

발 간 등 록 번 호

11-1360000-001698-01



979-11-91358-41-4(95450)

# 장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구

(Policy research on direction for improvement of  
Accuracy and Service of Climate forecast)

2021



기상청  
Korea Meteorological  
Administration



## 제 출 문

기 상 청 장 귀 하

본 보고서를 “장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구”  
용역의 최종보고서로 제출합니다.

2021 년 8월 24일

- 주관연구기관명 : 과학기술정책연구원
- 연구기간 : 2021.2.25. - 2021.8.24.
- 주관연구책임자 : 박환일
- 참여연구원
  - 부연구위원: 박 동 운
  - 선임연구원: 권 소 현
  - 연구원: 김 지 은
  - 연구원: 민 지 혜





## 목 차

제 1 장 서론 .....	3
제 1 절 배경 및 목적 .....	3
제 2 절 주요 내용 및 방법 .....	11
제 3 절 기대효과 .....	12
제 2 장 장기예보의 생산 및 공급 현황 .....	15
제 1 절 국내 현황 .....	15
제 2 절 해외 현황 .....	37
제 3 절 소결 .....	69
제 3 장 장기예보 인식 및 활용현황 .....	75
제 1 절 장기예보 인식 및 활용에 관한 조사 .....	75
제 2 절 장기예보 활용사례 .....	94
제 4 장 장기예보 예측 기술 현황 및 전망 .....	119
제 1 절 글로벌 기후예측 기술 동향 .....	119
제 2 절 기후예측 기술 수준 진단 .....	122
제 3 절 슈퍼컴퓨팅 기술 .....	128
제 4 절 인공지능/빅데이터 기술 .....	130
제 5 장 장기예보 개선방향 .....	135
제 1 절 정확도 향상을 위한 제언 .....	135
제 2 절 활용도 제고 방안 .....	139
제6장 결론 .....	145
참고문헌 .....	151





## 표 목차

<표 1-1> 서울 연평균기온의 변동성 분석 .....	7
<표 2-1> 기상청 본청의 주요 기능 .....	16
<표 2-2> 기상청 소속기관의 주요 기능 .....	16
<표 2-3> 한국 기상청의 정원 .....	17
<표 2-4> 장기예보 기간 .....	18
<표 2-5> 장기예보 예측 업무 관련 법·규정 .....	18
<표 2-6> 기후업무 발전 종합계획 .....	20
<표 2-7> 기후업무 발전 종합계획 중 장기예보 관련 전략과 세부 추진계획 .....	21
<표 2-8> 장기예보 정확도 향상을 위한 추진전략 및 중점과제 .....	23
<표 2-9> 2021년도 기상청 프로그램별 예산 내역 .....	23
<표 2-10> 2021년도 기후변화 과학정보 생산 서비스 예산 .....	24
<표 2-11> 한국의 주별 날씨 전망(요약문) 예시 (1개월) .....	27
<표 2-12> 한국의 주요 지점별 이상저온 및 이상고온 기준(1개월) 예시 .....	28
<표 2-13> 한국의 월별 날씨 전망(요약문) 예시 (3개월) .....	31
<표 2-14> 한국의 주요 지점별 이상저온 및 이상고온 기준(3개월) 예시 .....	33
<표 2-15> 미국 기후예측센터(CPC)의 최종 학력 분포 현황 .....	38
<표 2-16> 미국 기후예측센터(CPC)의 정규직 및 비정규직 분포 현황 .....	38
<표 2-17> 미국 기상청의 2019-2022 전략계획의 주요 목표와 전략과제 .....	39
<표 2-18> 영국 해들리센터 프로그램 .....	49
<표 2-19> 영국 UKMO 3대 전략과 9대 과제 .....	49
<표 2-20> 일본 JMA의 2030 전략의 기본 목표와 전략 방향성 .....	54
<표 2-20> ECMWF의 주요 업무 .....	61
<표 2-21> 유럽 ECMWF의 2016-2025 발전전략 .....	61
<표 2-22> 중국 CMA의 개발 전략 .....	67
<표 2-23> 주요 국가의 기상·기후 관련 조직 및 정책 .....	69
<표 2-24> 주요 국가의 장기예보 생산 현황 .....	69
<표 3-1> 날씨경영우수기업의 자체 시스템 보유 현황 .....	77
<표 3-2> 날씨경영우수기업의 장기예보 수요 현황 .....	78
<표 3-3> 국내 기업 인터뷰 개요 .....	78
<표 3-4> A건설사 인터뷰 결과 .....	79
<표 3-5> B화재, C손해보험 인터뷰 결과 .....	82
<표 3-6> D공사, E서비스 인터뷰 결과 .....	84
<표 3-7> F리조트 인터뷰 결과 .....	87
<표 3-8> G사 인터뷰 결과 .....	89
<표 3-9> H사 인터뷰 결과 .....	91

<표 3-10> EUPORIAS의 연차별 활동 요약 .....96  
 <표 3-11> EUPORIAS WP .....97  
 <표 3-12> SECLI-FIRM 프로젝트 참여기관 및 배분예산 .....100  
 <표 3-13> SECLI-FIRM WP .....101  
 <표 3-14> SECLI-FIRM 내 산업 적용 사례연구 .....102  
 <표 3-15> 기상청 기후리스크 관리에 관한 조사 개요 .....106  
 <표 3-16> IBM 기상서비스의 국내적용 사례 .....109



## 그림 목차

[그림 1-1] 글로벌 리스크 2021 .....	3
[그림 1-2] 글로벌 리스크의 발생 가능성 .....	4
[그림 1-3] 글로벌 리스크의 영향 .....	5
[그림 1-4] 서울 연평균기온 추세 .....	6
[그림 1-5] 서울 연평균기온의 변동성 추세 .....	7
[그림 1-6] ESG의 세부요소와 개념 .....	8
[그림 1-7] ESG 정보공시 대응방향성 .....	9
[그림 1-8] 연구 체계 .....	11
[그림 1-9] 연구방법 .....	12
[그림 2-1] 한국의 기상청 조직도 .....	15
[그림 2-2] 예보 구분 .....	17
[그림 2-3] 한국의 장기예보 생산 절차 .....	25
[그림 2-4] 한국의 1개월 전망 (평균 기온 및 강수량) .....	26
[그림 2-5] 한국의 기온 및 강수량 예보 요약(예시) (1개월) .....	26
[그림 2-6] 한국의 평균 기온 및 강수량 전망(%) (1개월) .....	27
[그림 2-7] 한국의 이상저온 및 이상고온 전망 (1개월) .....	28
[그림 2-8] 한국의 기상가뭄 현황 및 전망 (예시) (1개월) .....	29
[그림 2-9] 한국의 지역별 기상가뭄 전망 (1개월) .....	29
[그림 2-10] 한국의 기상가뭄 기준 .....	29
[그림 2-11] 한국의 3개월 전망 (평균 기온 및 강수량) .....	30
[그림 2-12] 한국의 기온 및 강수량 예보 요약(예시) (3개월) .....	31
[그림 2-13] 한국의 주·지역별 평균 기온 및 강수량 전망(%) (3개월) .....	32
[그림 2-14] 한국의 이상저온 및 이상고온 전망 (3개월) .....	33
[그림 2-15] 한국의 기상가뭄 현황 및 전망 (예시) (3개월) .....	33
[그림 2-16] 한국의 지역별 기상가뭄 전망 (3개월) .....	34
[그림 2-17] 2021년 여름 기후전망 요약문 (예시) .....	34
[그림 2-18] 한국의 기후 전망 .....	35
[그림 2-19] 평년(1981~2010년) 여름철 평균기온과 강수량 분포 .....	35
[그림 2-20] 여름철 평균기온과 강수량 시계열(1981~2020년) .....	36
[그림 2-21] 미국의 기상청 조직도 .....	37
[그림 2-22] 미국의 1개월 평균 기온 전망 .....	40
[그림 2-23] 미국의 1개월 강수량 전망 .....	41
[그림 2-24] 미국의 3개월 평균 기온 전망 .....	42
[그림 2-25] 미국의 3개월 강수량 전망 .....	43
[그림 2-26] 미국 1개월 장기예보에 대한 예보정확도 .....	44
[그림 2-27] 미국 1개월 장기예보에 대한 예보정확도 .....	45

