 4조 4,193억원으로 이에 대한 복구액도 함께 증가하여 기상정보 제공에 따른 예방/대비 필요성이 증가

○ 2020년에 발생한 태풍 ‘랑랑’ 과 ‘미탁’ 등 자연재해에 따른 재산피해액은 약 2,162억원이나 복구비는 1조 3,500억원 수준



<그림 2.2.10.> 2011~2020년 자연재해 피해액과 복구액 현황

※ 출처: 「재해연보」(행정안전부, 매년), 「자연재해현황」(행정안전부, 매년)

○ 자연재해는 기상정보 제공으로 예방과 대비가 가능한 영역이므로 국민에게 직접적으로 자연재해 정보를 제공할 수 있는 기관을 대상으로 자연재해 대비를 위한 기상정보 제공 필요

2.2.4. 기술적 환경

- 기상청은 날씨에 의한 사회·경제적 영향을 고려한 기상정보를 제공하여 기상재해 경감과 국민 삶의 질 제고를 위해 R&D 및 기상정보 서비스 제공 중
- 기상청이 추진 중인 R&D는 2011년 한국형수치예보모델개발사업단(現, 차세대수치예보모델개발사업단)을 출범하고, 한국형수치예보모델을 개발하여 보다 정확한 기상예보서비스를 국민들에게 제공함으로써 기상재해 경감과 사회경제 발전에 기여하고자 함



<그림 2.2.11.> 한국형수치예보모델의 개발단계별 내용

※ 출처: '기상청, 한국형수치예보모델 개발로 앞서나간다' (기상청 보도자료, 2015)

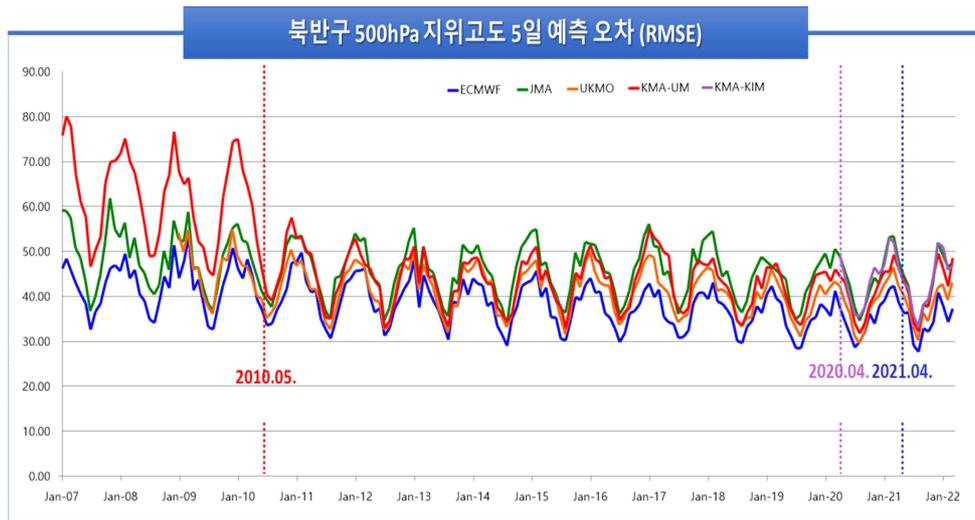
- 한국형수치예보모델은 2011년부터 2019년까지 한국형수치예보모델(KIM)을 개발하여 2019년부터 한국형모델(KIM)의 준현업운영, 2020년 4월부터 공식 현업운영 시작
- 한국형수치예보모델은 전지구 영역에 대해 12km 간격의 기상 예측 정보 생산



<그림 2.2.12.> 한국형수치예보모델의 구성

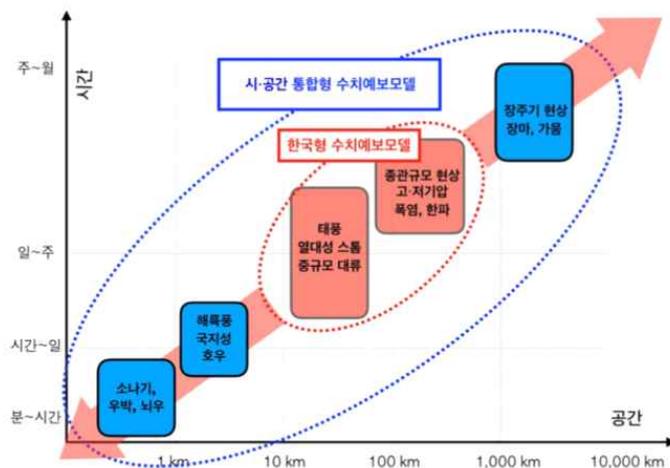
※ 출처: '기상청, 인도네시아에 ' 한국산 수치예보 시스템 기술 ' 전수한다' (환경경찰뉴스, 2020)

- 한국형수치예보모델(KIM)의 준현업운영 후 성능을 북반구 전체 예보정확도 측면에서 평가한 결과, 500hPa 지위고도의 이상상관계수는 병행운영 영국 통합모델(UM)에 비해 약 98% 수준의 성능을 보였으며, 2019년 장마철의 강수예측 정확도는 KIM이 0.67, UM이 0.68로 비슷, 최고기온 예측은 KIM이 더 우수한 수준임
- 국외 기관과 비교할 때, 영국 통합모델(UM) 대비 약 99.2% 예측 성능 달성



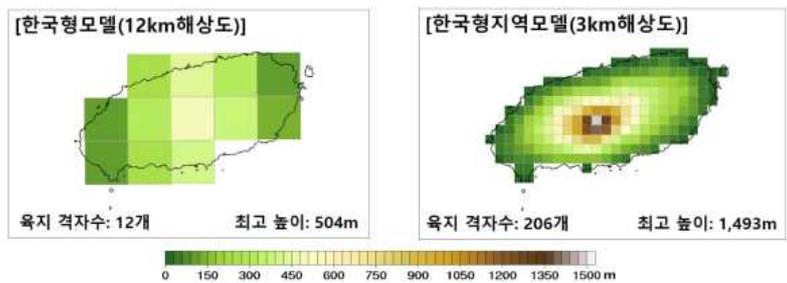
<그림 2.2.13.> 영국통합모델(UM) 한국형수치예보모델(KIM)간 예측 오차 비교
 ※ 출처: 수치모델링센터 업무소개(기상청, 2022)

○ 2020년부터 한국형수치예보모델의 향상된 기상 예측정확도를 갖는 시·공간 통합형 수치예보모델 개발 중



<그림 2.2.14.> 한국형수치예보모델과 시·공간 통합형 수치예보모델의 범위 비교
 ※ 출처: 기상재해 사전대비 중심의 시·공간 통합형수치예보기술개발(기상청, 2019)

- 2022년 5월부터는 한국형수치예보모델(KIM)의 운영 경험을 바탕으로 개발된 고해상도 수치예보모델인 한국형지역수치예보모델(RDAPS-KIM)을 정식 운영 중
- 한국형지역수치예보모델(RDAPS-KIM)은 동아시아 지역에 대해 3km 격자 간격으로 작은 규모의 위험기상 예측이 가능한 상세 기상정보 생산이 가능
 - 홍수, 산불 등 방재 관련 유관기관과 산업계의 국민 체감적인 2차 기상정보 산출로 기상산업 활성화에 기여할 것으로 기대(기상청, 2022.05)



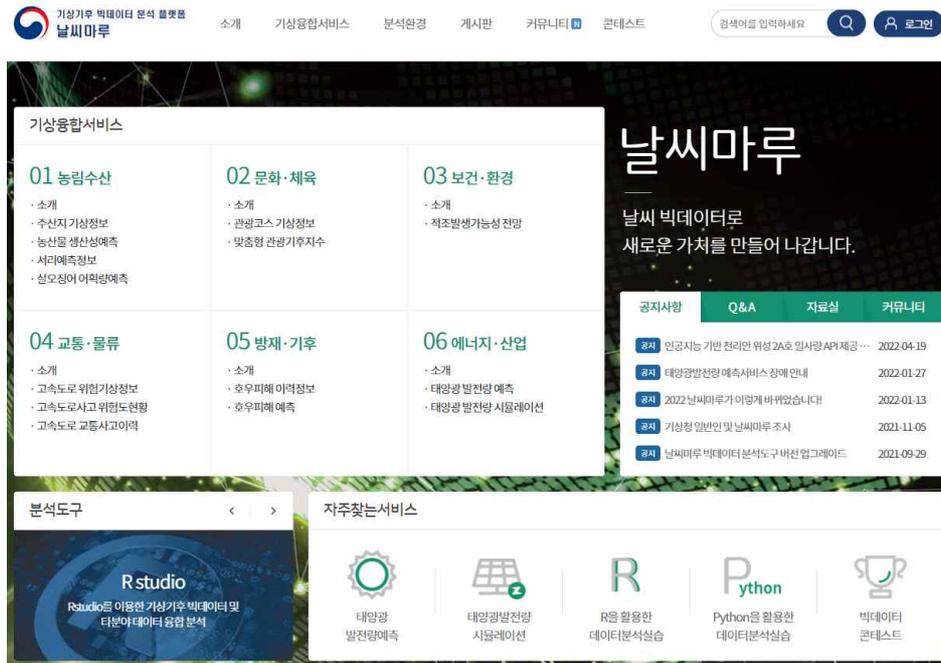
<그림 2.2.15.> 제주도 영역 육지 격자에 대한 한국형 모델(좌), 한국형지역모델(우) 비교
 ※ 출처: ‘새로운 ‘한국형 지역수치예보모델’ 날씨예보에 쓴다’ (기상청 보도자료, 2022)

- 기상청이 제공 중인 대국민 대상의 기상정보 서비스는 ‘지역 맞춤형 영향예보 시범서비스(2016~2018)’, 태풍(2016) 및 폭염(2018) 영향예보 시험 서비스, 폭염 정규 서비스(2019) 등이며, 한파, 태풍, 호우, 대설 등 정규 서비스의 단계적 확대 계획 중



<그림 2.2.16.> 기상청 지역별 폭염 영향예보 현황
 ※ 출처: 기상재해 영향예보(한국과학기술기획평가원, 2019)

- 기상기후 빅데이터 분석플랫폼(날씨마루)에서는 관측과 예보 기반의 기상기후 빅데이터와 타산업(농업, 관광, 보건, 교통, 방재, 에너지 등)의 데이터를 활용한 융합서비스 제공 중



<그림 2.2.17.> 기상기후 빅데이터 분석 플랫폼-날씨마루

※ 출처: 날씨마루 홈페이지

- 기상정보 관련 우리나라 중점과학기술인 환경·기상 분야의 ‘기후변화 감시·예측·적응 기술’ 과 ‘자연재해 감시·예측·대응 기술’ 의 기술수준은 2018년 최고기술보유국 대비 각각 75%, 70% 수준에서 2020년 80%, 75%로 향상
- 세계최고기술 보유국은 2018년 미국과 EU가 모두 100%였으나, 2020년 ‘자연재해 감시·예측·대응 기술’ 은 EU가 98%로 다소 감소, 이후 일본, 중국 순
- 우리나라의 기술수준은 미국, EU, 일본, 중국 중 5위에 해당하나, 2018년 대비 2020년에 ‘자연재해 감시·예측·대응 기술’ 의 기술수준은 중국과 우리나라의 기술수준 격차가 5%p 범위로 좁아짐
- 기술격차는 ‘기후변화 감시·예측·적응 기술’ 은 2018년 대비 2020년에 5년에서 4년으로 좁아졌고, ‘자연재해 감시·예측·대응 기술’ 은 5년임

<표 2.2.17.> 기상정보 관련 중점과학기술 기술수준

(단위:%)

중점과학기술명	2018년					2020년				
	한국	일본	중국	미국	EU	한국	일본	중국	미국	EU
기후변화 감시·예측·적응 기술	75	90	80	100	100	80	90	85	100	100
자연재해 감시·예측·대응 기술	70	95	80	100	100	75	90	80	100	98

※ 출처: 기술수준평가보고서(과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원, 각 년도)

<표 2.2.18.> 기상정보 관련 중점과학기술 기술격차

(단위: 년)

중점과학기술명	2018년					2020년				
	한국	일본	중국	미국	EU	한국	일본	중국	미국	EU
기후변화 감시·예측·적응 기술	5	1	3	0	0	4	1.5	3	0	0
자연재해 감시·예측·대응 기술	5	1	4.5	0	0	5	2	3	0	0.5

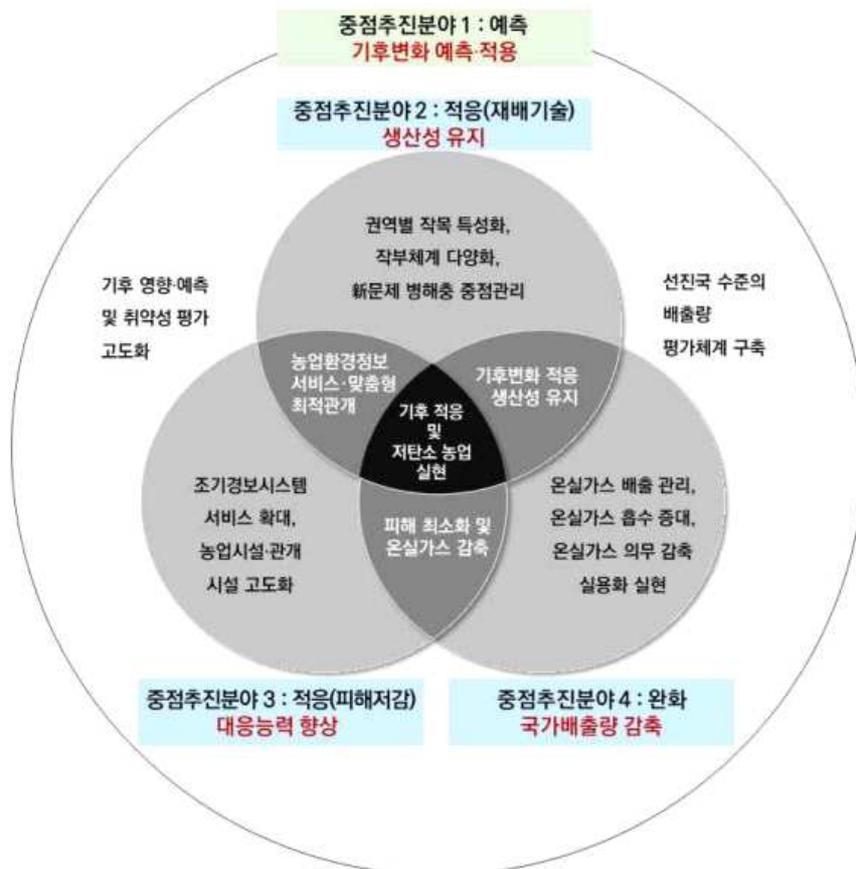
※ 출처: 기술수준평가보고서(과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원, 각 년도)

□ (기술적 환경분석 요약) 기상청은 한국형수치예보모델(KIM)의 개발 완료 및 현업운영 중으로 자연재해 예방·대응 및 산업적 기상정보 활용 수요에 대응하기 위한 자원 기보유

- 또한 폭염예보 서비스나 날씨마루 등 기상정보 대국민 제공 서비스 기운영
- 향후 기상정보 활용 수요를 보유한 유관기관 대상의 맞춤형 기상정보 제공으로 유관기관별 기상정보 활용목적에 따른 재가공, 악기상 대응책 마련 등 유관기관 고유 역할 수행 지원 필요

2.2.5. 유관기관 한국형수치모델 활용 계획

- (국립농업과학원) 농진청은 ‘新농업기후변화 대응체계 구축사업’ 을 2020년부터 추진 중(2027년까지)으로 농장의 기상재해 및 작물재배 적지분석 등 예측을 위해 기상자료 활용 계획 중
 - ‘新농업기후변화 대응체계 구축사업(농촌진흥청 주관)’ 은 新기후체제 (Post-2020)에 따른 기후변화 영향평가, 정밀예측 기반의 농업생산기술 개발 및 선제적 재해대응체계 구축으로 국가식량안보 구현을 목적으로 함
 - 동 사업은 농민의 농작물을 재배하는 농장마다의 정확한 기상자료를 제공하고 그에 따라 그 농장의 기상재해 및 병충해 발생, 작황, 작물 재배 적지 분석 등을 예측을 위해 기상자료 활용 계획



<그림 2.2.18.> 新농업기후변화 대응체계 구축사업 추진목적별 추진분야

※ 출처: 新농업기후변화 대응체계 구축사업 예비타당성조사 보고서(한국과학기술기획평가원, 2019)

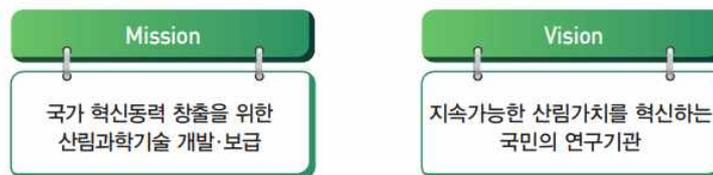
- (국립환경과학원) 대기환경개선 종합계획, 미세먼지 관리 특별대책, 국립환경과학원 업무와 관련하여 기후변화에 따른 대기질 전망을 위하여 미래 기후변화 시나리오별 기후전망 수치자료, 미세먼지 예보 개선을 위해 한국형수치예보모델자료 활용 계획 보유
- (국립재난안전연구원) 「재난안전 연구 데이터 통합관리·활용 발전전략 중장기계획」에서 “타기관 시스템 DB의 정형데이터 연계” 부분에서 수치예보모델자료를 활용한 등 자연재난 위험 예측도 활용 중
 - 홍수, 태풍, 가뭄 등에 대한 연구 시 한국형수치예보모델자료(강우 등) 사용 중
- (한국원자력안전기술원) 「제2차 국가방사능방재계획(2020-2024)」의 사고영향 예측·감시 체계 정밀화 과제에서 환경감시 결과를 이용한 예상선량 재평가 개발, 다수의 기상모델을 이용한 앙상블 예측기술 도입을 통해 방사성물질 확산예측 및 예상피폭선량 정확도를 제고 계획 중



<그림 2.2.19.> 제2차 국가방사능방재계획(2020-2024)
 ※ 출처: 「제2차 국가방사능방재계획(2020-2024)」(원자력안전위원회, 2020)

- (한국수자원공사) 「중장기 통합기술전략(2021~2025)」에서 미래 대비 기술 개발 중 ‘수재해 대비 기상분석 및 예측 기술’, ‘기상수치모델 고도화 기술’ 이 포함
- 기상청과의 협업을 지속하여 신뢰도 있는 기상청 수치예측 자료를 다양하게 확보하여 물관리 의사결정 시 강우 분석에 활용하고, 물관리 전문기관으로서 기술력 강화를 위해 기상청 수치예측모델 기반 자체 수치모델의 연계 활용 기술개발 추진
- (국립산림과학원) 「제2차 중장기기술개발계획(2018~2027)」, ‘전략과제 4. 산림재해 및 산림병해충의 과학적 관리체계 고도화’ 중 ‘4-2 산지토사재해 예방기술 개발’에서 산사태 예경보 체계 고도화 관련 연구 수행
- 연구과제는 “(가제)경험·물리혼합모델 및 기계학습 활용 산지토사재해 위험도 평가기술 고도화”가 계획 중

Mission & Vision



Strategic Goals & Programs



<그림 2.2.20> 제2차 중장기 기술개발계획(2018~2027)

※ 출처: 「제2차 중장기 기술개발계획(2018~2027)」(산림청, 2021)

- (국립문화재연구원) 「제1차 문화유산 보존·관리 및 활용 연구개발 기본계획 (2021~2025)」에서 세부 기술개발에 ‘재해·재난 예방 및 유지관리 기술 개발’, ‘SMART 모니터링 및 재난 대응 기술 개발’, ‘화재·지진 피해 최소화 기술 개발’, ‘전통재료 제작 기술 복원’ 등에 한국형수치예보모델자료 활용 가능

비 전		
인문 지식과 과학 기술이 뒷받침 된 오롯한 우리 유산		
추진 전략	중점 과제	기대 효과
문화유산 보존·복원 핵심기술 개발	① 문화유산 비파괴 진단·분석 기술 고도화 ② 문화유산 복원 전통재료 개발 ③ 현장 맞춤형 문화유산 수리 기술 확보	기초가 탄탄한 문화유산 보존 관리
첨단과학과 함께하는 문화유산 안전관리	① 문화유산 예방 보존 기반 확충 ② 재해·재난 SMART 대응 ③ 문화유산 피해 저감 기술 개발	선제적인 대응으로 안전한 문화유산
지식자원 활용을 통한 새로운 가치 창출	① 문화유산 디지털 아카이브 기술 개발 ② 문화유산 빅데이터 관리 및 서비스 강화 ③ 무형문화유산 맞춤형 활용서비스 확대	국민을 위한 문화유산의 새로운 가치 창출
원형 보존 기술 기반 신산업 육성	① 원형 보존 기술 산업적 활용을 위한 표준화 ② 원형 보존 기술 실증·사업화 지원	문화유산 신산업 발굴 및 일자리 창출

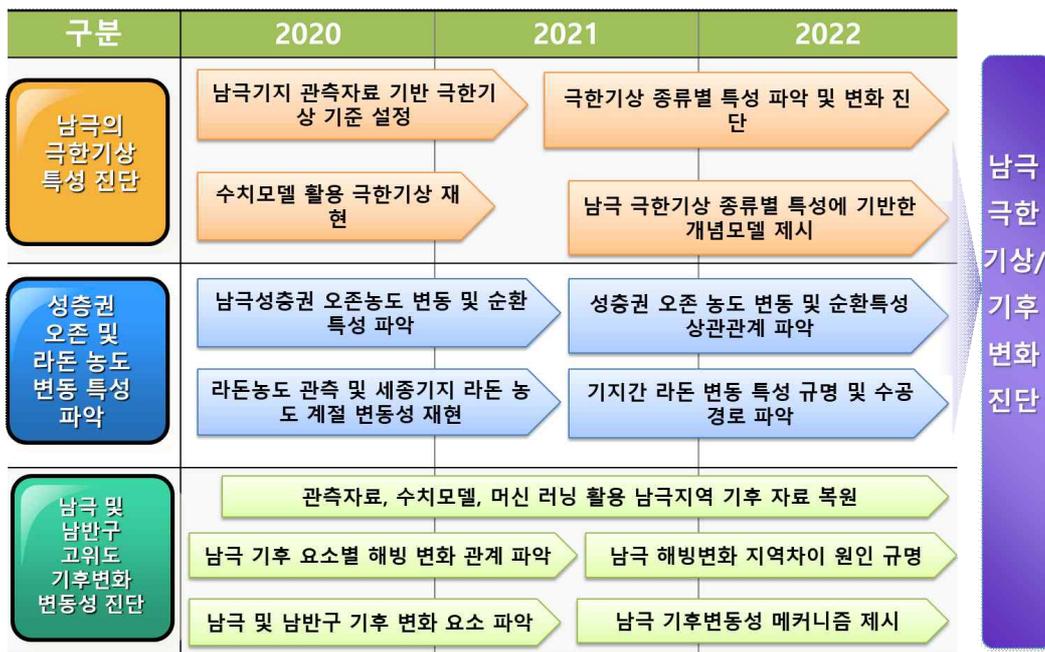
<그림 2.2.21.> 문화유산 R&D 기본계획

※ 출처: 「문화유산 R&D 기본계획」(문화재청, 2020)

- (극지연구소) 2주~3개월 예측을 목표로 NCAR CESM2 기반의 결합모델 기반 기후예측시스템과 해양/해빙까지 저변 확대하는 결합 자료 동화 프로토타입 개발 추진 중
 - 결합모델 극지역 초기화를 위한 극지 해양/해빙 부이 기반 실시간 관측 테스트베드 구축 추진
 - 예측에 필요한 북극해역의 광역 기상기후 데이터 확보를 위한 차세대 쇄빙 연구선 공동 활용 중

구분	2020	2021	2022
모델 초기화 체계 수립	<ul style="list-style-type: none"> 중관 관측자료 동화를 위한 전구 대기 자료동화 체계 수립 중관 관측자료 기반 분석장 앙상블 생산 빙권표면 초기화를 위한 극지 빙권 표면 자료 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 중관 관측 및 위성 관측자료 동화를 위한 전구 대기 자료동화 체계 수립 중관 및 위성 관측 기반 분석장 앙상블 생산 빙권 표면 경계조건 초기화 체계 수립 	<ul style="list-style-type: none"> 전구 대기 자료동화 체계의 최적화 및 재분석자료 생산 전구 대기 자료동화 시스템 최적화 재분석 자료 생산 빙권 표면 경계조건 초기화의 예측 성능 평가
모델링 시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> 대기화학모형 결합 기반 북극-한반도 통합 재해기상 발생 진단/전망용 모델링 시스템 구축 시스템 설치, 안정화 후 고농도 연무 사례 선정 모의 수행 해양모형의 역학 체계 및 물리 모수화 민감도 테스트 관측/재분석 자료 분석을 통한 한반도 미세먼지 농도에 영향을 끼치는 고위도 기후인자 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 대기화학모형 결합 기반 북극-한반도 통합 재해기상 발생 진단/전망용 모델링 시스템 평가 과거 재예측 실험 및 성능 평가 북극해 기후학적 해양순환 성능 평가 및 입자추적기법을 통한 담수 기원 이해 모델링 시스템 재예측 자료를 활용한 한반도 미세먼지 농도 영향 고위도 기후인자 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 대기화학모형 결합 기반 북극-한반도 통합 재해기상 발생 진단/전망용 모델링 시스템 활용 북극과 한반도 재해기상 발생 사례 진단 해양모형의 북극해 대기모형과의 결합 모의 성능 평가 추출된 개별 고위도 예측 인자의 잠재적 중요도 판단 및 예측에 머신러닝 기법 활용
관측 및 응용연구	<ul style="list-style-type: none"> 자체 북극 육·해상 관측자료 (준) 실시간 전송시스템 구축 북극해 에어로졸의 시·공간 분포 특성 및 구름의 미세물리 특성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 국제협력을 통한 타국의 북극 육·해상 관측자료 (준)실시간 전송 개시 북극해 에어로졸/구름 종합 특성 분석 및 중위도-북극해 해상 연속 관측 실험 	<ul style="list-style-type: none"> 국제협력을 통한 타국의 북극 육·해상 관측자료 (준)실시간 전송 확대 중위도-고위도 간 에어로졸 변화 특성 및 북극해 에어로졸/구름 장기 변동 특성 분석

<그림 2.2.22> 극지연구소 북극 기인 한반도 재해기상 모델링 시스템 개발 및 활용 과제 로드맵
※ 출처: 극지연구소 제공



<그림 2.2.23> 극지연구소 남극 기상기후 변화 진단과 전지구 영향 평가 과제 로드맵
※ 출처: 극지연구소 제공

□ (한국해양과학기술원) 「KIOST 2030 중장기 전략」에서 전지구모형과 북서태평양 지역해 모형의 연계시스템 구축이 계획되었고, 지역해 모형에 기상자료의 활용 예정

○ 모형개발 중장기로드맵은 초기(2020년대 초반) 전지구모형 및 북서태평양 지역해 개별모형 고도화, 중기(2020년대 중반) 전지구모형과 북서태평양 지역해 모형 연계시스템 개발, 후기(2020년대 후반) 전지구-북서태평양 양방향 연계시스템 구축 및 운용임

연구분야	최종목표	연구분야 단계별 주요 내용		
		단기('19~'22)	중기('23~'27)	장기('28~'30)
해양기후변동과 영향 감시	주요 해역 연속 감시망 구축과 자료 생산 및 분석	· 해류관측시스템 설치/운용	· 안정적 자료 생산과 관측망 확대	· 태평양(주변해) 기후변화 감시 관측망 운영 및 장기변동성 규명
대양과 한반도 주변해의 기후변화 예측	한반도 중심 기후예측 자료 생산	· 기후변화 예측모형 구축	· 기후변화 장기 전망 및 계절 예측 · 극한 해양/기후 예측시스템 구축	· 대양과 한반도 주변해의 기후변화 상시 전망 자료 제시
기후변화에 따른 물질순환 변동 예측 기술 개발	물질순환 수치모형 확보 및 예측	· 물질순환 모형 개발 · 북태평양/전지구 물질순환 변동 재현	· 기후변화 연동 북태평양/전지구 물질 순환 변동 예측시스템 구축	· 기후변화에 따른 물질 순환 변동 상시 전망 자료 제시

<그림 2.2.24.> 해양기후변화 감시와 예측 분야 중장기 로드맵
※ 출처: 「KIOST 2030 중장기 전략」 (한국해양과학기술원, 2019)

제 3 장 수치예보기술 관련 수요분석

3.1. 유관기관 한국형수치예보모델 활용 수요 분석

3.1.1. 수요조사 개요

□ 조사목적

- 한국형수치예보모델 확장·개발전략계획 수립을 위해 국내 유관기관에서의 한국형수치예보모델 활용 현황 분석과 한국형수치예보모델자료로의 사용 전환을 위한 환경 분석 및 수요 발굴

□ 조사대상

- 수치예보모델자료를 활용할 것으로 기대되는 농업, 환경, 방재, 수문, 교통, 에너지, 산림/생태, 국방, 문화재, 극지/해양, 정보 분야의 총 17개 기관의 전문위원 20인

<표 3.1.1.> 수요조사 대상 유관기관 현황

No.	분야	기관명	담당 업무
1	농업	국립농업과학원	농경지 국지기상 모델링
2			농업기후예측 모델링
3	환경	국립환경과학원	예보모델개발팀 업무 총괄
4	방재	국립재난안전연구원	소하천 재난관리
5			도시침수 관련
6			풍수해 저감 및 수방안전 기술
7		한국원자력안전기술원	AtomCARE 시스템 구축·운영
8	수문	한국수자원공사	기상기술
9		한강홍수통제소	홍수예보
10	교통	한국교통연구원	교통안전 및 방재
11	에너지	전력거래소	기상 및 수요 예측
12		한국에너지기술연구원	신재생에너지자원잠재량모델링
13	산림/생태	국립산림과학원	산지토사재해 기작연구
14		국립생태원	기후변화 리스크 적응역량
15	국방	공군기상단	수치예보개발관리담당
16	문화재	국립문화재연구원	문화재 재해영향 분석 및 피해저감
17			노거수 생리활력 정량적 진단
18	극지/해양	극지연구소	해빙 관측 및 모델링
19		한국해양과학기술원	기후분석
20	정보	한국과학기술정보연구원	슈퍼컴퓨팅 사용자지원



<그림 3.1.1.> 수요조사 대상 유관기관 위치

□ 조사방법

- 온라인 사전 설명회, 서면 설문조사, 서면조사 기반의 심층인터뷰, 유관기관 수요 분석 워크숍 실시
- (온라인 사전 설명회) 온라인으로 실시
 - (내용) 수요조사에 참여하는 전문위원들에게 수요조사 목적, 한국형수치예보모델 소개, 한국형수치예보모델 수요조사 개용 및 조사 방법 소개
- (설문조사) 서면 조사로 실시
 - (내용) 국내 유관기관에서의 수치예보모델자료 활용 현황 분석과 향후 기상청 현업모델로의 사용 전환을 위한 환경 분석 및 수요 발굴

기상청 유관기관 수치예보모델 사용자 설문조사

안녕하십니까?

봄인 사이언스 컨설팅에서는 기상청 수치모델링센터의 “수치예보기술 개발전략계획 수립을 위한 연구” 과제를 수행 중이며, 한국형수치예보모델(Korean Integrated Model(KIM), RDAPS-KIM, KLAPS)의 확장·개발전략계획 수립을 위한 국내 유관기관의 기상기술 수요분석을 위하여 **유관기관에서의 수치예보모델자료 활용 현황 분석**과 한국형수치예보모델자료의 사용 전환을 위한 **환경 분석 및 수요 발굴**을 하고자 본 심층인터뷰를 진행하고 있습니다.

응답에 소요되는 예상시간은 약 30분 내외이며, 본 설문에는 선택형(객관식)/기입형(주관식) 질문이 포함되어 있습니다. 설문조사에서 밝혀주신 의견은 수요조사 및 통계 처리에만 사용되며, 그 외 목적으로는 사용하지 않습니다.

귀하의 의견이 기상청 수치예보모델자료 활성화에 반영될 수 있도록 잠시 시간을 내어 진지하고 성실하게 답변해 주시길 부탁드립니다.

2022년 7월

봄인 사이언스 컨설팅

<그림 3.1.3> 기상청 유관기관 수치예보모델자료 사용자 설문지

- (심층인터뷰) 대면 인터뷰 실시
 - (내용) 사전 설문조사를 바탕으로 깊이있는 논의를 위해 실시
 - 심층인터뷰는 다음과 같은 6개 카테고리를 중심으로 인터뷰 진행
 - (1) 유관기관 현황조사
 - (2) 현재 수치예보모델자료 사용 시 애로사항
 - (3) 유관기관의 요구사항

- (4) 요구사항에 대응하기 위해 개발되어야할 기술
- (5) 기상청 수치예보모델자료 사용 확대를 위해 필요한 환경 분석

○ (워크숍) 유관기관 전체 대상의 대면 워크숍 운영

- (내용) 심층인터뷰 분석내용을 기반으로 하여 분야별 유관기관 전문위원들의 요구사항을 공유하고 관련 현장 의견을 수렴

□ 조사기간

- 7월 6일 온라인 사전 설명회를 시작으로 7월29일 심층인터뷰까지 총 24일간 단계별 조사 실시
- 온라인 사전 설명회, 설문조사, 심층인터뷰 결과 바탕의 유관기관 수요분석 워크숍을 9월 1일 개최



<그림 3.1.2.> 유관기관 수요조사 단계별 조사기간

□ 조사내용

- (설문조사) 설문지는 다음과 같은 4개 카테고리의 30개 문항으로 구성되었으며, 선택형(객관식)/기입형(주관식) 질문을 포함함

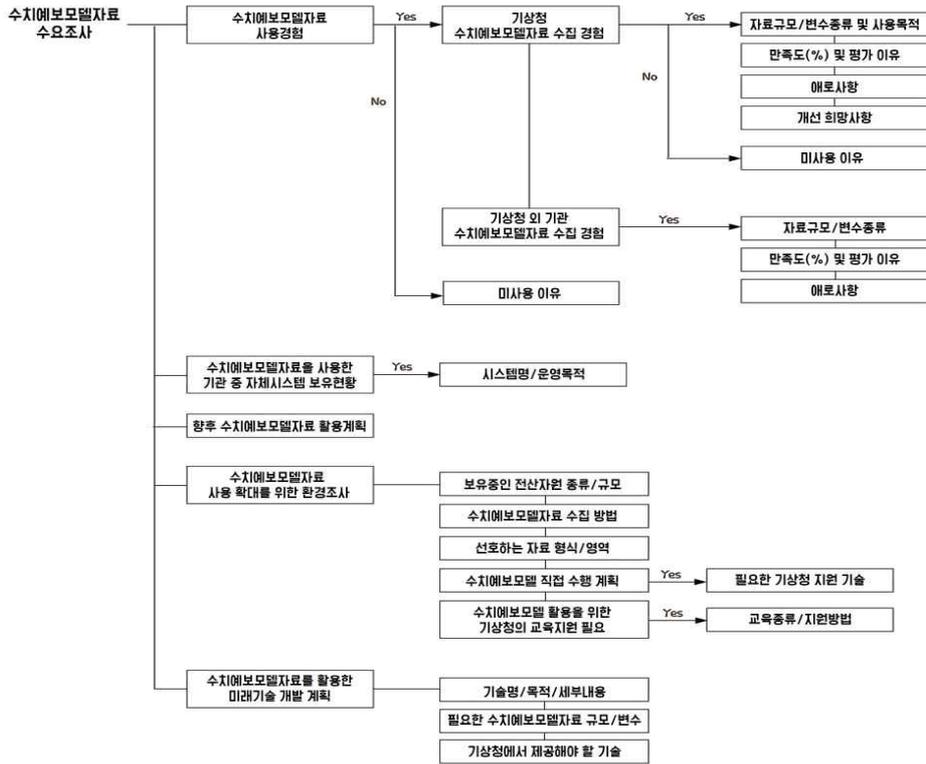
- (1) 기초 정보
- (2) 수치예보모델자료 활용 현황

- (3) 기상청 수치예보모델자료 사용 확대를 위해 필요한 환경 조사
- (4) 미래기술 관련

<표 3.1.2> 기상청 유관기관 수치예보모델자료 사용자 설문지 세부 항목

분류	세부 항목
기초 정보	<ul style="list-style-type: none"> • 성명 • 기관명/부서명/직위 • 연구(업무) 분야
수치예보모델자료 활용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 수치예보모델자료 활용 경험 • 사용하는 수치예보모델자료의 수집 기관 • 사용하는 수치예보모델자료의 규모/변수 • 수치예보모델자료의 사용 목적 • 사용하는 수치예보모델자료에 대한 만족도/평가 이유 • 수치예보모델자료 사용 시 발생하는 애로사항 • 수치예보모델자료와 관련되어 개선되었으면 하는 사항 • 수치예보모델자료를 사용하여 운영 중이거나 개발 예정인 자체 시스템 • 수치예보모델자료 활용 계획
모델 활용 경험	<ul style="list-style-type: none"> • 수치예보모델자료 활용을 위해 사용하는 전산자원의 종류/규모 • 수치예보모델자료 수집 방법(주기, 방법, 형태) • 향후 사용하고자하는 수치예보모델자료 형식/영역 • 향후 기상청 수치예보모델을 직접 수행 계획과 이를 위해 기상청이 제공했으면 하는 기술 및 기반 • 수치예보모델자료 활용에 대한 교육 및 지원 필요성 • 활용할 예정인 교육 및 지원방법
수치모델자료 활용 현황 조사	<ul style="list-style-type: none"> • 수치예보모델자료를 활용한 미래 기술 구현 계획 • 계획하고 있는 미래기술에 필요한 수치예보모델자료의 정보(규모, 변수 등) • 계획하고 있는 미래기술에 기상청 수치예보모델을 활용하기 위해 기상청에서 제공해야할 기술

<그림 3.1.4.> 기상청 유관기관 수치예보모델자료 사용자 설문지 흐름도

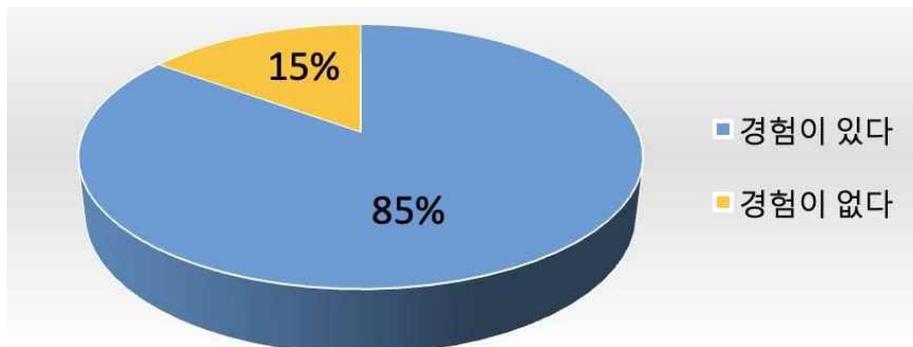


3.1.2. 정량적 분석결과

수치예보모델자료 활용 경험

□ 수치예보모델자료 활용 경험

- 기관에서 담당하는 연구 및 업무 수행에서 수치예보모델자료 활용 경험이 있는 응답자는 17인(15개 기관)으로 전체 응답자의 85%를 차지
 - 활용 경험이 없는 응답자는 총 3인으로 국립문화재연구원(연구위원 2인)과 한국과학기술정보연구원(연구위원 1인)임
 - 미사용자는 공공데이터 관측자료와 홈페이지 예측결과를 활용하거나, 수치예보모델자료 지식이 부족(교육 필요)한 것으로 응답
 - (국립문화재연구원) 수치예보모델자료를 활용하지 않은 이유는 문화유산의 예방 보존에 있어 기상변화를 중요한 요인이지만 기상을 예측하여 문화재 보존 조치를 함에는 한계가 있어 적극적인 활용이 없었다고 응답함
 - * 국립문화재연구원은 2010년 경 야외 건축문화재에 대한 보존관리 방안 중 하나로 재해에 대한 예방조치 필요성이 대두되었고, 사전에 예측이 가능한 기상(태풍, 강우 등)에 대한 연구를 시작
 - * 문화재 보존을 위한 기상예측정보 확보를 위해 수치예보모델자료 활용이 요구되고 있으나 현재는 조직 내 수치예보모델 전문가 부재 등의 이유로 활용이 미비함
 - (한국과학기술정보연구원) 국가 과학기술정보 분야의 전문연구기관으로서 수치예보모델자료의 직접 활용 경험은 없음



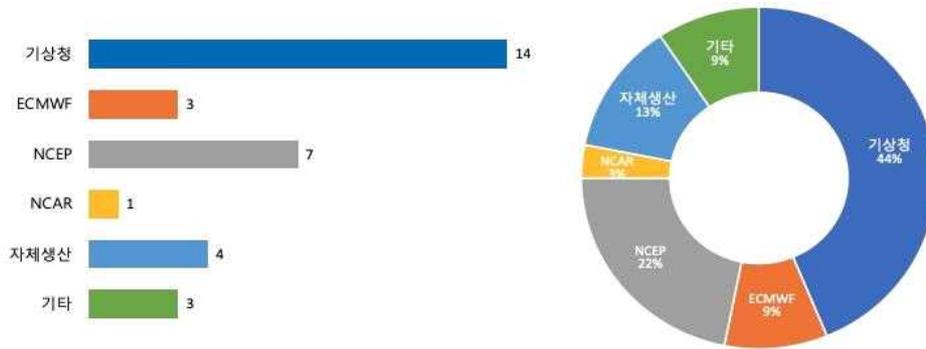
<그림 3.1.5> 유관기관 수치예보모델자료 활용 경험

<표 3.1.3.> 유관기관 수치예보모델자료 활용 경험별 답변 기관

항목	답변 기관	
있다	(농업) 국립농업과학원 (2인) (환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (2인) (방재) 서울기술연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사 (수문) 한강홍수통제소 (교통) 한국교통연구원	(에너지) 전력거래소 (에너지) 한국에너지기술연구원 (산림/생태) 국립산림과학원 (산림/생태) 국립생태원 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소 (극지/해양) 한국해양과학기술원
없다	(문화재) 국립문화재연구원	(정보) 한국과학기술정보연구원

□ 수치예보모델자료 활용 기관

- 수치예보모델을 사용하는 15개 기관(17인)의 응답자를 대상으로, 사용하고 있는 수치예보모델자료를 어떤 기관에서 수집하였는지 조사한 결과는 기상청, NCEP, 자체생산, ECMWF와 기타(선택횟수 동일), NCAR의 순
 - 유관기관은 과업수행을 목적*으로 기상청과 해외기관의 수치예보모델자료를 가공하여 활용
 - * 공공목적(산사태, 극지역, 홍수 예보 등)의 예측자료 생산 기관은 자체적으로 모델자료 생산, 모델 성능 검증을 위한 재분석 자료 수요 높음
- 기상청 자료를 사용하는 응답자는 총 14인(13개 기관)으로 국립환경과학원, 국립재난안전연구원(연구위원 2인), 서울기술원, 한국원자력안전기술원, 한국수자원공사, 한강홍수통제소, 한국교통연구원, 전력거래소, 한국에너지기술연구원, 국립산림과학원, 국립생태원, 공군기상단, 한국해양과학기술원임
 - 기타 기관에서의 자료를 사용하는 응답자는 총 3인(3개 기관)으로 국립농업과학원은 부산대학교 기후예측연구실, 한국원자력안전기술원은 CMC(Canadian Meteorological Center), 한국교통연구원은 한국원자력안전기술원에서 제공하는 자료를 사용함



<그림 3.1.6> 유관기관에서 사용하는 수치예보모델자료를 수집한 기관

<표 3.1.4> 수치예보모델자료 수집 기관별 답변 기관

수집 기관	답변 기관
기상청	(환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (2인) (방재) 서울기술연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사 (수문) 한강홍수통제소 (교통) 한국교통연구원 (에너지) 전력거래소 (에너지) 한국에너지기술연구원 (산림/생태) 국립산림과학원 (산림/생태) 국립생태원 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 한국해양과학기술원
ECMWF	(국방) 공군기상단
NCEP	(농업) 국립농업과학원 (환경) 국립환경과학원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소 (극지/해양) 한국해양과학기술원
NCAR	(산림/생태) 국립생태원
자체 생산	(수문) 한국수자원공사 (에너지) 전력거래소 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소
기타	(농업) 국립농업과학원: 부산대학교 기후예측연구실 (방재) 한국원자력안전기술원: CMC (교통) 한국교통연구원: 한국원자력안전기술원

- 수치예보모델자료를 활용하는 15개 기관(17인) 중에서 기상청 수치예보모델 자료를 사용하지 않는 기관은 2개 기관으로 국립농업과학원, 극지연구소임
 - (국립농업과학원) 기상청 수치예보모델자료를 사용하지 않는 이유로 ‘변수의 다양성 부족’, ‘사용자 편의성(교육, 매뉴얼) 부족’, ‘고사양의 전산자원 요구사항(CPU, 메모리)’, ‘기타(현재는 사용하지 않으나 향후 사용계획 있음)’ 를 선택 하였으며, 향후 사용 계획은 있음
 - (극지연구소) 기상청 수치예보모델자료를 사용하지 않는 이유로 ‘사용자 편의성

(교육, 매뉴얼)' 을 선택하였으며, NCEP과 같은 국외기관은 자료 제공 시스템이 편리하여 원시자료의 확보가 용이하고 기관 특성 상 극지역 지역규모 예보가 필요한 경우가 있어 극지역 중심 예보모델을 자체적으로 구축하였다고 응답함

□ 기상청 수치예보모델자료의 활용 목적

- 기상청 수치예보모델자료를 사용하는 13개 기관을 대상으로 자료 활용 목적을 조사한 결과수치예보모델자료는 미래 예측자료의 정확도 향상 및 국민 피해 저감을 위한 정책 의사결정 지원에 주로 활용하는 것으로 응답함
- (국립환경과학원) 대기질 모델 구동을 위해 필요한 기상모델(WRF)의 입력자료로 활용
- (국립재난안전연구원) 해당 자료를 소하천 홍수 예측을 위한 입력자료로 활용 및 도시침수 예측 및 분석을 위해 활용
- (서울기술연구원) 도시하천관리, 도시유출모델링, 강우-유출 모의, 홍수량 산정 및 홍수 예·경보를 위해 활용
- (한국원자력안전기술원) 원자력발전소 사고 시 기상청 수치예보모델자료를 이용하여 방사성물질 대기확산예측 수행
- (한국수자원공사) 수문방류 여부, 방류량, 방류기간 등의 댐 운영 의사결정을 위해 필요한 댐별 예상 강수량 정보 수집을 위해 활용
- (한강홍수통제소) 홍수 예보를 위해 활용
- (한국교통연구원) 도로에서의 강수/강설 예측, 기온 예측, 안개 발생 주의보/경보 발효를 위해 활용
- (전력거래소) 전력 수요 예측 및 신재생 발전량 예측을 위해 활용
- (한국에너지기술연구원) 시재생자원지도 생산 및 잠재량 분석을 위해 활용
- (국립산림과학원) 산림청 산사태 정보 시스템 내의 산사태 예·경보시스템(Korea Landslide Early warning System; KLES) 구동을 위해 활용
- (국립생태원) 생물기후변수(Bioclim)의 생산 및 생물종의 분포 변화 예측을 위해 활용
- (공군기상단) 수치예보모델 운영을 위한 초기/경계자료로 활용
- * 공군기상단은 공군 항공자산 운영에 필요한 기상요소를 예보하고 지원하기 위해 기상청 수치예보모델의 여러 가지 기상예측변수를 고려하고 있으며, 육군(포병기상제원, 미사일작전, 화생방기상제원 심리 전단 고층풍 기상, UAV 기상, 공중 침투 기상 정보 등), 해군(함