[그림 2-28] 미국의 가뭄 전망 .....46

[그림 2-29] 영국 기상청 조직 운영 체계 .....47

[그림 2-30] 영국 해들리센터 글로벌 네트워크 현황 .....48

[그림 2-31] 영국 1개월 전망 .....50

[그림 2-32] 영국 3개월 전망 .....51

[그림 2-33] 일본의 기상청 조직도 .....52

[그림 2-34] 일본 기상청의 주요 거점 .....53

[그림 2-35] 일본의 1개월 전망 예보문 예시 .....55

[그림 2-36] 일본의 1개월 평균기온 전망 .....56

[그림 2-37] 일본의 1개월 강수량 전망 .....56

[그림 2-38] 일본의 3개월 전망 예보문 예시 .....57

[그림 2-39] 일본의 계절 기온 전망 .....58

[그림 2-40] 일본의 계절 강수량 전망 .....58

[그림 2-41] ECMWF의 조직도 .....60

[그림 2-42] ECMWF의 중기 예측 .....62

[그림 2-43] ECMWF의 확장된 중기 예측 .....63

[그림 2-44] ECMWF의 장기 예측 .....64

[그림 2-45] ECMWF의 최신 열대성 저기압 예측 자료 .....64

[그림 2-46] 중국 기상국의 리빙 인덱스 제공 정보 .....65

[그림 2-47] 중국의 글로벌 평균기온 및 강수량 1개월 전망 .....68

[그림 3-1] 섹터별 활용하는 기상정보 .....75

[그림 3-2] 건설업 날씨경영 특성 .....80

[그림 3-3] 보험업 날씨경영 특성 .....83

[그림 3-4] 에너지업 날씨경영 특성 .....85

[그림 3-5] 관광레저업 날씨경영 특성 .....88

[그림 3-6] 운송업 날씨경영 특성 .....90

[그림 3-7] 제조업 날씨경영 특성 .....92

[그림 3-8] 업종별 날씨 정보 활용(가능) 영역 .....93

[그림 3-9] EUPORIAS 참여 기관 .....94

[그림 3-10] EUPORIAS 범위 .....95

[그림 3-11] EUPORIAS 구성 .....95

[그림 3-12] SECLI-FIRM 프로젝트의 범위 .....99

[그림 3-13] SECLI-FIRM 프로젝트 검증 체계 .....100

[그림 3-14] 사례 연구별 SECLI-FIRM 연구결과의 전달 방법 .....103

[그림 3-15] 강우량 예측 기준에 따른 구분 (위: 평년이상, 아래: 평년이하) .....104

[그림 3-16] 3개월 강우예측에 따른 경보레벨의 구분 .....105

[그림 3-17] 경보레벨별 조치 권고사항의 예시 (사모아) .....105

[그림 3-18] 리드타임 기준 청량음료 기업활동 및 관련 기후정보 .....107



[그림 3-19] 디지털기술 활용한 장기예보 서비스기업 .....	108
[그림 3-20] 이번 달 기상예보와 지난 달 기상예보 비교 .....	109
[그림 3-21] ENAV의 Aeronautical Meteorological Service (AMS, 항공 비행 서비스) 정보 제공 체계 .....	112
[그림 3-22] IBM의 국내 기상서비스 비즈니스 모델 .....	114
[그림 3-23] 날씨 정보를 활용한 수요예측 기상모델 .....	114
[그림 4-1] S2S 모델의 MJO 모의성능(Lim et al., 2018) .....	121
[그림 4-2] 기후예측모델과 지구시스템 모델 비교 모식도 .....	125
[그림 4-3] 기상청 장기예보시스템 지구시스템 과정 컴포넌트 모식도 .....	126
[그림 4-4] 기후예측모델에서 지구시스템 모델로 진화 과정 .....	127
[그림 5-1] 세계 현업 예측 수행 기관들의 중장기 전략상의 공통 기후예측시스템 개발 전략의 모식도 .....	138
[그림 5-2] 이해관계자별 장기예보의 활용목적, 관심 정보 및 전달방식 비교 .....	139
[그림 5-3] 장기예보에 대한 이해관계자별 기대사항 전망 .....	140
[그림 5-4] 수요 및 정보 생산의 특성에 따른 기관별 역할 구분 .....	141

## 요 약 문

### 제1장 서론

#### 1. 연구 배경 및 목적

##### □ 연구 배경 및 필요성

- 세계경제포럼(WEF)이 2021년도에 발표한 글로벌 리스크 보고서(The Global Risks Report)에 의하면 기후환경 관련 리스크(기후행동의 실패, 환경에 대한 피해, 극한 기상 등)를 가장 위협적인 리스크로 선정
  - 기후환경 관련 리스크는 최근 5년 연속 가장 위협적인 리스크 가운데 하나로 인식되고 있으며, 극한 기상은 2017년부터 5대 리스크에 선정
  - 국제사회는 기후변화로 인한 극한 기상현상의 발생을 줄이고 대응하기 위한 공동 행동 강조
- 기후변화로 인한 기후변동성 증가가 경제시스템을 구성하는 다양한 이해당사자에게 리스크로 작용하면서 기후변동성 리스크가 커지고 있음
  - 지난 30년간 서울 지역의 평균기온은 1990년대 평균 12.73도에서 2010년대 평균 12.99도로 상승하였으며, 평균기온의 변동성 역시 지속적으로 상승
  - 기후변동성 증가는 정부, 기업, 소비자들의 활동에 불확실성을 증대시켜 비용증가로 이어지는데, 특히 기업의 경우 미래의 기상 전망에 따라 투자와 생산활동을 결정해야하기 때문에 재무적으로 크게 손실을 입을 가능성 높음
- 기후변화와 코로나19와 같은 글로벌 감염병 확산으로 인해 기업을 대상으로 친환경적이고 지속가능한 경영에 대한 요구가 높아짐에 따라 ESG 경영에 주목
  - ESG는 환경(Environment), 사회(Social), 지배구조(Governance)의 약자로 기업은 투자 유치를 위해 ESG 정보공시를 요구받고 있음
  - 이와 같이, 기후변동성 리스크는 기업의 재무성과에 영향을 미쳐 ESG 경영과 연결되는 중요 이슈
- 기업을 중심으로 향후 30일~1년 사이 기간에 대한 장기예보의 필요성이 부각되고 있으나, 정보의 가치 및 접근법에 대한 인식 부족 및 정보의 부정확성으로 인해 활용수준은 낮음
  - 장·단기적 관점에서 장기예보의 정확도를 향상하고 활용도를 높일 수 있는 방안 마련 필요



□ 연구의 목적

○ 장기예보의 정확도와 활용도를 높이기 위해 정보생산과 서비스체계 개선 방안 제시

- 주요 선진국의 장기예보 정보, 전달체계, 관련 조직 및 정책 등을 조사·분석하여 시사점 도출
- 장기예보의 공급자와 수요자 측면에서 국내외 현황을 조사·분석한 후 한국의 장기예보 정확도 향상, 정보 및 서비스체계 개선을 위한 정책방향을 제시

2. 주요 내용 및 연구방법

○ 첫 번째 모듈은 해외 주요 국가의 장기예보 공급현황과 관련된 정책 조사 및 분석

- 미국, 영국, 일본, 중국, EU 등 주요 국가에서 장기예보를 생산하는 체계, 이들이 제공하는 정보, 전달체계 등에 대해 조사하고 관련된 조직, 정책 등을 파악
- 관련 기관의 홈페이지, 기존 자료 및 문헌을 참고하여 조사

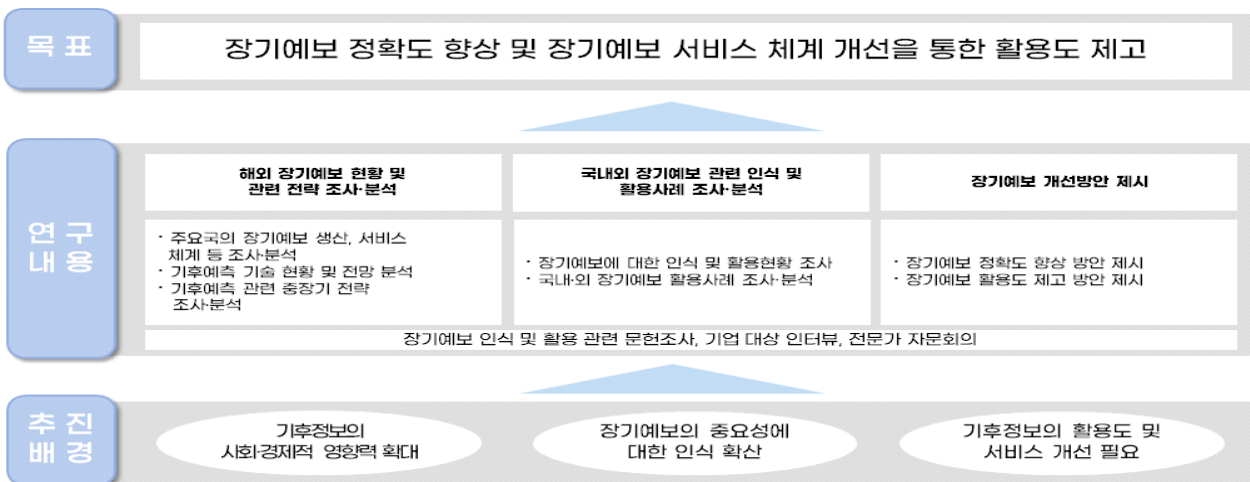
○ 두 번째 모듈은 국내외 장기예보 활용현황을 조사 및 분석

- 디지털 기술을 활용하여 장기예보 정보를 생산하고 서비스를 제공하는 기업들을 선정해 분석
- EUPORIAS, SECLI-FIRM 등 해외에서 수행한 장기예보 정보와 서비스 관련 프로젝트 사례 조사 및 분석
- 기존 문헌, 기업 인터뷰, 전문가 자문 등 수행

○ 세 번째 모듈은 한국의 장기예보 정확도 향상, 정보 및 서비스 체계 개선방안을 제시

- 앞의 두 모듈에서 조사·분석한 내용을 바탕으로 한국 장기예보 생산 및 공급 단계에서 개선이 요구되는 사항이 무엇인지 찾아내고 이를 구체화하기 위한 방안을 수립
- 전문가 논의를 통해 수립

[그림 1] 연구의 주요내용





[그림 2] 연구 방법

연구내용	연구방법	비고
<b>모듈 I. 해외 장기예보 현황 및 관련 전략 조사분석</b>		
장기예보 생산, 서비스 체계 등 조사·분석	- 미국, 영국, ECMWF 등 관련기관 홈페이지, 기존 자료 및 문헌 조사 - 전문가 인터뷰	자체/외부 전문가
기후예측 기술현황 및 전망 분석	- 기존 연구보고서 및 문헌 조사 - 전문가 인터뷰	자체/외부 전문가
기후예측 관련 정책, 전략 조사·분석	- 해당 국가 기관 홈페이지, 기존 자료 및 문헌 조사	자체/외부 전문가
<b>모듈 II. 국내외 장기예보 관련 인식 및 활용사례 조사분석</b>		
인식 및 활용에 관한 조사	- 국내외 기존 자료 조사 - 국내 기업 인터뷰	자체
국내외 장기예보 활용사례 조사	- 국내 기업 대상 인터뷰, 기존 자료 및 문헌 조사 - 전문가 인터뷰	자체
<b>모듈 III. 개선방안 제시</b>		
장기예보 정확도 향상 / 활용도 제고 방안	- 전문가 자문 - 기존 자료 및 문헌 조사	자체/ 외부 전문가그룹

## 제2장 장기예보의 생산 및 공급 현황

### 1. 국내현황

□ 기상청 조직체계 및 장기예보 관련 세부업무

○ 기상청은 환경부 소속의 중앙행정기관이며, 본청, 수치모델링센터, 기상기후인재개발원, 지방기상청 7곳, 국가기상위성센터, 기상레이더센터, 국립기상과학원, 항공기상청으로 구성

○ 기상청은 2009년 10월 21일부터 장기예보로서 1개월 전망과 3개월 전망을 발표하고 있음

<표 1> 장기예보의 구분

구분		예보기간	발표시기
장기예보	1개월 전망	4주간의 주별 기압계 전망, 기온 및 강수량 예보	매주 목요일 발표
	3개월 전망	3개월간의 월별 기압계 전망, 기온 및 강수량 예보	월 23일 발표
기후전망	계절기후전망	발표일 다음다음 계절의 평균기온과 강수량, 엘니뇨/라니냐를 전망	연 4회 발표
	연기후전망	발표일 다음 해의 평균기온과 강수량, 엘니뇨/라니냐를 전망	연 1회 발표



장기예보 생산 절차 및 제공 정보의 종류

- 한국의 장기예보는 기상청 장기예측 모델 자료, 다중모델 앙상블 자료를 종합 분석하여, 예보 토의를 통해 발표
- 기상청의 장기예보는 1개월 전망, 3개월 전망으로 구성되어 있으며, 추가적으로 전망관련 자료와 기후전망을 생산
  - 1개월 전망(매주 발표)과 3개월 전망(매달 발표)의 예보요소는 평균기온, 강수량, 가뭄, 이상고온 및 저온으로 3분위 확률로 표현
  - 1개월 전망은 예보문과 지도를 제공하며 3개월 전망은 해설서를 추가적으로 제공

## 2. 해외현황

미국

- 미국의 기상청(National Weather Service, NWS)은 미 상무부(United States Department of Commerce) 산하의 연방기관인 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 산하의 연방부속기관
- 미국의 장기예보는 1개월 전망, 3개월 전망으로 구성되어 있음
  - 1개월 전망(매주 발표)과 3개월 전망(매달 발표)의 예보요소는 평균기온, 강수량, 가뭄으로 3분위 확률로 표현
  - 두 전망 모두 설명문, 지도, 인터랙티브 맵 제공

영국

- 영국의 기상청(Meteorological Office, Met Office)은 기업·에너지·산업전략부(Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS) 소속으로 설립
  - 해들리센터(Met Office Hadley Centre)는 영국기상청이 1990년 설립한 기후 과학 및 서비스 센터로서, 138개국 1,700개 이상의 기관에서 온 국제 연구원들과 협력하여 기후변화 과학에 대한 지침을 제공하는 세계 최고의 연구를 수행
- 영국은 1개월 (15-29일) 전망과 3개월 전망으로 구성되어 있음
  - 1개월 전망(매일 발표)의 예보요소는 기온, 강수, 풍속 등이며 3개월 전망(매달 발표)의 예보요소는 평균기온, 강수량
  - 1개월 전망은 설명문으로, 3개월 전망은 설명문과 지도로 제공



<표 2> 주요국 장기에보 현황 비교

예보 기간	한국		미국		영국	
	1개월	3개월	1개월	3개월	1개월	3개월
예보 요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> <li>· 가뭄</li> <li>· 이상고온 / 이상저온</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> <li>· 가뭄</li> <li>· 이상고온 / 이상저온</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> <li>· 가뭄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> <li>· 가뭄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (15~29일) 기온, 강수, 풍속 등 기상현상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> </ul>
발표 주기	· 매주	· 매일	· 매주	· 매일	· 매일	· 매일
대상 지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전국(평균)</li> <li>· 전국 10개 지역</li> <li>· 북한 2개 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전국(평균)</li> <li>· 전국 10개 지역</li> <li>· 북한 2개 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 본토 102개, 알래스카 24개, 하와이 4개 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 본토 102개, 알래스카 24개, 하와이 4개 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전국(평균)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전국(평균)</li> </ul>
표현 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 예보문</li> <li>· 지도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 예보문</li> <li>· 해설서</li> <li>· 지도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 설명문</li> <li>· 지도</li> <li>· 인터랙티브 맵</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 설명문</li> <li>· 지도</li> <li>· 인터랙티브 맵</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설명문</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 설명문</li> <li>· 지도</li> </ul>
접근성 (형태)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (예보문 다운로드)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (예보문 다운로드)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (데이터, 그래픽, Shapefile and Raster)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (데이터, 그래픽, Shapefile and Raster)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (PDF)</li> </ul>
	일본		유럽(ECMWF)		중국	
예보 기간	1개월	3개월	최대 46일	최대 13개월	1개월	최대 12개월
예보 요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> <li>· 일조량</li> <li>· 강설량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> <li>· 일조량</li> <li>· 강설량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 바람</li> <li>· 평균 해수면</li> <li>· 압력</li> <li>· 기온</li> <li>· 지오폠펜셀</li> <li>· 강수량</li> <li>· 지수</li> <li>· 파도</li> <li>· 열대 저기압</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 바람</li> <li>· 평균 해수면</li> <li>· 압력</li> <li>· 기온</li> <li>· 지오폠펜셀</li> <li>· 강수량</li> <li>· 파도</li> <li>· 열대 저기압</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기온</li> <li>· 강수량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기온</li> <li>· 강수량</li> </ul>
발표 주기	· 매주	· 매일	· 매주 2회	· 매일	·	·
대상 지역	· 전국 12개 지역	· 전국 12개 지역	· 글로벌	· 글로벌	· 글로벌 및 아시아	· 글로벌 및 아시아
표현 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 지도(음영)</li> <li>· 텍스트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 지도(음영)</li> <li>· 텍스트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지도(음영)</li> <li>· Anomalies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 그래프</li> <li>· 지도(음영)</li> <li>· Spatial maps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지도(음영)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지도(음영)</li> </ul>
접근성 (형태)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (예보문 다운로드)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (예보문 다운로드)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트(Meteorogram, Image/PDF 다운로드)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트(Image/PDF 다운로드)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트</li> </ul>



## 제3장 장기예보 인식 및 활용 현황

### 1. 장기예보 인식 및 활용에 관한 조사

#### □ 문헌조사

##### ○ 차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사 (2020)

- 기후과학 전문가 대상으로 조사한 결과, 장기예보에 대한 인지도에 비해 활용 경험이 적고 만족도도 낮음
- 원인으로서는 정보의 부정확성과 이용 가능한 정보의 부족 및 홍보 부족이 꼽힘

##### ○ Barriers and enablers to the use of seasonal climate forecasts amongst organisations in Europe (2016)

- EU 16개 국가의 8개 섹터(에너지, 수송, 물, 농업 등)에서 75개 기업 및 기관 인터뷰
- 계절기후예보(Seasonal climate forecasts, SCF)의 낮은 활용의 원인으로 낮은 신뢰성 및 정확도, 관련성 및 인식 부족, 비용발생, 기존 관습 등 제시

##### ○ 산업계의 기상데이터 아활용 상황에 관한 조사 (2020)

- 전체 2,031업체 중 65.4%가 기상정보 및 기상데이터가 “사업 상 영향을 미침,” 50.8%가 “사업내용·상품·서비스 변경”에 영향을 미친다고 응답
- 기상정보가 영향을 미침에도 활용하지 않는 이유로는 “활용방법을 모른다(33.3%),” “전문인력이 없다(30.4%),” 그리고 “예측 정확도가 충분히 높지 않다(9.5%)”라고 응답

#### □ 날씨경영우수기업 조사

##### ○ 기상청(총괄기관)과 한국기상산업기술원(운영기관)을 중심으로 2011년도부터 날씨경영을 활발히 적용하고 있는 기업, 소상공인, 공공기관을 대상으로 ‘날씨경영우수기업 선정제도’를 운영 중

- 2020년 발표된 기상산업기술원 날씨경영 우수기업 70개를 분석하여 국내 민간 분야를 조사
- 총 12개 업종의 70개 기업을 대상으로 날씨경영을 위한 자체 시스템 보유 여부와 장기예보 및 해외 날씨정보 수요 분석
- 전체 70개 기업 중 31%인 22개 기업이 장기예보 수요가 있음을 확인하였으며, 전체의 46%가 날씨경영을 위한 자체 시스템 보유

#### □ 국내 기업인터뷰

##### ○ 날씨경영 우수기업 가운데 장기예보에 대한 수요가 있는 기업 8개를 대상으로 인터뷰 진행

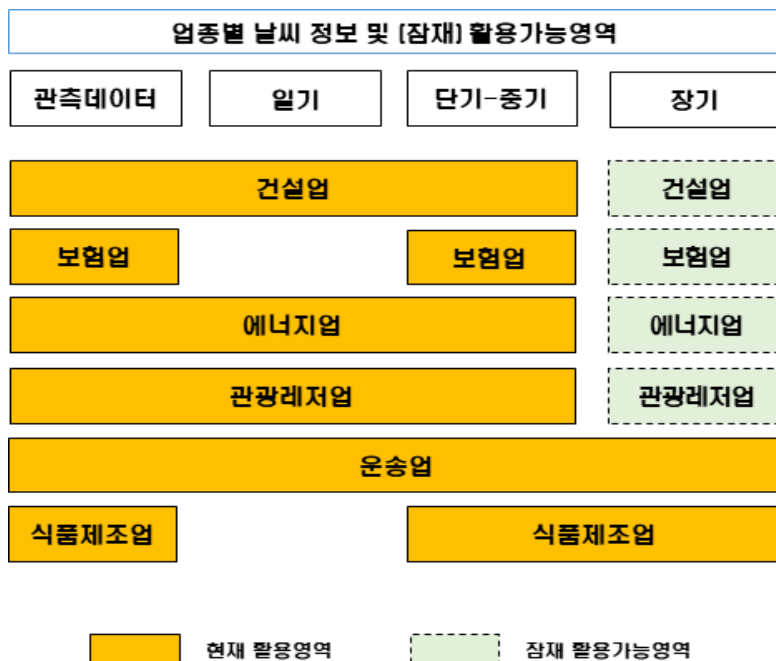
〈표 3〉 기업인터뷰 진행 개요

업종	기업명	일시	주요 질문
건설	A건설	2021. 4. 19.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 업계 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성</li> <li>- 장기예보 정보의 존재 및 활용법에 대한 업계의 인지도</li> <li>- 날씨경영 도입의 동기</li> <li>- 업계 평균 대비 귀사의 날씨경영 적용 수준</li> </ul>
보험	B화재	2021. 4. 22.	
	C손해보험	2021. 4. 22.	
에너지	D공사	2021. 4. 23.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 기상정보(장기예보) 활용 현황</li> <li>- 주로 활용하는 정보 요소</li> <li>- 정보의 출처</li> </ul>
	E서비스	2021. 5. 11.	
관광레저	F리조트	2021. 4. 26.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 날씨경영 도입을 위한 귀사의 노력</li> <li>- 날씨컨설팅 경험 유무 및 관심 유무</li> <li>- 기상/기후 예측 및 분석을 위한 자체적인 시스템 또는 조직 구축 여부</li> </ul>
운송	G사	2021. 4. 28.	
제조	H사	2021. 4. 28.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 장기예보 활용의 애로사항</li> <li>● 날씨경영 적용의 주요 성과</li> </ul>

○ 인터뷰 종합 결과 및 시사점

- 건설업: 관측데이터, 일기, 단기-중기예보를 활용하고 있으며, 장기예보는 잠재적으로 활용가능
- 보험업: 관측데이터와 단기-중기예보를 활용하고 있으며, 장기예보에 대한 잠재수요 확인
- 에너지업: 관측데이터, 일기, 단기-중기 예보를 활발히 이용하고 있으며, 장기예보의 잠재적 활용가능성 높음
- 관광레저업: 관측데이터, 일기, 단기-중기 예보 활발히 활용중이며, 장기예보는 활용 가능성 있음
- 운송업: 관측데이터, 일기, 단기-중기예보뿐만 아니라 장기예보도 활발히 사업 운영에 활용
- 식품제조업: 관측데이터를 활발히 이용중이며, 일기보다는 단기, 중-장기예보 활용
- 시사점: ①업종 특성에 따른 특화된 정보 필요, ②확률예보가 아닌 수치정보 필요, ③과거에 발표했던 예보와 실측치와의 오차를 비교분석한 정보 필요, ④정보 접근성 개선이 필요