포기상제원, 익수자 생존시간, 탐색구조작전 등), 공군(공역/사격장 예보, 공정작전(화물/인원 투하), 방공 통제, 정찰 임무, 전투기 주요 작전형태 별 기상 판단 가이드스 등)의 작전지원을 위해 활용

- (한국해양과학원) 기관에서 수행하는 역학통계모형의 입력자료로 활용

<표 3.1.5.> 기상청 수치예보모델을 활용하는 유관기관들의 자료 사용 목적

분야	기관명	사용 목적
농업	국립농업과학원	(기상청 수치예보모델자료를 사용하지 않음)
환경	국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> 대기질 모델 구동을 위해 필요한 기상모델의 입력자료
방재	국립재난안전연구원	<ul style="list-style-type: none"> 소하천 홍수 예측을 위한 입력자료로 활용 도시침수 예측 및 분석
	서울기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> 도시하천관리, 도시유출모델링, 강우-유출 모의 홍수량 산정 및 홍수 예·경보
	한국원자력안전기술원	<ul style="list-style-type: none"> 원자력발전소 사고 시 기상청 수치예보모델자료를 이용하여 방사성물질 대기확산예측 수행
수문	한국수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> 댐운영 의사결정(수문방류 여부, 방류량, 방류기간 등)
	한강홍수통제소	<ul style="list-style-type: none"> 홍수 예보
교통	한국교통연구원	<ul style="list-style-type: none"> 도로의 강수/강설 예측, 기온 예측, 안개 발생 주의보 등
에너지	전력거래소	<ul style="list-style-type: none"> 전력 수요 예측 및 신재생 발전량 예측
	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> 신재생자원지도 생산 및 잠재량 분석
산림/생태	국립산림과학원	<ul style="list-style-type: none"> 산림청 산사태정보시스템 내 산사태 예·경보시스템(KLES)을 이용한 산사태 예측
	국립생태원	<ul style="list-style-type: none"> 생물기후변수(Bioclim)의 생산 및 생물종의 분포 변화 예측
국방	공군기상단	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보 운영을 위한 초기/경계자료 활용 항공기상 예보 생산
문화재	국립문화재연구원	(수치예보모델자료를 사용하지 않음)
극지/해양	극지연구소	(기상청 수치예보모델자료를 사용하지 않음)
	한국해양과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> 역학통계모형의 입력자료로 활용
정보	한국과학기술정보연구원	(수치예보모델자료를 사용하지 않음)

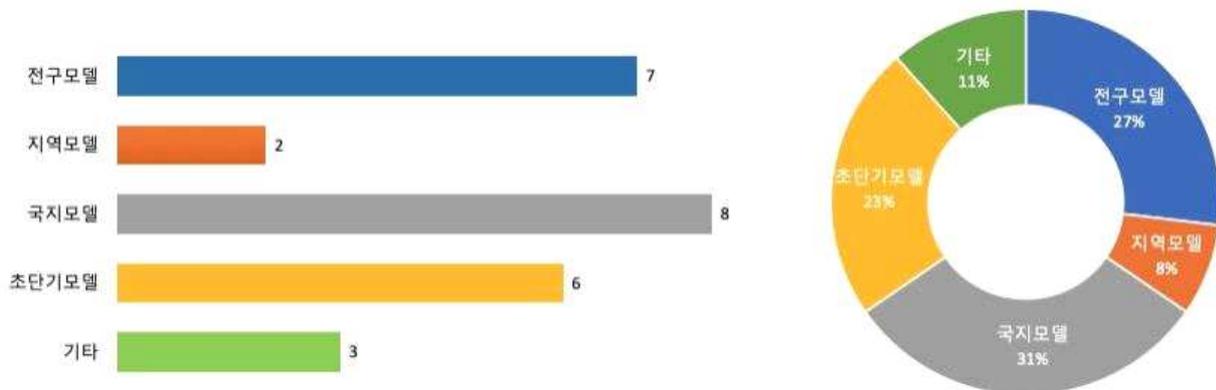
□ **유관기관에서 활용하는 기상청 수치예보모델자료의 규모/변수**

○ 기상청 수치예보모델자료를 사용하는 13개 기관을 대상으로 사용하는 자료의 규모를 조사한 결과(중복응답), 국지모델의 사용 빈도가 가장 높았으며(8개 기관), 전구모델, 초단기모델, 기타모델, 지역모델 순임

- 한반도와 전구모델의 정확도 개선이 우선적으로 필요하며, 이후 초단기모델 개선이 필요하며, 우선적으로 강수, 기온, 바람(풍향/풍속) 등의 변수 정확도 향상을 위한 기술 개발 전략 필요

* 100 m 단위의 정보가 필요한 공공기관은 MAPLE을 주로 활용

- 기타모델을 선택한 응답자는 총 3개 기관으로, 국립재난안전연구원은 MAPLE(McGill Algorithm for Precipitation-Nowcast by Lagrangian Extrapolation)을, 한강홍수통제소는 동네예보를, 국립생태원은 남한상세자료를 사용한다고 응답

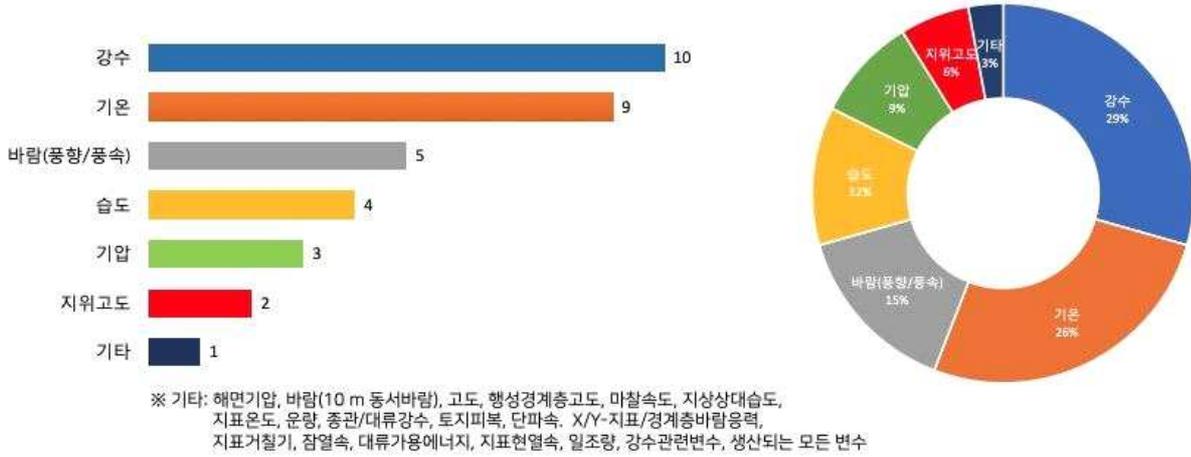


<그림 3.1.7> 유관기관이 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 규모(중복응답)

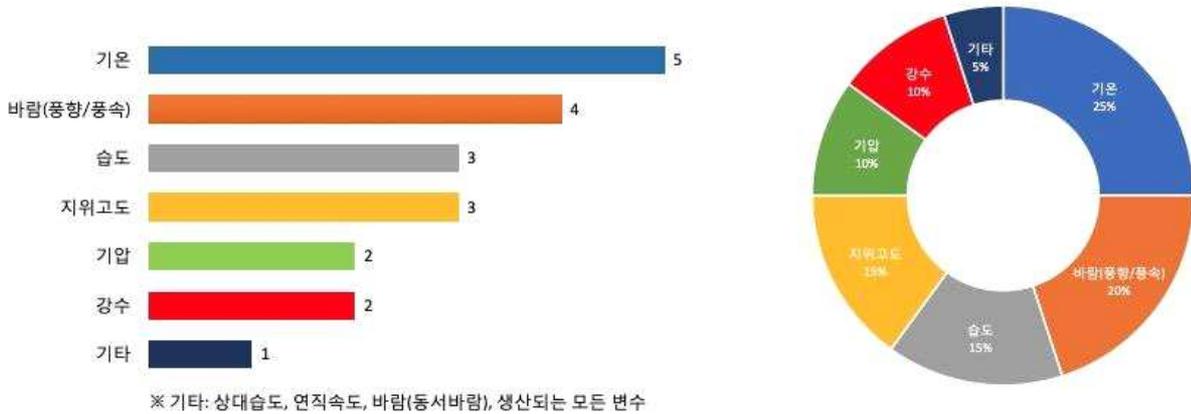
<표 3.1.6> 기상청 수치예보모델자료의 규모별 답변 기관

수집 기관	선택한 유관기관
전구모델자료	(환경) 국립환경과학원 (에너지) 한국에너지기술연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (국방) 공군기상단 (수문) 한국수자원공사 (극지/해양) 한국해양과학기술원 (수문) 한강홍수통제소
지역모델자료	(방재) 한국원자력안전기술원 (에너지) 전력거래소
국지모델자료	(방재) 서울기술연구원 (교통) 한국교통연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (에너지) 한국에너지기술연구원 (수문) 한국수자원공사 (산림/생태) 국립산림과학원 (수문) 한강홍수통제소 (산림/생태) 국립생태원
초단기모델자료	(산림/생태) 국립생태원
기타	(방재) 국립재난안전연구원 (2인) (수문) 한국수자원공사 (방재) 서울기술연구원 (수문) 한강홍수통제소

○ 기상청 수치예보모델자료를 사용하는 13개 기관이 주로 사용하는 변수는 강수, 기온, 바람, 기압, 습도 등의 자료임



<그림 3.1.8> 유관기관에서 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 지상 변수



<그림 3.1.9> 유관기관에서 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 연직 변수

<표 3.1.7> 유관기관에서 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 변수

분야	기관명	사용하는 변수
농업	국립농업과학원	(기상청 수치예보모델자료를 사용하지 않음)
환경	국립환경과학원	• [지상/연직] 기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 지위고도, 습도
방재	국립재난안전연구원	• [지상] 강수
	서울기술연구원	• [지상] 강수, 기온
	한국원자력안전기술원	• [단일면] 지상기온, 바람(10 m 동서바람), 고도, 지표기압, 해면기압, 강수, 행정경계층고도, 마찰속도, 지상상대습도, 지표온도, 운량, 종관/대류강수, 토지피복, 단파속, X/Y-지표/경계층바람응력, 지표거칠기, 잠열속, 대류가용에너지, 지표현열속 등 • [연직(기압면)] 연직속도, 바람(동서바람), 지위고도, 온도, 상대습도

수문	한국수자원공사	• 강수
	한강홍수통제소	• 강수, 강수관련 변수
교통	한국교통연구원	• 강수, 바람(풍향/풍속), 기온, 습도, 일조량
에너지	전력거래소	• [지상/연직] 기온, 습도, 바람(풍향/풍속), 강수
	한국에너지기술연구원	• [지상] 기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등 • [연직(모델면/기압면)] 기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등
산림/생태	국립산림과학원	• [지상] 강수
	국립생태원	• [지상] 기상, 강수
국방	공군기상단	• 생산되는 모든 변수
문화재	국립문화재연구원	(수치예보모델자료를 사용하지 않음)
극지/해양	극지연구소	(기상청 수치예보모델자료를 사용하지 않음)
	한국해양과학기술원	• [지상/연직] 기온, 강수, 바람(풍향/풍속), 지위고도
정보	한국과학기술정보연구원	(수치예보모델자료를 사용하지 않음)

□ 유관기관에서 활용하는 기상청 외 기관의 수치예보모델자료의 규모/변수

○ 기상청 외 기관의 수치예보모델자료를 사용하는 응답자 10개 기관을 대상으로 사용하는 자료의 규모, 기관명/모델명, 수평/연직 해상도, 최대예측시간/예측시간 간격을 조사

○ 자료의 규모는 전구, 기관은 NECP의 자료를 주로 활용함

<표 3.1.8> 유관기관에서 사용하는 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 특성

분야	기관명	모델 규모	기관명/모델명	수평/연직 해상도 최대예측시간/예측시간간격
농업	국립농업과학원	전구	NCEP / GFS	1 degree / 2 m 1개월 / 1일
		한반도	부산대학교 /PNU CGCM-WRF	5km / 단일면 사용 2~8개월 / 1일
환경	국립환경과학원	전구	NCEP / GFS	25 km / - 12일 / 6시간
방재	국립재난안전연구원	(기상청 자료만 활용)		
	서울기술연구원	(기상청 자료만 활용)		
	한국원자력안전기술원	전구	NCEP / GFS	0.25 degree / 64층 16일 / 1~6시간
전구		CMC / GDPS	15 km / 80 층 10일 / 6시간	
수문	한국수자원공사	전구	NCEP / GFS	25 km / 40 층 5일 / 3시간
		한반도	자체생산 / WRFv4.3.3	3 km / 40 층 5일 / 1시간
	한강홍수통제소	(기상청 자료만 활용)		
교통	한국교통연구원	UPZ,	한국원자력안전기술원	-

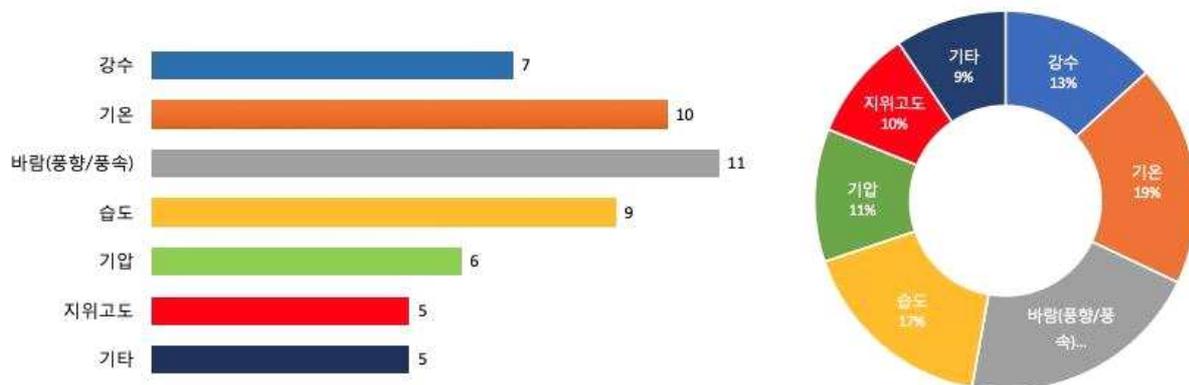
		PAZ	/ Atom-care	-
에너지	전력거래소	한반도	자체수행 / WRF	2 km / - 7일 / 1시간
	한국에너지기술연구원			(기상청 자료만 활용)
산림/생태	국립산림과학원			(기상청 자료만 활용)
	국립생태원	전구	NCAR / GLDAS	25 km / - - / 6 시간
국방	공군기상단	전구	NCEP / GFS	0.25, 0.5 degree / - 16일 / 3시간
		전구	ECMWF / HRES	0.25 degree / - 10일 / 3~6시간
문화재	국립문화재연구원			(수치예보모델자료를 사용하지 않음)
극지/해양	극지연구소	전구	NCEP / GFS	~13 km / 127층 16일 / 1, 3시간
		전구	ECMWF / HRES	01280 / 137층 10일 / 1, 3, 6시간
		북극 중심 북반구	자체수행 / Polar-WRF	27 km, 34층 10일 / 6시간
	한국해양과학기술원	전구	ECMWF	
		전구	NCEP / GFS	
정보	한국과학기술정보연구원			(수치예보모델자료를 사용하지 않음)

※ 참조

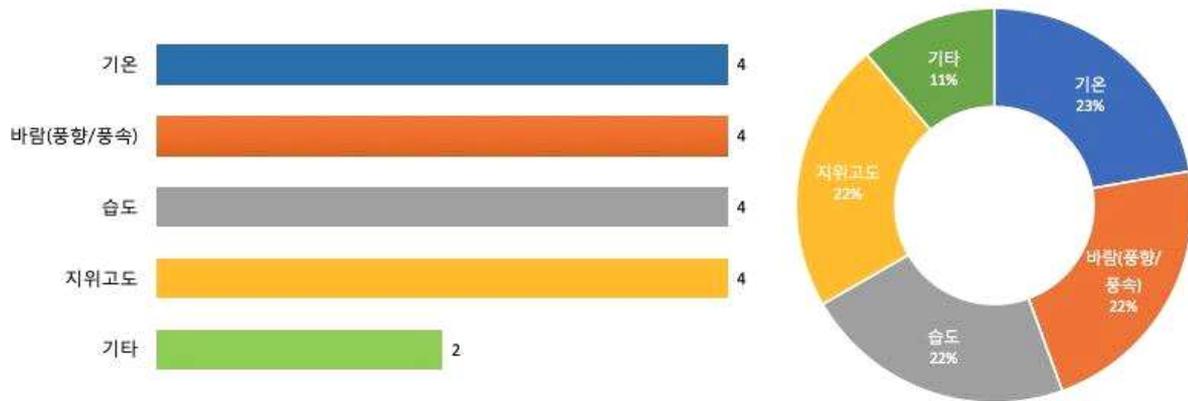
- UPZ(Urgent Protective Action Planning Zone): 긴급보호조치계획구역
- PAZ(Precautinary Action Zone): 예방적보호조치구역

○ 기상청 외 기관의 수치예보모델자료를 사용하는 응답자 10개 기관을 대상으로 사용하는 변수를 조사한 결과 지상변수는 바람(풍향/풍속)자료를 사용하는 기관이 가장 많고(11명, 1기관 2명), 연직변수는 기온, 바람, 습도, 지위고도 모두 4기관이 사용 중

- 지상변수는 바람(풍향/풍속)변수 이후 기온, 습도, 강수 순으로 사용 중



<그림 3.1.10> 유관기관에서 사용하는 기상청외 수치예보모델자료의 지상 변수



<그림 3.1.11.> 유관기관에서 사용하는 기상청외 수치예보모델자료의 연직 변수

<표 3.1.9.> 유관기관에서 사용하는 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 변수

분야	기관명	변수
농업	국립농업과학원	• 기온(최고/평균/최저), 강수, 풍속(10 m 동서바람, 2/10 m 풍속, 2 m 일최고풍속), 습도, 일사량, 일조시간, 토양수분, 지중온도
환경	국립환경과학원	• [지상] 기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 • [연직(기압면)] 기온, 바람(풍향/풍속), 지위고도, 습도
방재	국립재난안전연구원	(기상청 자료만 활용)
	서울기술연구원	(기상청 자료만 활용)
	한국원자력안전기술원	• [단일면] 지상기온, 바람(10 m 동서바람), 고도, 지표기압, 해면기압, 강수, 행성경계층고도, 마찰속도, 지상상대습도, 지표온도, 운량, 종관/대류강수, 토지피복, 단파속, X/Y-지표/경계층바람응력, 지표거칠기, 잠열속, 대류가용에너지, 지표현열속 등 • [연직(기압면)] 연직속도, 바람(동서바람), 지위고도, 온도, 상대습도
수문	한국수자원공사	• 연직 대기장, 지표장 (NCEP자료를 WRF 초기장으로 사용) • 강수, 해면기압장, 상층 기압장(200, 500, 850 hPa 등)
	한강홍수통제소	(기상청 자료만 활용)
교통	한국교통연구원	• 바람(풍향/풍속)
에너지	전력거래소	• 기온, 바람(풍향/풍속), 습도, 일사, 체감온도, 불쾌지수
	한국에너지기술연구원	(기상청 자료만 활용)
산림/생태	국립산림과학원	(기상청 자료만 활용)
	국립생태원	• 기온, 강수, 바람(풍향/풍속), 습도, 기압, 일사량
국방	공군기상단	• 초기/경계자료 내 모든 변수
문화재	국립문화재연구원	(수치예보모델자료를 사용하지 않음)
극지/해양	극지연구소	• 기온, 강수, 바람(풍향/풍속), 상대습도, 비습, 지위고도, 기압(해면/표층), 복사플럭스, 난류열속, 운량
	한국해양과학기술원	• 기온, 강수량, 바람, 지위고도
정보	한국과학기술정보연구원	(수치예보모델자료를 사용하지 않음)

□ 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 만족도

- 기상청 수치예보모델자료를 사용하는 13개 기관을 대상으로 모델 규모별 만족도를 조사한 결과(중복응답), 지역모델 만족도가 가장 크며, 수요가 높은 영역(국지, 전구, 초단기 모델)의 만족도 개선이 필요
 - 수요가 집중되는 시기는 하계이며, 예측 자료의 자료 정보, 시공간 해상도, 예측 시간, 수요기관의 맞춤형 변수 제공 등 수치예보모델자료 개선 및 추가개발이 필요
 - 좁은 공간범위의 재해예측과 대응을 위한 고해상도 자료 및 필요해상도로 기상청 수치자료를 변환하기 위한 다운스케일링 기법 및 기상, 대기확산, 산림, 농업 분야별 상호작용반영을 위한 결합모델 관련 기술이 필요
 - 현재 제공되고 있지 않은 우박·돌풍·안개 등의 국지성위험기상과 파고 등에 대한 예측 정보와 제공자료의 극한값 등을 다양한 형태로 제공하는 것이 필요
 - 자료활용측면에서 다양한 기상변수의 가시화 기술 및 분야별 보유자료의 반영 등 필요에 맞게 모델을 활용할 수 있는 수치예보모델자료 2차 가공 기술이 필요
- 전구모델자료의 만족도는 평균 81점으로, 국립환경과학원 70점, 한국원자력안전기술원 95점, 한국수자원공사 100점, 한강홍수통제소 60점, 한국에너지기술연구원 70점, 공군기상단 80점, 한국해양과학기술원 90점임
 - 지역모델자료의 만족도는 평균 88점으로, 한국원자력안전기술원 95점, 전력거래소 80점 부여
 - 국지모델자료의 만족도는 평균 76점으로, 서울기술연구원 80점, 한국원자력안전기술원 80점, 한국수자원공사 100점, 한강홍수통제소 50점, 한국교통연구원 80점, 한국에너지기술연구원 70점, 국립산림과학원 70점 부여
 - 초단기모델자료의 만족도는 평균 68점으로, 국립재난안전연구원 40점, 서울기술연구원 70점, 한국수자원공사 80점, 한강홍수통제소 70점, 한국교통연구원 70점, 국립산림과학원 80점 부여
 - 기타모델자료의 만족도는 평균 68점으로, 국립재난안전연구원은 MAPLE에 대하여 85점, 한강홍수통제소는 동네예보에 대하여 40점, 국립생태원은 남한상세자료에 대해 80점 부여



<그림 3.1.12.> 유관기관에서 사용하는 기상청 수치예보모델자료의 만족도(단위: 점, 100점 만점)

<표 3.1.10.> 기상청 수치예보모델자료의 규모별 만족도 답변 결과

모델 규모	답변 기관
전구모델자료	(환경) 국립환경과학원: 70% (에너지) 한국에너지기술연구원: 70% (방재) 한국원자력안전기술원: 95% (국방) 공군기상단: 80% (수문) 한국수자원공사: 100% (극지/해양) 한국해양과학기술원: 90% (수문) 한강홍수통제소: 60%
지역모델자료	(방재) 한국원자력안전기술원: 95% (에너지) 전력거래소: 80%
국지모델자료	(방재) 서울기술연구원: 80% (교통) 한국교통연구원: 80% (방재) 한국원자력안전기술원: 80% (에너지) 한국에너지기술연구원: 70% (수문) 한국수자원공사: 100% (산림/생태) 국립산림과학원: 70% (수문) 한강홍수통제소: 50%
초단기모델자료	(방재) 국립재난안전연구원: 40% (수문) 한강홍수통제소: 70% (방재) 서울기술연구원: 70% (교통) 한국교통연구원: 70% (수문) 한국수자원공사: 80% (산림/생태) 국립산림과학원: 80%
기타	(방재) 국립재난안전연구원: MAPLE 85% (수문) 한강홍수통제소: 동네예보 40% (산림/생태) 국립생태원: 남한상세자료 80%

- (국립환경과학원) 기상청 전구모델자료 만족도를 70%로 평가한 이유는 현재 제공하는 수치예보모델자료에 대해 대체적으로 만족하나 대기질 예보에 중요한 지면 부근의 바람, 혼합고, 습도 예측에 대한 정확성은 기대에 미치지 못하였고, 활용 측면에서 필요한 변수가 부족하고 시공간 해상도가 제한되었으며, 불충분한 네트

- 워크 환경으로 자료 입수에 제한적이라고 응답함
- (국립재난안전연구원) MAPLE 모델자료의 만족도를 85%로 평가한 이유는 재난 관리 분야에 활용하기 위해서는 강한 강우강도의 정확도에 중점을 둔 자료가 필요하다고 응답
 - * 초단기예보모델의 만족도를 40%로 평가한 이유는 최신 수치예보모델자료가 아닌 이전의 예측자료에 대한 정확도가 낮았다고 응답
 - (서울기술연구원) 국지모델자료의 만족도를 80%로 초단기모델자료의 만족도를 70%로 평가한 이유는 더욱 고해상도의 자료 제공이 필요하며, 사용자의 요구에 맞는 맞춤형 정보제공이 필요하다고 응답
 - (한국원자력안전기술원) 전구모델자료의 만족도를 95%로 평가한 이유는 기상청과 별도 협력을 통해 10 km 고해상도의 예보자료를 활용할 수 있고, 기상자료개방포털의 URL-API 서비스를 통해 KIM 예보자료 활용이 가능하다고 응답
 - * 지역모델자료의 만족도를 95%로 평가한 이유는 기상청에서 유관기관의 시스템 운영현황을 고려하여 전구모델 기반 지역모델을 제공하는 점임
 - * 국지모델자료의 만족도를 80%로 평가한 이유는 현재 기상청에서 제공하는 1.5 km의 초고해상도 예보는 충분히 만족하나, 해당 유관기관에서 2일 이상의 방사능영향평가 수행을 위해서 국지모델과 지역모델을 함께 활용하고 있어 자료의 정확성 저하가 우려된다고 응답
 - (한국수자원공사) 전구모델자료와 국지모델자료의 만족도를 100%로 평가한 이유는 현재 해당 유관기관에서 UM 기반의 raw data를 제공받고 있어, 6시간 주기로 최신 업데이트되는 예상 강수량을 분석할 수 있어 유용하게 활용하고 있다고 응답
 - * 초단기 모델자료의 만족도를 80%로 평가한 이유는 해당 유관기관이 MAPLE 및 KLAPS 기반의 raw data를 제공받고 있는데, 초단기 예측 특성상 강우가 발생하고 있는 상황에서 국지성 호우(소나기 등)가 과다 예측되어 댐 예상강수량이 크게 변동되는 경우가 있어 댐 운영에 혼돈을 주는 경우가 있고, 초단기 예측 분야에 지속적인 연구개발이 필요할 것으로 판단
 - (한강홍수통제소) 전구모델자료의 만족도는 60%, 국지모델자료의 만족도는 80%, 초단기모델자료의 만족도는 70%로 평가한 이유는 홍수예보에서 가장 많이 사용하는 자료가 초단기모델자료이며, 이때 초단기모델에서는 생성/소멸 과정이 없고 이류과정만 있어 홍수 예보 시 이를 감안해야한다고 응답함
 - * 전구모델자료와 국지모델자료는 2~3일 이내의 홍수예보에 사용되는데, 유역 강우량으로

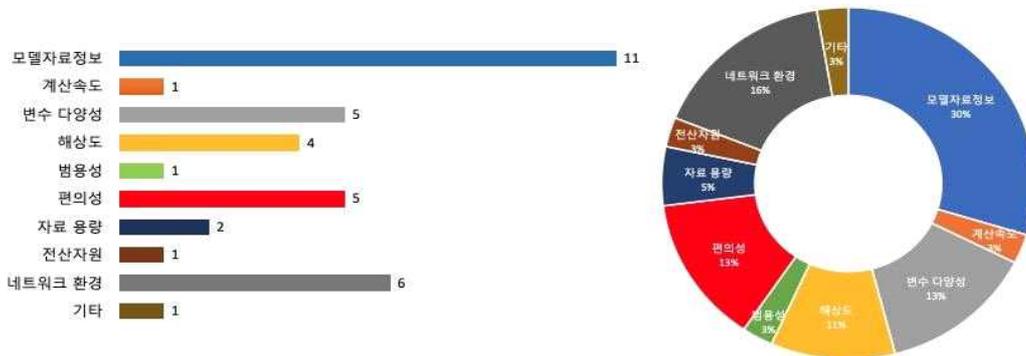
환산하여 사용하는 홍수예보에는 국지모델자료보다 전구모델자료의 예측성능이 더 높은 경향이 있었으며, 최근에는 국지모델자료의 성능도 높아진 것으로 응답

- * 해당 유관기관에서 참조용으로 사용하는 동네예보의 만족도는 40%로 평가한 이유는 현재 기상청이 제공하는 동네예보 자료는 30 mm 이상은 30, 50 mm 이상은 50과 같이 범주형으로 제공하는 자료이기 때문에 홍수예보에 직접 활용하기가 어렵다고 응답함
- (한국교통연구원) 국지모델자료의 만족도는 80%, 초단기모델자료의 만족도는 70%로 평가하였으며, 이에 대해 해당 기관에서 요구되는 도로(선)에 영향을 미치는 인자들의 정확도가 매우 중요한데 특정 지역의 지형 영향으로 인해 예측 성능이 떨어진다고 응답
- (전력거래소) 지역모델자료의 만족도를 80%로 평가한 이유는 특정 시기(하계)의 기상 예측 정확도가 낮다는 의견을 보였으며, 전력수요예측 및 신재생 에너지 예측을 위해 필요한 기상변수(일사, 80~120 m 풍향, 풍속 등)에 대한 정보가 미제공된다고 응답
- (한국에너지기술연구원) 전구모델자료의 만족도를 70%로 평가한 이유는 국지모델이 시공간 상세 정보를 제공하는 하지만 지점 측정값과 비교했을 때 전국의 지역적 기상예측 특성은 전구모델자료가 더 수준이 높기 때문이라고 응답함
- (국립산림과학원) 국지모델자료의 만족도를 70%로 평가한 이유는 기상청 국지모델이 최대 2일의 예측정보 제공으로 중기(산사태 예보 시 48시간) 예측정보 생산은 가능하나, 3시간 단위로 생산되어 기존 1시간 단위의 산사태 예보모델과 호환성을 유지하기 어렵기 때문에 별도의 통계적 예보모형을 적용해야하는 어려움이 있다고 응답함
- * 초단기모델자료의 만족도를 80%로 평가한 이유는 산사태 예보체계가 1시간 단위의 예측정보 생산을 목표로 하기때문에 기상청에서 생성하는 10분 단위는 충분히 활용성이 있으나, 최대 12시간의 산사태 예측정보를 생산함에 있어서는 초단기모델에서는 최대 6시간까지만 제공하므로, 6시간을 초과 기간에 대해서는 예측의 한계가 발생하여 산사태 재난대응이 어렵다고 응답함
- (국립생태원) 남한상세자료에 대한 만족도를 80%로 평가한 이유는 자료의 불확실성에 대한 정보 필요성을 제시함
- (한국해양과학기술원) 전구모델자료의 만족도를 90%로 평가한 이유는 해당 모델이 다른 기후모형에 비해 특정 지역의 모의 및 계절규모 예측 성능이 좋았다고 응답함

□ 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항

○ 기상청 수치예보모델자료를 사용하는 13개 기관을 대상으로 자료 사용 관련 애로사항 조사 결과, ‘자료정보’가 11개 기관으로 가장 많음

- 응답자가 ‘자료정보’ 대해 보유한 애로사항은 객관적 정보 미제공으로 수요기관의 모델이나 시스템에 대한 정확도 제시 근거 부족, 비전공자에 대한 교육 및 자료처리 기술 전수 등 편의성을 위한 환경 마련 필요, 기상청과 수요기관 네트워크 사양 차이로 자료전송 서비스의 비효율이 존재하여 자료제공 시스템 개선 필요 등
- ‘기타’를 선택한 한국해양과학기술원이며 불편한 접근성을 애로사항으로 응답함



<그림 3.1.13> 유관기관에서의 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항

<표 3.1.11> 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항 항목별 답변 기관

애로사항	답변 기관
자료정보	(환경) 국립환경과학원 (교통) 한국교통연구원
	(방재) 국립재난안전연구원 (에너지) 전력거래소
	(방재) 서울기술연구원 (에너지) 한국에너지기술연구원
	(방재) 한국원자력안전기술원 (산림/생태) 국립산림과학원
	(수문) 한국수자원공사 (산림/생태) 국립생태원
	(수문) 한강홍수통제소
계산속도	(방재) 국립재난안전연구원
변수의 다양성	(환경) 국립환경과학원 (에너지) 전력거래소
	(방재) 서울기술연구원 (산림/생태) 국립생태원
	(수문) 한국수자원공사
시공간 해상도	(환경) 국립환경과학원 (에너지) 전력거래소
	(교통) 한국교통연구원 (산림/생태) 국립생태원
모델의 범용성 (타모델과의 접합 편의성)	(수문) 한국수자원공사
사용자 편의성 (교육, 매뉴얼)	(방재) 국립재난안전연구원 (에너지) 전력거래소
	(방재) 서울기술연구원 (산림/생태) 국립산림과학원
	(수문) 한강홍수통제소
자료 용량	(산림/생태) 국립산림과학원
전산자원 요구사항 (CPU, 메모리 등)	(산림/생태) 국립산림과학원
네트워크 환경 (자료전송서비스)	(환경) 국립환경과학원 (에너지) 한국에너지기술연구원
	(방재) 한국원자력안전기술원 (산림/생태) 국립산림과학원
	(에너지) 전력거래소 (국방) 공군기상단
	(국방) 공군기상단
기타	(극지/해양) 한국해양과학기술원: 불편한 접근성

- (서울기술연구원) 애로사항으로 ‘모델자료정보’, ‘변수의 다양성’, ‘사용자 편의성(교육, 매뉴얼)’을 선택하였고, 동네예보의 경우 정확도가 다소 떨어지며, 도시 유출 모의에 활용하기 위해서는 최소 1 km 격자 자료가 필요하나, 최근 개발된 수치예보 모형(RDAPS-KIM)의 경우 해상도가 높은 것으로 판단된다고 응답함
- * 사용자가 자료를 어떻게 제공받아 활용할 수 있는지에 대한 정보제공 필요하다고 응답함
- (한국원자력안전기술원) 애로사항으로 ‘모델자료정보’를 선택한 이유는 기상청의 수치예보모델의 예측수준에 대한 객관적인 정보(예를 들어, 주요 국가 현업기관의 북반구 500 hPa RMSE 등)가 공개되지 않아, 유관기관 시스템의 핵심 입력자료인 기상청 수치예보모델의 우수성을 제시하기 어렵다기 때문임
- * ‘네트워크 환경(자료전송서비스)’을 선택한 이유는 유관기관으로 제공되는 서버 및 네트워크 증설을 통해 자료전송시간 단축이 필요하기 때문임
- (한국수자원공사) 애로사항으로 ‘모델자료정보’를 지속적으로 개선되어야 할 사항으로 제시하였고, ‘변수의 다양성’과 ‘모델의 범용성(타모델과의 접합 편의성)’을 선택한 것에 대해서는 해당 기관에서 댐 운영에 필요한 예상 강수량 판단을 위해 주로 강수 변수만 제공 받고 있는데, 향후 기상청 현업모델의 예상 강수량뿐만 아니라 자체 현업모델(WRF)의 초기 자료로 활용할 수 있도록 자료의 추가 확보가 필요하다고 응답함
- (한강홍수통제소) 애로사항으로 ‘모델자료정보’와 ‘사용자 편의성(교육, 매뉴얼)’을 선택하였고, 각 모델자료에 대한 검증 및 평가 자료 제공이 필요하며, 범주형으로 제공하는 기상청 동네예보자료의 수치 제공을 요청함
- (한국교통연구원) 애로사항으로 ‘모델자료정보’와 ‘시공간 해상도’를 선택한 이유는 도로(선)에서 사용하는 기상자료는 실제 측정 장소와 거리가 떨어져 있어서 도로상황의 실제 예측 결과를 정확히 반영하지 못하기 때문임
- (전력거래소) 애로사항으로 ‘모델자료정보’, ‘변수의 다양성’, ‘시공간 해상도’, ‘사용자 편의성(교육, 매뉴얼)’, ‘네트워크 환경(자료전송서비스)’를 선택하였으며, 이 중에서 ‘정확도’에 대해 기상 예측 오차가 발생할 경우에 전력수급 운영의 어려움이 발생할 수 있으며, 향후 신재생 에너지가 증가함에 따라 더욱 어려움이 가중될 것으로 예상함
- (한국에너지기술연구원) ‘모델자료정보’, ‘네트워크 환경(자료전송서비스)’를

선택하였으며, 향후 사용자 접근형 데이터 생산이 되도록 네트워크 환경이 개선되었으면 하였고, 국외 자료처럼 윈도우 환경에서도 자료 처리가 가능(표준 wgrib2 포맷 선호)하도록 개선되길 희망함

- (국립산림과학원) ‘모델자료정보’에 대해 6시간 이후의 강우 예측정확도의 한계로 인해 산사태 대응 시 주민 사전대피 등의 정보를 충분히 제공하기 어렵다고 응답함
- * ‘사용자 편의성(교육, 매뉴얼)’은 기상청 수치예측모델의 구성과 이에 따른 정확도 등의 매뉴얼이 있기는 하나, 비전문가 입장에서 이해하고 활용하기 어렵다고 응답함
- * ‘자료 용량’과 ‘전산자원 요구사항(CPU, 메모리 등)’은 전국 단위 잘 생성으로 인해 분석 시 대용량 자료 처리의 어려움 보유
- * ‘네트워크 환경(자료전송서비스)’은 기상청에서 생성된 자료의 전송속도가 지연되는 경우가 다수 발생하여 이에 따른 산사태 예측 정보 생산의 누락 및 오류가 빈번하게 발생한다고 응답
- (국립생태원) ‘모델자료정보’, ‘변수의 다양성’, ‘시공간 해상도’를 애로사항으로 선택했으며, 생태계 분야는 시간해상도보다 공간해상도가 더 중요하다고 응답함
- (한국해양과학기술원) 애로사항으로 ‘불편한 접근성(기타 의견)’을 들었으며, 기상청 수치예보모델자료를 인터넷 환경에서 바로 얻기 어렵다고 응답함

□ 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 개선 요구 사항

- 기상청 수치예보모델자료를 사용하는 13개 기관을 대상으로 자료 사용과 관련된 개선 요구 사항을 조사
- (국립환경과학원) 수요자의 요구에 맞춘 기상 변수 생산이 필요하며, 지면 부근 바람, 혼합고, 습도 예측에 대한 정확도 개선이 필요하다고 응답함
- (국립재난안전연구원) 수치예보모델자료의 정확도 및 분석 속도 향상이 필요하다고 응답함
- (한국원자력안전기술원) 방대한 자료 크기로 인해 자료 전송의 어려움이 있어 기존에는 활용하지 못했던 앙상블예측자료를 활용할 수 있도록 서버/장비 증설, 부하 분산 등의 네트워크 환경 개선이 필요하다고 응답함
- (한강홍수통제소) 각 모델자료에 대한 성능 정보 및 모델의 개선사항에 대한 공유가 이루어졌으면 했고, 동네예보를 범주형 자료가 아닌 수치자료로 제공하길 요청함

- (한국교통연구원) 주요 기반시설인 도로에서 신뢰도가 높은 자료가 될 수 있도록 지점의 확대가 필요하며, 실시간 변화에 대한 자료 제공을 요청함
- (전력거래소) 기상 예측 정확도의 개선이 필요하며, 삶의 질이 올라가고 발전원이 다양해지며 필요로 하는 기상변수도 다변화되기 때문에 보다 고급기상정보가 필요하다고 응답함
- (국립산림과학원) 기상청에서 제공하는 강우자료 등 기상자료의 타 기관 전송 및 공유 속도를 획기적으로 개선할 필요가 있다고 응답함
- * 산사태 예보체계와 같이 전국단위 실시간 예측자료의 생산이 필요한 경우, 실제 분석시간은 길지 않으나 기상청에서 강우자료가 전송되어 수집되는 시간이 40~50분을 초과하여 제한시간 내 예측정보 생성이 어렵다고 응답함
- (국립생태원) 예측자료의 불확실성을 최소화할 수 있는 옵션(여러 모형의 결과를 함께 제공) 제공을 요청함
- (공군기상단) 기상청 수치예보모델의 정확도 개선 및 개선 결과 홍보가 필요하다고 응답함
- * KIM 전력화 당시 정확도가 상대적으로 낮았기 때문에 기존 사용 모델들(KAF-WRF, ECMWF, JMH, NCEP, GDAPS 등)에 비해 KIM 사용률이 저조한 상태이나, 최근 기상청에서는 자료동화 개선 및 모델 성능향상에 많은 노력을 기울이고 있으므로, 이런 점을 유관기관에게 적극적으로 홍보가 되어 예보관들의 사용률이 높아지길 희망함
- (한국해양과학기술원) ECMWF나 NOAA처럼 인터넷에서 자료를 바로 접근할 수 있는 플랫폼 개발을 요청함

<표 3.1.12.> 유관기관의 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 개선 요구사항

분야	기관명	개선 요구사항
농업	국립농업과학원	(기상청 수치예보모델자료를 사용하지 않음)
환경	국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> 수요자 요구에 맞춘 기상 변수 생산 및 지면 부근의 바람, 혼합고, 습도 예측에 대한 정확도 개선
방재	국립재난안전연구원 서울기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> 정확도 및 분석 속도 향상
	한국원자력안전기술원	<ul style="list-style-type: none"> 방대한 자료전송의 어려움으로 인해 기존에 활용하지 못했던 앙상블예측자료를 활용할 수 있도록 네트워크 환경 개선 (서버/장비 증설, 부하분산 등)
수문	한국수자원공사	<ul style="list-style-type: none">
	한강홍수통제소	<ul style="list-style-type: none"> 각 모델자료에 대한 성능 정보 및 모델의 개선사항에 대한 공유 동네예보의 범주형 자료가 아닌 수치자료 제공
교통	한국교통연구원	<ul style="list-style-type: none"> 주요 기반시설인 도로에서의 신뢰도 높은 자료 확보를 위해 예측지점의 확대와 실시간 변화에 대한 자료 제공 필요
에너지	전력거래소	<ul style="list-style-type: none"> 기상 예측 정확도 개선 강수나 구름의 유입/종료 시점에 따라 신재생 발전량이 시간에 따라 달라지고, 기온오차에 따라 전력수요가 달라져 전력계통운영에 큰 어려움이 가중되고 있음. 삶의 질이 올라가고 발전원이 다양해지면서 필요로 하는 기상변수도 다변화되고 있어 보다 고급기상정보가 필요함.
	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none">
산림/생태	국립산림과학원	<ul style="list-style-type: none"> 산사태 예보체계와 같이 전국단위 실시간 예측자료의 생산이 필요한 경우, 실제 분석시간은 길지 않으나 기상청에서 강우자료가 전송되어 수집되는 시간이 40~50분을 초과하여 제한시간 내 예측정보 생성이 어려우므로, 예측자료의 타기관 전송 및 공유 속도의 획기적인 개선 필요
	국립생태원	<ul style="list-style-type: none"> 예측자료의 불확실성을 최소화할 수 있는 옵션(여러 모형의 결과를 함께 제공)이 있었으면 함.
국방	공군기상단	<ul style="list-style-type: none"> 정확도 개선 및 개선 결과 홍보 필요.
문화재	국립문화재연구원	(수치예보모델자료를 사용하지 않음)
극지/해양	극지연구소	(기상청 수치예보모델자료를 사용하지 않음)
	한국해양과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> 인터넷 환경에서 자료에 바로 접근할 수 있는 플랫폼 필요 (ECMWF, NOAA 사이트 참조)
정보	한국과학기술정보연구원	(수치예보모델자료를 사용하지 않음)

□ 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 사용 관련 만족도

- 기상청 외 기관의 수치예보모델자료를 사용하는 응답자 10개 기관을 대상으로 모델 규모별 만족도를 조사한 결과(중복응답), 기타모델이 가장 높았고, 이후 전구모델, 지역모델 순임
- 국외기관의 수치예보모델자료의 만족도는 기상청 수치예보모델자료의 만족도보다 낮음
 - 자료의 활용도 제고를 위해서는 자료에 대한 접근성이 용이해야하고 지속성·안정성을 갖춰야 함



<그림 3.1.14.> 유관기관에서 사용하는 기상청 외 기관의 수치예보모델 자료의 만족도(100점 만점)

<표 3.1.13.> 기상청 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항 항목별 답변 기관

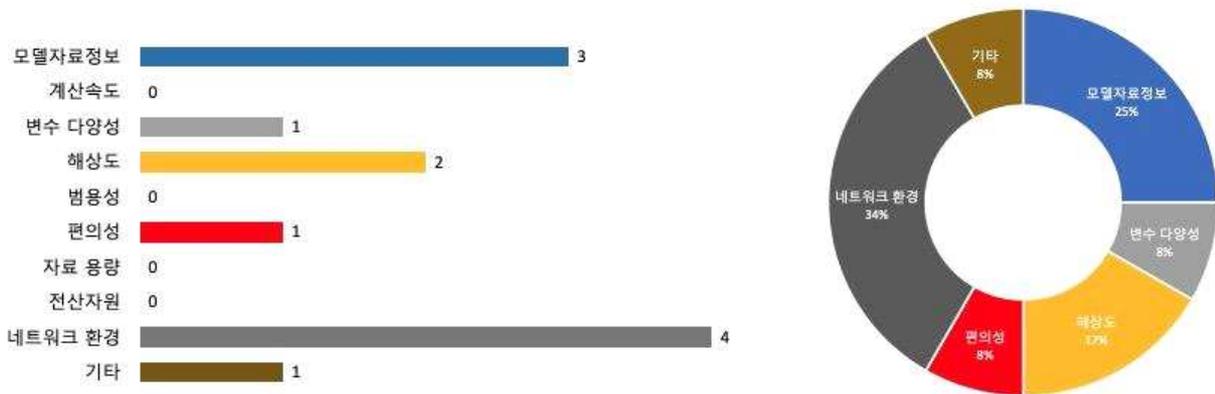
항목	만족도 (%)
전구모델자료	(농업) 국립농업과학원: 90% (극지/해양) 극지연구소: 70% (환경) 국립환경과학원: 60% (산림/생태) 국립생태원: 100% (환경) 국립환경과학원: 60% (국방) 공군기상단: 80% (방재) 한국원자력안전기술원: 85% (극지/해양) 한국해양과학기술원: 90% (수문) 한국수자원공사: 60%
지역모델자료	(농업) 국립농업과학원: 70% (에너지) 전력거래소: 50% (수문) 한국수자원공사: 80% (극지/해양) 극지연구소: 60%
기타	(교통) 한국교통연구원: 90%