[그림 3] 업종별 날씨 정보 활용(가능) 영역





## 2. 장기예보 활용사례

□ EUPORIAS (EUropean Provision Of Regional Impact Assessment on a Seasonal to decadal timescale)

### ○ 개요

- 첨단 예측역량을 활용해 특정 분야의 수요에 기반한 활용 가능한 정보를 생산하고, 정보 기반의 의사결정을 필요로 하는 잠재적 수요자와의 연계 등을 목적으로 하는 도구와 서비스 개발 프로젝트
- 주요 비전: ‘계절부터 다년도에 이르기까지 다양한 기간에 걸친 기후서비스 개발’, ‘의사결정 지원을 통한 가치 창출’, ‘기후서비스 시장 활성화 지원’, ‘기후변동성 및 기후변화에 대한 사회의 복원력 강화’
- EU FP7(EU seventh Framework Program)으로부터 13.2백만유로의 지원을 받아 2012년 11월에 시작되어 2017년 1월에 종료

### ○ 주요 활동

- 1차년도: 관련된 이해당사자를 식별하고, 인터뷰, 미팅 등을 통해 기후서비스의 수요자 현황과 수요를 파악하고, 모형개발에 필요한 기본적 정보 제공
- 2차년도: 모형을 선정하고, 이해관계자의 참여 및 정보 구축 등을 통해 향후 개발할 모형을 선정하고 이해관계자와의 소통 및 S2D 전망과 연계 작업 수행
- 3차년도: 수요자가 S2D 전망 정보를 어떻게 활용하고, 불확실성을 어떻게 평가할지 등에 대한 연구를 수행하고 이를 다시 S2D 전망 작업에 반영
- 4차년도: 개발된 모형을 과거데이터에 적용해 분석하고, 향후 전망치에 대한 분석과 평가를 수행하였으며, 프로젝트 성과를 심포지엄 등을 통해 공유하고 확산

### ○ 주요 성과 및 한계

- 6개의 기후서비스 모형을 제시하여 주요 산업군의 최종 사용자와 긴밀한 교류를 통해 사회적 효용 증진에 기여
- 유럽의 기후예측 사용자 지형(landscape)에 대한 광범위한 조사 및 분석을 시행하여 기후변화 전망보다 짧은 기간을 대상으로 한 예측에 대해 사용자와 사용 현황 연구
- ‘유럽의 기후서비스 향상을 위한 계절에서 다년간에 걸친 기후예측(SPECS)’ 프로젝트와 연계하여 프로젝트를 수행하여 다양한 R 소프트웨어 패키지 개발 및 보급
- 계절 예측 데이터를 사용자 친화적 정보로 전환하는 방법을 연구하여 통계적 후처리, 영향 모델링, 지역 기후모형 등을 사용해 기초자료 전환
- 다양한 주체 사이의 참여를 장려하여 기후서비스의 공급자와 수요자 사이의 소통과 이해, 공동개발 등을 구축
- 하지만 농업, 에너지, 상수원 관리 등과 연계된 의사결정을 필요로 하는 기후서비스를 개발했음에도 프로젝트 수준에 머물렀으며 제한적 활용에 그쳤다는 한계 존재

□ SECLI-FIRM (The Added Value of Seasonal Climate Forecasts for Integrated Risk Management)

○ 개요

- SECLI-FIRM은 EUPORIAS의 뒤를 이어 H2020 체계 하에서 장기예보의 산업적 활용, 특히 재생에너지 및 수자원 분야에 대한 산업계 의사결정 지원과 그에 따른 경제적 가치 제고에 기여하는 것을 목표로 함
- 특히 개별 산업 분야의 적용 특성을 감안한 효과적인 장기예보 연구를 통해 해당 산업분야의 활용도를 높여 최종적으로 기후서비스시장의 확대를 도모하고자 함
- 총 4.6백만 유로의 예산으로 45개월(2018년 2월 ~ 2021년 10월)간 프로젝트 수행

○ 주요 활동

- 유럽 및 남미(콜롬비아) 대상 총 9개의 사례 연구로 구성
- 사례연구를 통해 산업분야 의사결정과 연관된 기후관련 요소들을 파악하여 다양한 이해관계자들의 의사결정 사례 및 최종사용자의 요구사항 특성을 파악함으로써 기후예측 성능 최적화 및 예보기술 제약요인 해결을 도모하고, Multi-model 계절예보 데이터 개발을 통해 신뢰도, 활용도, 경제적 가치 제고 목적
- 현재 산업현장에서 장기예보 관련 의사결정이 어떻게 이루어지는지를 확인하고, 이러한 의사결정을 돕기 위해 어떠한 경제분석 방법이 사용되고 있는지 혹은 사용될 수 있는지 확인하고, 장기예보 활용의 잠재적 이익을 정량적으로 분석하는데 활용하는 방법을 모색하고, 사례 연구별, 지역별, 산업별 비교 분석을 수행

□ Red Cross 사례

○ 태평양 도서 국가들은 홍수, 가뭄과 같이 강우량 변화로 인한 피해를 크게 받기 때문에 강우량 관련 3개월 계절예보가 매우 중요

- 호주 기상국과 국제적십자자연맹(International Federation of Red Cross And Red Crescent Societies)은 태평양 지역 국가의 재난 담당자가 보다 쉽게 계절예보를 활용할 수 있도록 강우경보시스템(Seasonal Rainfall Watch)을 구축
- 활용도를 높이기 위해 3분위 확률에 더해 ‘low, low to medium, medium, medium to high, high, very high’ 로 구분되는 신뢰수준 축을 추가
- 축의 세분화 및 색깔 구분을 통해 강우량 전망을 이해하기 쉽게 재해석하여 정보 제공

□ 일본 기상청 기후리스크 관리에 관한 조사

○ 2012년부터 2018년에 걸쳐 총 6개 분야(청량음료, 가전유통, 슈퍼마켓/편의점, 약국, 의류, 농업)를 대상으로 조사 진행

- 주요 조사 내용은 ① 품목별, 지역별 판매치와 기상실측치간 상관관계 분석, ② 기상예보치를 활용한 수요예측, ③ 활용가능성 검토 및 활용영역 발굴





- 주요 시사점은 ① 2주 예보 기반 분야별 수요예측 활용도를 확인, ② 판매 관련 재고관리, 인력운영 등에 즉시 활용 가능, ③ 물류×배송×홍보×제조 영역은 리드타임 문제로 기상정보를 사용하지 않거나, 과거 관측치를 주로 활용, ④ 정확도 제고와 함께 수치 형태로 제공될 경우 물류×배송 제조 영역으로 확대 가능

□ 디지털 기술을 활용한 장기예보 서비스 기업

○ 기후과학 분야에서 디지털 기술을 활용하는 사례 증가

- 장기예보를 수요자에게 전달하고 서비스하는 과정에서 빅데이터, 인공지능, 딥러닝, IoT 등 디지털기술들을 활용하여 새로운 비즈니스와 부가가치를 창출하는 기업들의 전략과 핵심 기술 조사

<표 4> 디지털 기술을 활용한 장기예보 서비스 기업

기업	전략	핵심 기술	항공	신재생 에너지	보험	농업	해운
The Weather Company(미국)	산업별 날씨 솔루션서비스	빅데이터 처리 및 분석, 플랫폼		★		★	
AccuWeather(미국)	맞춤형 기상정보 기반 의사결정 지원	모바일 App, 사용자 위치 기반 서비스		★			
ENAV S.p.A.(이탈리아)	항공 분야 항법 전문 서비스	항법, 내비게이션	★				
DTN(미국)	에너지, 농업 의사결정 지원	연료 공급망 관리, 산업 및 시장 분석		★		★	
StormGeo(노르웨이)	해운업 의사결정 솔루션 서비스	수문 예측, 클라우드 기반 플랫폼					★
ClimaCell(미국)	무선통신 네트워크 활용 서비스	무선통신 인프라, IoT		★			★
Understory(미국)	보험 분야 위험모델 통한 상품 제공	인공지능			★		
Terra Weather Pte Ltd(싱가포르)	에너지, 해운 특화 기상예보, 위험평가	인공지능					★
AerisWeather(미국)	통합 솔루션 제공	API 플랫폼, 지리정보, IoT	★	★	★		

□ 국내 기상서비스 기업 사례

○ The Weather Company-S Fractum-ST Logic의 모델

- The Weather Company는 IBM Watson을 활용하여 일기예보, 장기예보 자료, 날씨기반 상품분석데이터 등 분석 및 수요예측 및 비즈니스에 활용
- S Fractum은 날씨 민감도 및 영향력을 분석하고, 다양한 기상분석 결과와 컨설팅 제공
- ST Logic은 시공간 데이터를 수집, 가공, 적재하고 비즈니스 영향도 분석모델을 적용한 결과를 시각화하여 기상 관련 인사이트 도출

□ 시사점

○ 주요 활용사례 시사점

- 기업, 유관기관 등 수요자는 생산, 투자 등 의사결정을 위해 장기예보 기반 서비스 활용



- 정책집행자, 지자체, 국민 등 수요자는 장기예보 서비스에 따라 위험관리 대응방안을 수립하기 위한 수요 높음
- 서비스의 지속가능성 확보를 위해 재원마련, 데이터 및 사례 DB 구축관리, 성과 공유 및 확산 등의 노력 필요

○ 디지털 기술을 활용한 기상서비스 사례 시사점

- 디지털 기술을 활발히 활용하고 있으며 기술간 융합도 진행 중
- 장기예보 생산보다 활용분야의 개발 및 확대에 초점이 맞춰져 있으며 디지털 기술을 활용한 비즈니스는 성장가능성이 높은 것으로 판단
- 장기예보 생산 분야에서 디지털 기술을 적용하기 위해서는 장기간에 걸친 데이터 축적 필요

## 제4장 장기예보 예측기술 현황 및 전망

### 1. 글로벌 기후예측 기술 동향

□ 북미 SubX (Subseasonal Experiment) 프로젝트

- 미국 NOAA는 2주 이상 1개월 이내의 예측을 위한 다중모델(multi-model) 비교 프로젝트 SubX (Subseasonal Experiment)를 수행

□ WMO 프로젝트: S2S (Subseasonal-to-seasonal)

- WMO는 예측 시점으로부터 2주 이상 2개월 이내의 계절내(subseasonal) 시간 규모의 기후모델 예측성능 비교 평가를 위한 S2S(Subseasonal-to-seasonal) 프로젝트를 수행

□ 계절 규모 예측 기술

- 계절 규모에서의 평균 기온 및 강수량에 대한 기후예측 모델들의 확률예보 성능을 비교 평가한 연구로, 여름철과 겨울철의 3개월 평균 지상 기온 및 강수량에 대한 예측 성능을 평가

### 2. 기후예측 기술 수준 진단

□ 기상청 현업 기후예측모델 전지구 예측성능

○ 선진국 현업모델 대비 전지구 온도 및 강수 예측성능

- 한국 기상청은 미국(NOAA)과 함께 WMO 장기예보 다중모델 앙상블 선도센터(Lead Center for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble, LCLRFMME)를 운영하고 있으며 전 세계 장기예보



센터들과 함께 GPC (Global Producing Center)로부터 예측 자료를 수집하여 표준화된 자료를 제공

- 전체적으로 영국기상청 예측 시스템의 신뢰도가 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 기상청 예측모델의 기온 예측 신뢰도는 일본이나 미국 기상청과 유사한 수준이며, 세계 최고 수준으로 알려진 ECMWF에 비교하여 기상청의 기온 예측의 신뢰도가 비슷한 수준인 것으로 분석

○ 주요 기후인자 및 원격상관 패턴 예측성능 평가

- 지구온도지수(GMSAT)는 모든 계절에 대해서 5개월까지 예측 가능
- 동아시아온도지수(EASAT)는 9월을 제외하고는 lead time이 매우 짧은 경우에만 예측 가능
- 엘니뇨 지수(Nno3.4 지수)는 모든 월에 대해 5개월까지는 예측 가능
- 인도양 다이폴 지수(IOD)는 엘니뇨보다는 전반적으로 예측성능이 낮음
- 북극진동지수(AO)은 1-2월은 2개월 정도 예측 가능한 것으로 나타나지만 나머지 계절은 매우 짧은 예측에만 유의미

○ 한반도 기온 및 강수량 예측 성능 평가

- 강수 예측성능을 평가한 결과 전반적으로 예측성능이 기온에 비해 매우 떨어짐
- 강수 예측이 우리 사회에 매우 중요한 정보임을 감안할 때, 예측모델의 원격상관패턴 모의능력을 개선하기 전까지 과도기적으로 통계적 후처리를 통하여 기후예측 성능을 개선하는 것이 필요

○ 국내 모델링 기술 기반

- 수치모델과 연관된 기술의 독립적 개발을 위하여 2011년부터 2019년까지 대규모 예산을 투입하여 한국형 수치예보 모델(Korean Integrated Model, KIM)을 개발해 2020년 4월부터 운영 중

## 제5장 장기예보 개선방향

### 1. 정확도 향상을 위한 제언

장기예보 정확도 향상 관련 국내외 기술환경의 변화

○ 지구시스템 모델 개발 계획

- 미국, 유럽 등 선진국을 중심으로 모든 시공간규모에 활용할 수 있는 지구시스템 모델 구축을 주요 목표로 기술개발을 적극 추진

○ 지구시스템 모델 구현을 위한 슈퍼컴퓨팅 기술 현황

- 슈퍼컴퓨터는 기후예측 모델 성능과 밀접한 연관이 있으며, 국제적으로 슈퍼 컴퓨팅 개발을 위해 기존의 문제를 개선하기 위한 엑사스케일 시스템 연구를 진행

- 기술적 도전과제 해결을 위해 국내에서 슈퍼컴퓨터 시스템 도입이 급증하고 있으나 모두 외산 장비를 도입하는 형태

○ 모델 기반의 기술개발을 통한 정확도 향상

- 모델링 기술은 대기, 해양, 지면, 빙하, 화학, 에어로졸 등 지구시스템 모델 내의 각 성분 모형들에 대하여 불확실성을 줄이고 현실적 구현을 위해 개발
- 초기화 기술은 최신 위성 자료 및 결합 초기화 등을 활용하여 모형의 예측 성능 향상 중
- 후처리 기술은 머신러닝 기법과 결합된 앙상블 기후예측 기반의 MOS(Model Output Statistics, 통계적 후처리 기법)를 활용하여 예측 성능 향상 진행

○ 장기예보 정확도 향상 가능성

- 현재의 정확도(50% 내외) 기준 70% 정도의 정확도 확보가 가능할 것으로 예상
- 장기예보는 30년 이내로 역사가 매우 짧은 편이기 때문에, 보다 많은 예측 경험과 역량이 지속적으로 구축되어야 하며 장기적으로 과학기술의 발전과 함께 정확도는 꾸준히 향상될 것으로 기대

□ 장기예보 정확도 향상을 위한 전략

<표 4> 장기예보 정확도 향상을 위한 전략 및 세부 추진과제

1. 기후감시·분석 능력 강화	2. 기후예측모델 특성 분석 강화
① 블로킹 패턴 감지 능력 향상 ② 장기예보 선행 예측인자의 예측성 분석 강화	① GloSea5의 오차 분석 체계화 마련 ② 1.3개월 전망 생산 관련 부서간 환류 체계 정비 ③ GloSea6-UKMO 장기예보생산 활용계획
3. 기후예측 기술 개발	4. 장기예보관 역량 및 인력 강화
① 기후예측모델 가이드스 개발 ② 모델과 기후인자를 반영한 객관화 가이드스 개발 ③ 인공지능을 활용한 기후예측 기술 개발	① 장기예보 사후분석 강화 ② 장기예보관 인력 강화

2. 활용도 제고 방안

□ 장기예보 활용현황 및 생산기관별 역할

- 국민, 기업, 유관기관 등 장기예보의 수요자에 따른 장기예보 활용목적, 제공기간 및 전달방식에 대한 비교



[그림 4] 장기예보 활용목적, 제공기간 및 전달방식에 대한 비교

	국민	기업	유관기관
장기예보 활용 목적	① 일상생활 관련 제품 구매 의사결정 ② 여행레저 관련 의사결정 ③ 농업 관련 의사결정 ④ 재해 대비	① 원자재 및 제품, 서비스 관련 투자, 판매 의사결정 ② 재무 관련 리스크 관리 ③ 재해 리스크 관리	① 농림수산 관련 자원관리 의사결정 ② 에너지 수급 및 서비스 의사결정 ③ 신재생에너지 투자 의사결정 ④ 재해 리스크 관리
관심 예측 기간	월, 계절 중심	2주, 월, 계절, 연 중심	월, 계절, 연 중심
서비스 형태	스토리텔링	기본정보 및 근거자료 제공 의사결정 지원	

○ 장기예보에 대한 기대 사항

- 현재 제공되는 장기예보 정보(1개월, 3개월 전망, 전망 관련 자료, 기후전망 등) 서비스 방식과 비교하여 국민, 기업 및 유관기관이 향후 추가적으로 기대하는 사항
- 전달방식 가운데, 미국과 영국에서 시행하는 방식을 참고삼아 활용
- 국민과 기업 및 유관기관이 원하는 기타 사항도 제시

[그림 5] 장기예보에 대한 수요자별 기대사항

	현재 수준	추가 기대 사항	
장기예보 제공 정보 및 방식	<p><b>(1개월 전망)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평균기온 및 강수량 정보를 1주 단위로 제공(10개 지역, 북한 2개 지역, 3분위 확률, 예보문 및 지도)</li> <li>- 이상저온 및 이상고온 전망, 발생 확률(전국 단일정보)</li> <li>- 가뭄 전망(지도, 5단계)</li> </ul> <p><b>(3개월 전망)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평균기온 및 강수량 정보를 1개월 단위로 제공(10개 지역, 북한 2개 지역, 3분위 확률, 예보문, 해설서 및 지도)</li> <li>- 이상저온 및 이상고온 전망, 발생일수 확률(전국 단일정보, 3분위)</li> <li>- 가뭄 전망(지도, 5단계)</li> </ul> <p><b>(전망 관련 자료)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후감시 요소(엘니뇨, 라니냐, 북극진동, 해수면온도, 티벳 지역 눈덮임, 해빙 등)</li> <li>- 기후예측 모델</li> </ul> <p><b>(기후전망)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다음다음 계절 평균기온 및 강수량, 엘니뇨, 라니냐 전망(연 4회, 전국 동일, 3분위 확률)</li> <li>- 다음 연도 평균기온 및 강수량 전망(연 1회, 전국 동일, 3분위 확률)</li> </ul>	<p><b>국민</b></p> <p><b>(정보)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기온, 강수량의 특정 기준 대비 초과 확률</li> <li>- 최고, 최저 기온전망</li> <li>- 특정 기간, 지역에 대한 정보</li> </ul> <p><b>(전달방식)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 웹페이지 지도에서 클릭하여 정보 습득 (미국 기상청의 인터랙티브 맵)</li> </ul> <p><b>(기타)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- "평균기온 및 강수량 전망 정보가 국민 실생활에 어떤 영향을 주는지, 의미하는 바가 무엇인지" 스토리텔링 방식으로 구성</li> </ul>	<p><b>기업 및 유관기관</b></p> <p><b>(정보)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기온, 강수량의 특정 기준 대비 초과 확률</li> <li>- 최고, 최저 기온전망</li> <li>- 기후지수(Heat, Chill)</li> <li>- 과거 예측오차 정보</li> <li>- 예측의 통계적 오차</li> <li>- 근거자료(기후분석정보, 지역기후특성 등)</li> <li>- 농업, 보건, 에너지 등 분야별 특화 정보 (일조, 풍속, 체감온도 등)</li> <li>- 특정 기간, 지역에 대한 정보</li> </ul> <p><b>(전달방식)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후전망에 대한 주기적 업데이트</li> <li>- 전망정보에 대한 과거 비교분석 그래프(영국 기상청)</li> </ul> <p><b>(기타)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 의사결정 지원 서비스</li> <li>- 2주 전망 수요</li> </ul>

○ 장기예보 정보의 특성 및 생산 영역

- 장기예보 정보에 대한 수요의 특성

- 수요의 특성은 정보가 지니는 가치, 즉 공공재적 특성인지, 경제재적 특성인지를 의미
- 공공재 정보는 공공의 목적, 공익에 필요한 정보이며, 경제재 정보는 경제적 가치를 지닌 정보로 추가 작업을 통해 부가가치 창출 가능