- (국립농업과학원) 기상청 외 기관 전구모델자료(NCEP/GFS) 만족도를 90%, 지역모델자료(부산대학교/PNU CGCM-WRF) 만족도를 70%로 평가한 이유는 해당자료들이 장기예측(6개월 전망)에 대해 일별 기상값을 모두 제공하여 활용도가 높으며, 농업분야에서 필요로 하는 주요 변수(일사량, 일조시간 등)를 제공하고 있다고 응답함

- * 자료들은 매달 자료가 업데이트되며, R&D 과제를 통해 긴밀한 협업이 가능하다는 장점이 있었으나 예측성능, 앙상블 개수 등에 대해서는 한계점 보유 중
- (국립환경과학원) 전구모델자료(NCEP/GFS) 만족도를 60%로 평가한 이유는 기상청 자료와 마찬가지로 대기질 예보에 중요한 지면 부근의 바람, 혼합고, 습도 예측에 대한 정확성이 낮다고 응답함
- (한국원자력안전기술원) 전구모델자료(NCEP/GFS) 만족도를 85%로 평가한 이유로 기상청 전구모델자료에 비해 해상도는 낮지만 자료를 자유롭게 활용 가능하다고 응답함
- (한국수자원공사) 전구모델자료(NCEP/GFS) 만족도를 60%로 평가한 이유는 일시적으로 자료가 제한되는 경우가 있어 안정적 현업운영에 불안정한 상황이 발생한다는 의견이 있었고, 지역모델자료(자체생산/WRFv4.3.3) 만족도를 80%로 평가한 이유는 자체 현업운영을 위한 HPC 유지관리 및 수치모델링 기술 보유 전문인력이 필요하나, 현재 최소한의 인력만으로 운영하고 있어 어려움이 있다고 응답함
- (한국교통연구원) 기타모델자료(KINS/Atom-care) 만족도를 90%로 평가한 이유는 정확한 필요에 따라 독립적 측정장비와 측정위치에서 지속적으로 데이터를 수집하고 축적하고 있다고 응답함
- (국립생태원) 전구모델자료(NCAR/GLDAS) 만족도를 100%로 평가한 것에 대해 50년 이상의 기후변화 자료를 제공하기 때문이라고 응답함
- (극지연구소) 전구모델자료(NCEP/GFS, ECMWF/HRES) 만족도를 70%, 지역모델자료(자체생산/Polar-WRF) 만족도를 60%로 평가
- * 극지연구소는 기관 특성 상 전구모델 자료의 극지역영역 자료를 살펴보는 경우가 많고, 아라온호 활동 지원을 위해 Polar-WRF 기반 북극 지역 수치예보를 한시적으로 자체 생산하기도 하였으나 극지역은 예보 오차 정확도가 상대적으로 낮은 편이라 60~70% 정도의 만족도로 평가함
- (한국해양과학기술원) 전구모델자료(ECMWF, NCEP/GFS) 만족도를 90%로 평가한 이유는 자료의 접근성이 용이하다고 응답함

□ 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항

- 기상청 외 기관의 수치예보모델자료를 사용하는 10개 기관을 대상으로 자료 사용과 관련된 애로사항을 조사한 결과, 네트워크 환경을 선택한 응답자가 가장 많았음
- 이외에는 시·공간 해상도, 자료 전송 문제 등 사용자 요구를 반영할 수 없는 자료 제공으로 현장 활용 어려움, 사전 예고 없는 자료 형식 변경 및 서버 점검으로 인한 애로사항 등을 보유함
- 또한 기상청 자료로 전환하기 위한 통신환경 구축 예산 편성, 인력 부족 등 활용 환경의 어려움 보유 중



<그림 3.1.15.> 유관기관에서의 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항

<표 3.1.14.> 기상청 외 기관의 수치예보모델자료 사용 관련 애로사항별 답변 기관

항목	답변 기관
자료정보	(농업) 국립농업과학원 (에너지) 전력거래소 (환경) 국립환경과학원
변수의 다양성	(환경) 국립환경과학원
시공간 해상도	(환경) 국립환경과학원 (산림/생태) 국립생태원
사용자 편의성(교육, 매뉴얼)	(교통) 한국교통연구원
네트워크 환경(자료전송서비스)	(방재) 한국원자력안전기술원 (극지/해양) 극지연구소 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 한국해양과학기술원
기타	(수문) 한국수자원공사

- (국립농업과학원) ‘모델자료정보’ 를 애로사항으로 선택한 이유는 예측자료 생산 스케줄 상 리드타임이 긴 자료를 받기 때문에 발생하는 예측성능의 한계와 대부분의 기상/기후 모형에서 나타나는 기온 관련 변수 이외의 변수 예측성능의 한계

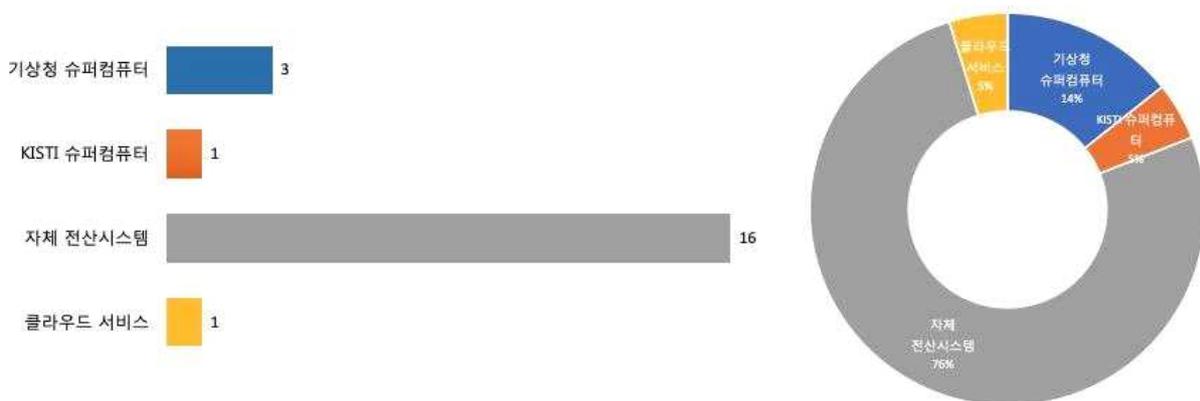
라고 응답함

- * 장기 전망을 위해 앙상블 멤버의 개수를 증가와 농업모형은 경험식에 의해 구축된 모형이 많기 때문에 오차 보정(bias correction)이 매우 중요하므로 자료의 기본 보정을 위한 재분석자료(5 km 격자와 유사하면서 ASOS와 비교해도 유사한 수준의 재분석자료)가 필요하다고 응답함
- (한국원자력안전기술원) ‘네트워크 환경(자료전송서비스)’ 를 애로사항으로 선택하였으며, 해당 자료의 전송이 불안정한 경우가 종종 있음을 이유로 제시함
- (한국수자원공사) 수치예보모델자료의 안정적 취득, 활용 및 관리를 애로사항으로 제시함
- (한국교통연구원) ‘사용자 편의성(교육, 매뉴얼)’ 을 애로사항으로 선택한 것에 대해 수치예보모델의 사용방법, 내용, 신뢰도, 예측 민감도에 대한 설명이 부족하다고 응답함
- (국립생태원) ‘시공간 해상도’ 를 애로사항으로 선택한 이유는 해당 모델의 공간 해상도가 25 km로 낮은 편이라 한반도 영역에 대한 연구에는 부적합하다고 응답함
- (극지연구소) ‘네트워크 환경(자료전송서비스)’ 를 애로사항으로 선택한 것에 대해 ECMWF/HRES의 고해상도 10일 예보는 2018년에 수집 요청이 수락되어 무상으로 정기 전송을 받아왔으나 기관 내 전산시스템의 변화로 수집이 중단되기 때문이라고 응답함
- (한국해양과학기술원) ‘네트워크 환경(자료전송서비스)’ 를 선택하였고, 국외 네트워크 환경에서의 대용량 자료 전송이 느리다고 응답함

유관기관 자체 전산자원 및 시스템 보유현황

□ 유관기관 보유 전산자원 및 시스템 분석

- (전산자원 종류) 수치예보모델자료를 사용하는 응답자 15개 기관을 대상으로 자료 활용을 위해 일반적으로 사용하는 전산자원의 종류를 조사한 결과, 자체 전산시스템의 사용 비율이 가장 높았음
- 대부분의 유관기관의 자체 전산시스템은 저용량의 예측 자료를 생산하므로 낮은 수준이거나 일반 PC를 사용함
- 이에 기상청 자료를 받는 시간은 자료를 활용하여 예측자료를 생산하는데 소요되는 시간보다 훨씬 오래 걸림. 자료의 수신 시간이 길수록 사용 가능한 기상청 자료의 범위가 축소되며, 따라서 자료 수신기간 단축 지원이 필요함
- (국립환경과학원) 대기질 예보를 위한 수치예보모델 및 AI 모델 구동을 위해 자체 보유전산시스템을 운영 중
- (한국원자력안전기술원) 수치예보모델자료를 활용하여 평가한 자료를 GIS에 표출하기 위해 자체 보유 전산시스템 이용 중
- (한국에너지기술연구원) 기상자료 후처리용 리눅스 환경 전산시스템을 운영 중이며, 공군기상단은 공군 보유 HPC 활용 현업을 지원 중이며 예비 및 연구목적으로 기상청/KISTI 슈퍼컴퓨터 활용 중



<그림 3.1.16> 유관기관에서 수치예보모델자료를 활용하기 위해 일반적으로 사용하는 전산자원의 종류

<표 3.1.15.> 수치예보모델자료 활용을 위해 사용하는 전산자원 별 답변 기관

전산자원 종류	답변 기관
기상청 슈퍼컴퓨터	(방재) 서울기술연구원 (수문) 한국수자원공사 (국방) 공군기상단
KISTI 슈퍼컴퓨터	(국방) 공군기상단
자체 보유 전산시스템	(농업) 국립농업과학원 (2인) (환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (2인) (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사 (수문) 한강홍수통제소 (교통) 한국교통연구원 (에너지) 전력거래소 (에너지) 한국에너지기술연구원 (산림/생태) 국립산림과학원 (산림/생태) 국립생태원 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소 (극지/해양) 한국해양과학기술원
국외기관	-
클라우드 서비스	(방재) 서울기술연구원
기타	-

○ 자체 보유 전산시스템

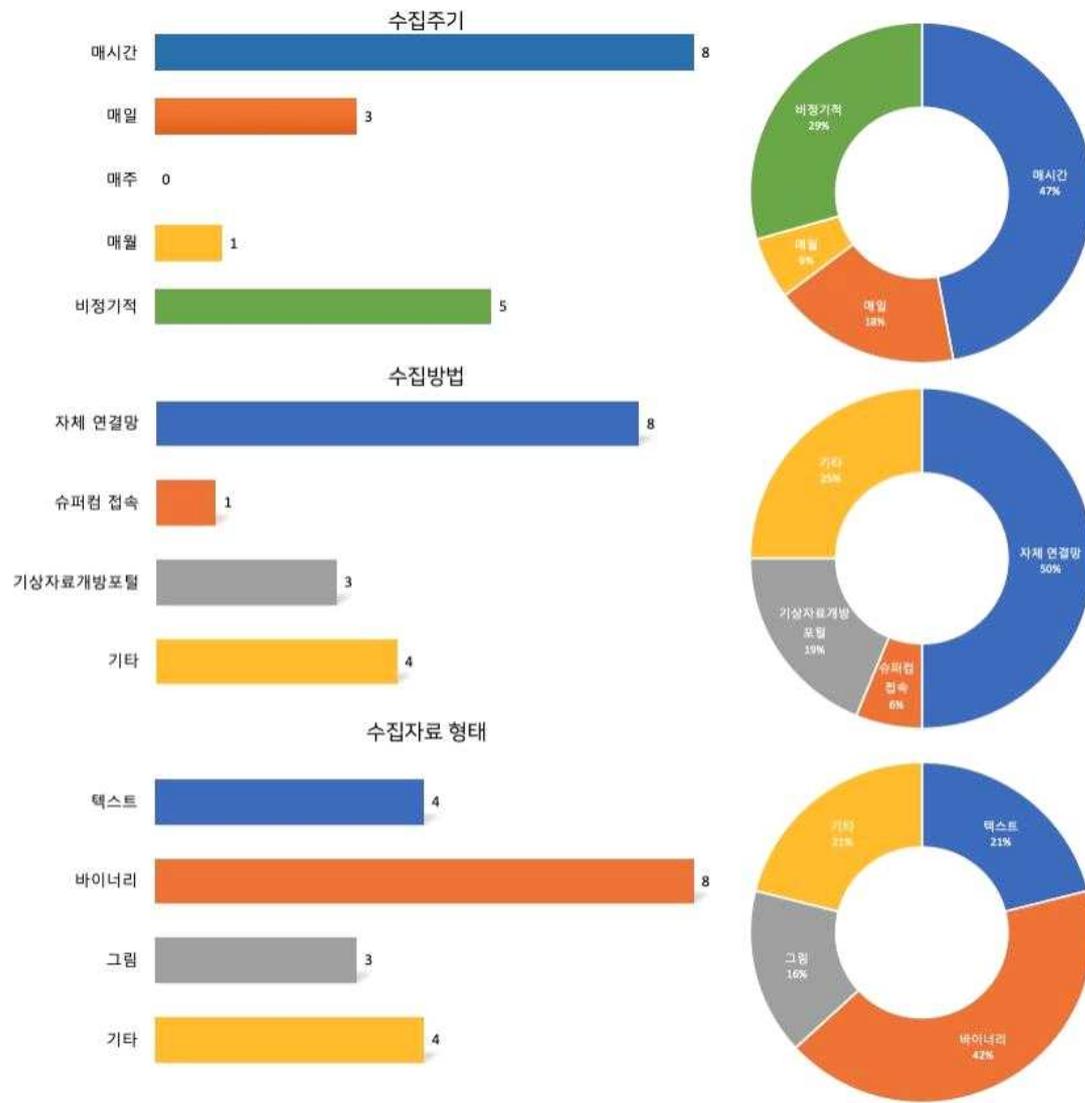
<표 3.1.16.> 유관기관에서 수치예보모델자료를 사용하여 운영 중이거나 개발 예정인 자체 시스템

분야	기관명	자체 시스템
농업	국립농업과학원	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 농업기상재해 경보시스템 운영목적: 농업기상재해 예측
		<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: PNU/CGCM-WRF (모형이관계획 중) 운영목적: 농업기상장기전망 및 작황전망, 병해충전망 등의 농업분야 응용 기초자료)
환경	국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 대기질예측시스템 운영목적: 대기질 예보
방재	국립재난안전연구원	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 소하천 홍수 예·경보 시스템 운영목적: 소하천 홍수 예측
	한국원자력안전기술원	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 도시침수 모니터링 시스템 운영목적: 도시침수 예측 및 위험지역 알람
수문	한국수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 댐-보 유역 강우예측시스템 운영목적: 물관리(댐운영)을 위해 단기 강우예측모형을 현업 운영하여 댐-보 유역의 정량 강우예측자료를 생산하여 홍수분석 시 참고로 활용
		<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 전국계통 재생에너지 통합관제(예측) 시스템 운영목적: 태양광 발전량 예측 및 일사 예측
에너지	전력거래소	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 미정 운영목적: 개인연구용 자체수치모델링
	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 산림청 산사태정보시스템 내 산사태예·경보시스템, 초단기 산사태 예보시스템 운영목적: 산사태 예보체계 구축을 통한 경계피난 및 산사태 대응체계 지원
산림/생태	국립산림과학원	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: 생물종 분포 예측 시스템 운영목적: 기후변화 영향에 의한 생물종의 잠재 서식지 분포 예측
	국립생태원	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: KIM-WRF 운영목적: 현업지원
국방	공군기상단	<ul style="list-style-type: none"> 시스템명: Korea Polar Prediction System (KPOPS) 운영목적: 북극 기인 한반도 재해기상/이상기후의 중장기 예측

향후 수치예보모델자료 활용 의사

□ 수치예보모델자료 수집 방법

- 수치예보모델자료를 사용하는 응답자 15개 기관을 대상으로 수치예보모델 자료의 수집 주기, 수집 방법, 수집 자료 형태를 조사한 결과 대부분의 유관기관은 현재 사용하고 있는 예측자료를 향후에도 지속적으로 사용할 계획이라고 응답함
- 기상청의 재분석 자료는 유관기관의 예측 모델에 대한 검증에 적극 활용되어 예측성 향상에 도움을 줄 수 있으므로 기상청 예측자료, 재분석 자료 제공과 한반도 영역의 자료제공이 우선시 되어야 함
 - 수집주기는 ‘매시간’ 자료를 수집하는 유관기관은 5개 기관으로 가장 많았으며, 이후 ‘비정기적’ 수집주기가 5개 기관, ‘매일’ 자료를 수집하는 유관기관이 3개 기관, ‘매월’ 자료를 수집하는 유관기관이 1개 기관임
 - 자료 수집을 위해서는 ‘자체 연결망’을 사용하는 유관기관은 8개 기관으로 가장 많았고, ‘기타’ 방법은 4개 유관기관이 선택함
 - * ‘기타’에 응답한 기관은 국립농업과학원(2인)은 API와 FTP를 이용한다고 답하였고, 한국해양과학기술원은 대용량 자료로 인하여 직접 기상청에 방문하여 자료를 복사하였으며, 이 외에도 국립재난안전연구원이 응답함
 - * ‘기상자료개방포털’을 이용하는 유관기관은 3개 기관으로 서울기술연구원, 한국교통연구원, 국립생태원이 응답함. ‘슈퍼컴 접속’을 통해 수집하는 유관기관은 1개 기관으로 공군기상단이 응답함
 - 수집자료의 형태는 ‘바이너리(Binary)’ 형태를 사용하는 유관기관이 8개 기관으로 가장 많았고, 이후 ‘텍스트(ASCII)’와 ‘기타’ (각각 4개 기관), ‘그림’ (3기관)임
 - * ‘기타’ 형태를 사용하는 기관은 국립농업과학원이 GRIB2 형태, 한국수자원공사가 NetCDF와 GRIB, 한국에너지기술연구원은 WGRIBS, 공군기상단은 ECMWF 초기자료는 GRIB1으로, KIM/GFS 초기자료는 GRIB2로, ECMWF 후처리 결과자료는 GIF 형태를 사용함
 - * ‘그림’ 형태 자료를 사용하는 유관기관은 3개 기관으로 한강홍수통제소, 전력거래소, 공군기상단이 응답함



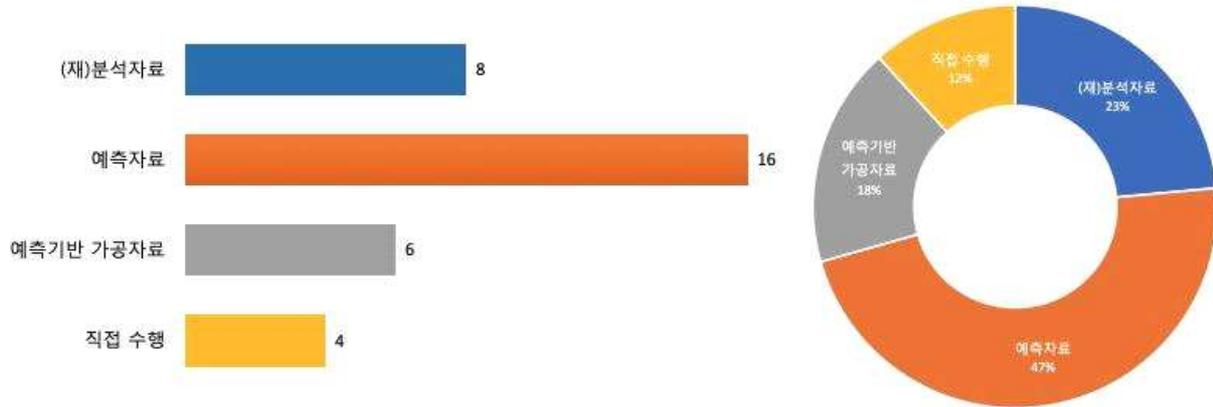
<그림 3.1.18.> 유관기관에서 수치예보모델자료를 수집하는 방법

<표 3.1.17.> 수치예보모델자료 활용을 위해 사용하는 수집방법별 답변 기관

수집방법		답변 기관	
수집주기	매시간	(환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (2인) (수문) 한국수자원공사: 매 6시간 (수문) 한강홍수통제소	(에너지) 한국에너지기술연구원 (산림/생태) 국립산림과학원 (국방) 공군기상단
	매일	(방재) 한국원자력안전기술원 (에너지) 전력거래소	(극지/해양) 극지연구소
	매주	-	
	매월	(농업) 국립농업과학원	
	비정기적	(농업) 국립농업과학원 (방재) 서울기술연구원 (교통) 한국교통연구원	(산림/생태) 국립생태원 (극지/해양) 한국해양과학기술원
수집방법	자체 연결망 보유	(환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사	(수문) 한강홍수통제소 (에너지) 전력거래소 (에너지) 한국에너지기술연구원 (산림/생태) 국립산림과학원
	슈퍼컴 접속	(국방) 공군기상단	
	기상자료 개방포털	(방재) 서울기술연구원 (교통) 한국교통연구원	(산림/생태) 국립생태원
	기타	(농업) 국립농업과학원: API, FTP (방재) 국립재난안전연구원 (극지/해양) 한국해양과학기술원: 대용량 자료로 인해 직접 기상청에 방문하여 자료 복사	
수집자료 형태	텍스트 (ASCII)	(방재) 국립재난안전연구원 (방재) 서울기술연구원	(에너지) 전력거래소 (산림/생태) 국립생태원
	바이너리 (Binary)	(환경) 국립환경과학원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사 (수문) 한강홍수통제소	(교통) 한국교통연구원 (에너지) 전력거래소 (산림/생태) 국립산림과학원 (국방) 공군기상단
	그림	(수문) 한강홍수통제소 (에너지) 전력거래소	(국방) 공군기상단
	기타	(농업) 국립농업과학원: grib2 (수문) 한국수자원공사: NetCDF, Grib (에너지) 한국에너지기술연구원: wgribs (국방) 공군기상단: ECMWF 초기자료(grib1), KIM/GFS 초기자료(grib2), ECMWF 후처리 결과자료(gif)	

□ 향후 사용하고자하는 수치예보모델자료 형식/영역

○ 유관기관에서 향후 사용하고자 하는 수치예보모델자료의 종류를 조사한 결과 예측자료가 가장 많았고, 다음으로 (재)분석자료, 예측기반 가공자료, 직접 수행 순서임

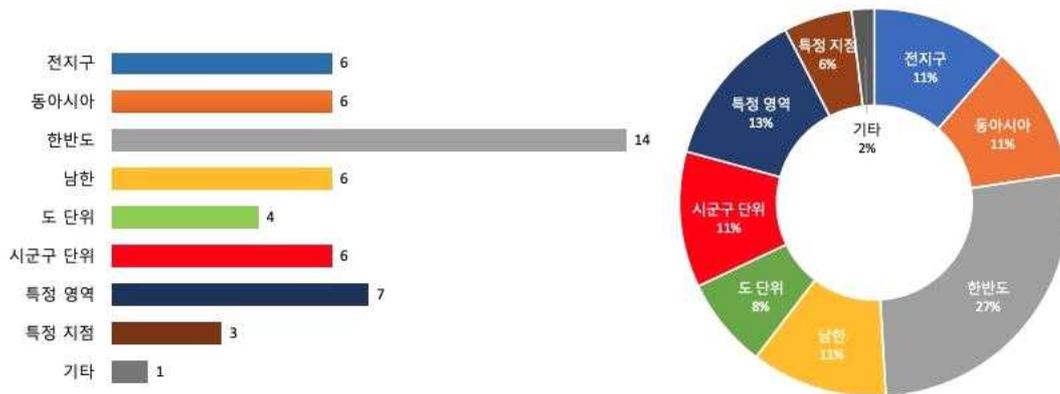


<그림 3.1.19.> 유관기관에서 향후 사용하고자하는 수치예보모델자료 종류

<표 3.1.18.> 기상청 수치예보모델자료 종류별 답변 기관

자료 종류	답변 기관
(재)분석자료	(농업) 국립농업과학원 (환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (수문) 한국수자원공사 (에너지) 전력거래소 (에너지) 한국에너지기술연구원 (산림/생태) 국립생태원 (극지/해양) 극지연구소
예측자료	(농업) 국립농업과학원 (환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (2인) (방재) 서울기술연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사 (수문) 한강홍수통제소 (교통) 한국교통연구원 (에너지) 전력거래소 (에너지) 한국에너지기술연구원 (산림/생태) 국립생태원 (문화재) 국립문화재연구원 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소 (극지/해양) 한국해양과학기술원
예측 자료 기반의 가공자료 (2차 변수, 응용지수 등)	(방재) 서울기술연구원 (수문) 한강홍수통제소 (에너지) 전력거래소 (산림/생태) 국립산림과학원 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소
자체적으로 수치예보모델 직접 수행	(수문) 한국수자원공사 (에너지) 한국에너지기술연구원 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소

- (국립환경과학원) ‘(재)분석 자료’ 와 ‘예측 자료’ 를 향후 사용하고자 하며, 바이너리(Binary) 형식으로 지면 및 고도별 바람, 기온, 지위고도, 습도 등 대기질 모델 구동에 필요한 변수가 필요
 - (한국수자원공사) ‘(재)분석 자료’ , ‘예측 자료’ 를 향후 사용하고자 하며, 자료의 형식은 NetCDF, GRID, Binary 모두 가능하며, ‘자체적으로 수치예보모델 직접 수행’ 을 위한 강수량 외 추가 변수도 제공 요청
 - (국립산림과학원) ‘예측 자료 기반의 가공자료(2차 변수, 응용지수 등)’ 를 선택하였고, 기상청 강우자료를 입력변수로 하여 산사태 예·경보시스템(KLES)를 통해 토양함수지수(응용지수)를 계산하고자 함
 - (국립문화재연구원) ‘예측 자료’ 를 향후 사용하고자 함
 - * 문화유산의 보존을 위하여 먼저 세부적인 역사적 기상자료를 바탕으로 기상변화가 문화재 보존에 미치는 영향을 파악하고, 이러한 결과를 바탕으로 중장기적으로 예측할 수 있는 기상변화를 통해 향후 기상 변화에 따른 예방적 차원은 문화재 보존방안을 마련하고자 함
 - (극지연구소)는 ‘(재)분석 자료’ , ‘예측 자료’ , ‘예측 자료 기반의 가공자료(2차 변수, 응용지수 등)’ , ‘자체적으로 수치예보모델 직접 수행’ 을 선택하였고, 분석장은 연장중기 예측 초기조건으로 활용하고자 하며, 기상청 연장중기 예측과의 비교를 통한 자체 예측의 품질 평가를 수행하고자 함
 - (한국해양과학기술원) ‘예측 자료’ 를 향후 다른모형의 입력자료로 사용하고자 함
- 유관기관에서 향후 사용하고자 하는 수치예보모델자료의 종류를 조사한 결과 한반도 영역의 자료가 가장 많음
- 수치예보시스템 구축 시 수치예측자료를 활용하는 각 기관에서 필요로 하는 기상 요소와 해상도 등 데이터 산출 필요
 - 정확성을 담보한 수준에서 적정한 해상도의 정보를 제공하되, 기관별 수요에 맞게 활용 가능하도록 수치예측자료 생산체계에서의 반영 필요
 - ‘기타’ 영역을 선택한 유관기관 1개 기관으로 서울기술연구원이 하천유역 단위의 수치예보모델자료를 향후 활용하고자 함



<그림 3.1.20> 유관기관에서 향후 사용하고자하는 수치예보모델자료의 영역

<표 3.1.19> 향후 사용하고자하는 수치예보모델자료의 영역별 답변 기관

자료 영역	답변 기관	
전지구 영역	(환경) 국립환경과학원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사	(국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소 (극지/해양) 한국해양과학기술원
동아시아 영역	(농업) 국립농업과학원 (환경) 국립환경과학원 (방재) 한국원자력안전기술원	(에너지) 한국에너지기술연구원 (문화재) 국립문화재연구원 (국방) 공군기상단
한반도 영역	(농업) 국립농업과학원 (2인) (환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (방재) 서울기술연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사 (수문) 한강홍수통제소	(교통) 한국교통연구원 (에너지) 전력거래소 (에너지) 한국에너지기술연구원 (산림/생태) 국립생태원 (국방) 공군기상단 (문화재) 국립문화재연구원
남한 영역	(농업) 국립농업과학원 (환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (2인)	(에너지) 전력거래소 (산림/생태) 국립산림과학원
도 단위 행정구역	(환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원	(교통) 한국교통연구원 (에너지) 전력거래소
시군구 단위 행정구역	(환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (방재) 서울기술연구원	(교통) 한국교통연구원 (에너지) 전력거래소 (국방) 공군기상단
특정 영역	(농업) 국립농업과학원 (수문) 한국수자원공사 (수문) 한강홍수통제소 (교통) 한국교통연구원	(에너지) 전력거래소 (산림/생태) 국립산림과학원 (국방) 공군기상단
특정 지점	(방재) 국립재난안전연구원 (에너지) 전력거래소	(문화재) 국립문화재연구원
기타	(방재) 서울기술연구원: 하천유역단위	

- (국립농업과학원) ECMWF나 NCEP처럼 모형 산출결과(앙상블 자료, 단기, 중기, 장기 모두)를 준실시간 공유하며, 그 이후의 가공은 필요한 기관에서 기관 내 연구자가 처리할 수 있도록 자유도를 높이는 방법을 제안
- (국립환경과학원) 바이너리(Binary) 형식으로 지면 및 고도별 바람, 기온, 지위고도,

습도 등 대기질 모델 구동에 필요한 변수와 기면 및 고도별 바람, 기온, 지위고도, 습도 등의 기본자료를 제공하는 방안을 제안

- (국립재난안전연구원) 향후 수치예보모델자료를 특정 소하천 유역에 우선 적용 검증한 뒤 전국 22,300여개 소하천(남한 면적의 2/3 정도)으로 확대하고자 함
 - (서울기술연구원) 도시하천 유역 단위로 제공되는 정보가 있다면 활용도가 높을 것이라고 응답함
 - (한국원자력안전기술원) 국내외 원자력발전소 사고 시 방사성물질 확산예측을 위해 전지구, 동아시아, 한반도 영역 데이터 사용을 희망함
 - (한국수자원공사) 향후 전국의 댐 유역에 대한 면적 개념의 예상강수량에 대한 분석을 위해 특정영역을 자료 사용을 희망함
 - (한강홍수통제소) 현재는 한반도 영역에 대한 예측자료를 주로 사용하고 있지만 향후 지역별로 특화된 홍수예보를 수행한다면 이에 맞는 특정 영역의 예측자료가 필요할 수도 있을 것이라고 응답함
 - (전력거래소) 대규모 발전단지에 대한 예측정보 및 지역단위 전력수요 예측 시 특정 지점 자료가 필요할 것이라고 응답함
 - (국립산림과학원) 기본적으로 산사태 예측정보 생산 대상은 남한 영역에 국한되며, 산림청에서 지정한 고위험지역에 대한 산사태 위험도 위험평가모델 운용 시 특정 영역에 대한 수치예보모델 자료가 필요하다고 응답함
 - (국립문화재연구원) 문화재에 미치는 기상변화는 전지구적 변화로 보이며 이러한 영향이 동아시아, 한반도의 기상변화로 나타나며, 한국의 문화유산 보존은 국내 문화유산 보존을 우선 대상으로 하지만, 인접한 중국, 일본, 베트남 등 동아시아권 역 국가와도 유사성이 있으므로, 문화유산의 보존관리는 한반도를 포함한 동아시아 영역의 기상자료에 대해 검토가 필요하다고 응답함
- * 개별적인 문화재 보존에서의 기상변화 영향을 파악하기 위해서는 특정 위치에 대한 국부적 기상 자료가 필요하다고 응답함
- (극지연구소) 기관 업무 특성 상 양극 지역이 필요하여 전지구 영역 자료가 필요하다고 응답함

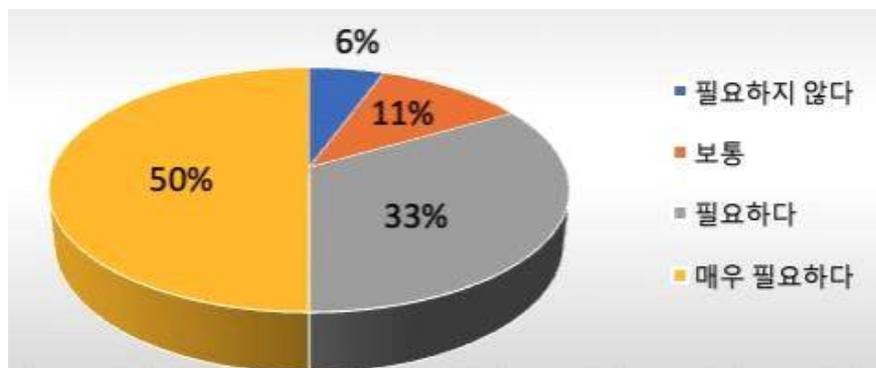
□ 기상청이 제공했으면 하는 기술/기반

- 유관기관에서 향후 기상청 수치예보모델을 직접 수행하여 자료를 생산할 계획이 있는지, 그리고 향후 기상청이 제공했으면 하는 기술 및 기반을 조사함
 - (국립농업과학원에서) 농업분야에서 활용할 수 있도록 최대한 상세한 6개월~1년까지의 장기적인 자료가 필요하다고 응답함
 - (서울기술연구원) 도시하천 관리 및 홍수 예경보를 위하여 수치예보모델 자료가 필요하며, 관련 연구수행을 계획 중임 기상청에서 제공하는 격자단위 정보가 사용자 맞춤형으로 제공할 것을 요청함
 - * 서울기술연구원의 경우 서울시를 대상으로 하기 때문에 서울시 → 자치구(25개) → 행정동 단위로 정보 필요하며, 나아가 도시하천 유역단위(e.g., 도림천 유역, 우이천 유역, 청계천 유역 등)의 정보가 필요함
 - (한국원자력안전기술원) 향후 기상청에서 WRF기반 지역/국지모델을 운영할 경우, 원자력발전소 및 연구용원자로 주변 지역(부산, 경주, 울진, 영광, 대전)에서 해당 모델을 이용하여 100~200m 정도의 초고해상도 수치예보모델을 수행할 계획이 있으며, 관련하여 우리나라 지형/기후에 최적화된 WRF모델 및 퇴역 슈퍼컴퓨터 이용권한 제공을 희망함
 - (한국수자원공사) WRF 기반 자체 강우예측모형을 운영 중에 있으나 초기 자료의 취득이 안정적이지 않은 점, 그리고 예측 불확실성 대비 다양한 초기장을 활용한 모형 경로에 대한 분석의 중요도를 고려하여 기상청에서 현업 운영 중인 KIM 모델을 초기자료로 하여 자체 모형을 수행할 의사 보유 중
 - * KIM-WRF 시뮬레이션을 위한 입력장 제공과 초기 기술지원(WRF Vtable 제공 등)이 있으면 기관 내 모델링 유경험자가 구축 및 테스트가 가능
 - (한국교통연구원) 예측주기가 짧더라도 정확도 향상을 요청함
 - (한국에너지기술연구원) 장기예보구간을 커버하는 상세 수치예보자료 제공을 희망하였으며, WebAPI 개발 및 데이터 검색 서비스와 사용법에 대한 문서 외에 실제 예시를 포함하는 Python 프로그램 서비스를 희망함
 - (공군기상단) KIM의 직접 수행 계획이 있으며, 생산된 자료동화자료 활용 기술 공유가 필요함
 - (국립문화재연구원) KIM의 직접 수행 계획은 없으나, 야외에 위치한 건축문화유산의

- 보존에 지대한 영향을 미치는 광역적/특정지역의 기상자료가 필요하다고 응답함
- (극지연구소) 확정된 계획은 없으나 초기화 문제와 중장기 예측 문제로 기상청 수치예보모델을 수행하여 자료 생산을 희망함
- * 극지연구소는 NCAR의 CAM 대기모델의 DART(자료동화 개발 테스트베드)를 활용하여 앙상블칼만필터 기반 종관 및 위성 자료동화시스템을 개발 마무리 단계임
- * 현업 기상청 수치예보모델의 자료동화시스템의 보다 다양한 위성관측동화 기술을 접목할 필요가 있고, 저해상도 버전의 KIM을 활용하여 북극 해빙감소의 한반도 영향 모의 능력을 확인하기 위해 AMIP(Atmospheric Model Intercomparison Project) 타입 실험을 통해 연장중기~계절 기후예측 실험을 수행하고 예측 능력 평가를 요청함
- (한국해양과학기술원) 기상청 수치예보모델을 직접 수행할 계획은 없지만, 기상청이 수치예보모델자료를 정형화된 플랫폼으로 제공을 요청함

□ 교육 및 지원 요구사항

- 기상청 수치예보모델 활용에 대한 교육 및 지원 필요성을 조사한 결과 매우 필요하다는 의견이 50%로 가장 높았음
- 수치예보모델자료 사용자 대상의 기본교육과 API 시스템 활성화와 같은 실무교육 운영이 필요하며, 유관기관 지원 전담 조직 구성으로 자료제공, 정보 공유 등 통합관리시스템 구축이 필요함

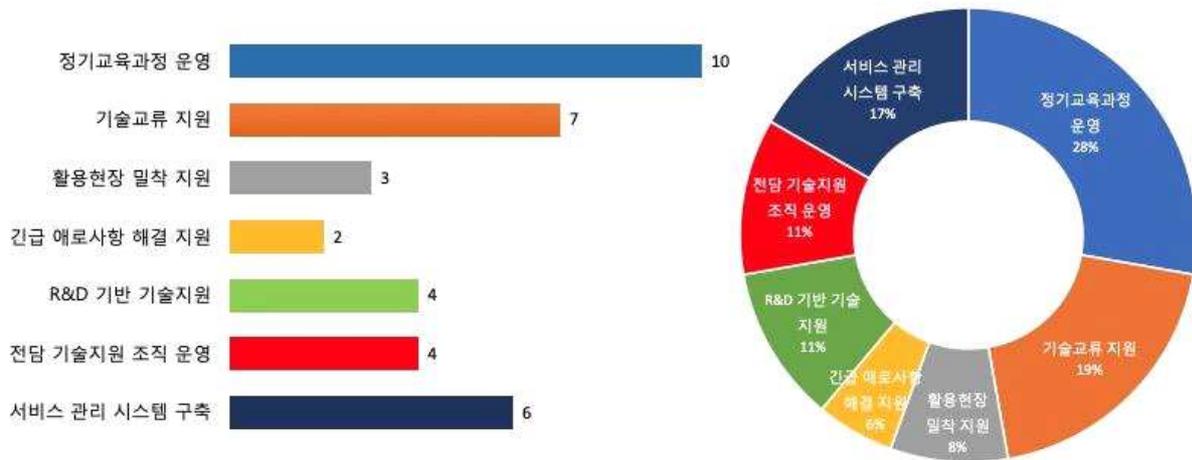


<그림 3.1.21.> 유관기관의 기상청 수치예보모델 활용에 대한 교육 및 지원 필요성

<표 3.1.20.> 유관기관의 기상청 수치예보모델 활용에 대한 교육 및 지원 필요성별 답변 기관

수집 기관	답변 기관	
매우 필요하지 않다	-	
필요하지 않다	(산림/생태) 국립생태원	
보통	(에너지) 한국에너지기술연구원	(문화재) 국립문화재연구원
필요하다	(환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (2인) (수문) 한강홍수통제소	(국방) 공군기상단 (극지/해양) 한국해양과학기술원
매우 필요하다	(농업) 국립농업과학원 (2인) (방재) 서울기술연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사	(교통) 한국교통연구원 (에너지) 전력거래소 (산림/생태) 국립산림과학원 (극지/해양) 극지연구소

○ 기상청 수치예보모델 활용 지원 프로그램이 운영된다면 각 유관기관에서 활용 예정인 교육 및 지원방법을 조사한 결과, ‘기상청 수치예보모델 기술활용 정기교육과정 운영(월별, 분기별, 반기별 등)’ 을 선택한 응답자가 가장 많았음



<그림 3.1.22.> 유관기관에서 활용하고자하는 교육 및 지원 방법

<표 3.1.21.> 활용하고자하는 교육 및 지원 방법별 답변 기관

교육 및 지원 방법	답변 기관	
기상청 수치예보모델 기술활용 정기교육과정 운영 (월별, 분기별, 반기별 등)	(농업) 국립농업과학원 (환경) 국립환경과학원 (방재) 국립재난안전연구원 (방재) 서울기술연구원 (방재) 한국원자력안전기술원	(에너지) 전력거래소 (산림/생태) 국립산림과학원 (국방) 공군기상단 (극지/해양) 한국해양과학기술원 (농업) 국립농업과학원
기상청 수치예보모델 활용 기술교류 지원 (활용기관별 커뮤니티 조성, 활용성과 공유 등)	(방재) 국립재난안전연구원 (방재) 서울기술연구원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사	(국방) 공군기상단 (극지/해양) 극지연구소 (농업) 국립농업과학원
활용현장 밀착 지원 (단기 출장 지원: 3일~1주)	(농업) 국립농업과학원 (교통) 한국교통연구원	(산림/생태) 국립생태원
긴급 애로사항 해결지원(원격지원)	(수문) 한국수자원공사	(산림/생태) 국립산림과학원
R&D 기반 기술지원(공동R&D)	(교통) 한국교통연구원 (에너지) 한국에너지기술연구원	(극지/해양) 극지연구소 (농업) 국립농업과학원
협력관계를 기반으로 한 전담 기술 지원 조직(인력) 운영	(농업) 국립농업과학원 (환경) 국립환경과학원	(방재) 한국원자력안전기술원 (문화재) 국립문화재연구원
신속하게 대응할 수 있는 서비스 관리 시스템 구축	(환경) 국립환경과학원 (방재) 한국원자력안전기술원 (수문) 한국수자원공사	(수문) 한강홍수통제소 (교통) 한국교통연구원 (산림/생태) 국립산림과학원

- (국립농업과학원) 수치모델에 대한 정확한 메타데이터의 정보 및 매뉴얼과 함께 모형 개발 방법 등에 대한 기술 및 노하우 공유가 필요하며, 사용하는 데이터의 성격, 목적, 수준과 현재 대기과학 분야에서 가지고 있는 기술적 한계 등을 이해하고 자료를 사용해야 이후 생산된 응용정보에 대해서도 바른 해석이 가능하다고 응답함
- * 즉 서로 다른 분야의 기술이 융합되는 것이기 때문에 농업 분야에서의 필요를 이해하고 함께 논의할 수 있는 전담인력이 필요하다고 응답함
- (국립환경과학원) 수치예보모델에 대한 기본적 지식 이해 증진이 필요하며, 수치예보모델자료의 문제 발생에 대한 신속 대응이 필요하다고 응답함
- (서울기술연구원) 수치예보모델을 통해 생산된 정보의 활용을 위한 교육 프로그램 운영이 필요하다고 응답함
- (한국원자력안전기술원) ‘기상청 수치예보모델 기술 활용 정기교육과정 운영’ 항목에 대해 최근 기상산업기술원 수치예보 기본과정에 수치예보 응용과정이 추가 개설되어 유관기관 현업에서 활용될 수 있는 교육 수강에 대한 의사 보유 중
- * ‘기상청 수치예보모델 활용 기술교류 지원’ 에 대해 정기적인 기상청 수치예보자료 관

런 간담회를 통해 의견수렴을 필요성 보유 중

- * ‘협력관계를 기반으로 한 전담기술 지원 조직 운영’에 대해 가능할 경우 수치예보자료 활용 등 유관기관 협력 전담인력을 통해 지속적인 협력을 희망함
- * ‘신속하게 대응할 수 있는 서비스 관리 시스템 구축’에 대해 효과적인 의견수렴(변수 추가 등)을 위해 수치예보자료 제공 서비스 관리 시스템 구축을 희망함
- (한강홍수통제소) 모델 구축, 운영과 같은 교육보다는 서비스 관리 시스템을 매개로 하여 모델의 성능이나 개선에 대한 정보 공유를 요청함
- (국립산림과학원) 기상청 수치예보모델을 활용하는 기관 내에서도 기상자료에 대한 전문화를 갖춘 부서와 그렇지 않은 부서로 나누어지기 때문에 비전문가에 대한 이해도 향상 및 활용도 교육이 필요함
- * 산사태 예보 시 기상청의 기상자료 수신에의 문제는 자체전산시스템 내에서는 대체로 해소할 수 없는 영역이므로 실시간으로 위험정보를 제공해야하는 재난업무 종사자의 입장에서 수치예보모델 활용 기관들에 대한 원격지원 서비스 및 신속대응 체계를 요청함
- (국립문화재연구원) 문화재 보존관리를 위해 수치예보모델에 대한 전문적이고 직접적인 활용이 필요할 것으로 검토된다면 관련 분야 전문가를 확보하고 이를 지원할 수 있는 전담 기술 지원 조직이 필요하다고 응답함
- (극지연구소) 극지역 프로세스와 한반도 재해기상/이상기후의 연계 메커니즘을 R&D를 통해 밝히고, 이 과정의 수치예보모델 모의 능력 향상을 위한 모델 개선에 참여하고자 하여 기술교류 및 R&D 기반 기술지원을 선택함
- (한국해양과학기술원) 모형을 수행하는 연구원들을 위한 교육과정이 필요하다고 응답함