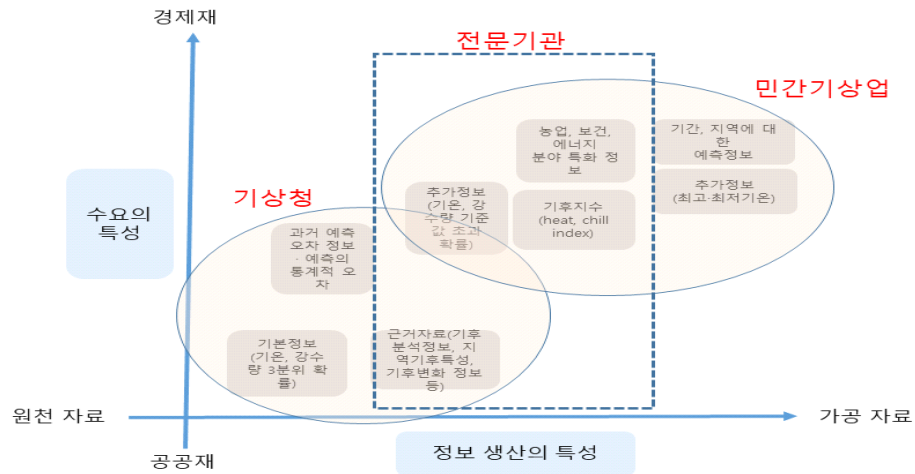
- 장기예보 정보 생산방식의 특성

- 정보 생산방식의 특성은 활용하는 자료의 성격, 즉, 원천 자료를 중심으로 활용하는지, 가공 자료를 중점적으로 활용하는지를 의미
- 기본적으로 예측을 위해 사용되는 모든 자료는 과학적 근거에 기반하여 생산되지만, 추가적인 가공과 기술적 분석을 통해 2차, 3차 자료가 생산됨
- 원천 자료는 기후과학 지식, 모델 등 과학적 활동을 통해 생산되는 정보이며, 가공 자료는 별도의 모형, 도구 등을 활용하여 2차적으로 재해석, 모델자료를 가공하여 생산되는 정보 포함

- 생산 영역

- 공공재이고 원천 자료에 기반한 정보는 국가기관인 기상청에서 생산, 공급하고, 경제재이면서 가공 자료에 근거한 정보는 민간기상업 분야에서 담당
- APCC와 같은 전문기관이 공공재와 경제재의 중간역할을 수행

[그림 6] 수요 및 정보 생산의 특성에 따른 기관별 역할 구분



□ 장기예보 활용도를 제고하기 위한 추진 과제

○ 객관적 예측 생산 및 이원화된 전달방식

- 대 국민 서비스는 스토리텔링 방식으로 전달: 예보문에 향후 기온과 강수량 전망을 하되, 과거와 어떻게 다른지, 국민 삶에 어떤 영향을 미치고, 무엇을 준비해야 하는지, 어떤 방법을 통해 전망치가 도출되었는지 등을 일반인의 언어로 이해하기 쉽게 기술
- 기업 및 유관기관 대상으로는 근거자료와 과거 예측오차 정보를 함께 제공해 수요자가 의사결정 과정에 활용할 수 있도록 지원



- 장기예보는 예보관의 경험이 축적되는 과정이 오래 걸리는 한계점 존재하므로 모델과 시스템을 통해 도출된 결과를 객관적으로 전달하는 방식 활용
- 예보관의 주관적 견해가 배제된 객관적 분석결과를 기반으로 예측에 대한 근거와 논리 제공과 이를 바탕으로 한 예보문 및 해설문 작성

○ Co-production 체계 마련

- 공공과 민간의 협력을 통한 다양한 장기예보 정보 생산을 목표로 협력체계 수립
- 민간 기상업의 역할 확대 및 연구개발 투자를 지원하고 새로운 장기예보 정보 생산 과정 지원
- 전문기관을 활용하여 기술개발 성과를 민간으로 이전 활성화
- 수요자 맞춤형 정보 및 다양한 지수 개발
- 지방 기상청, 해당 지역 대학, 기업 간 파트너십(PPP) 구축하여 특정지역에 특화된 정보 제공

○ 성공사례 확산

- 장기예보 정보의 생산과 수요를 연계하는 PPP 협력을 통한 성공사례 창출, 공유, 확산
- 관련 정보를 지속적으로 구축하고 성과 관리체계 마련
- 수요를 발굴하고 투자가 확대되는 선순환구조 구성
- 사용자 피드백 체계를 활용하여 생산자 및 수요자간 이해 증진
- 불확실성을 감안한 활용도 제고에 기여 가능. 수요자의 경험, 데이터, 특성 등 고려한 기존 사례 연구, 공유

○ 전문기관 활용 활성화

- 장기예보 정확도 향상을 위한 노력으로써 APCC와 같은 전문기관이 R20 과정에서의 검증과정 수행
- 연구개발 투자 성과를 현업으로 연결하여 활성화
- 각 분야별 요구되는 시/공간 해상도에 맞게 장기예보 정보를 생산할 수 있는 예측체계를 구축하기 위한 연구개발 수행
- 적절한 전문기관을 지정하여 장기예보 생산, 전달 및 활용 등 단계별로 관련된 연구자, 조직, 기관 등 역량 강화 프로그램 개발 및 시행

## 제6장 결론

○ 장기예보의 공급 측면

- 주요 국가에서 예측역량을 강화하고 장기예보 정확도를 향상하기 위한 연구개발을 수행하고 정보품질 개선, 서비스 선진화, 민간과의 파트너십 강화 등을 제시
- 1개월, 3개월 장기예보를 통해 평균기온, 강수량, 가뭄 등에 대한 정보를 제공하고 있으며, 추가적으로 전망 관련 자료와 기후전망 서비스를 전달
- 한국은 선진국과 비슷한 수준의 정보를 전달하고 있으나 제공하는 예보문과 해설서는 일반인 입장에서 다소 이해하기 어려운 용어로 서술됨



- 장기예보의 수요 측면
  - 주요 수요자인 기업과 유관기관은 확률방식으로 제공되는 장기예보를 직접 활용하기 보다는 장기예보를 기본으로 하여 추가적인 가공과 분석을 통해 의사결정에 도움이 되는 정보를 창출
  - 유럽의 EUPORIAS, SECLI-FIRM, 태평양 지역에서의 Red Cross 등이 모두 정보 생산자와 수요자가 함께 고민하여 수요자의 의사결정과 위험감소 과정에 장기예보를 활용하고 있는 예시
- 장기예보와 디지털기술을 활용한 서비스 기업 등장의 의미
  - 날씨 정보와 디지털기술 또는 다른 분야의 기술간 융합을 통한 서비스 모델은 장기예보 정보 생산보다는 활용분야를 개발하고 확대하는 방향으로 진행
  - 디지털기술 활용 서비스는 향후 성장가능성은 높지만 아직 비즈니스 모델에 대한 검증이 필요하며, 장기예보 생산 분야에서의 활용을 위해서는 오랜 기간의 데이터 축적 필요
- 기술개발 현황 및 전망을 고려한 장기예보 정확도 향상 전략
  - 장기예보 정확도에 영향을 미치는 핵심역량 중 기후감시·분석 능력 강화
  - 기후예측시스템 역량을 제고하기 위해 기후예측시스템 모델특성 분석, 모델 관련 부서간 환류체계 강화
  - 역학모델과 통계모델의 한계를 극복하기 위해 오차 보정 및 기계학습모델 개선·적용 확대
  - 장기예보관의 역량을 강화 및 인력 확대
- 수요자별 특성에 맞춘 정보 제공 방식 개발
  - 국민은 장기예보를 통해 일상생활에 대한 이해와 준비에 활용하고자 하며, 일상생활에 대한 영향을 부드럽게 서술하는 스토리텔링 방식의 서비스를 제공한다면 장기예보에 대한 이해와 활용도 제고 가능
  - 기업과 유관기관은 의사결정을 위한 지원 또는 참고자료로 활용하고자 하는 경향이 있음을 고려
  - 수요자 입장에서 기온, 강수량의 특정 기준 대비 초과 확률, 최고·최저 기온 전망, 특정 기간 및 지역에 대한 정보, 기후지수, 과거 예측에 대한 오차 등에 대한 정보 수요 확인
- 정보의 형태와 특성에 따른 생산주체의 다양화
  - 기상청이 제공하고 있는 장기예보는 공공의 목적, 공익에 필요한 정보로써 공공재적인 성격
  - 기초·원천 자료를 바탕으로 추가적인 분석과 가공작업을 거쳐야하는 정보는 정확도를 확보하기는 어렵지만 경제적으로 부가가치를 창출할 수 있는 경제재적인 성격을 가지므로 민간에서 담당하는 것이 바람직
  - 기상청은 민간기상업이 경쟁력을 확보할 수 있도록 제도적, 재정적 지원 마련 필요
- 장기예보 활용도를 제고하기 위한 방안
  - 객관적 예측에 기반한 정보생산과 이원화된 전달방식이 필요
  - 공공과 민간의 협력을 통해 다양한 정보를 생산·전달할 수 있는 Co-production 체계 마련 필요
  - 민관 협력을 통한 성공사례를 창출하고 공유 및 확산할 수 있는 플랫폼이 필요
  - APCC와 같은 전문기관의 활용 활성화 필요





# 제1장

장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구

## 서론

- 제1절 배경 및 목적
- 제2절 주요 내용 및 방법
- 제3절 기대효과





## 제 1 장 서론

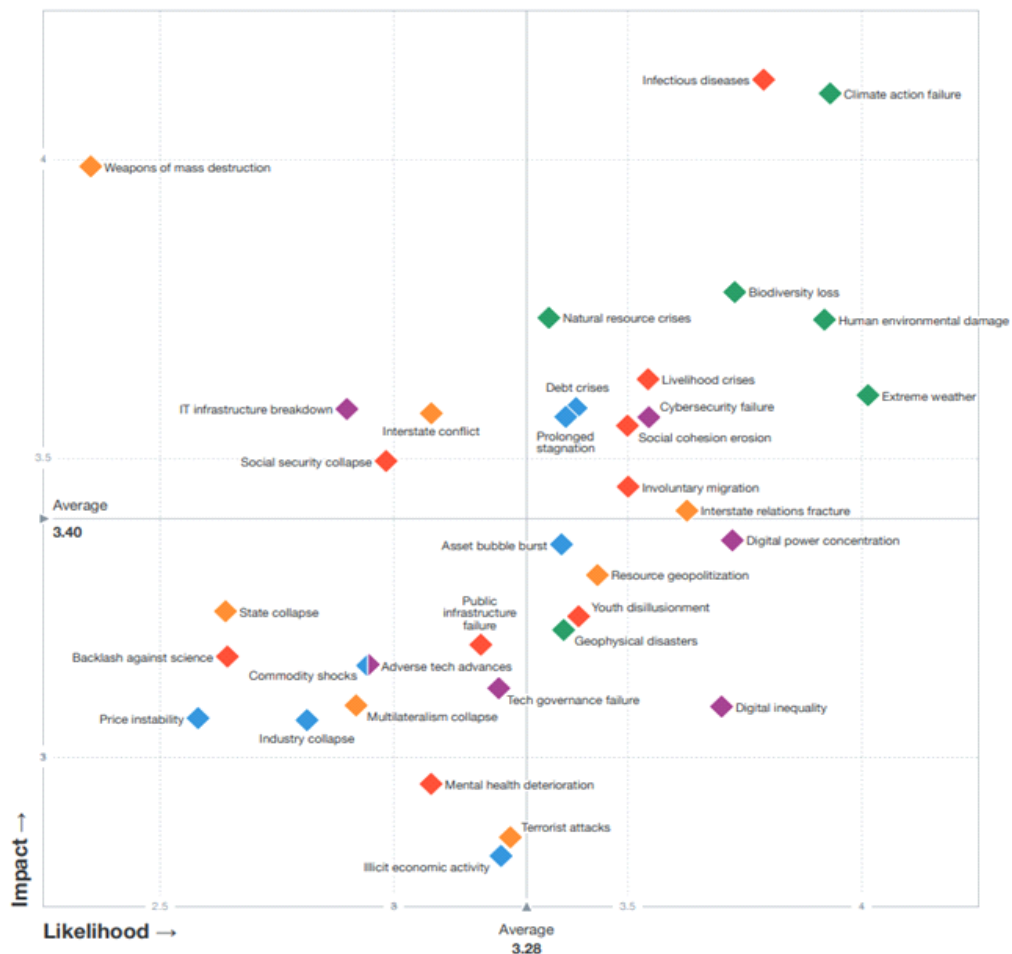
### 제 1 절 배경 및 목적

#### 1. 연구 배경 및 필요성

##### 가. 기후변동리스크 증가

세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)의 글로벌 리스크 보고서(The Global Risks Report)는 세계 경제 및 사회에 영향을 미치는 리스크를 발생 가능성과 영향력 측면에서 조사 분석하여 매년 발표한다. 2021년에 발표된 보고서에 따르면 기후환경 관련 리스크가 가장 위협적인 리스크로 선정되었다(WEF, 2021).

[그림 1-1] 글로벌 리스크 2021



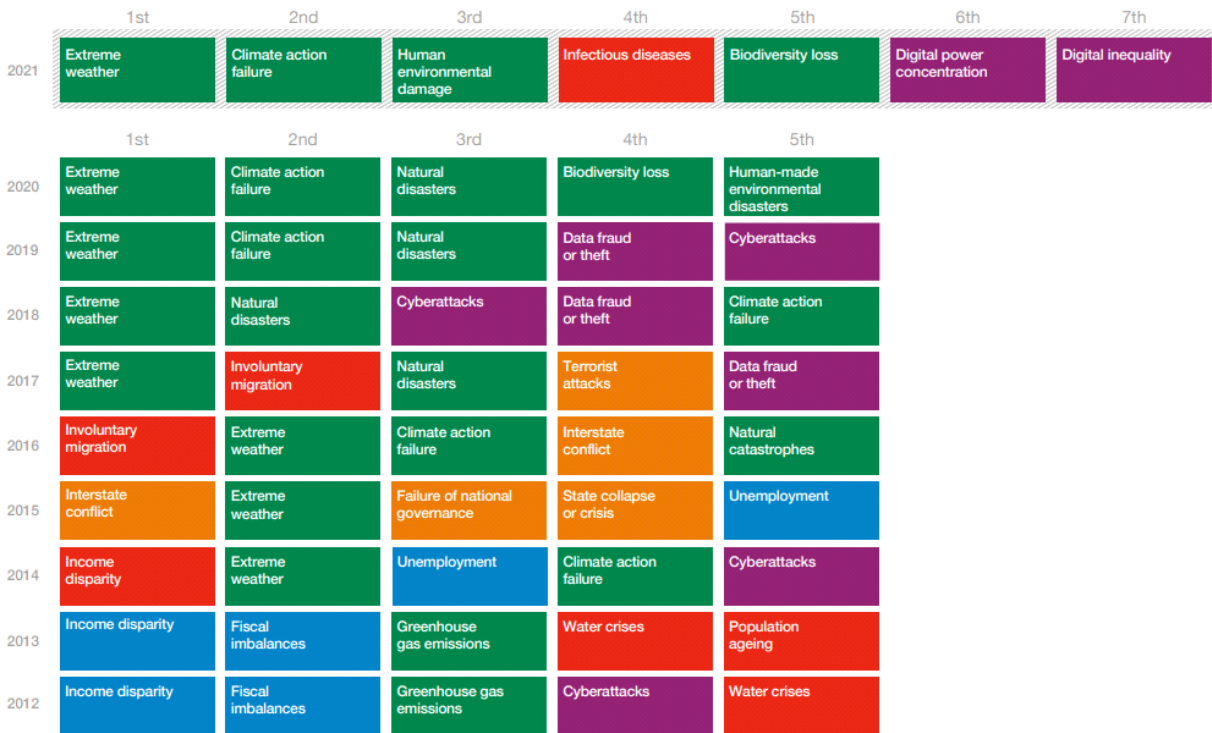
자료: WEF(2021). The Global Risks Report 2021.



기후행동의 실패, 환경에 대한 피해, 극한 기상 등 기후환경과 관련된 리스크가 발생 가능성도 높고 발생했을 경우에 영향력도 큰 것으로 평가되었다. 이러한 기후환경 관련 리스크는 2021년뿐만 아니라 최근 5년간 연속해서 가장 위협적인 리스크 가운데 하나로 인식되고 있다. 극한 기상과 기후행동의 실패는 2014년부터 발생가능성이 높은 5대 리스크에 포함되었고, 영향력 측면에서 보면 기후행동의 실패는 2013년부터, 극한 기상은 2017년부터 5대 리스크에 선정되었다. 위와 같이 글로벌 사회는 기후변화로 인한 극한 기상현상의 지속적 발생을 줄이고 대응하기 위해 공동의 행동이 중요함을 강조하고 있다.

[그림 1-2] 글로벌 리스크의 발생 가능성

Top Global Risks by Likelihood



자료: WEF(2021). The Global Risks Report 2021.

[그림 1-3] 글로벌 리스크의 영향

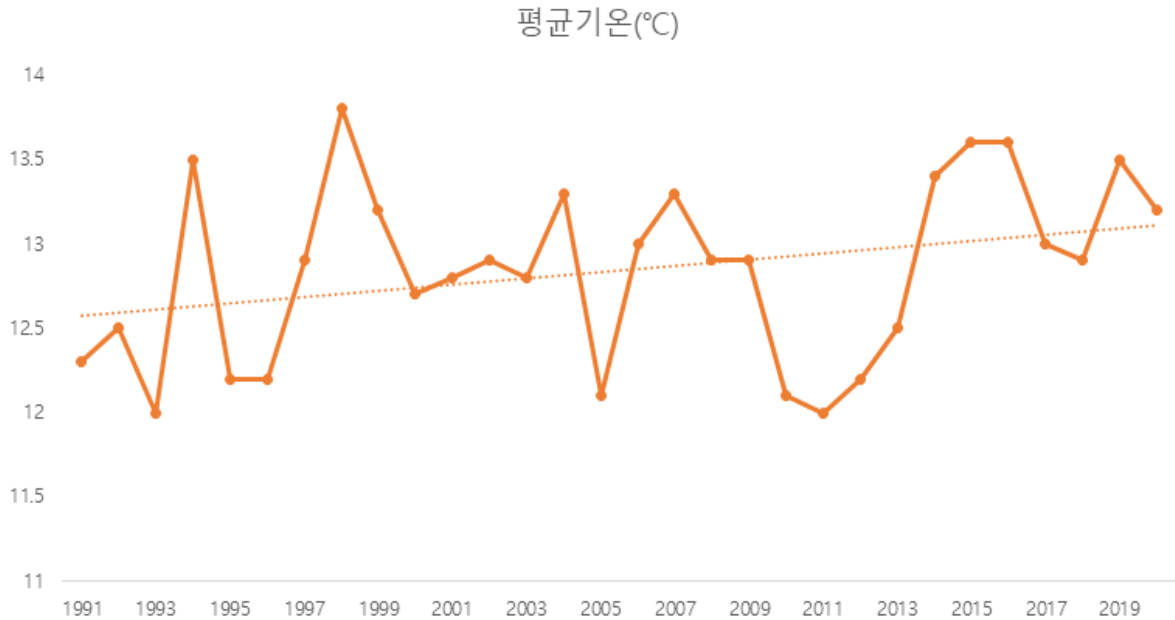


자료: WEF(2021). The Global Risks Report 2021.

기후변화가 진행됨에 따라 기후변동성 리스크가 커지고 있다. 실제 한국 서울의 평균기온 데이터 분석을 통해 기후변동성의 양상을 파악할 수 있다. 지난 30년간 서울지역의 평균기온은 지속적으로 상승하고 있다. 1991년 서울의 연평균 기온은 12.3도였으나 30년이 지난 2020년에는 13.2도로 올랐다. 서울의 연평균 기온을 10년 단위로 구분해서 보면 1991~2000년까지 10년간 평균은 12.73도, 2001~2010년까지는 12.81도, 2011~2020년까지는 12.99도를 기록해 점차 기온이 상승하고 있는 것을 확인할 수 있다.