유관기관 미래기술 개발 계획

□ 유관기관 미래기술 조사

- 유관기관에서 수치예보모델자료를 활용하여 미래에 구현하고자 계획 중인 기술들을 조사한 결과 주요 미래기술의 고해상도화, 세분화, 정확도 개선으로 국가 자산 보호 및 인명 피해 저감을 위한 고품질 정보 생산이 필요함
 - 예측 시스템의 성능 고도화로 미래기술 기반 구축이 필요함
 - (국립농업과학원) 농장규모의 장기적인 농업기상예측자료를 바탕으로 기상재해, 병해충 발생, 작황 예측 등에 활용하고자 하며, 작황모형, 생물계절모형, 병해충모형 등 중장기 예측자료(최소 일단위)가 입력자료로 활용될 수 있는 농업모형과의 연계 계획
 - (국립재난안전연구원) 지점강우-소하천유역 유출량 관계 도출 및 예측과 소하천유역 면적강우-유출량 관계 도출 및 예측을 수행하고자 하며, 수치예보모델에서 예측된 강우 정보를 활용하여 도시침수 예측(피해유무 판단, 침수분석모델 수행 등)을 계획함
 - (서울기술연구원) 초단기 수치예보 자료를 활용한 도시하천 실시간 홍수 예경보 시스템 구축을 계획함
 - * 도시하천 고수부지 및 산책로 자전거로도 이용 시민들의 안전을 위한 초단기 수치예보자료를 활용한 실시간 홍수 알림 서비스 구현을 위한 것으로, 세부적으로는 1) 수치예보 자료기반 고해상도 집중호우 태풍 예측 및 도시침수 예측 기술개발과 2) 수치예보, 빅데이터, AI 기술을 연계한 예경보 시스템 구축(Google AI 경보 시스템)을 계획함
 - (한국원자력안전기술원) 원자력발전소 사고 시 방사성물질 방출에 대한 예측 불확실성이 매우 큰 한계를 극복하기 위해, 방사성물질 방출이후 환경감시 실측자료(관측)를 활용하여 방사성물질 방출량 및 방출시기를 평가할 수 있는 인버스 모델링(Inverse Modeling) 개발 및 운영 계획 중임
 - (한국수자원공사) 스마트 홍수대응의사결정 지원시스템 구축과 데이터 기반의 실시간 댐유역 강우예측 프로세스 강화 기술 개발을 계획함
 - (한강홍수통제소) 대하천 중심의 홍수예보에서 중소하천에 대한 홍수예보로 전환하며, 우량 관측지점이 있는 하천에 대한 홍수예보에서 관측지점이 없더라도 원격 관측자료를 기반으로 한 홍수예보로 발전하고자 함
 - (한국교통연구원) 수치예보모델자료를 이용한 기상 재난 시 재난물자 이송, 살얼음

- 감시 시스템, 도심항공모빌리티(UAM; Urban Air Mobility), 드론 등의 일상교통 상황에서 기상 조건 예보 등을 수행하고자 함
- (전력거래소) 수치예보모델자료를 활용한 전력 수요 예측, 신재생 에너지 발전량 예측을 계획함
 - (한국에너지기술연구원) 신재생자원지도 개발 및 잠재량 산정 결과의 신뢰도 향상을 목표로 하며, 이를 위해서 전국 단위 1 km 수치예보모델링 자료의 미래 전망 자료(RCP, SSP 모든 기후 시나리오)도 활용하고자 함
 - (국립산림과학원) 산림유역 단위 산사태 예·경보 시스템, 물리모형 활용의 고위험 동적 산사태 위험지도, 산사태 장기예보 시스템 고도화 등 추진 중
 - * ① 산림유역 단위 산사태 예·경보 시스템은 공간해상도 향상을 통한 위험지역에서의 실효성 있는 산사태 예측정보 제공을 목표로 하며, 세부적으로는 현행 5km × 5km 격자형 예측정보의 경우, 읍면동 이상의 영역이 1개 위험인자로 제시되어, 실제 취약지역에 대한 우선적 위험도 판단이 어려우므로, 이에 산림유역 단위에서 유효한 예경보 기술을 개발하여 산사태 취약지역의 효과적인 경계피난을 지원하고자 함
 - * ② 물리모형을 활용한 고위험지역 동적 산사태 위험지도는 강우량에 따라 변화하는 실시간 산사태 위험도를 제공하여 경계피난 지원을 목표로 하며, 세부적으로는 사면안정해석 모형에 기반하여 토질특성, 임상특성을 반영할 수 있는 물리모형(physical model)을 이용, 고위험지역에 대한 실시간 강우자료를 입력하여 동적으로 변화하는 산사태 위험도를 제공하고자 함
 - * ③ 산사태 장기예보 시스템 고도화는 단기(24시간)·중기(48시간) 산사태 예측정보를 생산하여 위기경보 수준 조정 및 충분한 산사태 재난대비 시간 확보를 목표로하며, 세부적으로는 기상청의 강우자료 기반 장기강우에 따른 선행강우 인자를 반영하여 단·중기 산사태 예측정보 생산기술을 고도화하여 초단기(12시간) 이후의 실효성 있는 산사태 예측정보 생산하고자 함
 - (국립생태원) 기후변화와 지표생태계와의 상호작용을 고려한 과정기반의 생태계 변화 예측 기술개발 계획
 - (국립문화재연구원) 개별 문화재가 지닌 기상변화에 대한 대응력을 바탕으로, 대상 위치의 국지적 기상정보를 통해 기상변화에 따른 문화재 손상을 예방할 수 있는 시스템 구축 예정
 - (극지연구소) 연장중기~기후예측 분야의 개발계획 구상 중

- * (재)차세대수치예보모델개발사업단의 목표와 유사함
 - * ① 결합 지구시스템모델 기반의 연장중기예측모델 구축을 위해 약한 결합 자료동화 기술 구현 계획
 - * ② 북극 고온 발생을 유발하는 극지 대기-해빙-해양 상호작용 과정의 연장중기 예측성 향상을 위해 극지 경계층, 대류, 복사 물리과정 개선 계획
 - * ③ 단기~중기예측 쪽 목표로 현재 Polar-WRF 기반의 극지역 수치예보와 비교 가능한 기상청 수치모델 기반 극지 지역규모 수치예보모델 구축 계획
- (한국해양과학기술원)은 수치예보모델자료와 기계학습기법이 조합된 기후예측기술 개발 예정

<표 3.1.22.> 유관기관에서 수치예보모델자료를 활용하여 미래에 구현하고자 계획하는 기술

분야	기관명	사용 목적
농업	국립농업과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 농장규모의 장기적인 농업기상예측자료 바탕으로 기상재해, 병해충 발생, 작황 예측 • 작황/생물계절/병해충모형을 입력자료로 한 농업모형 연계
환경	국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 없음
방재	국립재난안전연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 예측강우-소하천 유출량 예측 • 소하천유역 예측강우(장)-유출량 예측 • 강우예측정보를 활용한 도시침수 예측
	서울기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 초단기 수치예보 자료를 활용한 도시하천 실시간 홍수 예경보 시스템 구축
	한국원자력안전기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 방사성물질 방출 이후 환경감시 실측자료(관측)를 활용하여 방사성물질 방출량 및 방출시기 평가할 수 있는 인버스(Inverse Modeling) 개발 및 운영
수문	한국수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트 홍수대응의사결정 지원시스템 구축 • 데이터기반의 실시간 댐유역 강우예측 프로세스 강화 기술
	한강홍수통제소	<ul style="list-style-type: none"> • 원격관측자료 기반의 홍수 예보
교통	한국교통연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 기상 재난 시 재난물자 이송 • 살얼음 감시 시스템
에너지	전력거래소	<ul style="list-style-type: none"> • 전력 수요 예측 • 신재생 에너지 발전량 예측
	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생자원지도 개발
산림/생태	국립산림과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 산림유역 단위 산사태 예·경보 시스템 • 물리모형을 활용한 고위험지역 동적 산사태 위험지도 • 산사태 장기예보 시스템 고도화
	국립생태원	<ul style="list-style-type: none"> • 과정 기반의 생태계 변화 예측 기술
국방	공군기상단	<ul style="list-style-type: none"> • 없음
문화재	국립문화재연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 국지적 기상정보를 이용한 문화재 손상 예방 시스템 구축
극지/해양	극지연구소	<ul style="list-style-type: none"> • 결합 지구시스템모델 기반의 연장중기예측모델 구축을 위해 약한 결합 자료동화 기술 구현 • 극지 경계층, 대류, 복사 물리과정 개선 • Polar-WRF 기반의 극지 지역규모 수치예보모델 구축
	한국해양과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 기계학습기법이 조합된 기후예측기술 개발
정보	한국과학기술정보연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 없음

□ 유관기관에서 계획하고 있는 미래기술에 필요한 수치예보모델자료 정보 조사

○ 주요 필요항목은 다목적 수요자 맞춤형 상세 변수 생산이며, 수치예보모델 자료의 단계적 제공 변수 확대로 유관기관의 수치예보모델자료의 활용성 제고 지원과 첨단 보정 기술의 표준화로 산출 자료의 공간해상도 맞춤형 지원이 필요함

- (국립농업과학원) 한반도를 대상으로 농장규모(30~300 m) 및 지역규모에서의 지상 2~3 m 높이의 기온, 강수량, 강설, 바람(2, 10 m의 u-/v-바람, 2 m 순간최대풍속), 일사량, 일조시간, 습도, 우박 등의 기상정보가 필요함
- (국립재난안전연구원) 지역, 국지, 초단기 규모의 강우, 바람, 기압, 습도 정보가 필요함
- (서울기술연구원) 서울시 규모, 국지(25개 자치구, 동네예보, 도시하천 유역), 초단기(1시간 이내, 10분, 1분)의 지면 강수, 기온 정보가 필요함
- (한국원자력안전기술원) 초단기모델(VDAPS)의 기압면 변수(연직속도, U/V-바람, 지위고도, 온도, 상대습도)와 단일면 변수(고도, 지표기압, 해면기압, 강수량, 행성경계층고도, 마찰속도, 지상기온, 10m U/V-바람, 지상상대습도, 지표온도, 운량, 종관/대류강수, 토지피복, 단파속, X/Y-지표/경계층바람응력, 지표거칠기, 잠열속, 대류가용에너지, 지표현열속 등)가 필요함
- (한국수자원공사) 현재 강수량 변수에 대한 기상청 전구/국지/초단기 예측 모형 결과를 실시간으로 제공되고 있으나, 향후 해당기관의 모델링 연계를 위해 기상청 수치예보 모델자료가 추가로 제공되었으면 함. 필요한 자료의 규모는 전구예측모델 기반이나 자료 용량을 고려하면 동아시아 영역으로 추출된 자료도 가능하며, 필요한 변수는 연직장(기온, U-바람장, V-바람장, 상대습도, 지위고도), 지표장 (2 m 기온, 2 m 상대습도, 10 m U-바람장, 10 m V-바람장, 지표기압, 해면기압) 자료가 필요함
- (한강홍수통제소) 향후 수자원 위성 및 강우레이더 자료와 융합하여 활용할 수 있는 2차 가공자료가 필요할 것으로 예상함
- (한국교통연구원) 바람(풍속, 풍향), 기압, 습도, 온도, 강우, 누적강우가 필요함
- (전력거래소) 전국/지역 규모 단위의 지상/연직 기온, 강우, 바람, 습도, 일사정보가 필요함
- (한국에너지기술연구원) 지상변수와 연직변수(모델면/기압면)의 기온, 바람(풍향/풍

속), 기압, 습도 등의 정보가 필요함

- (국립산림과학원) 국지, 초단기 규모의 강우 정보가 필요함
- (국립생태원) 전국, 지역규모의 장기(10년 이상)의 지면의 기온, 강수/강설, 바람, 습도, 일사량, 식생의 계절변화, 탄소흡수량 변화 등의 정보가 필요함
- (국립문화재연구원) 흰개미나 부후균 등에 의한 생물피해는 문화재를 둘러싼 기후 변화에 민감하게 변화하므로 기후변화에 따른 생물피해 양상이나 확대 여부 예측 필요
- (극지연구소) 전구 규모의 지면과 기압면의 기온, 바람, 상대습도, 비습, 지위고도, 운량, 지면의 기압(해면/표층), 강수, 복사플럭스, 난류열속, 운량 정보가 필요함
- (한국해양과학기술원) 향후 모델 결과로서 전구 규모에서 대기 화학 및 해양 생지 화학변수 등의 제공이 필요

<표 3.1.23.> 유관기관에서 계획하고 있는 미래기술에 필요한 수치예보모델자료의 정보

분야	기관명	수치예보모델자료의 정보
농업	국립농업과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 영역/규모: 한반도 대상의 농장규모(30~300 m), 지역규모 • 변수: 지상 2~3 m 높이 기온, 강수, 바람(2, 10 m u-/v-바람, 순간최대풍속), 일사량, 일조시간, 습도, 우박 등
환경	국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 없음
방재	국립재난안전연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 영역/규모: 지역, 국지, 초단기모델 • 변수: 강수, 바람, 기압, 습도 등
	서울기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 영역/규모: 서울영역 국지(25개 자치구/도시하천 유역 동네예보), 초단기(1시간 이내, 10분, 1분) • 변수: 강수, 기온
	한국원자력안전기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 영역/규모: 초단기모델 • 단일면/기압변 변수 <ul style="list-style-type: none"> - 기압면 변수: 연직속도, U/V-바람, 지위고도, 온도, 상대습도 - 단일면 변수: 고도, 지표기압, 해면기압, 강수량, 행성경계층고도, 마찰속도, 지상기온, 10m u-/v-바람, 지상상대습도, 지표온도, 운량, 종관/대류강수, 토지피복, 단파속, X/Y-지표/경계층바람응력, 지표거칠기, 잠열속, 대류가용에너지, 지표현열속 등
수문	한국수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> • 영역/규모: 전구 또는 동아시아 영역 • 변수: 지표장(2 m 기온, 2 m 상대습도, 10 m u-/v-바람, 지표기압, 해면기압)과 연직장(기온, u-/v-바람, 상대습도, 지위고도)
	한강홍수통제소	<ul style="list-style-type: none"> • 변수: 위성 및 강우레이더와 융합할 수 있는 2차 가공자료
교통	한국교통연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 변수: 바람, 기압, 습도, 온도, 강수, 누적강수
에너지	전력거래소	<ul style="list-style-type: none"> • 영역/규모: 전국/지역 단위 • 변수: 지상/연직 기온, 강수, 바람, 습도, 일사
	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 변수 <ul style="list-style-type: none"> - 지상 변수: 기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등

		- 연직 변수(모델면/기압면): 기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등
산림/생태	국립산림과학원	<ul style="list-style-type: none"> 영역/규모: 국지 및 초단기모델 변수: 강수
	국립생태원	<ul style="list-style-type: none"> 영역/규모: 전국, 지역규모 변수: 장기(10년 이상) 기온, 강수, 바람, 습도, 일사량, 식생의 계절변화, 탄소흡수량 변화 등
국방	공군기상단	<ul style="list-style-type: none"> 없음
문화재	국립문화재연구원	<ul style="list-style-type: none"> 기후 변화 자료
극지/해양	극지연구소	<ul style="list-style-type: none"> 영역/규모: 전구규모 변수: 지상/기압면의 기온, 바람, 상대습도, 비습, 지위고도, 운량, 지면 기압(해면/표층), 강수, 복사플럭스, 난류열속, 운량
	한국해양과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> 영역/규모: 전구규모 변수: 대기 화학 및 해양 생지화학변수 등
정보	한국과학기술정보연구원	<ul style="list-style-type: none"> 없음

<표 3.1.24.> 유관기관에서 계획하고 있는 미래기술에 필요한 수치예보모델자료의 정보의 규모

분야	기관명	공간해상도	시간해상도	최대예측시간
농업	국립농업과학원	10~100 m, 30~300 m	시간, 일	1일~6개월
환경	국립환경과학원	-	-	-
방재	국립재난안전연구원	1 km 이하 5 km 이하	10분, 1분 10분	12시간 내외 1~6시간
	서울기술연구원	1 km (고해상도)	1분 (최소 10분)	3~6시간
	한국원자력안전기술원	5 km (전지구) 500 m (동아시아) 200 m (한반도)	(6시간)	14일 (전지구) 7일 (동아시아) 7일 (한반도)
수문	한국수자원공사	1 km 미만	(6시간)	3일 이상
	한강홍수통제소	수백 m (레이더/위성과 동일)	10분	-
교통	한국교통연구원	1 km	-	-
에너지	전력거래소	(높을수록 좋음)	(높을수록 좋음)	-
	한국에너지기술연구원	1 km	-	(2일 이상)
산림/생태	국립산림과학원	500 m	10분	-
	국립생태원	100 m	-	-
국방	공군기상단	-	-	-
문화재	국립문화재연구원	500 m, 1 km	-	-
극지/해양	극지연구소	100 km	-	6개월
	한국해양과학기술원	10 km 이내	2시간, 3시간	-
정보	한국과학기술정보연구원	-	-	-

□ 유관기관에서 계획하고 있는 미래기술에 기상청 수치예보모델자료를 활용하기 위해 기상청에서 제공해야할 기술 조사

- 다양한 대용량 예측자료를 신속하고 안전하게 일괄적으로 전송할 수 있는 전용망 기능의 네트워크 환경과 유관기관 맞춤형 시공간 분해능을 가진 예측 자료를 재생산하기 위한 시공간 보정 기술 개발, 기상청의 상세 기상 자료와 유관기관의 상세 자료를 융합한 2차 정보 가공 기술이 필요함
 - (국립농업과학원) 한반도 전역의 상세한 기상정보와 요구한 정보를 주기적으로 전송받을 수 있는 시스템과 기상예측에 사용된 기술의 설명이 필요함
 - * 또한 통계처리된 시도별 전망이 아닌 응용분야 모델링에 활용가능한 모형 자료 자체가 필요하며, 예보생산 시스템 및 생산자료에 대한 이해도를 높이기 위한 교육이 필요함
 - (국립재난안전연구원) 남한 전체에 대한 강한 강우강도에서 정확도가 높은 강수예측자료가 필요
 - * 수치예보모델자료의 생산에서부터 전송, 후처리, 검증 모두 제공되어야 하며, 직수신 및 지원 체계가 필요함(행정안전부 국가재난안전관리시스템(NDMS; National Disaster Management System) 제외)
 - (서울기술연구원) 소규모 도시하천 유역단위 기상정보 생산 및 제공 서비스와 AI 기술, GIS 정보를 연계한 실시간 예측정보 제공 및 지도맵핑 서비스, 그리고 위험 기상 대비 영향예보 시스템 구축(홍수, 보건, 환경, 농업, 산업, 교통 등 사전 주의/알림 서비스)이 필요함
 - (한국원자력안전기술원) 초단기모델의 예측시간(12시간)을 고려한 신속한 자료전송이 필요함
 - (한국수자원공사) 기상청 수치예보모델 결과를 유관기관의 필요에 맞춰 재처리한 자료(변수, 시간 간격 등)의 전용망을 통한 실시간 제공 및 기상청 수치예보모델 활용 시 초기 기술 지원(WRF Vtable 제공 등) 및 매뉴얼 제공 등이 필요함
 - (한강홍수통제소) 정확도 높은 예측강수량 정보가 가장 중요하기 때문에 예측성능 향상을 필요로 하며, 각 모델의 예측성능에 관한 정보 제공과 동네예보의 수치자료 제공이 필요함
 - * 홍수예보의 입력자료는 10분 간격의 강수량 정보이므로 단기 및 중기 모델의 3~6시간 간격의 강수예측정보를 10분 간격으로 분할해주는 기술을 개발하는 것도 필요함

- (한국교통연구원) 지상으로부터 고도 100 m까지의 3차원 공간에 대한 기상 예측이 필요함
- (전력거래소) 기상청 수치예보모델에서의 자료생산, 후처리, 검증, 자료전송 등이 필요함
- (한국에너지기술연구원) 기상청에서 제공하는 기상수치모델자료 외에 추가적으로 사용자 측정자료를 블렌딩(blending) 할 수 있는 후처리 기술이 필요함
- (국립산림과학원) 공간해상도가 5km × 5km 보다 자세하고, 산악지역의 강우특성에 맞는 예측정보 생산이 필요함
- * 자료생산에 대해 고위험지역 동적 산사태 위험도나 산림유역 단위 산사태 예측정보 생산 시에는 공간해상도가 5km × 5km 보다 자세할수록 국소적인 지역에 대한 산사태 예측정확도가 향상될 수 있으며, 또한 자료 생산시, 국립산림과학원에서 제공 중인 산악기상망 자료가 반영되어 평지와는 다른 산악지역의 강우특성에 맞는 예측정보 생산이 필요함
- * 자료전송에 대해 현재 기상청-국립산림과학원 핫라인으로 자료가 전송되고 있으나, 여전히 전국자료 수집 완료에 40~50분 이상 소요되어 예측정보 생산에 어려움이 발생하므로 상호 전송망의 속도 개선(최소 전국자료 전송시 현재의 절반 정도 시간 소요 필요), 네트워크 장비 안정성 개선(특히 기상청 발송 오류 발생 다수)이 필수적임
- * 후처리에 대해 후처리 결과에 대해 주기적인 보수교육(최소 연 2회)을 통해 수치예보모델 자료 활용기관의 담당자 변경 시 단절되는 자료 활용 역량을 유지시킬 필요가 있음
- * 검증에 대해 연간 수치예보모델의 정확도 검증결과 및 정확도 검증방법에 대한 세밀한 내용(검증 절차의 flow chart, 검증 인자 및 검증을 위한 계산식의 설명)이 요청 시 제공가능하도록 연보형태로 자체적으로 작성될 필요가 있음
- (국립생태원) 모델 간 (예를 들어 기상모델과 지표생태 모델) 커플링(coupling) 기술이 필요함
- (국립문화재연구원) 동아시아 또는 한반도 전체, 개별 문화재가 위치한 국지적 기상변화에 대한 이력과 미래 예측 자료를 세밀하게 제공한다면 기상변화로 인한 문화대 보존환경의 변화를 예측하고 그에 따른 문화재 손상 특성의 변화를 사전에 예측할 수 있을 것으로 기대함
- (한국해양과학기술원) 기상청 수치예보모델 결과를 활용하기 위하여 하인드캐스트(hindcast) 기간을 최대한 늘리고, 자료전송을 위한 통일된 포맷으로 단일한 플랫폼에서 제공이 필요함

<표 3.1.25.> 유관기관에서 계획하고 있는 미래기술에 기상청 수치예보모델을 활용하기 위해 기상청에서 제공해야할 기술

분야	기관명	기술명
농업	국립농업과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 한반도 규모 자료의 전송 시스템 • 예보생산 시스템 및 생산자료에 대한 교육
환경	국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 없음
방재	국립재난안전연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 남한규모의 정확도 높은 강수 예측자료 제공 • 수치예보모델의 생산, 전송, 후처리, 검증 제공 • 자료 직수신 체계 및 지원 체계 필요
	서울기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 소규모 도시하천 유역단위 기상정보 제공 서비스 • AI, GIS 정보를 연계한 실시간 예측정보 제공 및 지도매핑 • 위험기상 대비 영향예보 시스템 구축(홍수, 보건, 환경, 농업, 산업, 교통 등 사전 주의/알림 서비스)
	한국원자력안전기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 초단기 자료의 신속한 자료 전송
수문	한국수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관의 니즈에 맞춘 재처리 자료 제공 • 전용망을 통한 실시간 자료 제공 • 초기 기술(WRF Vtable) 및 매뉴얼 제공
	한강홍수통제소	<ul style="list-style-type: none"> • 정확도 높은 강수예측자료 • 각 모델의 예측성능 제공 및 동네예보 수치값 제공 • 홍수예보 입력자료로 활용하기 위하여 단기/중기모델의 3~6 시간 자료를 10분 간격으로 분할하는 기술 개발
교통	한국교통연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 고도 100 m까지의 3차원 공간에 대한 기상 예측 필요
에너지	전력거래소	<ul style="list-style-type: none"> • 자료 생산, 후처리, 검증, 자료전송 등 업무 전반
	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 수치예보모델자료에 사용자 측정자료를 블렌딩할 수 있는 후처리 기술 개발
산림/생태	국립산림과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 산악지역의 강우특성에 맞는 예측정보 생산 • 상호 전송망의 속도 및 안정성 개선 • 후처리 결과에 대한 정기적인 보수교육(최소 연2회) • 정확도 검증 방법 및 결과에 대한 연보
	국립생태원	<ul style="list-style-type: none"> • 모델간(기상모델+지표생태모델) 커플링 기술 개발
국방	공군기상단	<ul style="list-style-type: none"> •
문화재	국립문화재연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 동아시아/한반도/개별 문화재 위치에 대한 기상변화 이력 및 미래 예측자료 생산
극지/해양	극지연구소	<ul style="list-style-type: none"> •
	한국해양과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 수치예보모델결과 활용을 위해 Hindcast 기간을 최대한 늘림 • 자료전송을 위해 통일된 포맷으로 단일 플랫폼에서 제공
정보	한국과학기술정보연구원	<ul style="list-style-type: none"> •

3.1.3. 심층인터뷰 결과

□ (농업) 국립농업과학원

○ 국립농업과학원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.26.> 국립농업과학원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(농업) 국립농업과학원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 10일 이후 예측 자료는 NCEP 모델 자료, 10일 이내 자료는 기상청 동네예보나 중기 예보 자료 활용 • 농장단위 정확한 기상자료를 제공 및 기상재해와 병충해 발생, 작황, 작물 재배 적지 분석 등 예측 • 기상청 동네예보 자료를 받아 상세화 과정을 거친 후, 일사량, 일조 시간 등의 인자들을 가공함 • API를 통해 grib2 형태의 자료를 비정기적으로 수집
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 농업분야에서는 작물은 고정된 공간에서 생육하고 있어 재해를 회피하기 힘들기 때문에 농장별 필지 규모의 날씨를 정확하게 예측 • 기온/강수량 예측 정확도는 농작업 일정(농약살포, 수확 등)을 계획하거나 수확물의 건조에 무척 중요 • 과수작물의 종류에 따라 기준 온도가 달라서 동네예보 자료를 받아 필요한 경우 30m 격자까지 상세화 작업 별도로 진행 	<ul style="list-style-type: none"> • 고해상도(100~200 m)의 상세하고 정확한 예측의 수치예보모델 자료 제공 • 해발고도, 경사도, 위경도 등 지형 인자가 농업 분야에서 중요 • 예측 원본 자료와 앙상블 자료 동시 제공
<ul style="list-style-type: none"> • 호우와 가뭄 시 각각 배수로 정비와 물 공급 조치 등을 대비해야 하는 농민들에게 이들 전 예보는 실효성이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 3~10일 예측 자료는 기상 관련 피해(고온해, 서리) 예측, 10일 이후 예측 자료는 병충해 예측, 6개월 장기간 자료는 작황 예측 시 필요
<ul style="list-style-type: none"> • 현재는 전용망이 아닌 행정망으로 자료를 수신하여 고용량의 기상 자료를 모두 받는 것은 매일 예보를 해야 하는 본원의 업무를 수행하기에는 현실적으로 힘들 • 케이맵(kmapp, 한반도 영역의 100m단위로 72시간 예측 자료)를 계속 분석하고 있으나 실시간으로 제공되지 않음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 선별적으로 자료를 받을 수 있는 시스템이 필요 • 여러 모형의 앙상블 예측 자료 필요. 모델별 어떻게 예측하는 지 필요하므로 예측 원본 자료와 앙상블 자료 같이 제공 희망
	<ul style="list-style-type: none"> • 사용자가 파이썬/R으로 수치모델 자료를 가공할 수 있는 함수 개발 및 제공 • 수치모델에 대한 정확한 메타데이터 정보 및 매뉴얼, 모형 개발 방법 등에 관한 기술과 노하우 공유를 원함. • 기술활용에 관한 정기적인 교육과정 • 수변지역 실효값 추정하기 위해 위성자료, 공공기관의 자체 관측 자료 공유

□ (환경) 국립환경과학원

○ 국립환경과학원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.27> 국립환경과학원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(환경) 국립환경과학원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 기상청의 전구모델자료 사용 • 기후변화에 따른 대기질 전망을 위하여 미래 기후변화 시나리오별 기후전망 수치자료, 미세먼지 예보 개선 • 자체 보유 연결망을 통해 매시간 자료를 수집 • 대기질 모델을 통해 PM10, PM2.5, 오존을 1시간 단위로 예측하여 2~3일 예보, 주간예보 생산
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 자료 전송 시 끊어짐이 발생하는 경우가 있음. 이에 대한 보완책으로 NCEP 자료를 같이 사용하고 있음. • KIM 자료도 받고 싶지만, 기상청 정책상 둘 중 하나만 선택해야 하므로 애로사항이 있음. • 자료전송을 위한 전용망에 대한 방법을 잘 몰라서 현재는 행정망을 이용하고 있으나, 12 km 해상도 전구모델 자료를 전산적인 부담 때문에 25 km 자료로 받고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 하드웨어적 환경 개선으로 희망하는 자료 모두 받을 수 있는 기상청 정책 변경
<ul style="list-style-type: none"> • 1시간 간격 자료가 필요하지만 전구모델 자료는 6시간 간격이므로 별도로 WRF 지역 모델을 돌리고 있음. • 이미 본 원에서 대기질을 10 m 단위로 예측하는 CFD 기반 모델을 만들었으나 10 m 단위 해상도의 기상자료가 없음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1시간 간격 해상도 및 10 m 공간 해상도
<ul style="list-style-type: none"> • 대기질 예측 시에는 하층 바람, 지상 바람, 혼합고(mixing height)가 중요함. 기상청에서는 강수 정확도가 중요하기 때문에 조금 더 리얼한 강수물리 과정을 위해 지상 바람을 과대 추정하는 경향이 있어 그 자료를 사용하면 대기질이나 확산 모델에서는 안 맞음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 수요자 맞춤형 변수(지면 부근 바람, 혼합도, 습도) 예측 정확도 개선 및 변수 제공.
	<ul style="list-style-type: none"> • 향후 nc 파일처럼 표준화된 형태로 제공 • 수치예보모델에 대한 기본적인 지식과 이해 증진을 위한 정기교육과정과 모델 자료의 변경시 수시 교육과정 운영 • 수치모델 자료 문제 발생 시, 신속하게 대응할 수 있는 서비스 관리 시스템 구축 • 대기질 모델은 재분석 자료가 없어서 관측 값으로만 비교함. 기상청 수치예보모델의 재분석자료가 제공되길 희망

□ (방재) 국립재난안전연구원

○ 국립재난안전연구원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.28.> 국립재난안전연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(방재) 국립재난안전연구원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 도시침수 예측 및 소하천 예측 • MAPLE 서비스 종료 후 대안으로 LDAPS로 대체하였지만 공간해상도의 차이로 본원 시스템에 적용하지 못해 자료 사용을 중단하고 현재는 강수 관측 자료만 사용함 • 가장 가까운 기상관측소의 강우 자료와 유역 출구에 있는 계측기에서 관측한 유출량 자료를 매칭 • 국가재난관리시스템(NDMS) 자료 받음
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 기상청이 MAPLE 자료 변경에 대한 유효기간을 1년 주었지만, 내부적으로 R&D로 개발이 종료된 이후이므로 변경된 입력 데이터 형식을 시스템에 반영하기 어려움. 	<ul style="list-style-type: none"> • 수요자 시스템 개선을 위해서는 최소 2~3년의 유예기간이 필요함. 처음부터 개발하는 최종목표 해상도를 결정 후 자료를 제공하길 희망함.
<ul style="list-style-type: none"> • 도시침수모델에는 비가 시간당 내린 총량이 아닌 시계열 패턴이 중요함. • 가장 가까운 기상관측 강수 자료와 유역 출구에 있는 계측기의 유출량 자료를 매칭하고 있지만, 위치가 일치하지 않아 정확도가 매우 낮음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 10분 간격의 초단기수치예보모델자료 필요 • 여러 수치예보모델들의 해상도 일관성 유지 • 기상청에서 수치예보모델자료를 공식적으로 보정하여 제공. MAPLE의 경우 정확도가 떨어져 대부분의 연구자들이 보정을 수행하지만, 수요기관에서 사용시 일관성이 떨어짐. • 유출해석모형을 위한 격자 간격이 다른 데이터 간의 매칭(보정) 기술
<ul style="list-style-type: none"> • 타전공자 입장에서 기상자료개발포털 사이트 이용이 어려움. 	<ul style="list-style-type: none"> • 정기적인 교육 및 프로그래밍 언어별 특화된 자료처리 방법 동영상 강의 제공 • 세미나/커뮤니티로 수치모델에 대한 이해도 제고 • 작년 한 해/우기철 동안 또는 일정량 이상 왔을 때 등 기상 자료의 예측 정확도에 대한 검증 결과를 제공

□ (방재) 서울기술연구원

○ 서울기술연구원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.29> 서울기술연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(방재) 서울기술연구원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 시간 단위의 수치예보모델의 강우량을 분 단위로 나누어 도시유출모델에 입력 • 서울시 대상으로 도시 홍수(도시유출모델링, 강우-유출 모의, 홍수량 산정 및 홍수예·경보) 예측 연구 • 서울시 열린 데이터 활용 • 현재는 PC에 자료를 다운받으며 과거 자료는 삭제. 향후 클라우드 시스템을 활용할 계획
애로사항	<ul style="list-style-type: none"> • 도시유출모델링이 요구하는 것 보다 현 동네예보의 강수량 정확도는 다소 낮고 확률 예측 범위가 넓음 • 1시간 강우 정보로 10분 후 수위를 예측하기는 어려움 • 강수는 짧은 시간(1시간)내 유역 수위에 도달하므로 수치모델 자료보다 관측자료(AWS 1분간격)를 더 많이 사용 • 4~10km 거리의 소규모 유역을 대상으로 유출과 수위를 연구하므로 현재보다 고해상도 자료가 필요 <p>→</p> <ul style="list-style-type: none"> • 현재 시간 단위의 수치모델 강우량 값을 분 단위로 나누어 입력함 <p>→</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수치예보모델의 생산 자료, 활용방법 및 제공받는 법 등에 대한 정보 전달 부족 • 행정망 분리로 서울시 정보를 바로 접속 불가
요구사항	<ul style="list-style-type: none"> • 3~6시간 이내 최소 10분 단위의 고해상도 및 정확도 높은 수치예보모델자료 • 도시유출 모의에 활용하기 위해서는 최소 1km 격자의 자료가 필요. 이때 지형, 지면 및 도시 규모 물리 과정 고려 • 하천 유역의 최적화 자료 생산을 위해 수치예보모델링 센터의 기술 개발에 수문학 상세 정보 추가 • 최근 개발된 KIM의 RDAPS 모델 경우 해상도가 많이 높아져서 활용도가 훨씬 높을 것으로 기대 <p>→</p> <ul style="list-style-type: none"> • 도시 지역 특성을 반영한 강수량 시간 분포 등 특정 지역의 기상 데이터베이스 구축 및 제공 <p>→</p> <ul style="list-style-type: none"> • 효과적인 전달방법의 교육이나 매뉴얼 제공 • 자료 요청 및 의견 제시를 위한 다이렉트 소통 창구 필요 <ul style="list-style-type: none"> • 미세먼지, 도시열섬, 바람길 등 환경 기반의 대기 연구 분야 활용 확대를 위한 수치모델 재분석 자료 제공

□ (방재) 한국원자력안전기술원

○ 한국원자력안전기술원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.30.> 한국원자력안전기술원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(방재) 한국원자력안전기술원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 한국 기상청(KMA)의 UM, 캐나다 CMC의 GDPS, 미국 NOAA의 GFS 수치예보자료를 수집 및 활용 • 원전사고 시, 의사결정을 지원하기 위해 수치예보자료를 활용하여 방사성물질 확산 예측 • 기상청과 별도 협력을 통해 10km 해상도 자료와 UM 및 KIM 자료는 URL을 통해서도 수집
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 수치예보모델의 정확도에 관한 객관적 정보 미공개. 현재는 2016년에 공개된 예보정확도 자료(500hPa GPH RMSE) 사용 중 • 별도의 네트워크를 통해 자료를 전송받고 있음에도 불구하고 방대한 자료의 전송이 여전히 어려워 앙상블예측자료 등을 활용하지 못하고 있음 • 현 제공되는 LDAPS의 6시간 간격 사이의 자료 필요함. 5km 해상도, 12시간 예측의 KLPS는 활용도가 낮음 • 발전소 간격을 고려한 100~200m 해상도 규모의 모델 자료 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • KINS에서 운영중인 방사능확산예측시스템의 정확도를 간접적으로 제시할 수 있는 KMA를 포함한 국외 주요 현업기관의 예보 정확도에 대한 정보 제공 • 기상청 네트워크 설비개선(서버 증설/분산 등)을 통해 유관기관 자료전송시간 단축이 필요 • 협의를 통해 특정 변수 일부 제공 • 기상청의 예보 자료를 수집하여 100~200m 초고해상도 다운스케일링을 직접 운영하기 위해 슈퍼컴퓨터 3호기 사용 권한 제공 • 각 모델의 변수 통일 • 일반인 대상 기본과정 및 유관기관 대상 API 수치예보자료 활성화 등 실무과정 등 수치예보모델자료 활용에 대한 교육 지원 및 API 수집 및 가공/분석 표출하는 예시 제시 • 유관기관을 전담으로 지원하는 조직이나 관리시스템 구축 • 유관기관 간의 협의체 구성 또는 주기적인 간담회 개최

□ (수문) 한국수자원공사

○ 한국수자원공사의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.31.> 한국수자원공사의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(수문) 한국수자원공사									
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 수문방류 여부, 방류량, 방류기간 등 댐 운영 의사결정 • 기상청의 전구/국지/초단기 모델 ※ 출처: 강수량(5km 기반의 동네예보 격자자료와 댐 유역으로 환산 자료) • NCEP의 GFS: 연직 대기장과 지표장 • 기상청 전용망 활용(ftp) 								
애로사항	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">애로사항</th> <th style="text-align: center;">요구사항</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 댐마다 유역면적과 여건이 모두 다르기 때문에 예상 강수량이 변동성이 클 경우 댐 강수량 예측에 어려움 • 수문방류 시 법적으로 방류 3시간 전에 모든 조치* 완료 및 방류 24시간 전에 수문 방류 예고로 많은 시간이 필요 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 제공되는 수치모델보다 고해상도, 예측 기간 증가 </td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • (GFS 자료) 갑자기 정보 누락 및 경로 변경되어 현업에 차질 발생 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 현업모델(WRF)의 초기장으로 활용하기 위한 변수(기압계 포함)들이 안정적으로 자료제공이 되길 희망함 • KIM 모델 예측값 사용 희망(샘플 자료와 WRF Vtable 제공시 테스트할 준비 완료) </td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 초단기 모델의 국지성 호우 과다 예측 경향 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 댐 운영자들은 최종 의사결정을 위한 정확도 높은 예측값 제공에 대한 니즈 • (맞춤형 정보) 장마 분석, 인덱스 분석 등 이벤트성 특이 기상 시준에 대한 구체적인 자료 • 기상청 주도의 일관적인 교육 </td> </tr> </tbody> </table>	애로사항	요구사항	<ul style="list-style-type: none"> • 댐마다 유역면적과 여건이 모두 다르기 때문에 예상 강수량이 변동성이 클 경우 댐 강수량 예측에 어려움 • 수문방류 시 법적으로 방류 3시간 전에 모든 조치* 완료 및 방류 24시간 전에 수문 방류 예고로 많은 시간이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 제공되는 수치모델보다 고해상도, 예측 기간 증가 	<ul style="list-style-type: none"> • (GFS 자료) 갑자기 정보 누락 및 경로 변경되어 현업에 차질 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 현업모델(WRF)의 초기장으로 활용하기 위한 변수(기압계 포함)들이 안정적으로 자료제공이 되길 희망함 • KIM 모델 예측값 사용 희망(샘플 자료와 WRF Vtable 제공시 테스트할 준비 완료) 	<ul style="list-style-type: none"> • 초단기 모델의 국지성 호우 과다 예측 경향 	<ul style="list-style-type: none"> • 댐 운영자들은 최종 의사결정을 위한 정확도 높은 예측값 제공에 대한 니즈 • (맞춤형 정보) 장마 분석, 인덱스 분석 등 이벤트성 특이 기상 시준에 대한 구체적인 자료 • 기상청 주도의 일관적인 교육
애로사항	요구사항								
<ul style="list-style-type: none"> • 댐마다 유역면적과 여건이 모두 다르기 때문에 예상 강수량이 변동성이 클 경우 댐 강수량 예측에 어려움 • 수문방류 시 법적으로 방류 3시간 전에 모든 조치* 완료 및 방류 24시간 전에 수문 방류 예고로 많은 시간이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 제공되는 수치모델보다 고해상도, 예측 기간 증가 								
<ul style="list-style-type: none"> • (GFS 자료) 갑자기 정보 누락 및 경로 변경되어 현업에 차질 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 현업모델(WRF)의 초기장으로 활용하기 위한 변수(기압계 포함)들이 안정적으로 자료제공이 되길 희망함 • KIM 모델 예측값 사용 희망(샘플 자료와 WRF Vtable 제공시 테스트할 준비 완료) 								
<ul style="list-style-type: none"> • 초단기 모델의 국지성 호우 과다 예측 경향 	<ul style="list-style-type: none"> • 댐 운영자들은 최종 의사결정을 위한 정확도 높은 예측값 제공에 대한 니즈 • (맞춤형 정보) 장마 분석, 인덱스 분석 등 이벤트성 특이 기상 시준에 대한 구체적인 자료 • 기상청 주도의 일관적인 교육 								
<p>*수문방류 프로세스(댐 홍수분석→방류량/기간 결정 →홍수통제소 협의→주민 통보 및 시설물 주변 점검, 행랑객 계도)</p>									

□ (수문) 한강홍수통제소

○ 한강홍수통제소의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.32.> 한국홍수통제소의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(수문) 한강홍수통제소	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> 기상청의 전구 UM/ECMWF, 국지 LENS 13개 앙상블/LDAPS, 초단기 KLAPS/MAPLE, 동네 예보: 강수량 상세한 홍수 예보 및 홍수 전망 기상청 전용망 활용(4-6시간 소요) 예측 격자 강우를 유역 강우로 가공. 강수의 강도 보다는 전체 양(volume)이 중요
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> 정확도 높은 강수 예측 자료 하나가 필요 하지만 현실은 사용 가능한 모든 종류의 예측 자료 수신 홍수예보 시스템은 강수량이 10분 단위로 입력되지만 현재 3시간 간격의 예측자료를 10분 간격으로 세분화하여 입력함 	<ul style="list-style-type: none"> 상세 지역의 강수 예측성을 높이기 위해서는 수치 모델 성능 자체를 지속적으로 개선 필요 한국형수치예보모델의 계획과 개선 사항에 대해 공지 필요 공간 해상도 보다는 시간 해상도 세분화 희망
<ul style="list-style-type: none"> 자료의 종류에 따라 형식이 달라 매번 디코딩 프로그램 요청 모델의 강수량 단위 등 수치예보모델 관련 설명 자료는 실무자에게 별도로 연락하여 받음 	<ul style="list-style-type: none"> 제공되는 모델의 형식 통일 해상도, 격자계, 좌표계(특히 wgrib2) 등 추가 정보 요청 convective/non-convective rain에 대한 설명 등 자료를 제공할 때 마다 매뉴얼, 좌표계 전환 코드 지속적으로 제공
<ul style="list-style-type: none"> 동네 예보의 예측 강우량의 범주형 정보는 사용할 수 없어서 결과를 그림으로 표출하여 위험지역을 파악하는 용도로 사용 	<ul style="list-style-type: none"> 정량적인 예측 강수량(예. 최대값) 제공
	<ul style="list-style-type: none"> 궁금증 해결을 위한 수치모델링센터와의 소통 창구 연 1회 수치모델자료의 개선점 혹은 검증 결과 공유

□ (교통) 한국교통연구원

○ 한국교통연구원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.33> 한국교통연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(교통) 한국교통연구원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 기온, 강우, 강설, 바람, 기압, 습도, 안개 • 방재 교통 • API 접속해서 필요할 때 받음. • 시공간 해상도 보다 정확도 및 예보구간을 고려
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 도로공사는 도로 선상의 관측 정보가 필요 하지만, 기상청은 기상관측표준화법에 의해 설치 위치가 정해져 있음. 따라서, 교통정보 예측에 기상관측 변수를 직접 적용하기에는 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • 도로 검지기가 500m 마다 설치되어 있으므로 1km 해상도 필요
<ul style="list-style-type: none"> • 도로에서 발생하는 기상 이변은 기상 관측뿐만 아니라 지형, 터널, 교량 등의 특수한 정보들이 복합되어야 정확한 예측이 가능함. 기상으로 인한 도로 정체 시간, 효율적 교통편, 안전 사고 발생률 등 정량적인 예측에 어려움이 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 약기상 발생 4시간 전(전국 어디든 도착 가능 시간) 정확한 기상 예측 자료 생산 • 예측 시간이 짧더라도 VMS 추가 설치, 재난 문자 안내 등 물량으로 대응할 수 있음. • 인위적으로 만든 도로의 여건을 반영한 기상 정보 생성 • 안개, 폭설, 살얼음 등 실효성 있는 대응 시간을 확보하기 위해 단순히 발생 유무가 아닌 발생 시간과 강도에 대한 자료 보급(data aggregation) 필요
<ul style="list-style-type: none"> • 도로 위에 기상 위성 사진을 놓고 예보할 때가 많음. 교통연구원에서의 해상도는 지점 마다 연결된 라인임 	<ul style="list-style-type: none"> • 위성사진 또는 기상 예측 자료에 도로가 합성된 가시화 표출. 도로에 따른 위험도 표시 • 대설 행동 매뉴얼, 안개 대응 매뉴얼 등 기상 현상에 따른 매뉴얼 공동 작성. 기상청의 관심 주의 경계 심각의 발령 기준과 도로 위기 관리 단계의 연계

□ (에너지) 전력거래소

○ 전력거래소의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.34.> 전력거래소의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(에너지) 전력거래소	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 지역모델과 국지모델 사용 • 전력 수요예측 및 신재생 발전량 예측 • 지상 및 연직고도별 기온, 습도, 바람(풍향·풍속), 강우/강설 자료를 활용함. • 기존의 통계적인 예측과 더불어 기상모델을 자체적으로 돌려서 물리적으로 신재생 발전량 예측함.
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 기상청에서 제공하는 자료는 일반적이고 기본적인 기상정보에 국한되어 필요한 일사 예측 값이 서비스되지 않음. 일사에 영향을 주는 하층/중층/상층 구름 정보를 상세하게 주고 최종적으로 지표면에 도달하는 일사값을 예측하는 것이 필요함. • 향후에는 고도별 풍향/풍속 자료의 활용도도 높을 것임 	<ul style="list-style-type: none"> • 전력 수요 예측에 필요한 일사, 80~120 m 내외의 풍향/풍속 정보 제공
<ul style="list-style-type: none"> • 여름철 기상 예측 정확도가 낮아 전력 수요예측에 어려움이 많음. 기온예보가 1도만 틀려도 전력 수요 예측이 어려움. 그에 따른 손실비용이 적지 않음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 예측 정확도 확보 • 지점별로 예측해서 각각의 발전기에서 얼마만큼의 에너지가 생산/발전되는지 시뮬레이션 하는 방식으로 예측하게 되기 때문에 해상도가 높을수록 좋음.
<ul style="list-style-type: none"> • 주로 외부인터넷망을 이용하여 방재기상정보시스템을 사용하지만 속도가 느림. • 별도의 전용망은 자료가 한 번씩 누락됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 방재기상정보 시스템 내 활용가능한 메뉴 확대 필요(기상청 내부직원 활용 중인 메뉴 개방 요청) • 기상청 재분석 자료는 전력 수요 예측이 틀렸을 때 예측 대비 관측 값을 가지고 사후분석 시 관측 근거자료로 활용할 것임 예측보다 알고리즘 개선을 위해 더 필요함 • 이해하기 쉽도록 데이터를 3D로 보는 등 시각화 기술 개발

□ (에너지) 한국에너지기술연구원

○ 한국에너지기술연구원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.35> 한국에너지기술연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(에너지) 한국에너지기술연구원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 등압면, 단위면, 모델면의 원시자료를 전문연구원이 리눅스 환경에서 후처리하여 활용 • 일사량, 풍속자원지도를 에너지모델의 입력자료로 활용하여 정책분야에 활용 • 가공된 자료가 아닌 순수 기상 자료만 사용 • 시공간 해상도 보다 정확도 및 예보구간을 고려
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 수치해석자료에서 산출된 일사량과 풍속 데이터의 측정오차가 큼 	<ul style="list-style-type: none"> • 대기권계층 물리해석기법 고도화 및 국가 표준측정소 확대를 통한 신뢰도 향상된 수치예보모델 자료 생산 필요.
<ul style="list-style-type: none"> • 미래 시나리오별 풍속 산출을 위해서는 현 예보 기간이 짧음 • Web API 구현 및 데이터 서비스 체계 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 48시간 이상의 예보구간으로 확대 필요 • Web API 구현 및 데이터 서비스 체계 고도화 필요. (예: cds.climate.copernicus.eu)
<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 자료 서비스 포털에 대한 정보가 제한적임 • 자료의 참고문헌 찾기가 힘들. 	<ul style="list-style-type: none"> • 생산 자료 및 서비스 방법에 대한 공문 및 사용자 협의체 홍보 필요 • 사용자 교육 자료 공유 • 수치모델 성능검증 후 정보제공 • K-wgrib이 윈도우환경에서 후처리가 가능할 수 있도록 변환 • nc와 같이 표준화된 형식으로 제공 • 실제적인 지점 또는 공간분석 후처리 기술 공개 • 모델을 윈도우에서 구동할 수 있는 인터페이스 기술 • 실제 예시를 포함하는 python 프로그램 등 utility 서비스

□ (산림/생태) 국립산림과학원

○ 국립산림과학원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.36.> 국립산림과학원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(산림/생태) 국립산림과학원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 1시간 산사태 예측에는 MAPLE(1 km 해상도), 12시간 산사태 예측에는 KLAPS 사용 • 산사태 예측 시스템 • 매년 실험 강우로 탱크 모델의 예측 정확성을 검증함 • 자체 보유 전산시스템 사용(CPU 280 core, 메모리 192 GB, 스토리지 170 TB)
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 본원은 기상청은 몇몇 기관에 전용망으로 자료를 송신하는 대상에서 우선순위가 낮음. • 산사태 예측정보는 10분 내 생성할 수 있는 시스템을 갖추었지만 자료 송신이 약 50분 소요되어 산사태 예보가 지연되거나 일부 자료 누락으로 별도 요청해야 하는 사례 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 행정 시간 단축 및 신속 대응을 위한 공공기관 전용 서비스 관리 시스템 구축. 자료 수신에 불안정 시 원인 분석 및 통지 • 신속한 자료 전송과 예측 정확도 향상 • 여러 기관에게 동시에 자료 전송이 가능한 공공기관 전용망 시스템 구축
<ul style="list-style-type: none"> • 동네예보는 평균값만 제공하여 강풍이나 건조 등 실질적인 경보가 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • 평균값이 아닌 극한값 제공 • 위험 요소의 강도를 시시각각 예측할 수 있는 산지의 풍향, 풍속, 강수의 극한값 생산 기술 • 위험한 순간의 시간과 강도를 포착할 수 있는 3시간 누적 강수량의 분포도 시각화 기술.
<ul style="list-style-type: none"> • 사람이 관측하고 예측할 수 있는 범위를 벗어난 1m 이상의 깊은 토층 혹은 암반층의 침투-유출은 지면모델의 예측모델과는 다른 모델을 사용하여야 하므로, 기상청에서는 현재 강우와 연계된 지중 유동 모델을 제공하지 않음. • 지면모델은 토양의 표층을 대상으로 하므로 지하의 거동을 예측하는 산사태 모형에 적용하기는 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • 도시·산촌 구분 및 산악 지형 상세화한 1 km 이하와 탱크 모델 연속성 확보를 위한 1시간의 고해상도 국지모델자료
	<ul style="list-style-type: none"> • 본원이 탱크 모델을 직접 수행하며 주기적인 검증으로 개선하기 위해 자료를 자유롭게 가공하길 희망함. • 현실적으로 수치모델을 수행할 수 있는 인력과 자원 부족

□ (산림/생태) 국립생태원

○ 국립생태원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.37> 국립생태원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(산림/생태) 국립생태원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 생태계의 기후변화 영향에 대한 진단 및 평가 • 전지구모델을 활용하여 증분포모델 및 생태모델링에 주로 활용되는 생물 기후 변수 생산 • 해상도가 낮은 해외기관의 자료보다 기상청의 남한 상세자료(1 km 해상도) 활용 (공간 해상도 중요) • 지면 모델에 포함된 식생 광합성과 증발산 등은 생태계 요소와 결합 가능
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 생태계 분야는 1 km도 낮은 해상도에 속함 • 대용량 자료는 기상청에 하드디스크를 보내서 직접 받음 	<ul style="list-style-type: none"> • 자료의 불규칙성을 반영할 수 있도록 100 m 단위로 상세화 필요 • FTF 형식으로 대용량 자료를 제공해주는 시스템 구축 • 모델 예측정확도 향상을 위해 다양한 변수 추가 • 관측자료 뿐만 아니라 과거 수치모델 생산 자료를 1 km 해상도로 생산 및 제공하길 희망 • 모델 정확성에 대한 객관적 정보 제공 • 고해상도 기상청 재분석 자료 필요 • 기관의 니즈를 충족하는 자료 생산 희망 • 결합 모델 형태의 커뮤니티 모델이 제공되길 희망 • 장기적인 재분석 자료 제공 희망 • 현장 밀착 지원 희망

□ (국방) 공군기상단

○ 공군기상단의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.38.> 공군기상단의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(국방) 공군기상단	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 GFS와 ECMWF 초기장을 사용하여 KAF-WAF 수행 • 국가적 국인을 보호하고 국민의 생명을 지키기 위한 국가적인 공군 항공기상의 전반적인 정보 활용 • 자체 전산시스템은 HPC 2호기임 KIM을 운영에 적합한 시스템을 구축하기 위해 HPC 3호기를 도입 계획 중. • 전구모델은 GRIMs(50 km)을 활용하여 중동쪽 파견병의 교대, 재해 구호 지원 등 해외 비행시 경로 기상, 비행 고도, 풍향, 풍속, 현천 등 기상예보를 지원
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 공군내 SDNZ로 UM과 ECMWF를 받고 있는 상황에서 KIM 자료 추가 요청시 기존의 자료 중 하나만 선택하라고 함. • 모델의 정확도보다는 현업에서는 안정적으로 제시간에 자료가 제공되는 것이 중요함. GFS 자료는 가끔 불안정함 	<ul style="list-style-type: none"> • 공군기상단 HPC로 바로 원시 자료 전송을 할 수 있는 전용선을 구축 또는 대용량자료의 안정적이고 빠른 전송 희망 • 국내 자료를 안정적으로 일정하게 제공 • 자료 전송 문제 발생시 기상청 회선의 문제인지 공군 회선의 문제인지 정확한 원인 정보 제공
<ul style="list-style-type: none"> • 예보관들은 기지별 날씨 변화의 경향을 잘 파악할 수 있는 노하우로 예보를 잘할 수 있음. 예보관들이 KIM의 경향을 파악할 수 있도록 하루 빨리 커뮤니티모델로 제공. 	<ul style="list-style-type: none"> • 원하는 영역의 예보를 지원하기 위해 KIM을 공군기상단의 자체 시스템에서 모의를 수행할 수 있길 희망. 향후 공군의 자체 시스템 도입시 필요한 KIM 운영에 최적화된 시스템의 기본 정보 제공
<ul style="list-style-type: none"> • 항공기 운항 지원 시 특성 시간, 특성 고도, 특정 지점의 모든 변수들이 필요함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 특히 훈련 공역, 미사일 투하 고도, 헬기, 수송기, 정찰기, 공중 급유기 등 종류가 따라 비행 고도가 정해져 있음. 공군에서 필요한 고도 자료는 65000 ft(약 20 km)까지의 자료임 • 군사 작전과 방재 목적에 따른 수치예보 모델의 최적화 기술 • KIM 모의 성능 또는 수치화한 정확도에 대한 홍보 필요

□ (문화재) 국립문화재연구원

○ 국립문화재연구원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.39.> 국립문화재연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(문화재) 국립문화재연구원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 자연 재난에 대비한 문화재 안전관리 및 방재예보 • 기상청 기상정보, 산림청 산불위험정보 등을 활용하여 목조 문화재 개별지역의 화재, 풍수해 등 재난 대비를 위한 문화재 방재정보 통합시스템 운영 • 현장조사를 위해 기상청 날씨누리, 아큐웨더, 일본 기상청 정보를 종합적으로 활용
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 문화재는 기상 관측망과 거리가 먼 경우가 많아서 기상 관측의 대푯값으로 문화재 위치의 기상에 적용하기 어려움 • 현장 조사를 위한 목표지점의 날씨를 CCTV로 확인 	<ul style="list-style-type: none"> • 공공기관 수요 분석을 기반으로 문화재 보존 목적의 공공기관간의 협업 지침의 객관적 근거 마련을 위한 정확한 자료 제공 네트워크 구축
<ul style="list-style-type: none"> • 도심 문화재의 경우 일정 강수 이상 발생 시 우수로 배관에 물이 차서 문화재 훼손이 발생할 수 있음 • 포항 산불 발생 시 기상청 홈페이지에서 실시간 산불 발생 범위 자료를 찾을 수 없어 뉴스를 통해 정보를 얻음 	<ul style="list-style-type: none"> • 관로 설계 및 우수로 배관 개선 등 기반 시설 구축의 근거자료로 활용할 수 있는 강우량 예측 • 풍향, 풍속을 고려한 문화재 피해 영향 예측 시간 알림 공지 • 문화재 GIS 정보 융합 매핑(문화재 위치, 목재/석조 구분 정보 등이 함께 제공되길 희망)
<ul style="list-style-type: none"> • 수치예보모델에 대한 교육 부재 • 수치예보모델 격자 자료에 대한 이해 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 격자 자료 활용 관련 매뉴얼이나 교육 프로그램 필요 • 데이터 포털 사이트에 대한 상세 설명 필요
	<ul style="list-style-type: none"> • 문화재 보전에 영향을 미칠 수 있는 흰개미, 지의류, 이끼류 등 번식에 필요한 기후 환경 변화 예측 • 사전 대비를 위한 기간별 장기적인 기후 변화 예측 결과 표출 • 1 km 또는 500 m 자료 선호

□ (극지/해양) 극지연구소

○ 극지연구소의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.40.> 극지연구소의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(극지/해양) 극지연구소	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 해외기관 자료(GFS, ECMWF)를 극지역 지역규모 예보를 위한 수치예보모델(Polar-WRF)의 경계조건과 초기조건으로 사용 • 북극 하계 항해 등 연구자 현장 활동을 위한 맞춤형 예보 자료를 생산 • 극지연구소는 극지역 관측망 확대가 극-중위도 예측성 향상에 영향을 미치는지 연구하기 위한 WMO 산하 Polar Prediction Program(PPP) 주관 ‘극지 예측의 해(YOPP, Year Of Polar Prediction)’ 캠페인에 참여하였음
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 예보를 위한 관측망(부이 기반 해빙관측, 해양 수층 관측)이 없음. 캠페인 관측 자료는 엠바고가 있어 몇 년 후 오픈되는 경우가 대부분임 	<ul style="list-style-type: none"> • 비극지 국가들의 관측 네트워크에 현실적이고 실용적으로 접근하여 중위도 예측성 향상을 위한 관측 자료 확보 • 지속 가능한 극지역 관측 네트워크 유지하기 위해서는 첨단 기술력, 자원, 무인 관측 기술(로봇, 드론), R&D 사업 등이 갖추어져야 함 • 커뮤니티 모델을 활용하여 북극에서 기인한 중위도나 한반도 기상재해 예측성 증진의 R&D 협력
<ul style="list-style-type: none"> • 기상청의 포털 사이트에 대한 교육과 홍보 부족으로 기상청에서 제공하는 예보 자료 정보에 대한 이해가 낮음 • 전산시스템 변화로 자동 수집이 끊긴 상태 발생. 자료 전송 승인을 사전에 받아 시작했음에도 불구하고 이것을 재개하는 게 편리하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> • 승인 없이 쉽게 자료를 받을 수 있는 웹 시스템 구축
	<ul style="list-style-type: none"> • 극지역 모델 성능 평가에 활용하기 위한 한국형수치예보모델이 오픈되길 희망함 • 전구의 8km 고해상도를 선호하며 앙상블 기준으로 2주~한 달 예측자료와 기상청 재분석장이 제공되길 희망

□ (극지/해양) 한국해양과학기술원

○ 한국해양과학기술원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.41.> 한국해양과학기술원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(극지/해양) 한국해양과학기술원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> • NCAR의 자료 활용 • 해양 재난 대비를 위한 중규모 예측과 해양의 기후변화 예측을 위한 장기 상세 전망에 활용, 특히 수치예보모델자료는 파랑 예측, 적조 예측, 고수온 예측, 해양 폭염 등 각 요소에 최적화된 모델을 운영하고 있으며 이들 모델의 입력자료로 활용 • 통계적인 후처리를 하거나 지수를 산출하도록 데이터를 가공하여 사용
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> • 자료의 접근성이 부족하고, 모델 검증하기 위한 과거를 예측한 hindcast 제공 기간이 짧음 	<ul style="list-style-type: none"> • 승인없이 쉽게 자료를 받을 수 있는 웹사이트 구축 • 모델 소스 공개 및 사용자가 특정 부분 업그레이드 가능 및 피드백이 자유로운 플랫폼 구축 필요 • 수치화된 예측성 정보 필요
<ul style="list-style-type: none"> • 미국 GFS 모델은 미국 지역에 비해 동아시아지역 근처에 대한 예측 성능은 낮음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 단기 예측정확도 향상을 위해 선박으로 해양관측 또는 라디오존데 자료를 공유하는 시스템 개발
<ul style="list-style-type: none"> • NCEP 자료 형식은 grib이라 다른 nc format으로 변환해서 써야 함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 표준화된 데이터 포맷 제공 및 모델마다의 변수명 통일 희망 • NOAA처럼 총괄 역할을 할 수 있는 구심점 기관 필요 • 매뉴얼이 잘 갖춰진 기상청 수치예보모델이 공개되길 희망 • NCAR 커뮤니티모델처럼 누구나 접근 및 설치 가능한 모델 공개 필요 • 대기-해양 중규모 모델은 자료동화방식이 달라서 예측모델 접합시 협업이 필요(해양과 대기 격자를 일치시키는 통합모델 개발)

□ (정보) 한국과학기술정보연구원

○ 한국과학기술정보연구원의 수치예보모델자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

<표 3.1.42.> 한국과학기술정보연구원의 자료 사용 현황과 애로사항 및 요구사항

(정보) 한국과학기술정보연구원	
자료 사용 현황	<ul style="list-style-type: none"> 기존 계산과학 분야 외에 증가한 인공지능 분야 수요에 대응할 수 있도록 CPU only뿐만 아니라 CPU와 GPU가 동시에 탑재된 헤테로컴퓨팅 환경 지원 예정 (KISTI 슈퍼컴퓨터의 경우 기상청과 달리 모든 분야를 지원하는 시스템으로 CPU only 뿐만 아니라 CPU와 GPU가 동시에 탑재된 환경으로 구축 예정임) WRF모델을 슈퍼컴퓨터 5호기 도입용 테스트 도구(BMT, BenchMark Test)로 활용함 GPU 환경에서 사용자 확대를 위하여 KISTI와 NVIDIA 협력으로 GPU 환경에서의 코드 최적화 및 멘토링 등의 교육
애로사항	요구사항
<ul style="list-style-type: none"> 현재 기상 분야 모델의 경우 현재 KISTI 슈퍼컴퓨터 5호기 아키텍처(KNL) 상에서 성능이 좋지 않음. KISTI 슈퍼컴퓨팅응용센터에서 제공하고 있는 최적병렬화 프로그램을 통하여 지원은 하고 있지만 한계가 있음 기상 분야 KISTI 슈퍼컴퓨터 사용자들의 경우 모델의 입력 자료로 활용하기 위해 대부분 같은 자료를 각각의 계정에 내려 받고 있는 상황임 KISTI와 자료 제공 기관과 연계를 통해 미러링과 같은 서비스를 요구함 기상 분야 고해상도 모델 수행에 따라 결과 파일의 크기가 커서 자료전송의 어려움을 호소 KISTI 슈퍼컴퓨터도 보안상의 문제로 아마존, 구글 등의 클라우드 서비스에 비해서 불편한 사용자 환경(CLI 환경)을 제공하고 있음. 따라서 인공지능 분야 사용자들이 Docker, Jupyter 등의 서비스를 요구가 많음. 	<ul style="list-style-type: none"> 기상 분야 KISTI 슈퍼컴퓨터 6호기 활용 확대를 위해서 한국형수치예보모델(차세대 KIM)을 BMP 테스트 도구로 제공되어 향후 사용자에게 수행 및 최적화를 위한 지침서 등을 제공 KISTI 슈퍼컴퓨터에서 KIM에 대한 접근성 증대를 위한 git, svn 등의 KIM 배포 시스템 제공 및 수행에 필요한 테스트 슈트, 지침서 등 제공
	(유관기관 내부에서 해결 필요)
	<ul style="list-style-type: none"> 향후 기상 분야 KISTI 슈퍼컴퓨터 사용자 지원 및 확대를 위하여 기상청과 KISTI와의 협력을 통해 교육 커리큘럼을 개발 및 교육 서비스 협업

3.1.4. 수치자료활용 확대를 위한 워크숍 결과

□ 워크숍 목적

- 국내 유관기관에서의 수치예보모델자료 활용 환경 분석 및 한국형수치예보 모델로 사용 전환을 위해 요구사항 분석
- 유관기관과 공동으로 활용 가능한 미래기술 수요 조사를 통한 한국형수치예보모델(KIM) 확장개발전략계획(2023~2030) 보완

□ 워크숍 내용

- 심층인터뷰 분석내용을 기반으로 하여 분야별 유관기관 전문위원들의 요구사항을 공유하고 관련 현장 의견 수렴

<표 3.1.43> 수치자료활용 확대를 위한 워크숍 내용

기관	발의자	내용
한국수자원공사	기관	소규모 댐의 운영 의사 결정 지원을 위해서는 현재 예측 자료보다 더 상세한 해상도, 더 긴 예측 기간이 필요함. 한국형수치모델자료를 본 기관 현업 모델의 초기장 자료로 사용할 경우 모델 개발 현황 소통이 가능하며 앙상블 산출로 의사결정 지원을 위한 다양성이 확보됨
	기상청	의사 결정에 어느 정도 예측 시간과 해상도가 필요한지?
	기관	태풍과 같은 이벤트 발생시 늦어도 3일 전에는 강수량 예보가 필요하며 예측 시간이 길수록 의사 결정에 도움이 됨.
한강홍수통제소	기상청	수치모델링센터는 수치예보 업무를 수행하며 공공기관은 고유의 업무를 보유하는 방향이 필요함. 유관기관에서 한국형수치예보모델의 51개의 앙상블 멤버로 다양한 시나리오를 생산하길 희망함. 특수한 정보를 요청할 경우 인력을 투입하여 만들어줄 의향은 있으나 생산한 자료의 정확도가 문제임 이런 부분들을 함께 상의해서 도움을 줄 수 있도록 모든 기관들이 참여하며 서로 발전 속도가 향상될 것임
	기관	하천이나 중소하천의 수위의 예측성은 강수량 예측에 의존하므로 강수량의 예측 정확도가 매우 중요함. 모든 모델의 자료 포맷 통일이 필요하며 정량의 예측 강수량이 제공되길 희망함.
	기상청	수치모델링센터에서 통일된 파일 형식으로 제공이 되면 환경에 맞추어 준비가 가능한지?
	기관	파일 형식에 대한 정보만 제공해주면 바로 가능함
국립재난안전연구원	기상청	향후 모든 유관기관들이 잘 사용할 수 있는 상세한 매뉴얼을 배포하겠음.
	기관	수요 기관의 기존 시스템을 유지하면서 바로 활용할 수 있는 정보가 생산되길 희망함. 재난 관리 입장에서 동일한 기준으로 주의보/경보를 발령시 실제 피해가 나지 않는 지역임에도 불구하고 대응에 대한 업무가 증가함. 효율적인 재난관리를 위해 특정 지역에 대한 정확한 예측 정보가 중요함. NDMS를 이용하면 문제 발생시 어느 단계에서 발생했는지 지속적으로 체크해야 하므로 자료 직수신 체계 마련되길 희망함.
서울기술연구원	기상청	수치모델에 대한 이해도 제고를 위한 배움의 기회를 늘리도록 하겠음. 향후 검증 결과에 대한 정보 제공도 내부적으로 검토하겠음.
	기관	지방 하천의 유역 면적(20~40 km2)에 해당되는 10개 이내 격자 정보를

		활용해야 하는 실정임 고립사고의 피해를 줄이기 위해서 관측정보에 준하는 예측 정보로 최소 2시간 전에 미리 대응할 수 있다면 도시홍수 예방에 활용도가 높을 것임
	기상청	올해 1km 해상도로 현업에 수행할 계획이 있음. 초고해상도를 짧은 시간내에 모델 수행을 해서 제공하는 것은 또 다른 문제임 2~3년 내 안 정확시켜서 제공하고자 함. 현재 기상청 자료를 어떤 전용망을 통해 받아 가는 지?
	기관	현재는 기상청의 수치예보모델자료를 활용하고 있지 않으나 서울시와 기상청이 MOU를 맺고 있어서 그곳의 행정망을 통해 기상청의 자료를 받을 수 있음.
한국에너지기술 연구원	기관	최근 전력 거래 시장이 오픈하면서 수치예보모델의 기본 자료들을 활용함. 대부분의 본원 전문가들은 PC환경에서 작업하므로 kwgirb를 표준화하여 제공하는 것이 필요함. 에너지분야는 기온, 바람, 일사량에 대한 수요가 가장 큼. 특히 풍력은 상당히 큰 비용의 사업이기 때문에 풍향의 예측 정확도가 사업비의 가장 큰 손실에 민감한 요소임 돈과 직결되는 부분이라서 풍향의 정확도 개선이 상당히 중요하고 신뢰성 있는 자료가 될 수 있도록 검증에 대한 참고 문헌을 배포해 주길 희망함. 본 기관이 재난기관이 아니라서 수치예보 자료를 실시간으로 제공하지 못한다는 답변을 받았음.
	기상청	한정된 자원으로 대용량의 자료를 일괄 전송해야 하는 문제로 유관기관내 목적에 따라 순위에 따라 자료 전송의 제한을 둠. 이러한 문제점들을 해소하기 위해 대형 데이터 허브 사업을 추진중임
한국교통연구원	기관	기존에는 기상 자료를 과거 통계 자료만 활용하였지만, 최근 살얼음 등 미끄럼 사고 방지를 위해 실시간 기상 자료를 접목하는 연구가 진행되고 있음. 도로는 인위적으로 사람이 건설을 한 것이기 때문에 주변의 지형과 도로 시설물의 구조에 따라 위험성이 높아짐. 모든 자료들의 해상도가 좋아질수록 예측력이 높아질 것으로 기대함.
	기상청	기상자료의 도로 예보 분야에 어떻게 활용되는 지?
	기관	기상예측을 접목한 교통예보제를 운영하여 위험 기상에 대응할 수 있는 시간을 확보하고 교량 터널로 이어지는 도로 인접 기상 자료 수집으로 산악 지형의 악기상 현상을 파악에 활용함.
공군기상단	기관	향후 지속 발전 가능성이 높고 운영의 안정성을 위해 현업모델을 한국형수치예보모델로 대체하여 예보관들이 모델 특성을 빨리 파악하는 중요함. 무엇보다 대한민국 기상예보를 하는 현업기관 입장에서 국내 자체 개발한 한국형수치예보모델에 자부심을 가지고 있음.
	기상청	한국형수치예보모델은 작년 말 기준, UM 대비 99% 이상의 성능을 보이고 있으며 세부 사례를 보면 UM보다 더 나은 성능들이 많이 있음. 애로사항에 대해서는 정보 통신의 한계가 있다면 한국형수치예보모델을 미리 선택하여 활용하는 것을 추천함. 그리고 자료를 외부로 제공하는 것은 수치예보모델링센터의 역할이 아님. 정보통신기술과와 협의하고 자료들을 유통할 수 있는 방안을 찾는 것이 좋을 것임
극지연구소	기관	한국형수치예보모델이 유관기관 자체 연구개발에 활용할 수 있는 커뮤니티가 형성되면 이것의 성능을 평가하고 향상시킬 수 있는 기술 개발을 기대할 수 있음. 북극기후변화로 북극으로 급격하게 난기가 유입되는 상황은 한기가 남쪽으로 급격하게 내려오는 상황으로 연관돼 있다고 보기 때문에 한반도에 여름철에도 영향이 더 커질 것으로 예상함. 따라서 연구개발 측면에서 기상청에서 북극에 더 관심을 가져주시면 본 기관은 극지역 관측망 구축을 기상청에 도움이 될 수 있도록 노력을 하고자 함.
	기상청	극지연구소과 기상청이 서로 필요한 사항에 대해 적극적으로 협력 관계를 맺기를 희망함. 하셨습니다. 우리나라 원양어선 운행에 높은 수준의 기상 예보 수요가 많은데, 어떤 기상 정보에 대해서 요구들이 있는 지?

	기관	그 요구는 수산 쪽이라 해양조사원에서 Polar-WRF 기반의 기상 예측 모델을 운영하고 예측하고 있음. 현재 이러한 자료는 기상청에 요청하지 않고 용역이나 연구 사업을 통해 제공하고 있음.
한국해양과학기술원	기관	수치모델이 더 이상 기상만의 모델이 아니라해양, 생지화학 등 다양한 분야와의 접합이 이루어지는 중심에 있음. 본 기관은 수치예보 기술이 매우 약하므로 기상청이 양 기관의 관측망 자료와 모델을 통합하는 등의 구심점 역할을 하면 향후 우리나라 수치예보모델기술이 굉장히 빠르게 발전할 수 있을 것임
	기상청	극지연구소나 한국해양과학기술원의 다양한 관측 자료를 한국수치모델에 활용하는 것은 모델 성능 개선을 위해 가장 우선되어야 함. 기상청과의 기관 협력으로 극/해양 모델의 성능 검증에 필요한 기상청의 기술 이전을 할 수 있음.
	기관	본 원에서 수치예보모델에 실시간으로 줄 수 있는 자료 정책이 먼저 필요함.
	극지연구소	극지연수소에서는 실시간으로 양질의 퀄리티 자료가 외부에서 실시간으로 쓸 수 있는 이 소프트웨어적인 시스템 구축하기 위해 노력하고 있음.
국립생태원	기관	과거 데이터에 대한 1km 고해상도의 재분석 자료가 장기적으로 구축되길 희망함. 자료 동화를 적용한 지표 모델 자료를 생산한다면 탄소흡수량, 생태 분포 등 여러 가지 연구의 베이스가 될 것임
한국과학기술정보연구원	기관	슈퍼컴의 결과를 사용자 PC로 전송시 느리다는 요구사항이 많았음. 하지만, 대부분 수신 기관의 자료 사용자 대역폭이 낮은 상황이 대부분이라 본 기관에서 도와줄 수 있는 부분이 아님.
기상청	기상청	수치모델링센터의 주요 업무 정확도 향상과 사용자 확대임 유관기관의 요구량을 충족하기 위해서는 수치모델링센터에서는 이것을 근거로 사용자 지원을 할 수 있는 인력을 확보하고 더 편리하게 모델 자료를 제공할 수 있는 인프라를 마련하는 계기가 될 것임 첫째, 정확도 향상이 하루 아침에 되지 않겠지만 가장 높은 우선순위로 두고 노력하고 있음. 둘째, 시공간해상도 요구 사항을 충족하기 위해서는 슈퍼컴 성능과 관계가 있어 1~2년내 해결되지 않겠지만, 모델 결과를 통계적인 기법으로 후처리할 수 있는 기술들은 공유하면서 해결할 수 있음. 셋째, 자료 전송 문제는 수요기관의 통신망 뿐만 아니라 기상청 정보통신기술과와 협의하여 추가 자료를 받을 수 있도록 노력할 것임 넷째, 강수량만 필요로 하는 유관기관의 요구사항은 기상서비스진흥국에서 데이터 허브 사업으로 해결해줄 수 있을 것으로 기대함. 마지막으로, 방재에서 필요로 하는 극한 값에 대한 예보가 자주 나가면 false 알람이 될 수 밖에 없어서 그 사이에서 균형을 잘 찾을 것임

3.2. 수치모델 활용 확대 및 기상 정책 지원을 위한 미래기술 수요 분석

3.2.1. 국내 유관기관 미래기술 수요

□ 한국형수치예보모델에 접목이 필요한 미래기술 후보군⁴⁾

- 한수예 후속사업, 예타 과정에서 제외된 미래기술, 센터 자체 연구, 빅데이터 분석을 통해 한국형수치예보모델에 적용 가능한 미래기술 후보군을 도출함

<표 3.2.1.> 한국형수치예보모델에 적용가능한 미래기술 후보군

구분	미래기술 후보군 도출
한수예 후속사업	머신러닝 기반의 관측자료 품질관리 기법 개발
	컴퓨터 비전 기법을 이용한 관측자료 융합기술개발
	머신러닝 기법을 이용한 위성관측 자료 품질관리 기술 개발
	3차원 구름 분석 기술 개발
	강수실황 분석 및 3차원 강수 구조 분석기법 개발
	3차원 수증기 분석기법 개발
	3차원 바람 분석기법 개발
	수반모델 기반의 관측자료 예측민감도 분석도구 개발
	양상블 기반 관측자료 예측민감도 분석도구 개발
	머신러닝 기반의 관측 영향평가 기술개발
	시간이산화 개선을 통한 연산효율 최적화 기술 개발
	차세대 슈퍼컴 도입에 따른 역학코어 최적화
	고성능 수치예보를 위한 이종 가속기를 포함한 클러스터용 런타임 시스템
	개발자 환경을 위한 수치모델 표현 및 핵심연산 모듈화 및 병렬처리 기술 개발
	자료처리 및 관리기술 개선/표준화
	대용량 데이터의 압축, 정보가공 기술과 고속 빅데이터 입출력 및 자료처리 인터페이스
	수치모델기법 호우예비특보 상황인지 시스템 개발
	거대 수치자료 기반의 호우예비특보 지원기술 개발
센터 자체연구 (예타 제외 과제)	관측자료 표준 I/O 인터페이스 설계 및 원형 구축
	관측자료 전처리 과정 프레임워크 개발 및 최적화
	심층신경망 기반의 품질검사과정 기술개발
	위성자료동화 협업화 기술개발

4) 한국형 모델과 미래기술 접목을 통한 수치예보모델 개선 방향 연구((주)기술과가치, 2019)

	해양 초기장 생산기법 개발
	해양 초기섭동 생성기법 개발
	대기-해양-해빙 접합 초기화기술 개발 및 예측성 평가
	대기 재분석 자료 생산
	대기 및 대기-해양 결합 재분석 자료 생산
	고해상도 결합 재분석 자료 생산
	기상재해 연구 활용체계 구축
	초고해상도 LES 역학코어 개발 및 최적화
	심층학습 기법 LES 역학코어 개발 및 최적화
	고해상도 및 신경망 기반 물리과정 개선 및 최적화
	신경망 기반 기상현상에 대한 확률시나리오 동시산출
	기계학습 기반 기면 초기화 기술개발
	애자일(Agile)기법을 적용한 SoC 기반 소프트웨어 개발 프레임 구상
빅데이터 분석	대류 경계층 및 대기순환 모델 관련 모수화 연구
	대기 관측자료의 시공간 분석, 회귀분석, 베이지안(Bayesian) 분석
	대기 자료의 기계학습(machine learning) 등 관련 연구
	여러 기상변수의 비선형성(non-linearity)을 고려한 예측기법 도입 연구
	인공신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구
	Ensemble Kalman filter(EnKF), 변분분석 등을 활용한 기상예측시스템
	머신러닝, 결정트리 등 인공지능 수치모델의 학습 및 의사결정 지원을 위한 기술연구
	재생에너지 전력 사업자 등 기상정보 최종사용자에 최적화된 예보서비스
	대용량 병렬처리를 요구하는 대규모 연산의 효율적 수행을 위한 고성능 슈퍼컴퓨팅(전산 효율성)
	디지털 스토리지(digital storage), 시뮬레이션 플랫폼(simulation platform) 등
	머신러닝을 활용한 초단기·단기 수치예보 개선 및 자동화 연구
	관측 시계열 자료 학습 및 처리를 통한 미래 위험기상 예측
	합성곱 신경망(CNN)을 통한 원격관측자료(위성, 레이더)의 분석, 가공
	이미지 분석/처리/향상/분할/재구조화, 모수 추정(Parameter estimation)

□ **유관기관에서 계획하는 수치예보모델자료 관련 미래기술**

○ 유관기관에서 계획하고 있는 수치예보모델자료 관련 미래기술을 조사함

- 유관기관의 주요 미래기술들은 고해상도, 세분화, 정확도 향상으로 국가 자산 보호 및 인명 피해 저감을 위한 고품질 정보 생산을 목적으로 함
- 의사결정 지원을 위한 구체적이고 정교한 미래기술 활용범위를 요구함
- 예측 시스템의 성능 고도화로 미래기술의 기반 구축이 필요함

<표 3.2.2> 유관기관에서 계획하는 수치예보모델자료 관련 미래기술

분야	기관명	미래기술	비고
농업	국립농업과학원	• 작황/생물계절/병해충모형을 입력자료로 한 농업모형 연계	
방재	국립재난안전연구원	• 예측강우-소하천 유출량 예측 • 강우예측정보를 활용한 도시침수 예측	
	서울기술연구원	• 초단기 수치예보 자료를 활용한 도시하천 실시간 홍수 예경보 시스템 구축	
	한국원자력안전기술원	• 방사성물질 방출 이후 환경감시 실측자료(관측)를 활용하여 방사성물질 방출량 및 방출시기 평가할 수 있는 인버스 모델링(Inverse Modeling) 개발 및 운영	
수문	한국수자원공사	• 스마트 홍수대응의사결정 지원시스템 구축 • 데이터기반의 실시간 댐유역 강우예측 프로세스 강화 기술	
	한강홍수통제소	• 원격관측자료 기반의 홍수 예보	
교통	한국교통연구원	• 기상 재난 시 재난물자 이송 • 살얼음 감시 시스템	
에너지	전력거래소	• 전력 수요 예측 • 신재생 에너지 발전량 예측	
	한국에너지기술연구원	• 신재생자원지도 개발	
산림/생태	국립산림과학원	• 산림유역 단위 산사태 예경보 시스템 • 물리모형을 활용한 고위험지역 동적 산사태 위험지도 • 산사태 장기예보 시스템 고도화	
	국립생태원	• 과정 기반의 생태계 변화 예측 기술	
문화재	국립문화재연구원	• 국지적 기상정보를 이용한 문화재 손상 예방 시스템 구축	
극지/해양	극지연구소	• 결합 지구시스템모델 기반의 연장중기예측모델 구축을 위해 약한 결합 자료동화 기술 구현 • 극지 경계층, 대류, 복사 물리과정 개선 • Polar-WRF 기반의 극지 지역규모 수치예보모델 구축	
	한국해양과학기술원	• 기계학습기법이 조합된 기후예측기술 개발	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 인공신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구

□ **유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료**

- 유관기관에서 계획하는 미래기술 구현을 위해 필요한 수치예보모델자료의 변수, 공간해상도, 시간해상도, 최대예측시간을 조사함
 - 다목적 수요자 맞춤형 상세 변수 생산이 필요함
 - 수치예보모델자료의 단계적 제공 변수 확대로 유관기관의 수치예보모델자료 활용성 제고 지원이 필요함
 - 첨단 보정 기술의 표준화로 산출 자료의 공간해상도 맞춤형 지원이 필요함

<표 3.2.3> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료

분야	기관명	필요 변수
농업	국립농업과학원	• 농장규모(30~300 m)의 지상 2~3 m 높이 기온, 강수, 바람(u-/v-바람, 순간최대풍속), 일사량, 일조시간, 습도, 우박 등
방재	국립재난안전연구원	• 지역, 국지, 초단기 강수, 바람, 기압, 습도 등
	서울기술연구원	• 서울영역 국지(25개 자치구/도시하천 유역 동네예보), 초단기(1시간 이내, 10분, 1분) 강수, 기온
	한국원자력안전기술원	• 초단기 단일면/기압변 변수
수문	한국수자원공사	• 전구 또는 동아시아 영역의 지표장(2 m 기온, 2 m 상대습도, 10 m u-/v-바람, 지표기압, 해면기압)과 연직장(기온, u-/v-바람, 상대습도, 지위고도)
	한강홍수통제소	• 위성 및 강우레이더와 융합할 수 있는 2차 가공자료 필요
교통	한국교통연구원	• 바람, 기압, 습도, 온도, 강수, 누적강수
	전력거래소	• 전국/지역 단위 지상/연직 기온, 강수, 바람, 습도, 일사
에너지	한국에너지기술연구원	• 지상 변수: 기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등 • 연직 변수(모델면/기압면): 기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등
	국립산림과학원	• 국지규모 초단기 강수
산림/생태	국립생태원	• 전국, 지역규모 장기(10년 이상) 기온, 강수, 바람, 습도, 일사량, 식생의 계절변화, 탄소흡수량 변화 등
	국립문화재연구원	• 기후 변화 자료
극지/해양	극지연구소	• 전구규모 지상/기압면의 기온, 바람, 상대습도, 비습, 지위고도, 운량, 지면 기압(해면/표층), 강수, 복사플럭스, 난류열속, 운량
	한국해양과학기술원	• 전구규모 대기 화학 및 해양 생지화학변수 등

- 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료 변수 빈도는 ‘기온’, ‘바람’, ‘습도’가 가장 높았고, 다음으로 ‘강우’ > ‘기압’ > ‘지위고도’, ‘일사량’, ‘운량’, ‘난류열속’의 순서를 보임
- 기본 제공 변수에서 2차 가공이 필요한 변수로 ‘한강홍수통제소’는 위성 및 강우

레이더와 융합할 수 있는 2차 가공자료를 필요로 함. ‘국립생태원’은 식생의 계절 변화, 탄소흡수량 변화를 필요로 함. ‘한국해양과학기술원’은 전구규모 대기 화학 및 해양 생지화학변수 등을 필요로 함

- 기타 변수로는 우박, 일조시간, 지표온도, 종관/대류강수, 토지피복, 단파속, X/Y-지표/경계층바람응력, 지표거칠기, 잠열속, 대류가용에너지, 지표현열속, 기후변화 자료, 복사플러스가 필요함



<그림 3.2.1> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료 변수별 빈도

	특정지점	특정영역	시군구단위	도단위	남한	한반도	동아시아	전지구
국립농업과학원								
국립환경과학원								
국립재난안전연구원								
서울기술연구원								
한국원자력안전기술원								
한국수자원공사								
한강홍수통제소								
한국교통연구원								
전력거래소								
한국에너지기술연구원								
국립산림과학원								
국립생태원								
공군기상단								
국립문화재연구원								
극지연구소								
한국해양과학기술원								

특정영역: 국립농업과학원-농장단위(100~300 m, 한국수자원공사-전국 댐구역의 면적, 전력거래소-대규모 발전단지, 국립산림과학원- 산림청에서 지정한 고위험지역
 특정지점: 국립재난안전연구원- 특정 소화전 구역, 전력거래소- 대규모 발전단지, 국립문화재연구원- 특정 문화재 위치

<그림 3.2.2> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 수치예보모델자료의 영역

□ **유관기관의 미래기술 구현에 필요한 기상 서비스 및 기술**

- 유관기관에서 계획하는 미래기술 구현을 위해 기상청에서 제공했으면 하는 기상 서비스 및 기술을 조사함
 - 다양한 대용량 예측자료를 신속하고 안전하게 일괄적으로 전송할 수 있는 전용망 기능의 네트워크 환경이 필요함
 - 유관기관 맞춤형 시공간해상도의 예측자료를 재생산하기 위한 시공간 보정 기술 개발 필요
 - 기상청의 상세 기상자료와 유관기관의 상세 자료를 융합한 2차 정보 가공 기술 필요

<표 3.2.4> 유관기관의 미래기술 구현에 필요한 기상 서비스 및 기술

분야	기관명	기상 서비스 및 기술	비고
농업	국립농업과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 한반도 규모 자료의 전송 시스템, 예보생산 시스템 및 생산자료에 대한 교육 	
방재	국립재난안전연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 남한규모의 정확도 높은 강수 예측자료 제공, 수치예보모델의 생산, 전송, 후처리, 검증 제공 • 자료 직수신 및 지원 체계 필요 	
	서울기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 소규모 도시하천 유역단위 기상정보 제공 서비스 • AI, GIS 정보를 연계한 실시간 예측정보 제공 및 지도매핑 • 위험기상 대비 영향예보 시스템 구축(홍수, 보건, 환경, 농업, 산업, 교통 등 사전 주의/알림 서비스) 	
	한국원자력안전기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 초단기 자료의 신속한 자료 전송 	
수문	한국수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관의 필요에 맞춘 후처리 자료 제공, 전용망을 통한 실시간 자료 제공 • 초기 기술(WRF Vtable) 및 매뉴얼 제공 	
	한강홍수통제소	<ul style="list-style-type: none"> • 정확도 높은 강수예측자료 • 각 모델의 예측성능 제공 및 동네예보 수치값 제공 • 홍수예보 입력자료로 활용하기 위하여 단기/중기모델의 3~6시간 자료를 10분 간격으로 분할하는 기술 개발 	
교통	한국교통연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 고도 100 m까지의 3차원 공간에 대한 기상 예측 필요 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 인공 신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구
에너지	전력거래소	<ul style="list-style-type: none"> • 자료 생산, 후처리, 검증, 자료전송 등 업무 	

		전반	
	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> 기상청 수치예보모델자료에 사용자 측정자료를 블렌딩할 수 있는 후처리 기술 개발 	
산림/생태	국립산림과학원	<ul style="list-style-type: none"> 산악지역의 강우특성에 맞는 예측정보 생산 상호 전송망의 속도 및 안정성 개선 후처리 결과에 대한 정기적인 보수교육(최소 연2회) 정확도 검증 방법 및 결과에 대한 연보 	
	국립생태원	<ul style="list-style-type: none"> 모델간(기상모델+지표생태모델) 커플링 기술 개발 	
문화재	국립문화재연구원	<ul style="list-style-type: none"> 동아시아/한반도/개별 문화재 위치에 대한 기상변화 이력 및 미래 예측자료 생산 	
해양	한국해양과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> 기상청 수치예보모델결과 활용을 위해 Hindcast 기간을 최대한 늘림 자료전송을 위해 통일된 포맷으로 단일 플랫폼에서 제공 	<Table 2.3.1> (한수에 후속사업) 자료처리 및 관리기술 개선/표준화

□ **유관기관의 수치예보모델자료 활용 미래기술**

- 유관기관은 융합 기반의 수치예보모델자료 활용 미래기술 개발 추진 중
- 수치예보모델자료 활용과 더불어 기상산업의 발전을 위해 유관기관과 기상청이 협력한 미래기술 개발 필요

<표 3.2.5> 유관기관의 수치예보모델자료 활용 미래기술

분야	미래기술	비고
수치모델링 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 기상·인공지능 융합 기반의 영향 기반 의사결정 지원 기술 • 특수 지형(원전, 공군기지, 1 m 이상 암반 영역 등)에 특화된 재난·재해 예측 기술 • 첨단 자료동화 시스템을 활용한 북극 해양/해빙 영역의 최적 관측망 디자인 기술 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 인공 신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구
	<ul style="list-style-type: none"> • AI, 스마트폰 네트워크, 자율 디바이스를 활용한 GAN(Generative Adversarial Network) 구축을 통해 위성 이미지와 지상레이더 시스템을 활용한 국내 기상 예측 기술 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 인공 신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구
기상 예보 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 항공기 조종사 맞춤형 비행 경로 기상 예보 및 가시화 기술 • 특정 지점 정보(도로, 문화재)와 기상예측결과가 융합된 3D 매핑 자동화 기술 • 자율주행 시 도로시설과 연계한 도로 위험 기상 요소 및 도착지 기상 예측 정보 제공 기술 • 도로 인프라의 노후화/변질에 대비한 기상 영향 예보 기술 • 관로 설계 및 우수로 배관 개선 등 기반 설비 시설 구축을 위한 강수량 예측 기술 	
기상 관측 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 공백 영역(높은 해발고도, 험한 지형, 수변지역(해변가, 댐))의 기상 실황 추정 기술 	
기상 서비스 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 부처간 데이터 전송에 최적화된 범정부 통합 클라우드 시스템 • 모바일로 검색한 목적지의 기상정보 자동제공 기술 • 복합 재해 진단(풍수해 강도 및 빈도 등)에 따른 문화재 보수·보강 기술 	

3.2.2. 해외 기상분야 미래 기술 발전 방향

□ 조사목적

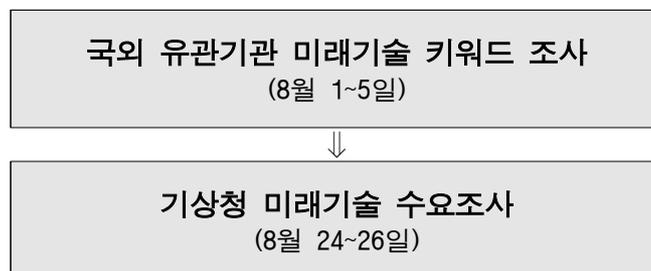
- 국가의 기상 분야 정책 지원 및 미래 수치예보자료 수용을 반영한 한국형 수치예보모델 확장·개발 전략 계획 도출

□ 조사대상

- 미국 오크리지 국립연구소(ORNL; Oak Ridge National Laboratory), 미국 해양대기청(NOAA; National Oceanic and Atmospheric Administration), 미국 제트추진연구소(JPL; Jet Propulsion Laboratory) 전문위원 3인
 - ORNL은 미국 에너지국(DOE; Department of Energy) 소속의 국립연구소 중 최대 규모의 과학/에너지 연구소로, 주요 연구분야는 고성능 컴퓨팅, 에너지, 중성자 과학 등이며, ORNL에 구축한 신규 슈퍼컴퓨터 ‘프론티어(Frontier)’는 1.1 엑사플롭스로 엑사스케일의 장벽을 뛰어넘는 세계 최초의 슈퍼컴퓨터로 등극
 - NOAA는 미국 상무부의 지구 해양과 대기상태를 조사하는 중앙행정관청으로 연구 프로그램, 선박, 위성 등을 통해 기후, 날씨, 해양 및 연안의 변화를 이해하고 예측함으로써 국민과 의사결정자에게 신뢰할 수 있는 정보를 제공하며 연안 및 해양 생태계와 자원을 보존 및 관리함
 - JPL은 미국 항공우주국(NASA)의 무인 탐사 우주선 등의 연구 개발 및 운용에 종사하는 연구소로, 캘리포니아 공과대학교(Caltech; California Institute of Technology)의 연구기관으로 우주 탐사 계획의 기술개발을 실시함

□ 조사방법

- 국외 유관기관의 미래 발전 전략을 기반으로 미래기술 키워드를 조사하고, 결과를 바탕으로 기상청 수치모델링센터에서의 미래기술 수요조사를 실시



<그림 3.2.4> 유관기관 수요조사 단계별 조사기간

3.2.2. 국외 유관기관의 미래기술 키워드 조사 결과

□ ONRL의 미래기술 키워드 조사

○ 미래기술 키워드

<표 3.2.6> ONRL의 미래기술 키워드 조사 결과

카테고리	미래기술 키워드	설명	비고
인공지능 관련 기술	대체 모델 (surrogate model) 개발	<ul style="list-style-type: none"> 수치 예보 모델의 실행 과정 중 복잡도가 높거나 계산 시간이 장시간 소요되는 과정을 기존 모델 데이터를 활용해 학습한 기계 학습 모델로 대체 비선형 항의 계산, 고차 점성항, 복잡한 물리 모수화 과정(parameterization), 아격자 규모(sub-grid scale) 현상 등의 일부를 대체 계산 시간의 비약적인 감소 기대 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 인공지능망, 3차원 모델링 등의 관련 연구, (빅데이터 분석) 머신러닝을 활용한 초단기·단기 수치예보 개선 및 자동화 연구
	수치 모델의 자동 보정 (autotuning) 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 개발 중인 기상 예측 모델의 다양한 설정을 최적화 하기 위하여, 모델 데이터를 관측치와 비교하고 최적의 설정을 자동 산출 개발 중인 모델을 현업에 적용하기 전, 모델의 기본 (default) 설정에 대한 최종 결정에 반영 	
	딥러닝 기반 기상 예측 (Deep Learning Weather Prediction, DLWP) 모델의 개발	<ul style="list-style-type: none"> 기존 모델과 그 데이터를 적극 활용하여, 딥러닝 기반 기상 예측 모델을 개발 CNN, physics-informed neural network 등의 딥러닝 기술 활용 직접적인 기상 예측보다는, 계산 시간이 짧은 장점을 이용한 단기 앙상블 예보에 적극 활용 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 인공지능망, 3차원 모델링 등의 관련 연구, (빅데이터 분석) 머신러닝을 활용한 초단기·단기 수치예보 개선 및 자동화 연구
컴퓨팅 관련 기술	Exa 규모 (exa-scale) 컴퓨팅	<ul style="list-style-type: none"> Exa 규모 계산 자원을 최대한 활용할 수 있는 기술 개발 다양한 가속화 기기(NVIDIA GPU, AMD GPU, INTEL GPU, FPGA 등)에 적합한 코드 설계 및 최적화 다양한 가속화 기기에 자동으로 대응할 수 있는 시스템 라이브러리 개발 <p>※ ORNL의 프론티어(Frontier)는 1.1 엑사플롭스로 Exa scale을 뛰어넘은 세계 최초의 슈퍼컴퓨터이자 가장 강력한 슈퍼컴퓨터 1위로 선정(2022년).</p>	
	하이브리드 컴퓨팅 전략 (Hybrid computational strategy)	<ul style="list-style-type: none"> 강력한 컴퓨팅 리소스를 연결하여 대규모 데이터 세트를 효율적으로 처리하는 기술 기존 컴퓨팅 인프라에서 발생하는 긴 실행시간, 낮은 품질의 결과, 컴퓨팅 병목현상 해결 	

	컴포저블 코드 (Composable code)	<ul style="list-style-type: none"> • '결합 가능한 기술'이라는 개념을 이용하여 별도의 코딩 작업없이 소프트웨어를 통합하고, 그 결과물을 통해 더 많은 소프트웨어를 설계, 구축할 수 있는 아이디어 • API 및 라이브러리 컬렉션을 통해 결합 및 확장이 용이하고, 코드 베이스 유지관리가 간단 	
	양자 컴퓨팅 (Quantum computing)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 컴퓨팅은 0과 1의 상태가 동시에 나타날 수 있는 확률적 상태, 즉 양자 중첩과 큐비트가 서로 파동처럼 연동하는 '얽힘'현상을 활용하여 단순 2진법의 성능을 훨씬 뛰어넘음 • 중첩과 얽힘이 완벽히 구현되면 2의 n제곱에 해당되는 연산을 한꺼번에 처리할 수 있어 매우 빠른 연산이 가능 <p>※ ORNL은 슈퍼컴퓨터를 기반으로 양자 컴퓨팅 기술 발전위해 연구를 수행하고 있으며, 구글과도 협력 중</p>	
	뉴로모픽 컴퓨팅 (Neuromorphic computing)	<ul style="list-style-type: none"> • 인간 뇌의 신경세포와 시냅스를 모사하여 방대한 양의 데이터를 효율적으로 처리할 수 있는 반도체인 '뉴로모픽 칩'을 이용한 컴퓨팅 기술 • 비구조화 신화를 효율적으로 처리하고 높은 에너지 효율로 방대한 양의 데이터 처리 가능 	
연구 개발 플랫폼	공동 모델 개발 플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> • 거대 모델 개발을 위한 공동 모델 개발 플랫폼 구축 • 각 코드 개발자와 연구자들이 코드 설명, 진행 사항 리포트 등을 작성하고 모델 코드 버전을 플랫폼 내에서 관리 	
	클라우드 컴퓨팅 사용 플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> • IaaS (Infrastructure-as-a-Service): 서버, 스토리지, 네트워크 등 인프라 자원을 사용량 기반으로 제공하는 서비스 • PaaS (Platform-as-a-Service): 개발자가 자신의 어플리케이션을 개발, 테스트, 실행할 수 있는 컴퓨팅 플랫폼을 제공하는 서비스 • SaaS (Software-as-a-Service): 소프트웨어/어플리케이션을 제공하는 목적으로 만들어진 모델, 표준화된 어플리케이션 프로세스를 제공하는 서비스 	

○ ORNL Leadership Computing Facility (OLCF)

- OLCF는 세계적 수준의 고성능 컴퓨팅(high-performance computing; HPC) 리소스와 과학 컴퓨팅에 대한 세계적 수준의 전문 지식을 결합하여 과학 문제를 해결할 수 있도록 지원하는 업무를 수행함(<https://www.olcf.ornl.gov/>).
- 지구과학, 생물학, 화학, 지진학, 공학, 에너지 및 기타 여러 분야 연구를 지원함.
- 지구과학(Earth science) 관련 프로젝트를 수행함.

1) Extreme-Scale Simulations for Advanced Seismic Ground Motion and Hazard

Modeling: 지진 시뮬레이션 및 위험 매핑 도구 개선을 통해 지반 운동 및 지진 위험 등에 대한 연구를 수행함.

2) Improving Shallow Clouds in a Multiscale Earth System model

3) A Baseline For Global Weather and Climate Simulations at 1 km Resolution: 지구의 날씨와 기후를 시뮬레이션하고 이해하는데 있어 “quantum leap(양자 도약)”을 이용한 O(1 km) 해상도 구현을 통해 대기의 전지구 역학 연구를 수행함.

4) Global Adjoint Tomography: 전지구 규모의 지진파를 이용하여 지구 내부를 이미지화하는 연구 수행. 고해상도 시뮬레이션(~1초)를 실행하기 위한 개선 연구를 수행함.

5) Energy Exascale Earth System Model: 첨단 기후 및 지구 시스템을 개발하고 다중 실험실 프로젝트(Multi-laboratory project)인 E3SM(Energy Exascale Earth System Model)을 통해 물 순환의 중요한 특징(해상도, 구름, 에어로솔, 스노우팩, 하천경로, 토지 이용) 및 빙권 시스템(해양-빙권 상호작용, 빙상 역학, 해수면 상승 등)에 대한 연구를 수행함.

○ Artificial Intelligence and Technology Office (AITO)

- 미국 에너지부(DOE)는 에너지, 환경, 원자력 관련 과제의 대응을 위해 인공지능과 머신러닝 기술의 중요성을 인식하여 2019년에 AITO 신설
- AITO의 2021-2022년 목표

<표 3.2.7.> AITO의 2021-2022년 목표

주요 목표	주요 내용
신뢰할 수 있는 AI/ML	<ul style="list-style-type: none"> • 인공지능 익스체인지(AIX) 시스템 개선 • AI 리스크 관리 플레이북 및 프레임워크 발표 • 에너지부 및 다기관 참여 챌린지 추진 • 대화형 AI 시스템을 보호하기 위한 지침 마련
에너지부 AI/ML 전략	<ul style="list-style-type: none"> • 현재와 미래의 AI 자산 투자 현황 분석 • AI 구조와 도구, 신뢰할 수 있는 AI, 데이터와 접근법에 대한 주요 우선 투자 부문 선정 • 로드맵 및 시행 방안 제시 • 산업, 정부, 학술 기관이 참여하는 컨소시엄 조직
AI/ML 위원회	<ul style="list-style-type: none"> • AI 위원회를 통한 정책 조율과 정보 공유 • 정부 내 다양한 AI 위원회와의 소통과 교류
전략적 파트너십 프레임워크	<ul style="list-style-type: none"> • 국제적 AI에 대한 자문 제공 및 참여

	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 동맹국과의 파트너십 촉진
인력 교육, 훈련, 역량강화	<ul style="list-style-type: none"> • 인공지능이 기후 행동에 미치는 영향을 포함한 보고서 발표 • AI 리더 및 실무자 훈련 • AI 그린 일자리 챌린지 수행

○ 미국 인공지능 기술 개발 정책

- 미 의회는 2020년 국가 인공지능 이니셔티브법(National AI Initiative Act)을 제정함.
- 현재까지 의회에서 제정한 가장 중요한 AI 법률로 향후 연방정부를 위한 비국방 AI 정책의 토대가 될 것으로 예상함.
- 미국이 기술 발전의 글로벌 선두자가 되기 위한 정부 차원 노력의 일환으로, 새로운 인공지능 연구소를 설립하고 연구자들이 더 많은 정부 자료를 이용할 수 있는 방안을 논의함.
- 해당 법안에 의해 창설된 National Artificial Intelligence Research Resource Task Force(NAIRR)은 학생과 연구원에게 AI 컴퓨팅 리소스, 교육 툴, 사용자 지원, 데이터 액세스를 제공을 위한 인프라 청사진 구현을 위해 연방 자문 위원회의 역할을 수행함.

○ Exascale Computing Project (ECP)

- 미국 에너지부에서 추진 중인 exa 규모 컴퓨팅 프로그램의 일환으로, 연구 개발의 가속화 및 DOE 국립 연구소에 exa 규모 컴퓨팅 수용력 증강을 목표로 함
- 국가 정보 보안력 증대, 연구 개발의 가속, 경제 보안, 에너지 보안, 헬스 케어 등의 분야에 전반적인 영향을 미칠 것으로 기대함.
- 지구과학 분야에서 진행 중인 대표적인 ECP의 하위 프로젝트
 - 1) GPU 가속화를 이용한 super parameterization의 성능 개선에 따른 초고해상도 (1 km~3 km) 전지구 구름 시뮬레이션 및 multi-scale modeling framework
 - 2) GPU 가속화를 이용한 초고해상도(< 500 m) 지역 기후 모델의 개발에 따른 수자원, 이상 기상 현상, 식자재 공급 변화 등을 예측
 - 3) 지역 규모의 지진 재난 및 위험 평가를 위한 종합적인 고성능 시뮬레이션
 - 4) 천연 자원 추출과 시추지역의 안정성 진단 및 신규 시추지역의 안정성 예측을 위한 GPU 가속화 된 초고해상도 수문학 및 지질 모델 개발

□ NOAA의 미래기술 키워드 조사

○ 미래기술 키워드

<표 3.2.8> NOAA의 미래기술 키워드 조사 결과

카테고리	미래기술 키워드	설명	비고
인공지능 관련 기술	AI-Based Enterprise Algorithms for Satellite Data Exploitation (위성자료 이용을 위한 AI 기반의 엔터프라이즈 알고리즘)	<ul style="list-style-type: none"> NOAA's National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS)에서 개발 중인 알고리즘으로 AI 기법을 기반으로 극궤도 위성인 (ATMS)와 정지궤도 위성인 ABI를 이용하여 기상 정보를 추출하는데 사용. 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 대기 자료의 기계학습 등 관련 연구 (빅데이터 분석) 인공신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구 (빅데이터 분석) 머신러닝을 활용한 초단기·단기 수치예보 개선 및 자동화 연구
	CoralNet (코랄넷)	<ul style="list-style-type: none"> NOAA National Coral Reef Monitoring Program mission의 하나로 AI를 이용하여 산호초 이미지를 효율적으로 분석하여 산호초 모니터링을 하는데 사용. 	
	Global Neural Network Wind-wave Model Ensemble (전지구 신경망 바람-파랑 모델)	<ul style="list-style-type: none"> NOAA GFSv1.6에서 테스트 중인 물리모수화 기법. 머신러닝을 이용하여, 대기 물리모수화를 수행하는 기법으로 기존의 물리모수화 보다 3배 이상 빠른 속도를 유지하고, 기존의 GFS 모델과 비교할때 구조적인 차이는 없음. 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 인공신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구 (빅데이터 분석) 머신러닝을 활용한 초단기·단기 수치예보 개선 및 자동화 연구
	Video and Image Analytics for Marine Environments (VIAME) (해양환경을 위한 비디오 및 이미지 분석)	<ul style="list-style-type: none"> 머신러닝 알고리즘을 이용하여 저서 생물의 자동 탐지 및 분류. VIAME CNN(Convolutional Neural Network) 분석을 통해 초당 여러개의 이미지를 처리하여 탐지 및 식별을 자동화. 	
	National Ocean Service Coastal Change Analysis Program (C-CAP) (국립해양청 연안변화분석 프로그램)	<ul style="list-style-type: none"> 머신러닝의 convolutional neural networks (ConvNets)를 기반으로 원격으로 감지된 이미지 데이터를 이용하여 미국 해안 지역의 지표정보를 매핑하고 모니터링. 2005년부터 전통적인 머신러닝 방법을 사용했으나 최근 딥러닝 접근 방식의 발전으로 이미지 해상도가 향상되어 전국적으로 고품질의 정보 제공. 	
	Monitoring of Ocean State for Improved Climate Predictions (기후 예측 개선을 위한 해양 상태 모니터링)	<ul style="list-style-type: none"> 머신러닝 알고리즘을 이용하여 기본 해양 모델 역학에서의 6가지 영역(비선형, 남극해, 수직 변형, Quasi-Sverdrupian, 내부 흐름, 깊이 일관성)에 대해 기후모델, 위성 필드 자료 등에 대한 신경망 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 대기 자료의 기계학습 등 관련 연구 (빅데이터 분석) 인

		<p>훈련을 수행하여 핵심 해양 역학 체제 인식</p>	<p>공신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구</p>
	<p>AI 기반 번개예측</p>	<ul style="list-style-type: none"> GOES-R 위성에 설치된 근적외선 광학 과도 감지기(Geostationary Lightning Mapper, GLM)에서 수집된 번개 데이터를 AI 알고리즘에 입력하여 학습한 뒤, 현재의 날씨와 유사한 과거 사례를 이용하여 다음 번개 발생 위치를 예측 	<p><Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 대기 자료의 기계학습 등 관련 연구 (빅데이터 분석) 인공신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구</p>
빅데이터 관련 기술	<p>Multitenancy Cloud (다중임차인 기법)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 클라우드 데이터를 다중의 임차인에게 각각의 저장공간을 제공하고, 각 사용자에게 클라우드 공급자에 권한에 따라 데이터 액세스를 구별해서 제공하는 방법 	
	<p>Hybrid Cloud (하이브리드 클라우드)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 둘 이상의 별개의 클라우드 인프라 (프라이빗, 커뮤니티 또는 퍼블릭)를 구성하여 데이터 및 애플리케이션 이식성을 각 인프라별로 가능하게 하는 기술 	
	<p>Cloud Native (클라우드 네이티브)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 클라우드 컴퓨팅 제공 모델의 장점을 활용하는 어플리케이션을 구축하고 실행하는 접근 방식. 	
연구 개발 플랫폼	<p>Drought monitoring system (가뭄 모니터링 시스템)</p>	<ul style="list-style-type: none"> NOAA CPC 계절 예측 시스템을 이용하여, 5단계의 가뭄 모니터링 카테고리별로 U.S. 가뭄 공간분포를 제공함 (https://www.drought.gov/). 	
	<p>NOAA-CPC outlook maps (NOAA-CPC 아웃룩 지도)</p>	<ul style="list-style-type: none"> NOAA-CPC에서 제공하는 통합 아웃룩. 지상온도/강수량 및 극한기상을 Nowcasting에서 부터 계절예측까지 유저에게 제공하는 플랫폼 (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/forecasts/) 	
	<p>Infrastructure As A Service (IaaS) (서비스를 위한 인프라)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 소비자에게 운영 체제 및 응용 프로그램을 사용할 수 있는 임의의 소프트웨어를 배포하고 실행할 수 있는 처리, 스토리지, 네트워크 및 기본 컴퓨팅 리소스를 제공. 소비자는 기본 클라우드 인프라를 관리 및 제어하지는 않지만 운영 체제, 스토리지 및 배포된 어플리케이션을 제어. 선택된 네트워크(예, 호스트 방화벽)에 대해 제한된 제어 가능. 	
	<p>NOAA Open Data Dissemination (NODD) program (NOAA 개방형 데이터 보급 프로그램)</p>	<ul style="list-style-type: none"> NOAA NODD 프로그램은 민간 파트너십을 통해 상용 클라우드 플랫폼에서 NOAA의 개방형 데이터에 대한 공개 액세스를 제공. 	
	<p>NOAA 4D weather cube</p>	<ul style="list-style-type: none"> NOAA와 NWS의 위성, 레이더, 각종 센서 등으로부터 직접 기상데이터를 수신하고, 가상 데이터베이스를 구성하여 관측 및 네트워크 기반 통신을 통해 예측정보를 자동 또는 사용자 요청에 따라 사용자에게 전달 	

○ NOAA 2022-2026 전략 목표

- 기후에 대비한 국가 건설: NOAA는 업그레이드된 기후정보, 개선된 일기예보 및 향상된 기반 시설을 통해 미래 기후 변화에 탄력적이고 준비된 기후에 대비한 국가를 건설하여, 모든 미국인의 안전과 대비를 보장
- NOAA의 사명에 중심을 둔 가치 형성: NOAA는 증가하는 극한 날씨 및 기후 위험에 대해 모든 지역사회를 준비하기 위한 서비스, 교육 및 훈련제공을 통해 미국의 소외되고 취약한 국민의 요구가 충족되도록 노력. NOAA는 서비스가 부족하고 취약한 지역사회에 대한 범위를 확대를 위한 파트너십에 초점을 맞출 뿐만 아니라 직원의 평등한 기회와 대우를 보장하기 위해 기관 내 관행 구현
- 정보기반 블루 경제에서의 성장 가속화: NOAA는 해양 및 연안 환경에 대한 깊은 이해를 활용하여 미국의 경쟁력을 촉진하기 위해 데이터, 정보 및 서비스를 제공하고, 지속 가능한 해양 산업의 성장을 가속화하고 기술을 촉진

○ NOAA Center for Artificial Intelligence (NCAI)

- Cloud Computing(클라우드 컴퓨팅), 데이터와 관련된 전략 수립 및 업무 수행 (<https://www.noaa.gov/noaa-center-for-artificial-intelligence>)

<표 3.2.9.> NOAA Center for Artificial Intelligence (NCAI) 전략

분야	전략
AI	<ul style="list-style-type: none"> • NOAA 전반에 걸쳐 AI를 발전시키기 위한 효율적인 조직 구조 및 프로세스 수립 • NOAA의 사명을 지원하기 위해 AI 연구 및 혁신 발전 • AI에 관해 연구단계에서 적용단계로의 전화를 가속화 • AI 파트너십을 강화하고 확장 • 인력의 AI 숙련도 증진
Cloud Computing	<ul style="list-style-type: none"> • 클라우드 기반 서비스의 신속한 도입을 통한 혁신 지원 • 클라우드로의 스마트 마이그레이션 추진 • 클라우드 서비스에 대한 안전하고 광범위한 액세스 보장 • 클라우드 공유 서비스를 위한 효과적인 거버넌스 제공 • 클라우드 지원 인력의 역량 강화
데이터	<ul style="list-style-type: none"> • 조직 전체에서 데이터 관리 리더십 역할을 조정 • 데이터를 전략적으로 통제하고 관리 • NOAA 데이터의 최대 활용을 촉진하기 위해 데이터를 최대한 공개적이고 광범위하게 공유 • 데이터 혁신 및 품질 개선을 촉진하여 과학을 발전시키고 데이터 기반의 의사 결정을 지원 • 국가에 대한 NOAA 데이터의 가치를 극대화하기 위해 이해 관계자를 참여시키고 파트너십을 활용

○ NOAA OAR(Oceanic and Atmospheric Research)의 2020-2026 전략 계획

- 해양 환경 탐험: 자원관리 및 대중인식을 지원하기 위해 해안지역의 지식 탐구
- 해양 및 대기 변화 감지: 지구 시스템을 이해하고 대중에게 알리기 위해 관측자료 생성 및 분석
- 예측 개선: 예측 및 예측정확도 및 효율성을 개선하여 인명과 재산을 보호
- 혁신적인 과학 추진: 환경 과학 커뮤니티를 이끌 임무와 관련된 연구를 육성하고 제공

□ JPL의 미래기술 키워드 조사

○ 미래기술 키워드

<표 3.2.10.> JPL의 미래기술 키워드 조사 결과

카테고리	미래기술 키워드	설명	비고
인공지능 관련 기술	Multivariable Fire Prediction[1]	<ul style="list-style-type: none"> 여러 변수를 이용하여 산불을 예보하는 인공지능 모델 베이지안 계층적 모델을 비롯한 다양한 인공지능 모델이 사용됨 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 대기 자료의 기계학습 등 관련 연구 (빅데이터 분석) 인공신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구
	Deep Neural Networks (DNNs) and Topological Data Analysis (TDA)	<ul style="list-style-type: none"> 위상수학적 자료 분석을 통해 복잡한 시공간 자료의 구조를 요약 요약된 구조는 딥러닝 모델의 입력자료가 되어 다양한 현상 (e.g., 산불이나 황사) 탐지에 활용가능 JPL 팀이 기상청의 차세대 기상위성(GK-5)을 위한 알고리즘으로 DNNs과 TDA를 제안한 연구제안서가 심사중임 	<Table 3.2.1> (빅데이터 분석) 대기 자료의 기계학습 등 관련 연구 (빅데이터 분석) 인공신경망, 3차원 모델링 등의 관련 연구
빅데이터 관련 기술	Uncertainty Quantification[1]	<ul style="list-style-type: none"> NASA의 Surface Biology Geology (SBG) 미션은 지구의 생태환경을 관측할 예정 SBG 미션의 hyperspectral imaging spectrometer가 관측하는 자료로부터 생산하는 산출물의 불확실성을 제공할 수 있는 알고리즘을 개발 	
	Cloud-based database[1]	<ul style="list-style-type: none"> Amazon Cloud의 S3 스토리지에 기후관측과 모델 자료를 zarr포맷으로 저장할 경우 자료 분석의 효율성을 극대화할 수 있음 자료 전체를 사용자의 컴퓨터로 전송하지 않고 필요한 자료만 메모리로 불러들여서 처리 	
연구 개발 플랫폼	Label box, Amazon Sage Maker[1]	<ul style="list-style-type: none"> 방대한 자료의 라벨링을 돕는 두 플랫폼을 연구 	
기타	Small satellite remote sensing[2]	<ul style="list-style-type: none"> Colorado State University와 JPL의 Invest - gation into Convective Updrafts (INCUS) 미션은 JPL에서 개발한 레이더와 라디오미터를 탑재한 세 개의 소형위성 (2027년 발사예정) INCUS의 관측 자료는 대류폭풍이 언제, 어디서, 어떻게 생성되며 어떤 대류 폭풍이 악기상을 유발하는지에 대한 이해도를 높일 예정 	

* 출처:

[1]<https://dswg.jpl.nasa.gov/pilot-and-larger-projects/>

[2]https://scienceandtechnology.jpl.nasa.gov/sites/default/files/documents/JPL_2021_Technology_Highlights.pdf

□ 해외기관 미래기술 키워드 반영여부 검토

- 수치모델링센터의 가이드던스팀, 앙상블팀, 전지구물리과정팀을 대상으로 해외기관에서 조사된 미래기술 키워드의 반영여부를 검토함

<표 3.2.11.> 수치모델링센터의 미래기술 키워드 반영여부 검토 결과

분야	미래기술 키워드	기반영	반영가능	반영불가
인공지능	대체 모델 개발	●	●●	
	수치 모델의 자동 보정 기술 개발	●	●●	●
	딥러닝 기반 기상 예측 모델 개발		●●	●
	위성자료 이용을 위한 AI 기반의 엔터프라이즈 알고리즘		●●●	
	전지구 신경망 바람-파랑 모델		●●●	
	연안변화분석 프로그램		●●	●
	기후 예측 개선을 위한 해양 상태 모니터링		●●●	
	딥 뉴런 네트워크와 위상학적 자료 분석		●●●	
	AI 기반 번개 예측		●●●	
	다변수 산불 예측		●●●	
컴퓨팅/ 빅데이터	Exa 규모 컴퓨팅		●●	
	하이브리드 컴퓨팅 전략	●	●	
	하이브리드 클라우드		●●	
	클라우드 네이티브		●●	
	컴포저블 코드		●●	
	양자 컴퓨팅			●●
	뉴로모픽 컴퓨팅			●●
	불확실성 정량화		●●	
	클라우드 베이스 데이터베이스		●●	
연구 개발 플랫폼	공동 모델 개발 플랫폼	●●	●●	
	클라우드 컴퓨팅 사용 플랫폼	●	●●●	
	아웃룩 지도		●●●	
	개방형 데이터 보급 프로그램		●●●	
	4D weather cube		●●●	
	라벨 박스, 아마존 세이지메이커		●●●	

● 가이드던스, ● 앙상블, ● 전지구물리과정

□ 해외기관 미래기술의 국내 자문결과

- 국내 수치예보기술 전문가 2인을 대상으로 해외기관에서 조사된 미래기술 키워드에 대한 국내 기술 수준 및 향후 전망에 대해 조사함

〈표 3.2.12〉 ONRL의 미래기술 키워드의 국내 자문결과

카테고리	미래기술 키워드	자문위원 1	자문위원 2
인공지능 관련 기술	대체 모델 (surrogate model) 개발	매우 도전적인 과제임 계산 시간의 비약적인 감소는 분명 하나 예보값(결과)의 산출의 과정에 서 인공지능 대체 모델은 일종의 블랙박스라 치부되어 산출되는 시 간 별 예보결과와 인과적 설명이 다소 과학적이지 않을 것으로 사료 됨. 현 KIAPS의 과제 중 하나로 시도되 고 있음.	기계학습 기법을 이용한 물리과정 의 에뮬레이션 연구는 약 10년 전 부터 국외에서 연구가 진행되었으 며, 시간성능 향상의 관점에서 의미 있는 발전이 있음. 효용성과 성공 가능성이 높은 연구임
	수치 모델의 자동 보정 (autotuning) 기술 개발	통계적 회귀 기법으로 보정 과정을 생각한다면 인공지능 기술이 기상 학에서 가장 뛰어난 성능을 기대할 수 있는 분야라고 사료됨.	-
	딥러닝 기반 기상 예측 (Deep Learning Weather Prediction, DLWP) 모델의 개발	도전적인 과제임 단기의 앙상블은 현실성 있으나, 변 수 상호 관계의 학습과 결과 도출 이 중요할 것임 현 KIAPS의 과제 중 하나로 수행되 고 있음. (한반도 지역 강수의 실시 간 예보기술, 예보 선행 시간 확보)	메커니즘이 일부 이해되어 예측성 을 부여하는 인자의 구조가 복잡하 지 않은 예측모형의 경우 딥러닝 기반의 예측모형의 예측능력이 확 보될 수 있을 것으로 판단됨. 그러 나 복잡하고 정확한 예측을 목적으 로 하는 일기계의 모델링에는 추가 적인 많은 작업이 필요할 것으로 판단됨.
컴퓨팅 관련 기술	Exa 규모 (exa-scale) 컴퓨팅	수치예보모델 발전과 불가분의 관 계의 과제임 현재 진행형의 키워드 임	수치예보모델은 GPU 또는 TPU 기반 의 가속화가 잘 적용되는 부분이 많아서 해당 기술을 활용한 계산성 능 향상 도모는 의미있는 기술로 판단됨.
	하이브리드 컴퓨팅 전략 (Hybrid computational strategy)	그리드 컴퓨팅의 개념으로 접근하 나, 물리적으로 떨어지고, 이질적인 컴퓨팅 자원 처리가 관건일 것으로 사료됨.	-
	컴포저블 코드 (Composable code)	여러 기관에서 개발되는 다양한 수 치예보모델의 과학적 진보에도 컴 포저블 코드의 개념이 도움이 될 수 있다. 상호 비교와 개발 코드의 상호 교환이 용이 할 수 있다.	범용성 있는 기본 모듈 기반의 프 로그래밍 설계는 높은 자유도와 확 장성을 가지므로 수치예보 발전에 큰 도움이 될 것으로 판단됨. 기상 모델이 아닌 기계공학 분야에서는 이미 일부 활용하고 있는 것으로 알고 있음.
	양자 컴퓨팅	컴퓨팅 자원을 비약적으로 증대할	양자 컴퓨팅 기반의 기술은 매우

	(Quantum computing)	수 있는 ‘게임 체인저’ 로써의 키워드는 분명함. 관련 기술(정확성과 큐비트 수의 증가)이 진보하고 있고, 더불어 기술의 상용화가 되기까지 많은 시간이 필요할 것으로 사료됨.	빠른 속도를 가지고 암호해독 같은 문제를 해결할 수 있지만, 적용할 수 있는 문제가 아직 제한적이고, 한국의 양자컴퓨팅 기술이 매우 낮은 수준에 있으므로 기상분야에 적용하는 것은 아직 시기상조로 판단됨.
	뉴로모픽 컴퓨팅 (Neuromorphic computing)	매우 도전적인 과제. 국내에서 시도된바 없는 것으로 알고 있음.	-
연구 개발 플랫폼	공동 모델 개발 플랫폼	컴포저블 코드’ 와 상호보완되는 키워드. 컴포저블 코드 개발을 지원하는 플랫폼은 소프트웨어적 환경을 제공할 수 있음.	공동 플랫폼 기반의 모델 개발은 다양한 개발자의 참여를 가능하게 하여 수치 모델 발전에 도움이 될 것으로 판단됨.
	클라우드 컴퓨팅 사용 플랫폼	코드 개발자보다 모델 사용자/연구자에게 매력적인 환경을 제공할 수 있음. AWS (아마존 웹 서비스)는 현재 이 키워드로 사업화에 성공하였음. 컴퓨팅 리소스 확보를 위한 아웃소싱이 가능함.	클라우드 기반의 컴퓨팅은 개념적으로 매우 훌륭하나 아직 고용량의 연산을 필요로 하는 문제에는 효율성이 떨어지는 단점이 있음. 예를 들면 Amazon AWS 기반의 수치모델 적분은 계산비용이 상대적으로 높은 수준이며, 기상청의 개발보다는 산업계의 클라우드 인프라가 잘 갖추어졌다는 전제하에 의미있는 것으로 판단됨.

<표 3.2.13.> NOAA의 미래기술 키워드의 국내 자문결과

카테고리	미래기술 키워드	자문위원 1	자문위원 2
인공지능 관련 기술	AI-Based Enterprise Algorithms for Satellite Data Exploitation (위성자료 이용을 위한 AI 기반의 엔터프라이즈 알고리즘)	우리나라도 관측 기상위성 보유국으로, 더욱더 많은 기상위성을 보유하게 된다면 필요성이 더욱 커질 수 있는 기술이라고 생각함.	원격탐사를 기반으로 기상정보를 산출하는 과정에는 항상 최적추정의 문제가 발생하며, 해당문제를 AI 기반으로 해결하는 시도는 성공 가능성이 높고, 매우 가치있는 것으로 판단됨.
	CoralNet (코랄넷)	이미지 데이터를 활용한 연구는 AI의 강점으로 알려져 있으며, 적극적으로 검토할 수 있을 것으로 생각함.	이미지 모니터링에는 기본적으로 AI 기술이 매우 효과적인 것으로 판단됨.
	Global Neural Network Wind-wave Model Ensemble (전지구 신경망 바람-파랑 모델)	매우 도전적인 과제임 계산 시간의 비약적인 감소는 분명하나 예보값(결과)의 산출의 과정에서 인공지능 대체 모델은 일종의 블랙박스라 치부되어 산출되는 시간 별 예보결과의 인과적 설명이 다소 과학적이지 않을 것으로 사료됨. 현 KIAPS의 과제 중 하나로 시도되고 있음.	물리 모수화 과정에 기계학습기법을 적용하여 에뮬레이터를 만드는 작업은 시간 성능 향상에서 유의미한 성과를 내고 있으며 실현가능한 기술로 판단됨,
	Video and Image Analytics for Marine Environments (VIAME) (해양환경을 위한 비디오 및 이미지 분석)	고해상도 관측 이미지 자료 확보가 관건으로 생각함.	이미지 분석 및 모니터링이 수반되는 작업에는 기계학습 기법의 효용성이 높음. 다만 해당 기술은 수치 모델개발과는 다소 거리가 있음.
	National Ocean Service Coastal Change Analysis Program (C-CAP) (국립해양청 연안변화분석 프로그램)	이미지 데이터를 활용한 연구는 AI의 강점으로 알려져 있으며, 적극적으로 검토할 수 있을 것으로 생각함.	이미지를 분석하여 고품질의 자료를 추정/생산하는 작업에는 기계학습 기법이 효과적으로 활용될 수 있음
	Monitoring of Ocean State for Improved Climate Predictions (기후 예측 개선을 위한 해양 상태 모니터링)	이미지 데이터를 활용한 연구는 AI의 강점으로 알려져 있으며, 적극적으로 검토할 수 있을 것으로 생각함.	분석 요소가 결정된 대상의 모니터링에는 기계학습이 유용할 수 있음. 그러나 핵심 분석 요소를 개발하는 일이 더 어려운 작업을 수반할 수 있음.
	AI 기반 번개예측	기존의 통계(회귀)모델보다 AI 알고리즘을 이용하여 번개 위치를 예측하는 것이 예측성이 뛰어날 수 있을 것으로 생각함. 적극적으로 검토	최적 추정과 경험에 기반한 현상의 재현으로 AI의 활용도가 높을 것으로 판단됨

		토할 수 있을 것으로 생각함.	
빅데이터 관련 기술	Multitenancy Cloud (다중임차인 기법)	클라우드 컴퓨팅을 운용하는 운영 자 측면에서는 필수 불가결하게 고 려해야 하는 키워드로 생각함.	-
	Hybrid Cloud (하이브리드 클라우드)	다수 기관이 동일한 프로젝트를 참 여하는 상황에서 유용할 것으로 생 각함. 현재 우리나라에서는 맞지 않는 상황으로 생각함	-
	Cloud Native (클라우드 네이티브)	클라우드 컴퓨터의 기술적 특성을 잘 이해해야 할 것으로 생각함	-
연구 개발 플랫폼	Drought monitoring system (가뭄 모니터링 시스템)	우리나라에서도 이미 사용하고 있 으며 고려된 키워드로 알고 있음.	의미있는 정보로 판단됨
	NOAA-CPC outlook maps (NOAA-CPC 아웃룩 지도)	기상정보 소비자(일반인)에게 보다 적극적이고 쉽게 알릴 수 있을 것 이므로, 기상 사업자들과 함께 고 려할 만한 키워드로 생각함.	의미있고 유용한 정보제공 플랫폼 이며 연구자를 포함한 많은 유저들 이 있는 것으로 알고 있음.
	Infrastructure As A Service (IaaS) (서비스를 위한 인프라)	매우 도전적인 과제임 클라우드 컴퓨팅의 운영자- 소비자 가 서로 가지고 있는 기술 수준이 매우 높은 상태에서 개발 가능할 것으로 생각함.	-
	NOAA Open Data Dissemination (NODD) program (NOAA 개방형 데이터 보급 프로그램)	민관의 상호 발전을 위해 필요한 기술	자료가 대중 및 사업자에게 매우 효율적으로 공유되는 것을 돕는 중 요한 방안으로 판단됨. 미국 NOAA 와 NASA의 경우 이와같은 자료 공 유 플랫폼의 개발과 운영이 활발 함.
	NOAA 4D weather cube	기상정보 소비자(일반인)에게 보다 적극적이고 쉽게 알릴 수 있을 것 이므로, 기상 사업자들과 함께 고 려할 만한 키워드로 생각함.	-

<표 3.2.14.> JPL의 미래기술 키워드의 국내 자문결과

카테고리	미래기술 키워드	자문위원 1	자문위원 2
인공지능 관련 기술	Multivariable Fire Prediction[1]	미국 NCAR에서 WRF-fire 모델과 AI를 이용한 연구 결과가 있음. 우리나라에는 산불감시를 위한 AI접목 기술이 개발 되어 있다고 알고 있음. 우리나라에도 점점 필요한 기술이 되어가나, 우리나라에 맞는 데이터 수집이 관건으로 생각한다.	물리적/역학적 프로세스를 개발하지 않으면서도 추정이 가능한 방식으로 유용한 기술로 판단됨.
	Deep Neural Networks (DNNs) and Topological Data Analysis (TDA)	우리나라에도 산불감시를 위한 AI접목 기술이 개발 되어 있다고 알고 있음. 예) (쭈알체라	-
빅데이터 관련 기술	Uncertainty Quantification[1]	-	원격탐사 또는 광학 이미지 기반의 분석을 통한 추정 알고리즘에는 빅데이터와 머신러닝 기법이 유용한 것으로 판단됨.
	Cloud-based based database[1]	이미 사용 중이거나 사용 가능한 기술(키워드)로 알고 있음.	대용량, 고성능 클라우드 기반의 기상/기후/원격탐사 자료의 공유는 매우 효율적인 인프라로 판단됨. 자료형식의 개발도 중요함.
연구 개발 플랫폼	Label box, Amazon Sage Maker[1]	없음(잘 모름)	-
기타	Small satellite remote sensing[2]	-	-

제 4 장 한국형수치예보모델 확장개발전략계획(2023~2030) 수립

4.1. 한국형수치예보모델 확장전략계획 기본방향 도출

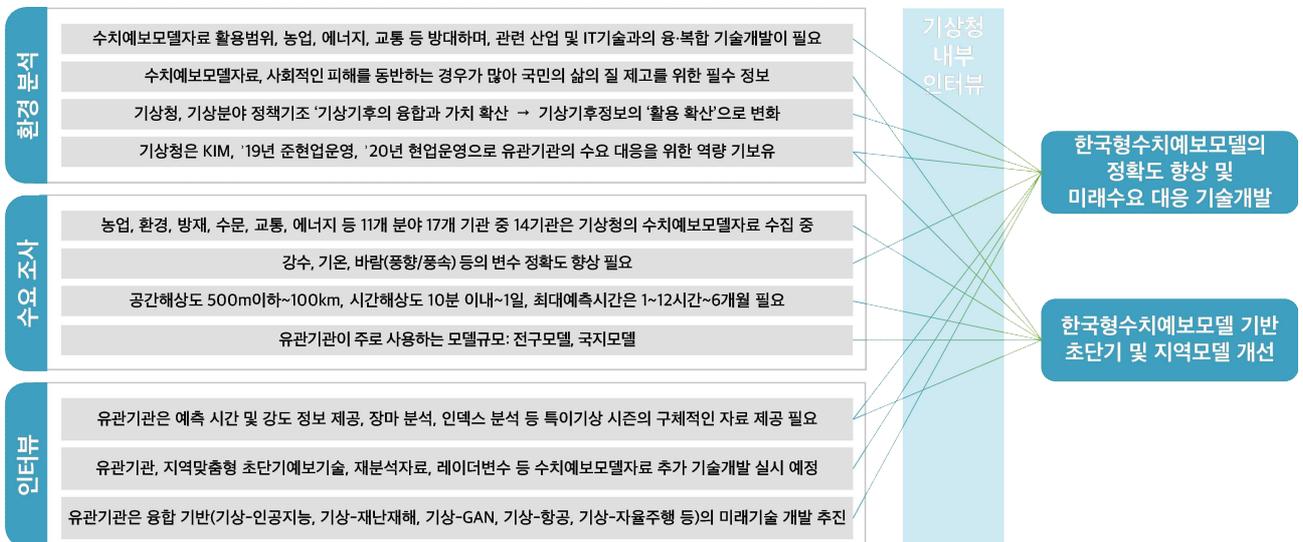
4.1.1. 상세하고 다양한 수치예보정보 생산

- (환경분석) 한국형수치예보모델(KIM)은 국민의 ‘삶의 질’ 제고를 위한 수치예보모델자료의 활용을 지원 중이며, 향후 예보정확도 제고와 유관기관의 정보 활용 확대를 위한 수요자 맞춤형 기상서비스 제공 중요성 확대
- 기상청은 기상분야 정책기조를 기상기후의 융합과 가치 확산('12~'16)에서 기상기후정보의 활용 확산('17~'21)으로 변화하는 등 한국형수치예보모델의 활용도 제고 요구 중
- 수치예보모델자료는 예측이 빗나가는 등의 정확도가 낮으면 사회적인 피해를 동반하는 경우가 많고, 일상생활에 활용하는 경우가 많아 국민의 삶의 질 제고를 위해 필수 정보인 만큼 한국형수치예보모델의 경제적 파급효과를 고려한 활용 단계적 지원방안 마련 필요
- 수치예보모델자료는 농업, 에너지, 교통 등 활용 범위가 방대하여 활용 가치가 높아 관련 산업 및 IT기술과의 융·복합 기술개발이 필요
 - 특히 빅데이터 분석 플랫폼 활용 뿐만 아니라 유관기관의 활용을 위해 고해상도, 가변격자 등의 자료가 필요하며, 수치예보 가이드스 정확도 향상 등이 요구됨
- 수치예보모델자료는 한국형수치예보모델(KIM, '19년 준현업운영, '20년 현업운영 중)의 개발로 고해상도 예측자료 생산이 가능하여 유관기관의 수요 대응을 위한 역량을 기보유
- (수요조사) 수치예보모델자료는 미래 예측자료의 정확도 향상 및 국민 피해 저감을 위해 유관기관에서 적극적으로 활용 중이며, 한반도모델의 강수, 기온, 바람 등 변수 정확도 향상 필요
- 농업, 환경, 방재, 수문, 교통, 에너지 등 11개 분야 17개 유관기관 담당자 중 85%는 수치예보모델자료 활용 경험을 보유하고, 이 중 14명은 기상청의

수치예보모델자료를 수집 중

- 유관기관이 주로 사용하는 수치예보모델자료는 전구모델과 국지모델이며, 강수, 기온, 바람(풍향/풍속) 등의 변수 정확도 향상이 필요
- 유관기관은 수치예보모델자료 활용자의 특성에 따라 비전공자가 이해하고 활용할 수 있는 교육 및 자료처리 기술 전수 등의 활용성 제고를 위한 지원방안 마련 요구
- 유관기관은 수치예보모델자료의 활용을 위해 서버 및 네트워크 증설을 통한 자료전송 시간 단축 및 사용자 접근형 데이터 생산 기능 등 요구
- 유관기관은 대부분 일반적인 PC를 사용하므로 자료 수신기간 단축으로 기상청 자료의 활용을 위한 진입장벽 해소로 수치예보모델자료를 매시간 수집하거나 바이너리 형태로 수집하는 유관기관의 수요 대응 필요
- 유관기관은 공간해상도 500m이하부터 100km, 시간해상도 10분 이내부터 1일까지, 최대예측시간은 1~12시간에서 6개월까지 다양한 범위의 수치예보모델자료 요구
 - 고해상도, 세분화, 정확도 개선으로 국가 자산 보호 및 인명 피해 저감을 위한 고품질 정보 생산이 필요
 - 또한 기상청의 수치예보모델자료와 유관기관의 상세 자료를 융합한 2차 정보 가공 기술개발이 필요함
- (인터뷰) 유관기관은 수치예보모델자료의 정확도 개선과 자료활용 프로그램 및 네트워크 설비 개선 요구 중이며, 지역 맞춤형 초단기예보기술, 재분석자료 등 수치예보모델자료 기술개발 계획 보유 중
 - 유관기관은 데이터 형식 표준화와 모델 변수의 일원화, 매뉴얼, 좌표계정보, 좌표계 전환 코드 등 제공, 상세정보를 주기적으로 전송받을 수 있는 시스템과 기술설명 자료 등 지원 요구
 - 예측 시간 및 강도 정보를 제공하고, 장바 분석, 인덱스 분석 등 이벤트성 특이기상 시준에 대한 구체적인 자료 제공이 필요

- 모델은 접근이 쉽고 코드 개선 및 피드백이 자유로운 환경의 플랫폼 구축이 필요하고, 주기적으로 대용량의 자료를 받을 수 있는 시스템과 문제사항 발생 시 상시 대응 가능한 서비스 관리 시스템 및 담당자 제공 요구
- 지역맞춤형 초단기예보기술, 재분석자료, 레이더변수 등 수치예보모델자료 추가 기술개발 실시 예정이며, 수치예보모델 구동환경, 자료전송 효율성 고려의 시스템 개선을 위한 기술개발도 추진할 계획
- 유관기관은 융합 기반(기상-인공지능, 기상-재난재해, 기상-GAN, 기상-항공, 기상-자율주행 등)의 수치예보모델자료 활용 미래기술 개발 추진 중



<그림 4.1.1.> 환경분석-수요조사-심층인터뷰 결과 요약①

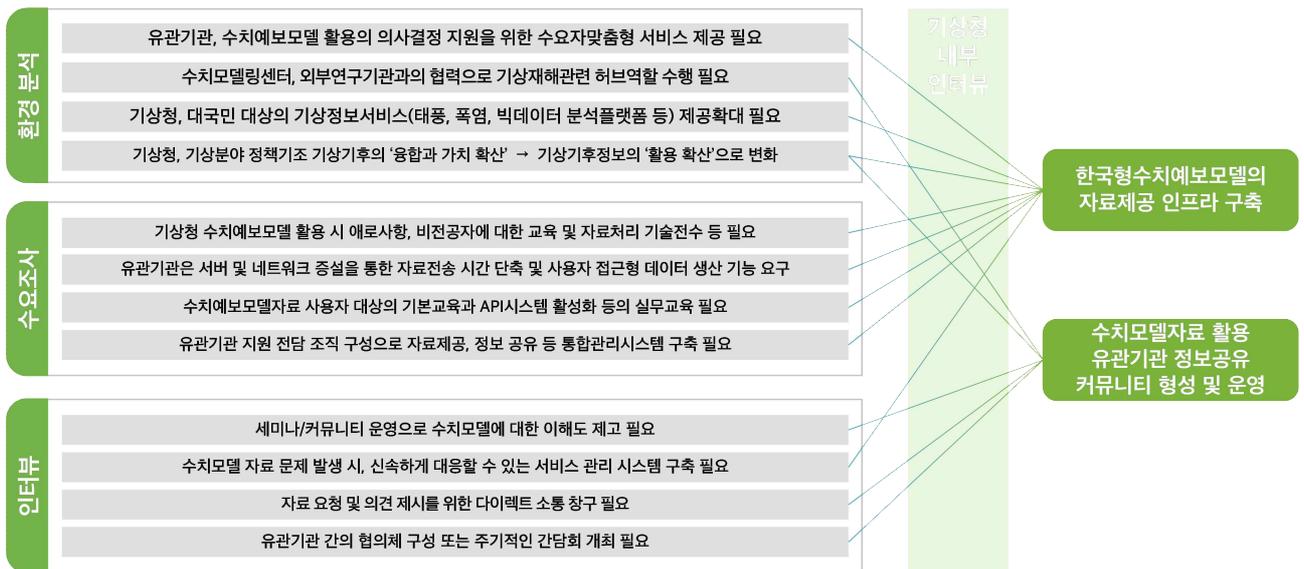
4.1.2. 수치모델 활용 확대를 위한 산출물 편의성 증대

- (환경분석) 기상청은 유관기관이 기상정보를 활용하여 적절한 의사결정을 할 수 있도록 맞춤형 서비스 확대가 필요하며, 유관기관과의 지속가능한 동반자 관계 조성으로 수치모델링센터의 기상재해 관련 허브역할 수행 요구 중
 - 「제3차 기상업무발전 기본계획」에서 기상정보 활용의 의사결정을 지원하기 위해 영향예보서비스를 제공하고, 수요자 맞춤형 서비스 확대 제시
 - 수치모델링센터 업무혁신방안에서는 지속적인 수치모델개발 역량 강화를 위해 수치모델링센터와 외부연구기관과의 협력을 강화하고, 기상재해 관련 허브역할 수행으로 유관기관과의 지속가능한 동반자 관계 조성 요구
 - 기상청은 대국민 대상의 태풍 및 폭염 영향예보 서비스, 기상기후 빅데이터 분석플랫폼(날씨마루) 등 기운영 중이나, 유관기관이 대국민을 대상으로 실시하는 정보 제공 플랫폼은 개선이 필요
- (수요조사) 기상청의 수치예보모델자료를 활용한 경험이 있는 수요조사 응답자는 정기교육과정(기본, 실무)과 기상청의 수치예보모델자료 활용자 대상 애로사항 해결 지원 요구 중
 - 기상청의 수치예보모델자료를 사용하는 14인(13개 기관) 중 5명은 교육이나 매뉴얼 제공 등의 사용자 편의성에 애로사항 보유 중
 - 특히 비전공자 대상의 교육과 자료처리 기술 전수 등 편의성을 위한 환경 마련 요구 중
 - 수요조사에 참여한 17개 유관기관 담당자 중 83%는 기상청 수치예보모델 활용에 대한 교육 및 지원 필요성 보유 중(매우 필요함 50%, 필요함 33%)
 - 교육의 내용은 수치예보모델자료 관련 기본교육과 API 시스템 활성화 등의 실무 교육 운영 필요
 - 유관기관은 기상청이 수치예보모델자료 활용을 위한 지원 전담 조직을 구성하여 자료제공, 정보 공유 등 통합관리시스템 제공 필요성 보유 중
 - 유관기관은 수치예보모델 활용 지원을 위한 프로그램 운영 시, 기상청 수치예보모델 기술 활용 정기교육과정(월별, 분기별, 반기별 등) 참여의사 보유

자는 60%(15개 기관 중 9개 기관)이며, 기술교류 지원은 46.7%(7개 기관)

□ (인터뷰) 유관기관은 수치예보모델의 활용을 위한 정기적인 교육 프로그램 운영 및 애로사항 해결 지원창구 마련과 협의체 구성 요구 중

- 유관기관은 수치예보모델에 대한 정확한 메타데이터 정보 및 매뉴얼, 모형 개발 방법 등에 대한 기술과 노하우 공개 요구 중
- 수치예보모델 활용을 위한 기본적인 지식과 이해 증진을 위한 정기교육과 정과 모델 자료의 변경에 따른 수시 교육과정 운영 필요성 제시
- 수치예보모델 활용 시에 발생하는 애로사항을 해결하기 위한 소통 창구 필요성 보유
 - 자료 요청 및 의견 제시를 위한 다이렉트 소통 창구 요구 중
 - 유관기관을 전담으로 지원하는 시스템 구축
 - 유관기관의 수치예보모델자료 활용 현장 밀착 지원 요구
- 유관기관 간의 협의체 구성 또는 주기적인 간담회 개최
 - 유관기관 간의 세미나, 커뮤니티 운영 등으로 수치예보모델에 대한 이해도 제고 필요

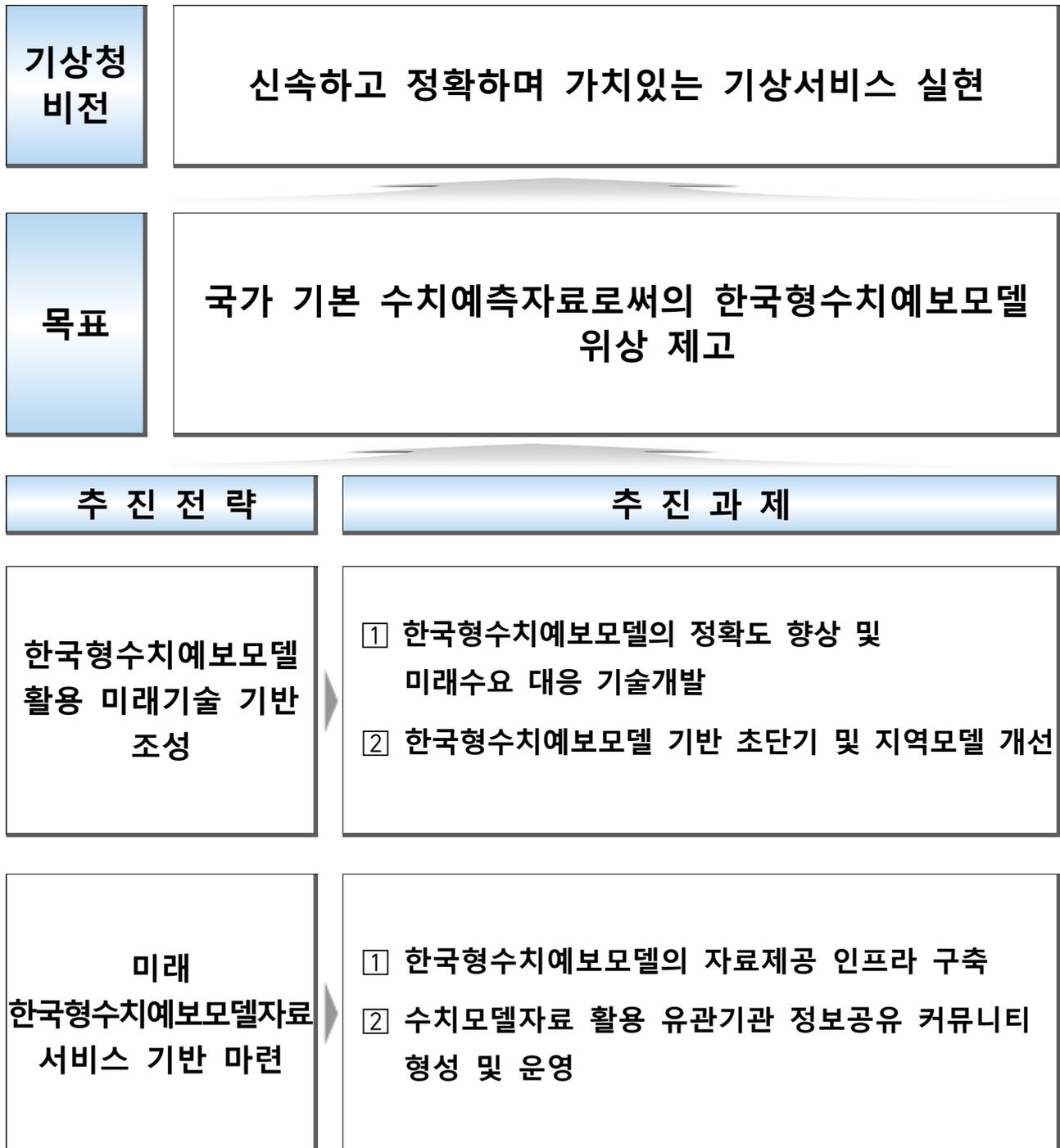


<그림 4.1.2.> 환경분석-수요조사-심층인터뷰 결과 요약②

4.2. 한국형수치예보모델 확장전략계획

4.2.1. 비전 및 목표

- 한국형수치예보모델의 확장개발전략계획은 한국형수치예보모델의 고도화와 함께 유관기관의 수치예보모델자료의 활용을 활성화하기 위한 비전과 목표를 수립



□ 추진전략 및 추진과제별 내용 요약

<표 4.1.1.> 「한국형수치예보모델 확장·전략계획」 추진전략 및 추진과제별 내용

추진전략	한국형수치예보모델 활용 미래기술 기반 조성		미래 한국형수치예보모델자료 서비스 기반 마련	
추진과제	① 한국형수치예보모델의 정확도 향상 및 미래수요 대응 기술개발	② 한국형수치예보모델 기반 초단기 및 지역모델 개선	① 한국형수치예보모델의 자료제공 인프라 구축	② 수치모델자료 활용 유관기관 정보공유 커뮤니티 형성 및 운영
내용	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관의 자료 제공 및 미래기술 구요 대응을 위한 기반기술 개발 실시 	<ul style="list-style-type: none"> 한국형수치예보모델 기반 초단기 및 단중기 지역모델 개선 	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델자료 활용 시스템 구축 및 애로사항 해결 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델자료 활용정보 공유 커뮤니티 운영 및 교육 프로그램 제공
세부내용	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 수요 대응을 위한 수치모델 제공정보 확대를 위한 기술 개발 유관기관과의 단계적 공동R&D 수행 및 기반기술 개발 미래기술 융합의 수치예보모델 개선 	<ul style="list-style-type: none"> 초단기 위험기상 예측기술개발 단중기 이음새없는 수치예보모델 구축 - 한국형모델 단중기 이음새없는 수치예보모델 구축 - 한국형 지역모델 	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델자료를 원스탑으로 검색하고, 활용할 수 있는 시스템 구축 수치예보모델자료 관리 시스템 활용 애로사항 해결을 위한 지원시스템 운영 	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 및 잠재유관기관 대상의 커뮤니티 구성·운영 수치모델자료 활용 성과 공유회 교육 프로그램 운영 수치모델자료 활용 가이드북 제공
수행주체	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 기상청 수치모델링센터 	<ul style="list-style-type: none"> 기상청 수치모델링센터(한국형수치예보모델사업단 등 포함) 	<ul style="list-style-type: none"> 기상청 수치모델링센터(한국형수치예보모델사업단 등 포함) 서비스진흥국 	<ul style="list-style-type: none"> 기상청 수치모델링센터 기상기후인재개발원
수혜대상	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 및 잠재유관기관 	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 및 잠재유관기관, 수치예보자료 활용 연구자, 국민 등 	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 및 잠재유관기관, 수치예보자료 활용 연구자, 국민 등
수치모델링센터 역할	수요대응 기반기술 개발 공동R&D 추진	초단기·단중기 수치예보모델 개선	자료제공 인프라 구축 협력	정보공유 커뮤니티 주도 및 교육 프로그램 운영 지원

4.2.2. 추진전략별 세부내용

추진전략 1		한국형수치예보모델 활용 미래기술 기반 조성	
목표	<ul style="list-style-type: none"> 초단기·단중기 예측성능 향상과 미래기술 융합의 수치예보모델 개선 		
내용	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관이 요구하는 수치예보자료 제공을 위한 1km 초단기 분석 예측시스템 개발 및 한국형수치예보모델(KIM) 기반의 고해상도·가변격자 모델 개선으로 단중기 수치예보모델 구축 유관기관 수요 맞춤형 모델자료 제공정보를 다양화하고, 4차 산업혁명 관련 미래기술 융합의 수치예보모델 개선, 유관기관과의 단계적 공동연구 수행 		
추진과제별 전략	① 한국형수치예보모델의 정확도 향상 및 미래수요 대응 기술개발	② 한국형수치예보모델 기반 초단기 및 지역모델 개선	
1단계 (23~24)	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보자료의 상세정보 제공, 수치예보모델자료의 2차 자료가공 자율성 제공 하이브리드 클라우드 기술개발 및 하이브리드 컴퓨팅 전략 도출(양상블) 수치모델링센터와 유관기관 간 공동R&D 사전기획 	<ul style="list-style-type: none"> 3km 초단기분석 체계 구축 및 예측시스템 현업화 한국형모델의 고해상도(8km) 체계 구축 및 계통오차 진단·분석 24km해상도 자료동화 및 위성 관측자료 전처리개선 한반도 주변 3~1km 해상도 역학과정과 연직이류개선, 동아시아 영역 고해상도 관측자료 활용 확대 	
2단계 (25~27)	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델자료의 모델 예측수준 정보를 500hPa, RMSE 등 제공 위성자료 이용의 AI기반 엔터프라이즈 알고리즘 개발, 전지구신경망 바람-파랑 모델 개발 수치모델링센터와 유관기관 간 공동R&D를 위한 기반기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 한반도 1km 배경장/분석장생성체계 구축 및 초단기모델 시범운영 시작 장대교량 GNSS 자료 활용체계와 윈드라이다자료 활용체계 개발 및 적용 가변격자 기반 대기-해양 자료동화체계 배경오차 개선 및 관측자료 전처리과정 개선한국형 지역모델 시범운영 	
3단계 (28~30)	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델의 모형 산출 결과 제공 및 기상청 제공 격자단위 정보를 지리적 단위로 제공 딥러닝 기반 예측모델 개발 및 연안변화 분석 프로그램 개발 등 추진 수치모델링센터와 유관기관 간 공동R&D 실시 및 성과 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 한반도 1km 초단기모델 시범운영 및 고도화·최적화 가변격자모델 운영체계-물리과정 최적화 가변격자 기반 대기-해양 자료동화체계 관측오차 및 위성 관측자료 개선·최적화 한국형 지역모델 고도화 및 최적화 	
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> 한국형수치예보모델의 초단기·단중기 예측성능 향상, 유관기관-수치모델링센터 공동연구로 수치예보모델자료 활용성 제고 및 국민 삶의 질 제고에 기여 		

1 한국형수치예보모델의 정확도 향상 및 미래수요 대응 기술개발

- (필요성) 다양한 유관기관의 수치예보모델자료 활용 확대를 위해 수치예보모델정보의 상세화·정교화 및 자료의 표준화와 수치예보모델자료를 활용하거나 활용계획 중인 유관기관의 수치예보모델자료 활용 중장기 애로사항 해결 필요
- (목표) 유관기관 수요 맞춤형 모델자료 제공정보 확대와 미래기술 융합의 수치예보모델 개선으로 유관기관 활용도 확대 및 미래 수치예보모델자료 활용 공동연구 추진
- (수행주체) 수치예보모델 기활용 중이고, 기상청의 수치예보모델자료 활용의 미래 기술 개발 의사 보유 중인 유관기관과 기상청 수치모델링센터
 - (수혜대상) 수행주체와 동일
- (내용) 유관기관 수요 맞춤형 모델자료 제공정보를 확대하고, 4차 산업혁명 관련 미래기술 융합의 수치예보모델 개선, 유관기관과의 단계적 공동연구 수행으로 수치예보모델자료의 개선과 유관기관의 수치예보모델자료 이해도 제고 동시 추진
 - 유관기관이 수치예보모델자료를 활용하기 위해 필요한 자료의 형태(극한값, 자료의 표준화, 자료가공 자율성 제공 등)를 다양화하기 위한 기술 개발
 - 기상청 수치모델링센터와 유관기관이 R&D과제를 기획하고, 수행함으로 수치예보모델자료 제공자와 활용자 간 이해 간극 해소
 - 수치모델링센터는 공동R&D 수행을 위한 기반기술 개발 포함
 - 인공지능, 컴퓨팅, 연구개발 플랫폼 등 4차 산업혁명 관련 미래기술과의 융합기술 개발
 - 해외기관 미래기술 조사 결과 반영으로 글로벌 수치예보기술 개발방향 반영
- (단계별 전략) 수치예보모델자료의 지리적 단위 정보제공 및 자율성 제공, 기상청 수치모델링센터와 유관기관이 협력하여 실시할 공동연구 기획 및 R&D 예산 확보

○ 수요대응 수치예보모델자료 제공정보 확대를 위한 기술개발

- (23~24) 수치예보자료의 극한값, 시간 분포 패턴 등 상세정보를 제공하고, 수치예보모델자료의 2차 자료가공 자율성 제공
- (25~27) 수치예보모델자료의 모델 예측수준 정보를 500hPa, RMSE 등 제공
- (28~30) 수치예보모델의 모형 산출결과 제공 및 기상청 제공 격자단위 정보를 지리적 단위로 제공



<그림 4.1.3.> 수요대응 수치예보모델자료 제공정보 확대 로드맵

○ 공동연구 R&D과제 추진을 위한 기반기술 개발

- (23~24) 수치모델링센터와 유관기관 간의 공동R&D 수요발굴 등 사전기획 실시
- * 수치모델링센터와 유관기관 간 보유기술 공유로 핵심 R&D분야 도출로 공동R&D 사전기획 실시
- * 유관기관과의 공동R&D 추진으로 유관기관 보유의 수치예보모델자료 활용 애로사항 해결을 지원하고, 유관기관 모델자료 활용자의 활용역량 개선 동시 추진
- * 기상청은 유관기관과의 공동R&D 실시로 결합 지구시스템모델 기반 자료동화 기술 구현, AI, 클라우드 등과의 융합 및 예·경보 시스템 구축 등 추진 가능성 보유 중

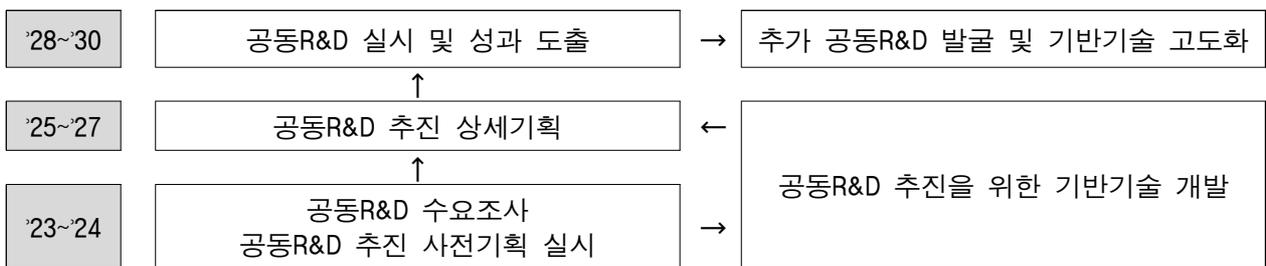
<표 4.1.2.> 기상청과 유관기관간 공동R&D 추진과제 리스트(안)

중기(25~27)	<ul style="list-style-type: none"> • 결합 지구시스템모델 기반의 연장중기예측모델 구축을 위해 약한 결합 자료동화 기술 구현 • 극지 경계층, 대류, 복사 물리과정 개선 • 신재생자원지도 개발
장기(28~30)	<ul style="list-style-type: none"> • AI, 스마트폰 네트워크, 자율 디바이스를 활용한 GAN(Generative Adversarial Network) 구축을 통해 위성 이미지와 지상레이더 시스템을 활용한 국내 기상 예측 기술 • 과정 기반의 생태계 변화 예측 기술 • 관료설계 및 우수로 배관 개선 등 기반 설비 시설 구축을 위한 강수량 예측 기술 • 관측 공백 영역(높은 해발고도, 험한 지형, 수변지역(해변가, 댐))의 기상 실태 추정 기술 • 국지적 기상정보를 이용한 문화재 손상 예방 시스템 구축 • 기계학습기법이 조합된 기후예측기술 개발 • 기상·인공지능 융합 기반의 영향 기반 의사결정 지원 기술 • 기상 재난 시 재난물자 이송 • 살얼음 감시 시스템

- 도로 인프라의 노후화/변질에 대비한 기상 영향 예보 기술모바일로 검색한 목적지의 기상정보 자동 제공 기술
- 방사성물질 방출 이후 환경감시 실측자료(관측)를 활용하여 방사성물질 방출량 및 방출시기 평가할 수 있는 인버스(Inverse Modeling) 개발 및 운영
- 부처간 데이터 전송에 최적화한 범정부 통합 클라우드 시스템
- 산림유역 단위 산사태 예·경보 시스템
- 물리모형을 활용한 고위험지역 동적 산사태 위험지도
- 산사태 장기예보 시스템 고도화
- 스마트 홍수대응의사결정 지원시스템 구축
- 데이터기반의 실시간 댐유역강우예측프로세스 강화 기술
- 예측강우-소하천유출량예측
- 강우예측정보를 활용한 도시침수 예측
- 원격관측자료 기반의 홍수 예보
- 자율주행 시 도로시설과 연계한 도로 위험 기상 요소 및 도착지 기상 예측 정보 제공 기술
- 작황/생물계절/병해충모형을 입력자료로 한 농업모형 연계
- 전력 수요 예측
- 신재생 에너지 발전량 예측
- 첨단 자료동화 시스템을 활용한 북극 해양/해빙 영역의 최적 관측망 디자인 기술
- 초단기수치예보 자료를 활용한 도시하천 실시간 홍수 예경보시스템 구축
- 특수 지형(원전, 공군기지, 1 m 이상 암반 영역 등)에 특화된 재난·재해 예측 기술
- 특정 지점 정보(도로, 문화재)와 기상예측결과가 융합된 3D 매핑 자동화 기술
- 항공기 조종사 맞춤형 비행 경로 기상 예보 및 가시화 기술
- 복합 재해 진단(풍수해 강도 및 빈도 등)에 따른 문화재 보수·보강 기술

- (25~27) 수치모델링센터와 유관기관 간 공동R&D를 위한 기반기술 개발
- * 수치모델링센터와 유관기관 간 공동R&D 추진을 위해 역학과정 등의 기반기술을 개발
- (28~30) 공동R&D 실시 및 성과 도출
- * 공동R&D 단계적 실시 및 공동R&D 결과물의 현업 적용

<표 4.1.3.> 공동연구 R&D 추진 프로세스



○ 수치예보 미래융합 기술개발 - ①인공지능

- * 수치예보 미래융합 기술개발(인공지능, 컴퓨팅, 플랫폼)은 해외기관의 미래기술 개발방향 조사내용과 기상청 수치모델링센터의 미래기술 적용 가능성 검토 실시
- (23~24) 전지구 물리과정 대체모델 개발 및 수치모델의 자동 보정기술 개발
- (25~27) 위성자료 이용의 AI기반 엔터프라이즈 알고리즘을 개발하고, 전지구 신경망 바람-파랑 모델 개발 추진

- (28~30) 딥러닝 기반 예측모델 개발 및 연안변화분석 프로그램 개발 등 추진

○ 수치예보 미래융합 기술개발 - ②컴퓨팅

- (23~24) 하이브리드 클라우드 기술개발 및 하이브리드 컴퓨팅 전략 도출(양상블)

- (25~27) Eva 규모 컴퓨팅 기술개발 및 클라우드 네이티브 기술개발 추진

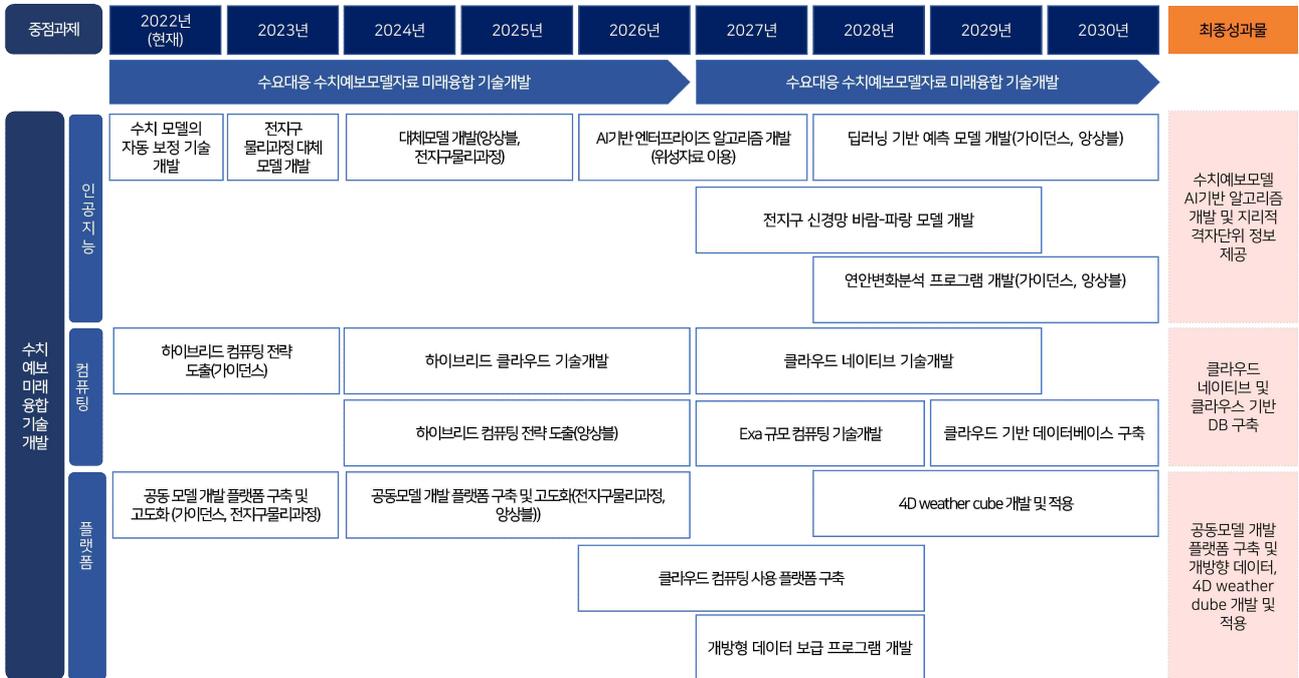
- (28~30) 클라우드 기반 데이터베이트 구축 인프라 마련

○ 수치예보 미래융합 기술개발 - ③연구개발 플랫폼

- (23~24) 공동모델 개발 플랫폼 구축 추진

- (25~27) 클라우드 컴퓨팅 기반 사용자 사용환경 플랫폼 및 개방형 데이터 보급 프로그램 개발기반 구축

- (28~30) 4D weather cube 개발 및 적용 기획



<그림 4.1.4.> 수요대응 수치예보모델자료 미래융합 기술개발 로드맵

□ (기대효과) 상세화된 수치예보모델자료 제공과 유관기관의 수치예보모델자료 활용 애로사항 해결을 위한 모델링 기법 등의 공동연구로 모델자료 활용성 제고, 수치예보모델자료 활용자의 역량 강화

2 한국형수치예보모델 기반 초단기 및 지역모델 개선

- (필요성) 수치예보모델의 초단기 예측시스템 해상도 및 예측기법 개선으로 예측정보 제공기간의 신속성 및 유관기관 활용도 증진 및 단중기 예측성능 향상과 한국형 지역모델 개선으로 상세한 수치예보모델자료 제공 필요
- (목표) 유관기관의 한국형수치예보모델자료활용의 사전대응능력 강화를 위한 초단기 예측시스템 해상도 및 예측기법 개선 및 한국형 전지구모델 개선을 통한 단중기 예측성능 향상
- (수행주체) 기상청 수치모델링센터(한국형수치예보모델사업단 등 포함)
 - (수혜대상) 수치예보모델 기활용 중이거나 향후 활용할 의사가 있는 유관기관
- (내용) 유관기관이 요구하는 수치예보모델자료 제공을 위한 1km 초단기분석 예측시스템 개발로 예측정확도 개선과 신속성 확대, 한국형수치예보모델 (KIM) 기반의 고해상도가변격자 모델 개선으로 단중기수치예보모델 구축
 - 한반도 초단기 예측시스템을 1km까지 축소하고, 초단기예측시스템의 관측 자료를 서울시 도시데이터자료, 장대교량 GNSS 자료, 원드라이디 등으로 활용 확대
 - 체계 및 물리과정(진단, 개선), 자료동화(관측자료처리), 앙상블, 모델결합 항목별 기술개발 실시
- (단계별 전략) 초단기 예측시스템의 해상도와 관측자료를 개선하고, 낙뢰 및 폭설 예측기법 개발, 단·중기 예측성능 향상을 위한 한국형모델 진단·개선
 - ① 초단기 위험기상 예측기술개발
 - 초단기 예측시스템 해상도 개선 및 최적화 기술 개발
 - (23~24) 3km 초단기 분석 체계 구축 및 예측시스템 체계 현업화 및 km 초단기 기초체계 구축 및 평가
 - * 강수, 기온, 바람(풍향/풍속) 등의 변수 정확도 향상을 위한 기술 개발
 - (25~27) 한반도 1km 배경장/분석장 생성체계 구축 및 초단기모델 시범운영 시작

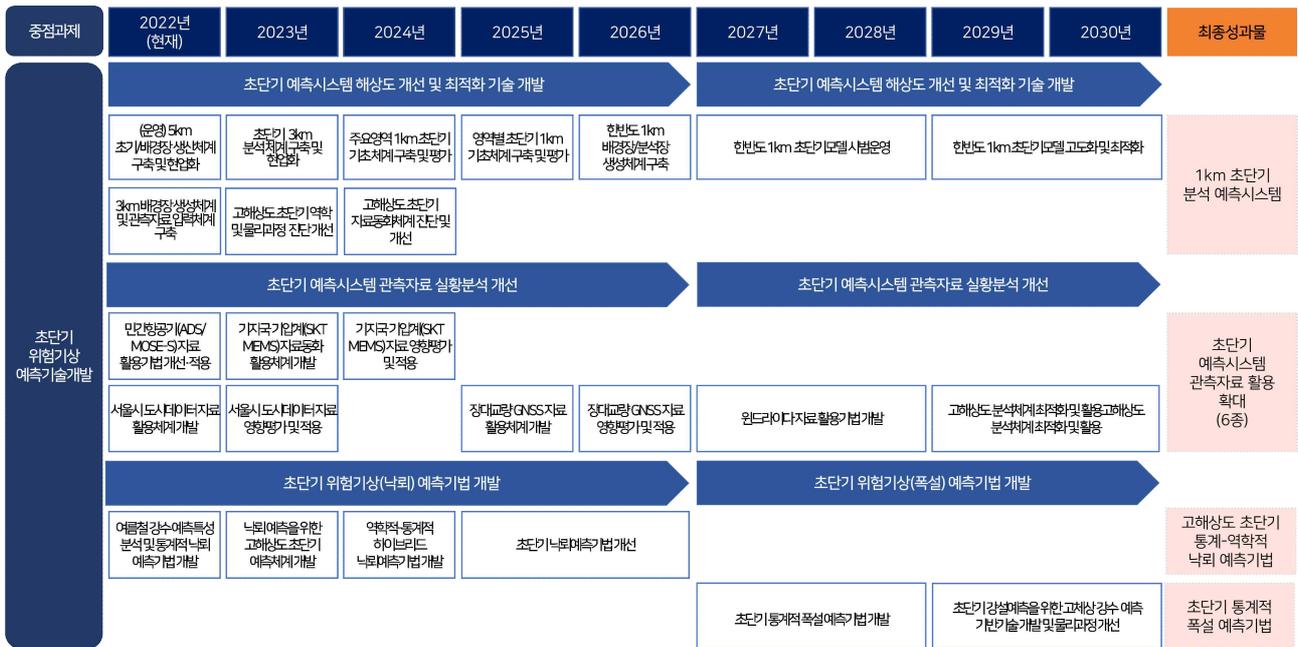
- (28~30) 한반도 1km 초단기모델 시범운영 및 고도화·최적화

○ 초단기 예측시스템 관측자료 실황분석 개선

- (23~24) 민간항공기 및 기지국 기압계 자료 영향평가 및 적용과 서울시 도시데이터의 자료 영향평가 및 적용
- (25~27) 장대교량 GNSS 자료 활용체계와 윈드라이디 자료 활용체계 개발 및 적용
- (28~30) 윈드라이디 자료 활용기법의 적용과 고해상도 분석체계 최적화 및 활용

○ 초단기 낙뢰 및 폭설 예측기법 개발

- (23~24) 낙뢰 규모를 고려한 고해상도 초단기 예측체계 개발 및 초단기 예측시스템 여름철 강수예측특성 분석
- * 수요가 집중되는 시기인 하계를 중심으로 예측 자료의 정확도, 시공간 해상도, 예측 시간, 맞춤형 변수 제공
- (25~30) 초단기 통계적 폭설 예측기법과 초단기 강수예측 기반기술 개발 및 물리과정 개선



<그림 4.1.5> 초단기 위험기상 예측기술개발 로드맵

② 단중기 이음새없는 수치예보모델 구축 - 한국형모델

○ 체계 및 물리과정(진단, 개선)

- (23~24) 한국형모델의 고해상도(8km) 체계 구축 및 계통오차 진단·분석
- (25~27) 가변격자 모델(역학 및 물리과정) 점검과 가변격자 모델 진단체계 구축 및 개선

- (28~30) 가변격자모델 운영체계·물리과정 최적화

○ 자료동화(관측자료처리)

- (23~24) 24km해상도 자료동화 및 위성 관측자료 전처리 개선

- (25~27) 가변격자 기반 대기-해양 자료동화체계 배경오차 개선 및 관측자료 전처리과정 개선

- (28~30) 가변격자 기반 대기-해양 자료동화체계 관측오차 및 위성 관측자료 개선·최적화

○ 앙상블·모델결합

- (23~24) 한국형앙상블모델 개선(멤버 수 25개 → 51개까지 보유 중)과 고해상도 (24km) 한국형 앙상블모델 개발

- (25~27) 앙상블 섭동기법 개선 및 대용량 다중물리 멤버 개발(27년 현업화)

중점과제	2022년 (현재)	2023년	2024년	2025년	2026년	2027년	2028년	2029년	2030년	최종성과물	
체계 및 물리과정(진단) 개선	단·중기 예측성능 향상을 위한 한국형모델 진단 개선					단·중기 예측성능 향상을 위한 한국형수치예보모델 진단 개선					(22~26) 고해상도 한국형모델 운영체계 (27~30) 가변격자 한국형모델 운영체계
	한국형모델(12km) 물리과정 개선(오차진단기반)	고해상도(8km) 한국형모델 체계 구축 및 정검 예측성능 평가	고해상도 한국형모델 계통오차 진단 및 분석	가변격자 모델 및 체계 도입	가변격자 모델(역학 및 물리과정) 분석	가변격자 모델(역학 및 물리과정) 검증 및 운영체계 초·버전 구축	가변격자 모델 운영체계 개선	가변격자 모델 운영체계 최적화	가변격자 모델 운영체계	(22~26) 고해상도 한국형모델 운영체계 (27~30) 가변격자 한국형모델 운영체계	
단중기 이음새없는 수치예보 모델구축 - 한국형모델	전지구 예보 모델의 오차 진단과 예측성 평가(I)	고해상도 전지구예보모델의 예측특성 이해 및 예보 활용 지원 연구(II)	고해상도 전지구예보모델의 예측특성 이해 및 예보 활용 지원 연구(III)	고해상도 한국형모델 중기 예측성 향상 방안 연구	고해상도 한국형모델 기반 예측성능 진단 체계 구축	가변격자 모델 오차 특성 및 물리과정 진단 연구(IV)	가변격자 모델 오차 특성 및 물리과정 진단 연구(V)	가변격자 모델 예측성능 향상 방안 연구(VI)	가변격자 모델 예측성능 향상 방안 연구(VII)	(22~26) 고해상도 한국형모델 물리과정 개선 패키지 및 예측성능 진단체계 (27~30) 가변격자 한국형모델 물리과정 개선 패키지 및 진단체계	
	한국형모델	고해상도(8km) 한국형모델의 24km 자료동화 체계 구축 및 성능 진단	24km 해상도 자료동화과정 개선	관측과 모델간 균형 개선을 통한 자료동화과정 최적화	가변 격자 기반 자료동화체계 도입(사서대 모델이전)	가변격자 기반 대가 해양자료동화체계 구축 및 성능 진단	가변격자 기반 대기-해양자료동화체계 개선 및 최적화(28) 배경오차 개선 → (29) 관측오차 개선 → (30) 최적화	가변격자 기반 관측자료 전처리과정 개선 및 최적화(28) 종관 관측자료 개선 → (29) 위성 관측자료 개선 → (30) 최적화	가변격자 모델 관측자료 전처리과정(관측자료 활용 확대) (27~30) 가변격자 모델 관측자료 전처리과정 운영 및 개선, 관측자료 활용 확대	(22~26) 가변격자 모델 관측자료 전처리과정(관측자료 활용 확대) (27~30) 가변격자 모델 관측자료 전처리과정 운영 및 개선, 관측자료 활용 확대	
모델 앙상블	한국형 앙상블모델 기반 다중모델 앙상블 예측 시스템 구축	고해상도 앙상블모델 개선(멤버수 중대 25개 → 51개)	고해상도(32km → 24km) 한국형 앙상블모델 개발	앙상블 섭동기법 개선 및 다중물리 앙상블 구축	가변격자 기반 다중물리 앙상블 개발(멤버수 200개 이상) (27 현업화)	가변격자 기반 앙상블 예측 시스템 구축	가변격자 기반 앙상블 예측 시스템 구축	가변격자 기반 앙상블 예측 시스템 구축	가변격자 기반 앙상블 예측 시스템 구축	가변격자 기반 대용량 앙상블 모델	
	한국형 앙상블 모델의 성능 및 평가 방법 연구	한국형 앙상블모델 상세 진단 및 예측성 평가(I)	앙상블 확률예측 시스템 진단 및 예측성 평가(II)	앙상블 확률예측 시스템 진단 및 예측성 평가(III)	앙상블 확률예측 시스템 진단 및 예측성 평가(IV)	가변격자 기반 대용량 앙상블 예측 시스템 진단 및 예측성 평가(V)	가변격자 기반 대용량 앙상블 예측 시스템 진단 및 예측성 평가(VI)	가변격자 기반 대용량 앙상블 예측 시스템 진단 및 예측성 평가(VII)	가변격자 기반 대용량 앙상블 예측 시스템 진단 및 예측성 평가(VIII)	가변격자 기반 대용량 앙상블 모델	
합계	한국형모델-피랑도모델(KIM-WW3) 결합시스템 현업화를 위한 병행운영	고해상도(8km) 한국형모델-피랑도모델(KIM-WW3) 결합시스템 개발 및 최적화	고해상도(8km) 한국형모델-피랑도모델(KIM-WW3) 결합시스템 개발 및 최적화	고해상도(8km) 한국형모델-피랑도모델(KIM-WW3) 결합시스템 개발 및 최적화	가변격자 기반 대용량 앙상블 모델						

<그림 4.1.6.> 단중기 이음새없는 수치예보모델 구축 로드맵 - 한국형모델

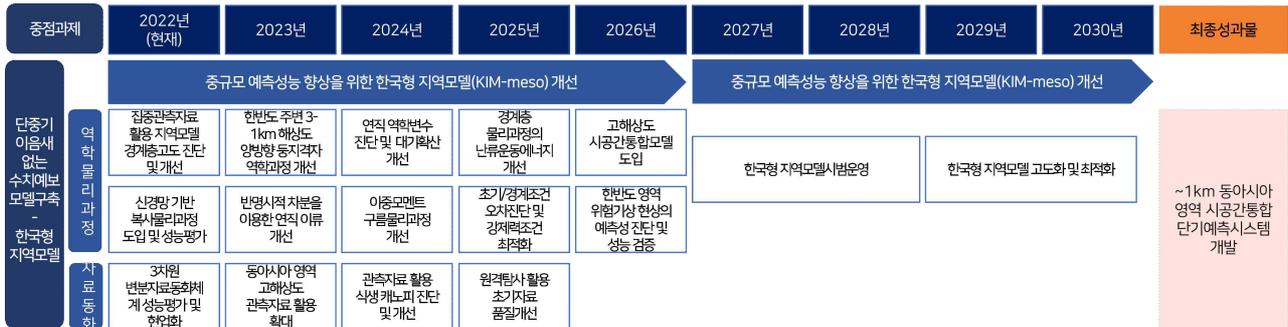
③ 단중기 이음새없는 수치예보모델 구축 - 한국형 지역모델

○ 중규모 예측성능 향상을 위한 한국형 지역모델(RDAPS-KIM) 개선

- (23~24) 한반도 주변 3~1km 해상도 역학과과정과 연직이류 개선, 동아시아 영역 고

해상도 관측자료 활용 확대

- * 기상청의 예측자료, 재분석 자료 제공과 한반도 영역의 자료제공 우선 필요
- (25~27) 한국형 지역모델 시범운영
- (28~30) 한국형 지역모델 고도화 및 최적화



<그림 4.1.7.> 단중기 이음새없는 수치예보모델 구축 로드맵 - 한국형 지역모델

- (기대효과) 초단기·단중기 예측성능 향상으로 수치예보모델자료를 활용하는 유관기관의 예측역량 향상 및 국민 삶의 질 제고에 기여

추진전략 2

미래 한국형수치예보모델자료 서비스 기반 마련

<p>목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> 미래 수치예보모델자료 제공시스템 고도화 및 미래 수치예보모델자료의 활용 지원을 위한 컴퓨팅·스토리지·네트워크 등 인프라 및 지원서비스 구축 유관기관 정보공유 커뮤니티 분기별 운영으로 수치예보모델자료 활용 아이디어 공유 및 활용교육 운영 	
<p>내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관의 미래 수치예보모델자료 활용을 위해 수치예보모델자료를 윈스탑으로 검색하고, 활용할 수 있는 시스템을 구축하고, 수치예보모델자료 관리 시스템 활용 애로사항 해결을 위한 지원시스템 운영 한국형수치예보모델 자료를 활용 중이거나 활용 계획이 있는 유관기관을 대상으로 커뮤니티를 형성하여 정기 교류 추진 	
<p>단계별 전략</p>	<p>① 한국형수치예보모델의 자료제공 인프라 구축</p>	<p>② 수치모델자료 활용 유관기관 정보공유 커뮤니티 형성 및 운영</p>
<p>1단계 (23~24)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관과 저장공간, 모델자료 분석도구 등 공유 시스템 고도화 AI/빅데이터 분석 시스템 재구축 및 DR 개념 백업체계 구축 유관기관 활용현장 맞춤형 밀착지원을 위한 서비스 아이디어 수집 및 도출방안 마련 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 각 유관기관별로 수치예보모델자료 활용 중인 연구자 참여를 위한 정보공유 커뮤니티 수행체계 구축 및 구성 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 개발계획 수립
<p>2단계 (25~27)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 예측 모델링, 수치예보모델자료 시각화, 재분석장 등 공유 시스템 구축·시범운영 인프라 제공 범위별·활용 수요 파악 및 세부기획으로 통합 시스템 인프라 증설 유관기관 애로사항 긴급 해결지원을 위한 원격지원 시스템 시범운영 	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 정보공유 커뮤니티 시범운영 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 검토 및 시범운영
<p>3단계 (28~30)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 수치예보모델자료 수집·분석 클라우드 시스템 구축 수치예보모델자료 보존 영역 구축 유관기관 애로사항 긴급 해결지원을 위한 원격지원 시스템 실시 유관기관 수치예보모델 활용현장 맞춤형 밀착지원 시범운영 	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관 정보공유 커뮤니티 정착 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 참여자간 역량별·교육과정 매핑
<p>기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> 유관기관의 수치예보모델자료의 이해도를 제고하고, 모델자료의 활용범위 다양화로 수치예보모델자료의 활용에 따른 사회적 가치 확대 유관기관간 수치예보모델자료 활용 인프라 기반 정보 공유로 수치예보모델자료의 활용 성과 공유에 따른 유관기관간 활용범위 다양화·고도화 	

1 한국형수치예보모델의 자료제공 인프라 구축

- (필요성) 유관기관의 수치예보모델자료의 효율적 자료 확보·활용을 위해 수치예보모델자료 제공시스템의 개선·운영으로 사용자 접근성 강화와 모델 자료 수집주기와 자료 형태를 고려한 효율적인 자료전송 인프라 구축 필요
- (목표) 미래 수치예보모델자료 제공시스템 고도화 및 미래 수치예보모델자료의 활용 지원을 위한 서비스체계 구축
- (수행주체) 기상청 수치모델링센터(한국형수치예보모델사업단 등 포함), 서비스 진흥국(국가 기상기후데이터 통합시스템과 연계)
 - (수혜대상) 수치예보모델 기활용 중이거나 향후 활용할 의사가 있는 유관기관
- (내용) 유관기관의 미래 수치예보모델자료 활용을 위해 수치예보모델자료를 원스탑으로 검색하고, 활용할 수 있는 시스템을 구축하고, 수치예보모델자료 관리 시스템 활용 애로사항 해결을 위한 지원시스템 운영
 - ① 유관기관의 미래 수치예보모델자료 활용을 위해 수치예보모델자료를 원스탑으로 검색하고, 활용할 수 있는 시스템을 구축하고, 수치예보모델자료 관리 시스템 운영
 - 각종 수치예보모델자료에 대한 검색, 다운로드와 재분석, 시각화 자료를 제공
 - ② 유관기관의 수치예보모델자료 활용 확대를 위한 자료제공 인프라를 개선하여 효율적·효과적인 수치예보모델자료 확보 및 재분석 지원
 - 장기적으로 유관기관의 수치예보모델자료 활용현장 수요 변화에 따른 탄력적 운용을 위해 클라우드 활용 기반 마련
 - ③ 시스템 활용 및 수치예보자료 활용 중 발생하는 애로사항 해결을 위해 긴급 애로사항 해결 지원은 원격지원으로 실시(수치예보모델자료 활용 시스템과 연계)하며, 신속하게 대응하기 위한 서비스 관리 시스템 운영
- (단계별 전략) 유관기관의 수치예보모델자료 활용을 위한 모델자료 관리시스템 운영 지원

○ 수치예보모델자료 제공시스템 구축(기상청 서비스진흥국의 ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ 과 연계하여 수행)

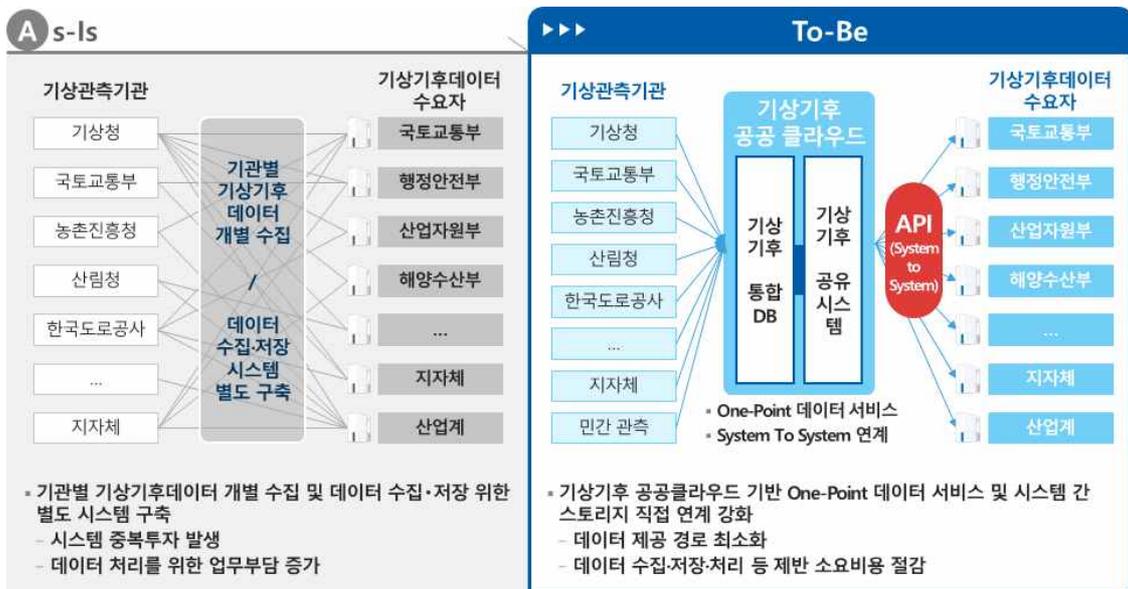
- (’23~’24) 수치예보모델자료 제공시스템 분석·활용 기반 구축

* 유관기관은 수치예보모델자료를 활용할 때, 사전 예고 없는 자료 형식 변경 및 서버 점검으로 인한 애로사항을 보유하고, 시·공간 해상도, 자료 전송 문제 등 사용자 요구를 반영할 수 없는 자료 제공으로 현장 활용 어려움 보유 중

<표 4.1.4.> 유관기관 수치예보모델자료 활용 애로사항 보유항목

네트워크 환경 (자료전송서비스)	자료정보	시공간 해상도	변수의 다양성
4기관	3기관	2기관	1기관

* 기상청 서비스진흥국의 ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ 이행로드맵과 연계하여 기상기후데이터 통합 시스템 고도화와 AI·빅데이터 분석 시스템 구축 추진



<그림 4.1.8.> ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ 데이터 제공 채널 일원화(외부)



<그림 4.1.9.> ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ 이행로드맵

- (25~27) 예측 모델링, 수치예보모델자료 시각화, 재분석장 등 제공시스템 고도화

* ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ 과의 협업으로 신규 API서비스 개발, 공유서비스 기획 등 기상기후데이터 공유 시스템의 고도화 추진

* 유관기관 대상 수요조사 실시로 ‘공유서비스 기획’ 시 필요한 API서비스와 수치예보자료 공유 범위·형태 등 반영

기상기후데이터 수집 범위와 수집 대상		수집 데이터 품															
		기상관측				대용량 관측		지진·화산 정보	기상 예·특보	수치 모델	기후자료				연구용 관측	수문/가뭄 정보	해양 기상정보
수집 데이터 깊이	관측자료	기상정 관측	유관기관 관측	세계기상 관측(GTS)	민간/IoT	기상 위성	기상 레이더				기후변화 감시	외국 기후자료	기후 예측정보	기후변화 시나리오			
	원시	★	●	●	★	★ (L0)	●				★					★	
OC (품질)	●	●	●	★						●							
통계	●	★	★	★							★						
처리					★ (L1)	★			★		★						★
분석/가공					★ (L2)	★		●			★	★	★			★	★
기상기후통합 DB 저장 기간		관측 전기간	관측 전기간	관측 전기간	관측 전기간	관측 전기간	관측 전기간	관측 전기간	생산 전기간	5년	관측 전기간	관측 전기간	생산 전기간	최신 버전	영구	10년	10년

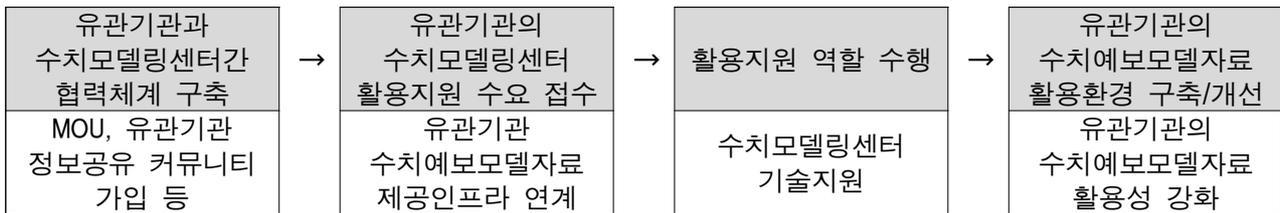
● 현 수집 ★ 수집 확대

<그림 4.1.10.> ‘국가 기상 기후데이터 통합시스템’ ‘16년 기상기후데이터 수집 범위

○ 유관기관 애로사항 맞춤형 해결지원

- (23~24) 유관기관의 수치예보모델자료 활용 시 발생하는 애로사항 지원을 위한 서비스 아이디어 수집 및 도출방안 마련(원격지원)
- * 원격지원 서비스 아이디어 수집 및 서비스 모델 구축
- (25~27) 유관기관 애로사항 긴급 해결지원을 위한 원격지원 시스템 시범운영 및 활용현장 맞춤형 밀착지원을 위한 지원방안(안) 마련 및 계획 수립
- * 기상청 보유인프라 활용지원(이벤트성 수치예보자료 수집 시 인프라 활용)
- * 수치모델링센터 보유인력 파견을 통한 유관기관 수치예보모델 활용지원(3일~1주일)
- * 수치모델링센터 현장출장·파견을 통한 밀착지원(유관기관의 수치예보모델자료 활용 도입 시 현장 방문하여 맞춤형 지원 추진)
- (28~30) 유관기관 애로사항 긴급 해결지원을 위한 원격지원 시스템 정상운영 및 활용현장 맞춤형 밀착지원 시범운영

<표 4.1.5> 유관기관 활용 지원 추진절차



□ (기대효과) 유관기관의 수치예보모델자료 활용을 위한 시스템·인프라 고도화로 수치예보자료 접근성 강화(진입장벽 감소) 및 활용 편의성 극대화

- 유관기관이 개별적으로 수치예보모델자료 활용 시 발생하는 애로사항을 해결할 경우 발생하는 애로사항 해결 기간 및 애로사항 보유로 도출될 수 있는 각종 문제사항의 사전 해결로 수치예보모델자료의 활용 편의성 제고

2] 유관기관 정보공유 커뮤니티 형성 및 운영

- (필요성) 수치예보모델자료 활용 협의체 구성으로 정기 교류회를 추진하여 수치예보모델자료 활용 아이디어 공유 및 기상청 피드백 및 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 운영으로 유관기관의 수치예보모델자료 활용 편의성 제고 필요
- (목표) 유관기관 정보공유 커뮤니티 분기별 운영으로 수치예보모델자료 활용 아이디어 공유 및 교육 프로그램 운영
- (수행주체) 기상청 수치모델링센터, 기상기후인재개발원
 - (수혜대상) 수치예보모델 기활용 중이거나 향후 활용할 의사가 있는 유관기관과 일반인(연구자, 국민 등)
- (내용) 한국형수치예보모델 자료를 활용 중이거나 활용 계획이 있는 유관기관을 대상으로 커뮤니티를 형성하여 정기 교류를 추진하고, 교육 프로그램 운영
 - 수치예보모델자료 활용범위나 활용분야 등으로 구분하여 소그룹을 구성·운영하고, 기술개발과 기술공유, 성과공유 역할 수행
 - 기술개발은 기상청 또는 유관기관과의 미래 수치예보모델자료 활용 관련 공동연구 추진을 위한 사업기획, 유관기관의 수치예보모델자료 수요 발굴 실시
 - 기술공유는 유관기관별 특성에 맞는 수치예보자료 활용 아이디어를 공유하고, 유관기관별 애로사항 해결방안 모색
 - 성과공유는 수치예보모델자료 활용성과 공유회 연 1회 개최로 유관기관의 수치예보모델자료를 현업에 활용한 사례를 발굴하고, 공유함으로써 수치예보모델자료 활용 정보 및 현업 적용 아이디어 지원
 - 11개 분야(농업, 환경, 방재, 수문, 교통 등) 유관기관 뿐만 아니라 수치예보모델자료 활용의사 보유기관, 연구자, 일반인 등 참여
 - 정보공유 커뮤니티의 활발한 온·오프라인 활동 지원과 공동연구 및 자료 활용 협력체계 운영을 위해 수치모델링센터 담당자 참여
 - 기상청 수치예보모델자료를 기활용중이거나, 향후 활용할 의사가 있는 유관기관 연구자 대상, 미래 수치예보모델자료 활용을 위한 기본 교육 프로그램과 실무

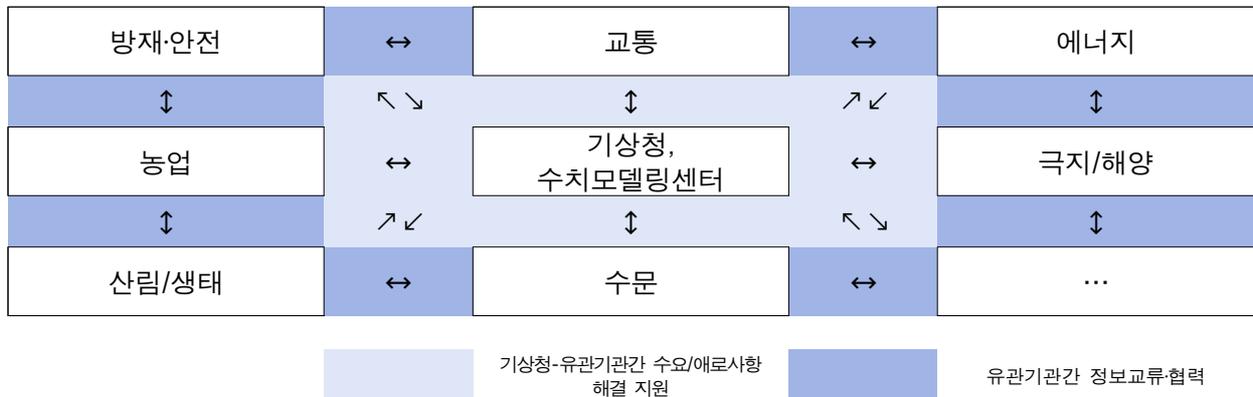
교육 온·오프라인 제공

- 현직 수치예보모델자료 활용 연구자들을 대상으로 전 분야에서 공통적으로 활용되는 수치예보모델자료와 분야별로 필요한 데이터의 활용 방법 교육으로 구분
- 기상기후인재개발원과의 연계·협력으로 교육 프로그램 기획 및 운영

□ (단계별 전략) 유관기관 간의 수치예보모델자료 활용 내용 공유 및 역량 제고를 위한 공식 커뮤니티를 조직하고 운영

○ 유관기관 정보공유 커뮤니티 운영

- (23~24) 수치예보모델자료 기활용자 및 잠재 활용자의 참여를 위한 정보공유 커뮤니티 수행체계 구축 및 구성
- * 수치예보모델자료 기활용자 및 잠재 활용자 간의 차별적인 역량을 교환하는 상호작용을 통해 수치예보모델자료 활용 계획과 R&D 내용 공유로 협업 유도과 성과 창출 필요
- * 수치예보모델자료의 활용범위나 활용분야 등 유사분야별 소그룹 네트워크 구축



<그림 4.1.11.> 수치예보모델자료 정보공유 커뮤니티

- (25~27) 유관기관 정보공유 커뮤니티 시범운영
 - * 분기별 1회 정보공유 커뮤니티 시범운영 추진
 - * 유관기관의 수치예보모델자료 활용범위·활용분야별 수치예보모델 활용 아이디어 공유
 - * 유관기관과 수치모델링센터와의 협력으로 수치예보모델 활용 수요 제시 및 애로사항 해결 지원 요구 등 추진
 - * 유관기관과 수치모델링센터 간의 협력분야 발굴 및 협력연구 수행으로 유관기관의 수치예보모델자료 활용역량 강화
- (28~30) 유관기관 정보공유 커뮤니티 정착
 - * 유관기관 정보공유 커뮤니티 추가 가입기관 지속 확대

○ 유관기관 수치예보자료 활용 성과공유회 개최

- (23~24) 유관기관 수치예보자료 활용성과 수집

* 수치예보자료 기활용 중인 다양한 분야의 유관기관과 향후 수치예보자료 활용 예정인 유관기관들이 함께 참여하는 공유의 장을 폭넓게 마련

- (25~27) 유관기관 수치예보자료 활용성과 대국민 홍보자료 배포 및 추가발굴

* 유관기관 정보공유 커뮤니티 운영으로 수치예보모델 활용성과 우수사례를 발굴하고, 우수 사례 사례집을 작성하여 대국민 홍보자료로 배포

- (28~30) 유관기관 수치예보자료 활용성과 공유회 운영

* 수치예보모델자료에 대한 관심과 활용에 따른 가치 확산을 위해 일반인 대상 수치예보 모델자료 성과공유회 개최(연 1회)

○ 수치예보모델자료 활용 교육프로그램 기획·운영(기상청 기상기후인재개발원 연계)

- (23~24) 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 개발계획 수립

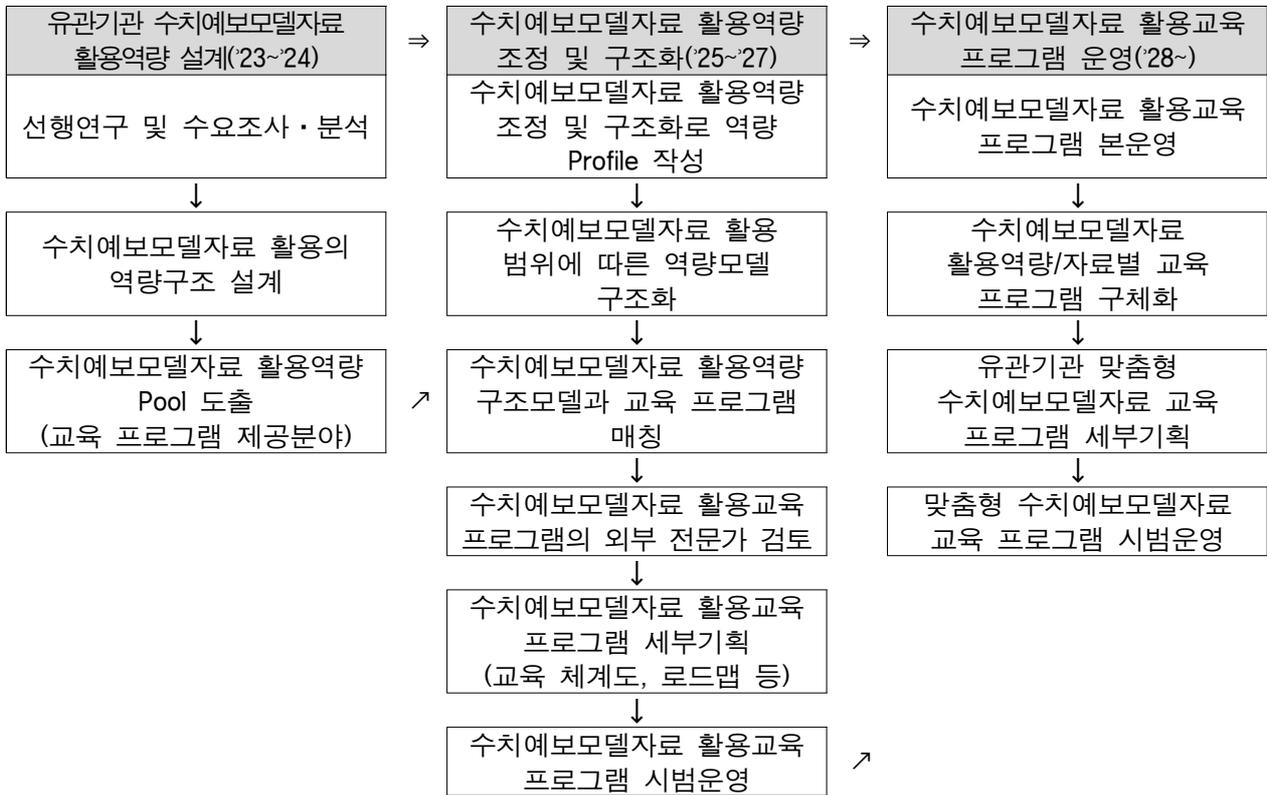
* 기상청 기상기후인재개발원은 ‘현장맞춤형 교육’ 추진으로 업무관련자 대상의 기상기후 데이터 이해 및 활용 실무과정, 태풍 예보역량 강화과정, 선진예보시스템 활용과정을 운영하는 등 교육 프로그램 기획과 운영 역할 수행 중

* 유관기관은 수치예보모델자료 사용자 대상의 기본교육과 API 수치예보자료 활성화 등 실무교육 등 온·오프라인 교육 프로그램 운영 요구 중

* 수치예보모델자료에 대한 기본적인 개념 제공부터 유관분야 활용까지 활용 수준별 교재를 개발하고, 교육과정에 수치예보모델자료 활용 시스템 사용법 교육 프로그램 기획 필요

- (25~27) 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 검토 및 시범운영

- (28~30) 수치예보모델자료 활용 교육 프로그램 참여자간 역량별 교육과정 매핑



<그림 4.1.12.> 수치예보모델자료 활용 교육프로그램 구축 단계(안)
(기상청 기상기후인재개발원 연계 필요)

○ 수치예보모델자료 활용 가이드북 마련

- (23~25) 수치예보모델자료 활용 가이드북 작성을 위한 수치예보자료 제공범위 확정 및 가이드북 개발팀 구성 및 기획
- * 수치예보모델자료 활용자 중 비전공자 이해 수준의 가이드북 제작 필요
- * 수치예보모델자료 활용 가이드북은 ‘수치예보자료 활용 성과공유회’, ‘수치예보모델자료 활용 교육프로그램’ 등에 활용
- (26~28) 수치예보모델자료 활용 가이드북 제작
- * 수치예보모델자료 활용자 중 비전공자 이해 수준의 가이드북 제작 필요
- (29~30) 수치예보모델자료 활용 가이드북 예상 활용자 의견 청취 및 배포

□ (기대효과) 유관기관간 수치예보모델자료 활용정보 공유로 수치예보모델자료의 이해도 제고 및 수치예보모델자료의 활용성과 공유에 따른 유관기관간 활용 범위 다양화·고도화

4.2.3. 기상청 조직과의 연계성

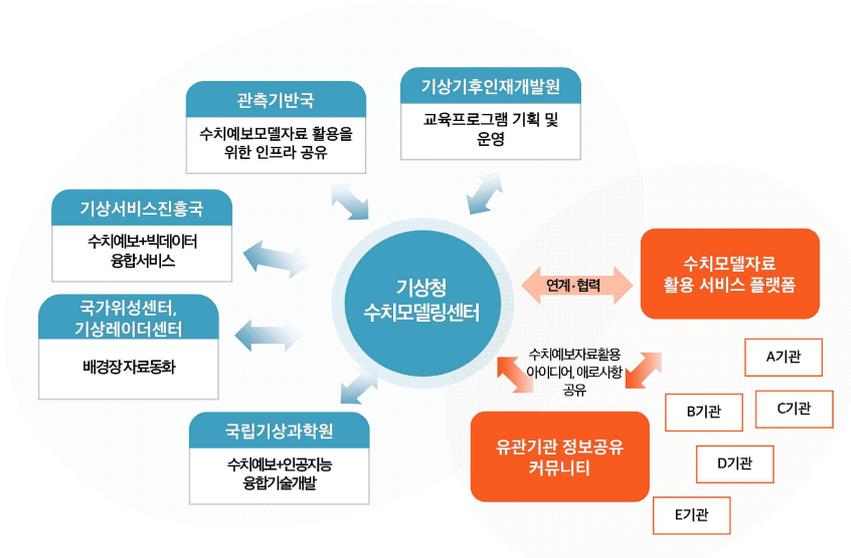
□ 「한국형수치예보모델 확장·개발 전략계획」의 실시를 위해 기상청 내·외부 조직과의 연계·협력이 필수적으로 요구

○ (내부) 기상청 내부 조직은 기상기후인재개발원, 관측기반국, 기상서비스진흥국, 국립기상과학원 등과의 연계·협력이 필요

- 기상기후인재개발원은 유관기관 대상의 수치예보모델자료 활용을 위한 교육 프로그램을 기획하고 운영하기 위한 협력 필요
- 관측기반국은 유관기관의 수치예보모델자료 활용 편의성 확대를 위해 국가기상슈퍼컴퓨터센터와의 인프라 공유 필요
- 기상서비스진흥국과 국립기상과학원은 수치예보모델자료 관련 미래기술 개발 및 서비스 제공을 위해 기상융합서비스과와의 수치예보-빅데이터, 수치예보-인공지능 융합서비스 개발에 협력 필요

○ (외부) 수치예보모델자료 활용 서비스 플랫폼을 활용하거나 활용 예정인 유관기관과의 연계·협력 필요

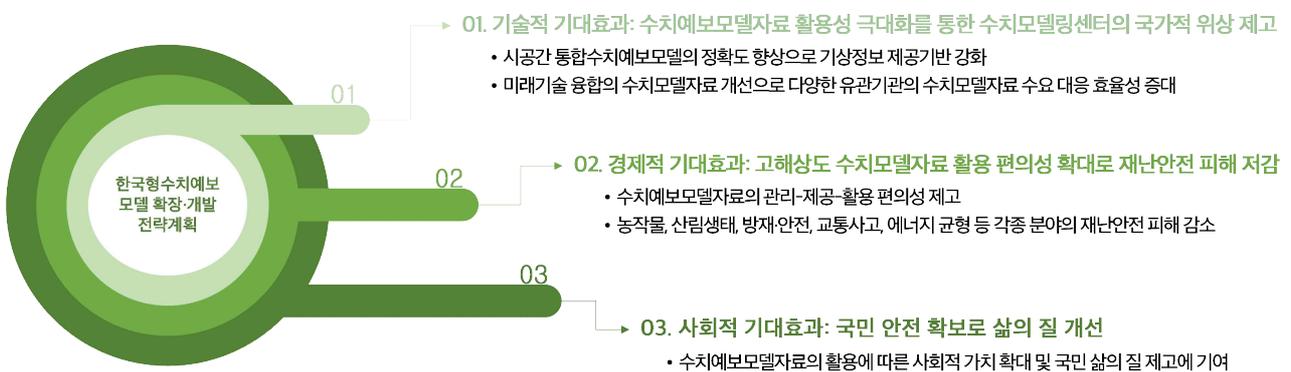
- 정보공유 커뮤니티에 참여하는 유관기관은 수치예보모델자료 활용 관련한 아이디어나 애로사항을 기상청 수치모델링센터와 공유하여 수치예보모델자료의 활용 편의성을 확대하고, 고도화하기 위해 연계·협력 필요



<그림 4.1.13.> 기상청 내·외부 조직과의 연계·협력 방안

4.2.4. 기대효과

- (기술적) 수치예보모델자료 활용성 극대화를 통한 수치모델링센터의 국가적 위상 제고
 - 상세화된 수치예보모델자료 제공과 유관기관의 수치예보모델자료 활용 애로사항 해결을 위한 모델링 기법 등의 공동연구로 모델자료 활용성 제고, 수치예보모델자료 활용자의 역량 강화
 - 유관기관의 수치예보모델자료 활용을 위한 시스템·인프라 고도화로 수치예보자료 접근성 강화(진입장벽 감소) 및 활용 편의성 극대화
- (경제적) 고해상도 수치모델자료 활용 편의성 확대로 재난안전 피해 저감
 - 유관기관이 개별적으로 수치예보모델자료 활용 시 발생하는 애로사항을 해결할 경우 발생하는 애로사항 해결 기간 및 애로사항 보유로 도출될 수 있는 각종 문제사항의 사전 해결로 수치예보모델자료의 활용 편의성 제고, 초기 수치예보모델자료 활용 도입 시 안정적으로 수치예보모델자료를 활용하고 현장에 적용할 수 있는 기반 확보
- (사회적) 국민 안전 확보로 국민 삶의 질 개선
 - 유관기관의 수치예보모델자료의 이해도를 제고하고, 모델자료의 활용범위 다양화로 수치예보모델자료의 활용에 따른 사회적 가치 확대 및 국민 삶의 질 제고에 기여



<그림 4.1.14.> 한국형수치예보모델 확장·전략계획 이행에 따른 기대효과

[별첨①] 수요조사서

통계법 33조(비밀의 보호)에 의거 본 조사에서
개인의 비밀에 속하는 사항은 엄격히 보호됩니다.

기상청 유관기관 수치예보모델 사용자 설문조사

안녕하십니까?

봄인 사이언스 컨설팅에서는 기상청 수치모델링센터의 “수치예보기술 개발전략계획 수립을 위한 연구” 과제를 수행 중이며, 한국형수치예보모델(Korean Integrated Model(KIM), RDAPS-KIM, KLAPS)의 확장·개발전략계획 수립을 위한 국내 유관기관의 기상기술 수요분석을 위하여 유관기관에서의 수치예보모델자료 활용 현황 분석과 한국형수치예보모델자료의 사용 전환을 위한 환경 분석 및 수요 발굴을 하고자 본 심층인터뷰를 진행하고 있습니다.

응답에 소요되는 예상시간은 약 30분 내외이며, 본 설문에는 선택형(객관식)/기입형(주관식) 질문이 포함되어 있습니다. 설문조사에서 밝혀주신 의견은 수요조사 및 통계 처리에만 사용되며, 그 외 목적으로는 사용하지 않습니다.

귀하의 의견이 기상청 수치예보모델자료 활성화에 반영될 수 있도록 잠시 시간을 내어 진지하고 성실하게 답변해 주시길 부탁드립니다.

2022년 7월

봄인 사이언스 컨설팅

- 조사기관 : 봄인 사이언스 컨설팅
- 응답요령 : 항목별로 해당되는 칸에 √ 또는 ○ 체크, 해당내용 직접 기재, 구두답변
- 담당자(문의)
 - 봄인 사이언스 컨설팅: 김춘지 대표

1. 기초 정보

1. 소속기관 일반정보	
성명	
기관명	
부서명	
직위	
연구(업무) 분야	

2. 수치예보모델자료 활용 현황

귀하가 속한 유관기관에서의 수치예보모델자료(기상모델에서 산출된 분석 및 예측 자료) 활용 현황 관련 내용입니다.

2.1. 귀하는 귀하의 기관에서 연구 또는 업무 수행을 위해 수치예보모델자료를 사용한 경험이 있으십니까?

① 있다. (→ 2.3 문항으로 이동)

② 없다. (→ 2.2 문항으로 이동)

※수치예보: 대기의 상태와 운동을 슈퍼컴퓨터로 계산하여 미래의 날씨를 예측

※수치예보모델: 수치예보를 수행하기 위해 지구를 수평과 연직방향으로 바둑판 모양의 수많은 작은 사각형으로 나누어 물리방정식들을 수학적으로 계산하여 미래의 대기상태를 예측할 수 있도록 만든 컴퓨터 프로그램

2.2. (2.1문항에서 ②에 응답한 경우) 귀하의 연구 또는 업무 수행을 위해 수치예보모델자료를 사용하지 않은 이유를 작성해주세요.

① 정확도

② 계산 속도

③ 변수의 다양성

④ 시공간 해상도

⑤ 모델의 범용성(타모델과의 접합 편의성)

⑥ 사용자 편의성(교육, 매뉴얼)

⑦ 자료 용량

⑧ 전산자원 요구사항(CPU, 메모리 등)

⑨ 네트워크 환경(자료전송서비스)

⑩ 업무 연관성이 적어서

⑪ 기타()

응답하신 항목에 대한 보충 설명을 작성해주세요. (구체적인 이유 등)

2.3. (2.1문항에서 ①에 응답한 경우) 귀하는 수치예보모델자료를 어떤 기관에서 수집합니까?(중복응답)

- ① 기상청 (해당 선택지에 응답한 경우 → 2.3.1 문항으로 이동,
해당 선택지에 응답하지 않은 경우 → 2.3.8 문항으로 이동)
- ② ECMWF ③ NCEP
- ④ NCAR ⑤ NASA
- ⑥ 자체생산 ⑦ 기타 ()

2.3.1. (2.3문항에서 ①에 응답한 경우) 귀하가 사용하시는 기상청의 수치예보모델자료는 어떤 규모의 자료입니까?(중복응답)

- ① 전구모델자료
- ② 지역모델자료
- ③ 국지모델자료
- ④ 초단기모델자료
- ⑤ 기타 ()

참고: 기상청 모델자료 특징				
• 전구모델자료, 지역모델자료, 국지모델자료, 초단기모델자료 특징 비교				
구분	전구모델자료	지역모델자료	국지모델자료	초단기모델
영역	전지구	동아시아	한반도	한반도
공간해상도	12 km	3 km	1.5 km	5 km
연직층수/ 최대연직고도	91층 / 80 km	40층 / 18 km	70층 / 39 km	40 층 / 18 km
예보시간	12일 (00/12 UTC)	3일 (6시간마다 갱신)	2일 (3시간마다 갱신)	12시간 (10분마다 갱신)

2.3.2. (2.3문항에서 ①에 응답한 경우) 귀하는 기상청의 수치예보모델자료 중에서 어떤 변수를 사용하시는지 작성해주세요.(다수응답가능)

(예를 들어, 기온, 강우/강설, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등)

참고: 기상청 수치예보모델 변수	
• 지상 변수:	기온, 강우/강설, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등
• 연직 변수(모델면/기압면):	기온, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등

2.3.7. (2.3문항에서 ①에 응답한 경우) 귀하가 기상청의 수치예보모델자료를 사용하는 중에 느껴진 개선되었으면 하는 사항은 무엇입니까?

(2.3.6 문항의 ‘애로사항’ 선택지 내용 참고)

2.3.8. (2.3문항에서 ①에 응답하지 않은 경우) 귀하가 기상청의 수치예보모델자료를 사용하지 않은 이유는 무엇입니까?(중복응답).

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> ① 정확도 | <input type="checkbox"/> ② 계산 속도 |
| <input type="checkbox"/> ③ 변수의 다양성 | <input type="checkbox"/> ④ 시공간 해상도 |
| <input type="checkbox"/> ⑤ 모델의 범용성(타모델과의 접합 편의성) | <input type="checkbox"/> ⑥ 사용자 편의성(교육, 매뉴얼) |
| <input type="checkbox"/> ⑦ 자료 용량 | <input type="checkbox"/> ⑧ 전산자원 요구사항(CPU, 메모리 등) |
| <input type="checkbox"/> ⑨ 네트워크 환경(자료전송서비스) | <input type="checkbox"/> ⑩ 업무 연관성이 적어서 |
| <input type="checkbox"/> ⑪ 기타() | |

응답하신 항목에 대한 보충 설명을 작성해주세요. (구체적인 이유 등)

2.3.9. (2.3문항에서 ②~⑦에 응답한 경우) 귀하가 응답한 기관의 수치예보모델자료는 어떤 규모의 자료입니까?(중복응답)

- ① 전구모델자료
- a. 타기관명/모델명()
 - b. 수평/연직 해상도()
 - c. 최대예측시간/예측시간간격()
- ② 지역모델자료
- a. 타기관명/모델명()
 - b. 영역()
 - c. 수평/연직 해상도()
 - d. 최대예측시간/예측시간간격()
- ③ 기타
- a. 타기관명/모델명()
 - b. 영역()
 - c. 수평/연직 해상도()
 - d. 최대예측시간/예측시간간격()

2.4. 귀하가 속한 기관에서 수치예보모델자료를 사용하여 운영 중이거나 개발 예정인 자체 시스템이 있습니까? 있다면 시스템명과 운영목적을 작성해주세요.(다수응답가능)

① 있음

a. 시스템명()

b. 운영목적()

② 없음

2.5. 귀하의 기관에서 향후 수행하고자 하는 업무 및 연구계획에서 수치예보모델자료를 활용하고자하는 계획이 있으신지 작성해주세요.

(대략적인 연도, 주제(과제명), 목표, 간략한 세부내용 등)

3. 기상청 수치예보모델자료 사용 확대를 위해 필요한 환경 조사

기상청에서는 현업 모델인 한국형수치예보모델(KIM, RDAPS-KIM, KLAPS)을 지속적으로 개발·개선할 계획을 가지고 있습니다. 귀하의 기관에서 [기상청 수치예보모델자료 사용을 위해 필요한 환경](#)이 무엇인지에 관련한 조사입니다.

3.1. 귀하가 수치예보모델자료 활용을 위해 일반적으로 이용하시는 전산자원의 종류를 체크해 주세요.(중복응답)

- ① 기상청 슈퍼컴퓨터
- ② KISTI 슈퍼컴퓨터
- ③ 자체 보유 전산시스템
- ④ 국외기관 (기관명:)
- ⑤ 클라우드 서비스 (서비스명:)
- ⑥ 기타 ()

응답하신 항목에 대한 보충 설명을 작성해주세요. (해당 전산자원을 사용하는 이유 등)

3.2. 귀하가 수치예보모델자료 활용을 위해 일반적으로 이용하시는 전산자원의 규모를 체크해 주세요.

- ① CPU 코어수
 - a. 200코어 b. 200~500코어 c. 500코어 이상 d. 1,000코어 이상
- ② 메모리
 - a. 128GB b. 192GB c. 256GB 이상 d. 512GB 이상
- ③ 스토리지
 - a. 100TB b. 100~500TB c. 500TB 이상

응답하신 항목에 대한 보충 설명을 작성해주세요. (구체적인 전산자원 규모 등)

3.3. 귀하가 **수치예보모델자료 활용**을 위해 일반적으로 이용하시는 **수집 방법**을 체크해 주세요.

① 수집 주기

- a. 매시간 b. 매일 c. 매주 d. 매월 e. 비정기적

② 수집 방법

- a. 자체 연결망 보유 b. 슈퍼컴 접속 c. 기상자료개방포털
 d. 기타 ()

③ 수집 자료 형태

- a. 텍스트(ASCII) b. 바이너리(Binary) c. 그림(gif)
 d. 기타 ()

응답하신 항목에 대한 보충 설명을 작성해주세요. (해당 수집방법을 사용하는 이유 등)

3.4. 귀하는 **향후 수치예보모델자료를 어떤 형식**으로 사용하고 싶으신지 체크해주세요.(중복응답)

- ① 수치예보모델에서 산출된 (재)분석 자료 활용
 ② 수치예보모델에서 예측된 자료 활용
 ③ 수치예보모델에서 예측된 자료를 기반으로 가공된 자료 활용(2차 변수, 응용지수 등)
 ④ 자체적으로 수치예보모델 직접 수행
 ⑤ 기타()

응답하신 항목에 대한 보충 설명을 작성해주세요. (구체적인 형식 및 변수 등)

3.5. 귀하는 **향후 수치예보모델자료를 어떤 영역**에 대해 사용하고 싶으신지 체크해주세요.(중복응답)

- ① 전지구 영역 ② 동아시아 영역
 ③ 한반도 영역 ④ 남한 영역
 ⑤ 도 단위 행정구역 ⑥ 시군구 단위 행정구역
 ⑦ 특정영역 ⑧ 특정지점
 ⑨ 기타()

응답하신 항목에 대한 보충 설명을 작성해주세요. (구체적인 영역 등)

4. 미래기술 관련

4.1. 귀하가 속한 기관에서 수치예보모델자료를 활용하여 미래에 어떤 기술을 구현하고자 계획하고 있는지 작성해주세요.

(미래기술명, 목적, 세부내용 등)

4.2. 귀하가 속한 기관에서 계획하고 있는 미래기술에 필요한 수치예보모델자료의 정보(규모, 변수 등)를 작성해주세요.

(예를 들어, 규모는 전구/지역/국지/초단기 등, 변수는 지면/모델면/기압면의 기온, 강우/강설, 바람(풍향/풍속), 기압, 습도 등)

4.3. 귀하가 속한 기관에서 계획하고 있는 미래기술에 기상청 수치예보모델을 활용하기 위해 기상청에서 제공해야할 기술을 작성해주세요.

(예를 들어, 기상청 수치예보모델에서의 자료생산, 자료전송, 후처리, 검증 등)

응답해 주셔서 감사합니다.

[별첨②] 기존과제와의 유사성 및 차별성 분석

□ 기존과제와의 유사성 및 차별성 분석

- ‘2018년 기상재해 사전대비 중심의 시·공간 통합형수치예보기술 개발’
과의 수요조사 결과에 대한 유사성 및 차별성 분석
 - (분야) 에너지, 생태, 문화재, 극지/해양, 정보 분야로 수요조사 확대
 - (자료) 표준화된 형태, 재분석 자료, 예측자료에 대한 정확도 검증 결과, 관심있는 특정영역/특정지점/특정기간에 대한 상세 자료 등의 제공 필요
 - (활용지원) 유관기관 전담 지원 시스템 및 미국 NOAA와 같이 총괄 역할을 수행하는 구심점 기관 필요
 - (미래기술) 미래기술 구현을 위해 필요한 자료 및 국외 기관 조사를 통한 컴퓨팅 및 연구개발플랫폼 관련 기술 발굴

<표 1> 기존 기획과제(2018년)와의 유사성 및 차별성

구분	유사성	차별성	
대상	<ul style="list-style-type: none"> • 수치모델을 활용하는 유관 기관 	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지, 생태, 문화재, 극지/해양, 정보 분야로 수요조사 확대 	
논의사항	<ul style="list-style-type: none"> • 수치예측자료의 활용 현황 및 향후 필요한 수치예측 자료와 모델 관련 수요 	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관 자체 미래기술 방향 및 요구사항에 대응하기 위해 개발되어야 할 기술, 사용 확대를 위해 필요한 환경 분석 	
애로사항	자료	<ul style="list-style-type: none"> • 표준화된 형태(nc, wgrib 등)로 제공 • 재분석 자료 제공 • 예측자료에 대한 정확도 검증 결과 제공 • 관심있는 특정영역/특정지점/특정기간에 대한 상세 자료 제공 	
	활용지원	<ul style="list-style-type: none"> • 필요해상도로 변환하기 위한 다운스케일링 기법 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 대용량의 수치모델 자료 제공 시스템 필요(매번 승인없이 쉽게 제공받을 수 있는 웹시스템 구축) • 수치모델 매뉴얼 및 기술 공유 • 수치모델 활용 편의성 증대 기술 제공 • 기술 활용을 위한 교육 과정 운영 • 문제 발생 시 신속하게 대응할 수 있는 서비스 관리 시스템 구축 • 유관기관 전담 지원 시스템(조직이나 관리 시스템 구축, 유관기관 간 협의체 또는 주기적인 간담회 개최, 현장 밀착지원) • 구심점 기관 필요(NOAA와 같이 총괄 역할 수행)
	미래기술	<ul style="list-style-type: none"> • 분야별 상호작용 반영을 위한 결합모델 관련 기술 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관별 계획하고 있는 미래기술 조사 • 미래기술 구현을 위해 필요한 수치모델 자료(변수, 영역, 시공간해상도, 최대예측시간) 조사 • 국외기관 조사를 통한 컴퓨팅 및 연구개발플랫폼 관련기술 발굴

- ‘2019년 한국형 모델과 미래기술 접목을 통한 수치예보모델 개선방안 연

구' 와의 유관기관 활용 현황 결과에 대한 유사성 및 차별성 분석

- (해상도 및 자료) 현재와 향후 계획된 업무에 대한 해상도 및 비기상재해 요소 추가 필요
- (수요기술) 유관기관의 전산자원 현황을 고려한 자료 변환 기술 필요
- (네트워크) 필요 변수만 수집 가능한 체계
- (미래기술) 각 기관의 미래기술과 연관된 수치모델자료 및 모델 기술 등 조사
- (커뮤니티) 정기적인 기본 및 실무교육 요구

<표 2> 기존 기획과제(2019년)와의 유사성 및 차별성

항목		유사성	차별성
대상		<ul style="list-style-type: none"> • 기상재해 대응 관련 유관기관 	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지, 교통 등 다분야 유관기관 포함
논의 사항		<ul style="list-style-type: none"> • 수치예측자료의 활용 현황 및 향후 필요한 수치예측자료와 모델 관련 수요 	<ul style="list-style-type: none"> • 사용 확대를 위한 향후 필요 기술 수요 및 필요 환경 분석
애로 사항	해상도 및 자료	<ul style="list-style-type: none"> • 시·공간 고해상도 및 다양한 기상 재해 요소 추가 	<ul style="list-style-type: none"> • 현재와 향후 계획된 업무에 대한 해상도 및 비기상재해 요소 추가
	수요기술	<ul style="list-style-type: none"> • 해상도 변환 기술 및 다양한 변수의 가시화 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 전산 현황을 고려한 자료 변환 기술
	네트워크	<ul style="list-style-type: none"> • 자료 수집을 위한 네트워크 환경 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 필요 변수만 수집 가능한 체계
	미래기술	<ul style="list-style-type: none"> • 다분야와 접합을 위한 결합 모델 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 각 기관의 미래기술과 연관된 수치 모델자료 및 모델 기술 등
	커뮤니티	<ul style="list-style-type: none"> • 협력체계 구축 및 운영 	<ul style="list-style-type: none"> • 정기적인 기본 및 실무교육 요구

- ‘2020년 차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사’와의 유관기관 활용 현황에 결과에 대한 유사성 및 차별성 분석
 - (해상도 및 자료) 애로사항을 평가하기 위한 만족도를 정량적으로 제시, 향후 사용하고자하는 모델의 해상도 및 영역 조사
 - (네트워크) 각 유관기관의 자체 전산 현황에 따른 애로사항 조사
 - (커뮤니티) 정기적인 기본 및 실무 교육 운영 요청

〈표 3〉 기존 기획과제(2020년)와의 유사성 및 차별성

항목		유사성	차별성
대상		<ul style="list-style-type: none"> • 농업, 환경, 방재, 수문, 국방 등 기상재해대응 분야 	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지, 교통, 문화재, 극지/해양, 정보 등 분야 확대
논의 사항		<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 수치예측자료 활용 현황 및 사용 확대를 위해 향후 필요 기술 수요 	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관 자체 미래기술 방향 및 요구사항에 대응하기 위해 개발되어야 할 기술, 사용 확대를 위해 필요한 환경 분석
애로사항	해상도 및 자료	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 시·공간 해상도 요구 • 모델 변수의 다양성 	<ul style="list-style-type: none"> • 애로사항을 평가하기위한 만족도를 정량적으로 제시 • 향후 사용하고자 하는 모델의 해상도 및 영역
	네트워크	<ul style="list-style-type: none"> • 자료 수집을 위한 네트워크 환경 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 각 유관기관의 자체 전산 현황에 따른 활용시 애로사항
	미래기술	<ul style="list-style-type: none"> • 결합모델 관련 기술 요청 	<ul style="list-style-type: none"> • 국외기관 미래기술 관련 기술 발굴
	커뮤니티	-	<ul style="list-style-type: none"> • 정기적인 기본 및 실무 교육 운영 요청

[별첨③] 수치예보관련 교육 시스템 현황

○ 기상기후인재개발원에서 제공하는 수치예보관련 교육 현황

- 기상기후인재개발원은 기상·지진 분야 전문가 육성을 담당하는 국내 유일의 기상기후분야 국립 교육훈련기관임.
- 업무 담당자 및 관련자를 대상으로 수치예보관련 이론 및 실무과정(활용, 프로그래밍)을 교육함.

<표 4> 기상기후인재개발원에서 제공하는 수치예보관련 교육 현황

분류	구분	과정명	교육대상
핵심전문교육	수치예보	수치예보 실무과정 (이러닝)	수치예보 경력 3년 미만인 자 교육 및 근무 희망자
		수치예보 전문과정	수치예보 경력 3년 이상인 자 실무과정 이수자 예보업무 담당자
공통전문교육	정보화	R을 이용한 지능정보기술 이해과정	교육 희망자
특별교육	현장맞춤형 교육	슈퍼컴퓨터 활용과정 (슈퍼컴퓨터 사용자 과정)	업무 관련자
		슈퍼컴퓨터 프로그래밍과정 (포트란)	업무 관련자
		슈퍼컴퓨터 프로그래밍과정 (병렬프로그래밍)	업무 관련자
		슈퍼컴퓨터 프로그래밍과정 (C프로그래밍)	업무 관련자
		기상기후데이터 이해 및 활용 실무과정	업무 관련자
		기후변화 시나리오 이해 및 활용과정	업무 관련자
		태풍 예보역량 강화과정	업무 관련자
		선진예보시스템 활용과정	업무 관련자

○ 기상서비스진흥국 주요 업무

- 기상산업·항공기상·응용특화기상(생활·농림·산업·생명·교통안전 등)에 관한 기본계획의 수립·종합·조정
- 「기상법」 제18조에 따른 기상 조절의 승인 및 관리
- 응용특화기상서비스에 관한 정보생산 및 개발
- 기상자료 관리 및 민원업무에 관한 계획의 수립·종합·조정

- 기상관측자료(유관기관이 보유한 자료 포함) 및 기후자료 관리·발간
- 기상자료 처리기법 및 관리기술의 개선

○ 추가로 필요한 교육 및 지원

- 기존의 수치예보관련 교육 및 서비스 현황과 수요분석 결과를 기반으로 추가로 필요한 교육 및 지원을 조사함.
- (교육) 파이썬 프로그래밍 및 수치예보 응용, 기상정보제공포탈에 대한 사용 설명 교육을 필요로 함.
- (지원) 적극적인 활용 및 애로사항 해결 지원을 필요로 함.

<표 5> 추가로 필요한 교육 및 지원

추가로 필요한 교육	추가로 필요한 지원
<ul style="list-style-type: none"> • 슈퍼컴퓨터 프로그래밍 과정(파이썬) • 수치예보 응용과정 • 기상정보제공포탈 사용 설명 교육 	<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 수치예보모델 활용 기술교육 지원(활용기관별 커뮤니티 조성, 활용성과 공유 등) • 활용현장 밀착 지원(단기 출장 지원: 3일~1주) • 긴급 애로사항 해결지원(원격지원) • R&D 기반 기술지원(공동 R&D) • 협력관계를 기반으로 한 전담 기술 지원 조직(인력) 운영 • 신속하게 대응할 수 있는 서비스 관리 시스템 구축

주 의

1. 이 보고서는 기상청 수치모델링센터에서 시행한 연구개발 사업으로 「수치예보 지원 및 활용 기술 개발」 사업의 연구용역과제 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 기상청 수치모델링센터에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.
4. 이 보고서와 관련된 문의사항은 기상청 수치모델링센터 수치자료응용과, 전화 042-481-7531로 하시면 됩니다.