[그림 1-4] 서울 연평균기온 추세



주: 점선은 추세선을 의미

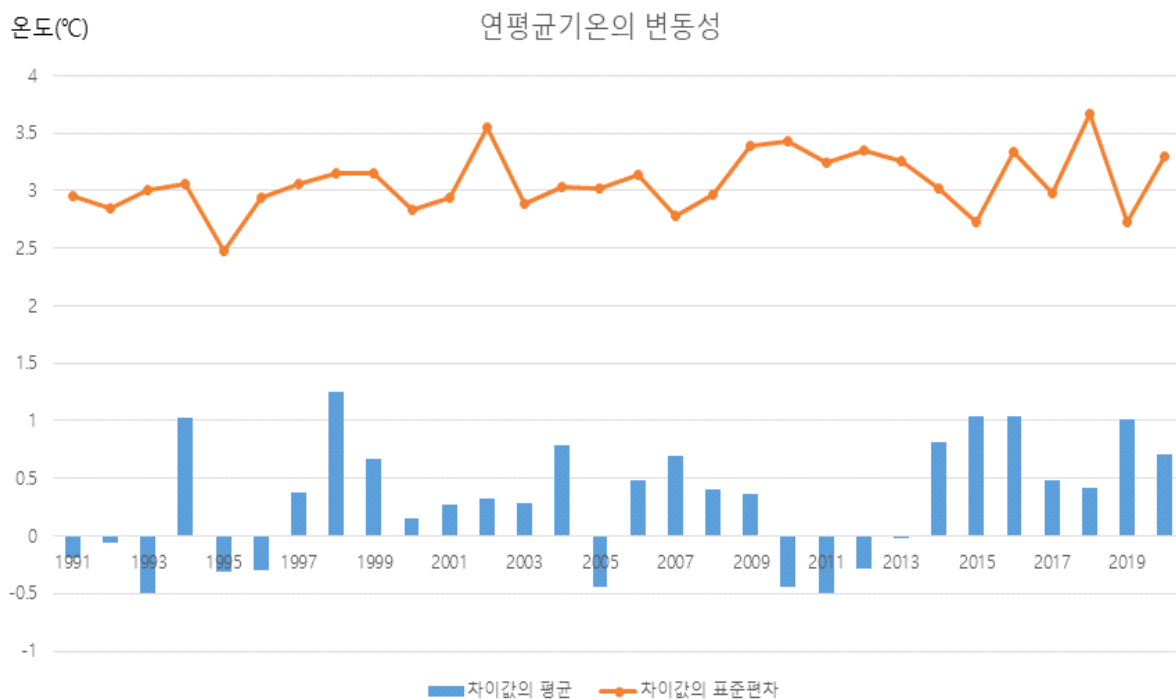
자료: 기상청 데이터를 기반으로 저자 작성

서울의 평균기온이 상승하는 동시에, 평균기온의 변동성도 함께 커지고 있다. 기온변동성은 일평균기온과 평년<sup>1)</sup>의 일평균기온과의 차이를 구하고, 이 차이값의 연간표준편차를 계산하여 산출한다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 연평균기온의 변동성은 지난 30년간 상승하고 있는 것을 알 수 있다(점선). 또한 일평균기온과 평년기온과의 차이값을 연간 평균으로 계산해보면 평년에 비해 어느정도 기온이 상승 또는 하락했는지 파악할 수 있다. 그림의 막대그래프는 차이값의 평균을 나타내는데, 2014년 이후 모두 양의 값을 보인다. 이는 2014년부터는 평년보다 기온이 높아졌음을 의미한다.

1990년대 차이값의 평균은 0.21도, 표준편차는 2.95도였고, 2000년대는 평균 0.27도, 표준편차 3.11도였으나, 2010년대는 평균은 0.47도가 증가했고 표준편차는 3.16도를 기록했다. 즉 과거에 비해 서울지역의 평균기온과 변동성은 지속적으로 상승하고 있으며, 특히 2010년 이후 상승폭이 더 커진 것을 알 수 있다.

1) 본 분석에서 평년은 1981~2010년까지의 30년을 의미한다.

[그림 1-5] 서울 연평균기온의 변동성 추세



주: 점선은 추세선을 의미

자료: 기상청 데이터를 기반으로 저자 작성

〈표 1-1〉 서울 연평균기온의 변동성 분석

	차이값의 평균(도)	차이값의 표준편차(도)
1991~2000년	0.21	2.95
2001~2010년	0.27	3.11
2011~2020년	0.47	3.16

자료: 기상청 데이터를 기반으로 저자 작성

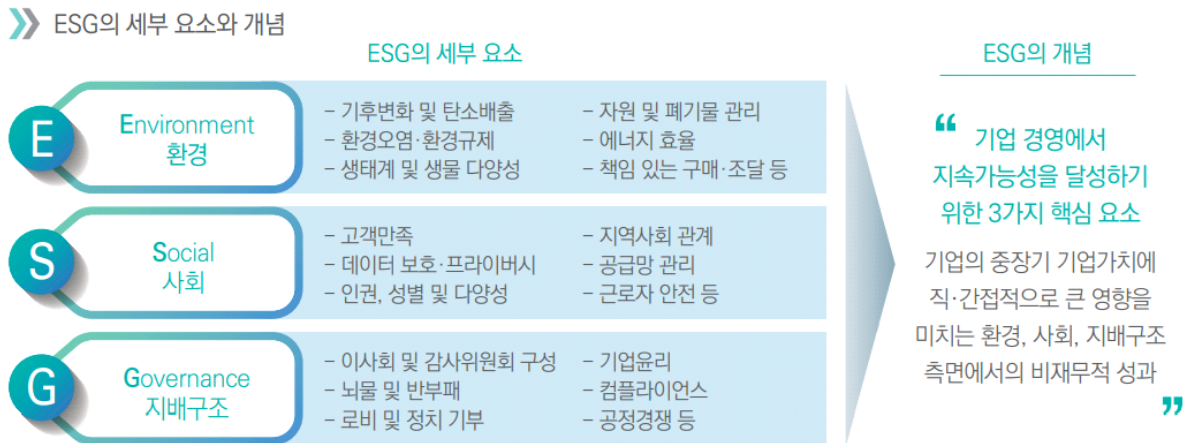
기후변동성의 증가현상은 경제시스템을 구성하는 다양한 이해당사자에게 리스크로 작용하게 된다. 정부의 정책설계 및 집행 과정, 기업의 생산과 투자활동, 소비자의 소비활동 등 여러 분야에서 불확실성을 증대시키고, 이는 곧 정부, 기업, 소비자에게 비용증가로 이어진다. 이 가운데 특히 기업은 산업별로 차이는 있지만 기후변동성에 영향을 크게 받는다. 1개월 후, 다음 계절, 내년 등 미래의 기상상태를 전망하고 이에 따라 기업의 투자와 생산활동이 결정되는데, 미래에 대한 현재의 전망이 예상과 크게 빗나갈 경우 재무적 손실을 입게 된다. 기후변화가 가속화되는 가운데 지속가능발전에 대한 기업의 책임과 의무가 강화되면서 기업은 기후환경 요인을 주요 의사결정 요소로 인식하고 대응하고 있다.



## 나. 기업의 ESG 경영

ESG는 환경(Environment), 사회(Social), 지배구조(Governance)의 첫글자를 모은 단어이며, 기업의 지속가능성을 달성하기 위해 필요한 핵심요소이다. 기후변화로 인한 리스크는 지속적으로 기업경영에 부담을 주고 있기 때문에 기업들은 친환경 방식의 경영을 추구하고 있으며, 최근의 탄소중립 정책으로 인해 이러한 추세는 더욱 빨라질 것으로 보인다. 특히 코로나19와 같은 글로벌 감염병 확산은 기업들에게 지속가능성을 담보하기 위한 경영방식에 대해 더욱 고민하는 계기가 되었으며 ESG 경영이 국내외 기업들에게 도입되고 있는 것으로 보인다. ESG의 첫 번째 요소인 환경은 기업의 과감한 탄소배출 저감을 요구하고 있으며, 환경오염 완화를 위해 자원 및 폐기물 관리, 에너지 효율화 등이 이슈로 떠오르고 있다(삼정 KPMG, 2021).

[그림 1-6] ESG의 세부요소와 개념



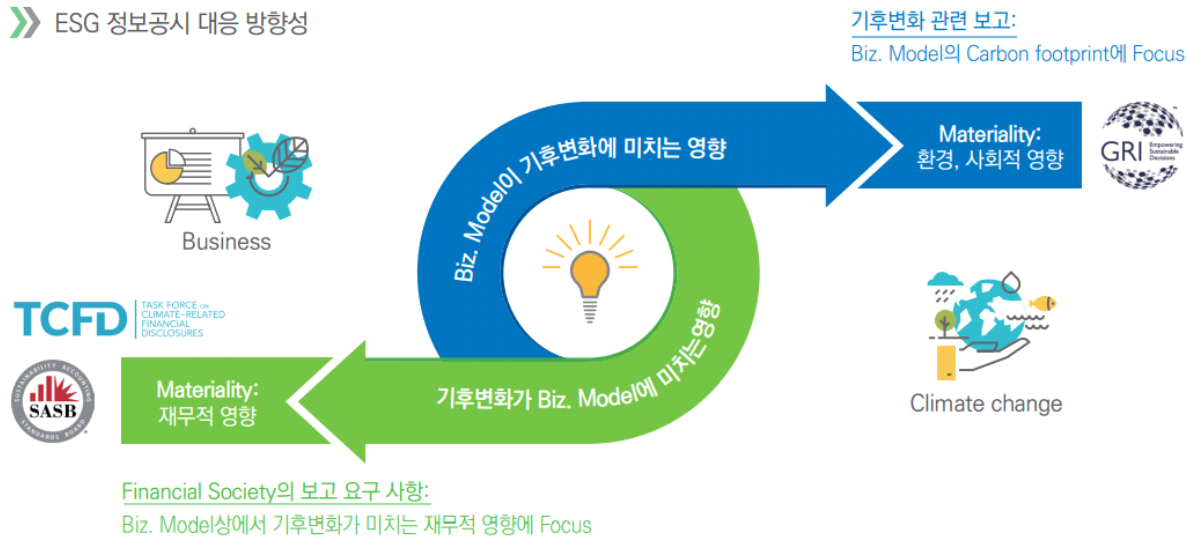
Source: 삼정KPMG 경제연구원

자료: 삼정KPMG(2021). ESG의 부상, 기업은 무엇을 준비해야 하는가?. Samjong INSIGHT(74). 2021.

기업은 투자를 유치하기 위해 ESG 정보공시를 요구받고 있다. 지금까지의 지속가능경영 보고서의 핵심은 각 기업의 경영활동 또는 비즈니스 모델이 사회와 환경에 어떻게 영향을 미치는지를 분석해서 투자자에게 공개하는 것이다. 하지만 ESG 정보공시는 지속가능경영 보고서 내용에 추가적으로 환경과 사회적 영향이 기업의 재무성과에 어떻게 영향을 미치는지 파악하도록 되어 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 기후변동성 리스크는 기업의 재무성과에 영향을 미치고, 이는 ESG 경영과 연결되는 중요한 이슈가 될 것이다.



[그림 1-7] ESG 정보공시 대응방향성



Source: 삼정KPMG

자료: 삼정KPMG(2021). ESG의 부상, 기업은 무엇을 준비해야 하는가?. Samjong INSIGHT(74). 2021.

#### 다. 장기에보의 중요성 및 필요성

기후변동 리스크가 증가하고 ESG 경영에 대한 요구가 커지는 가운데 기업을 중심으로 장기예보의 필요성이 부각되고 있다. 장기예보는 일반적으로 지금으로부터 30일 이후부터 1년 사이 기간의 기온, 강수량 등 기상요소를 전망하는 것을 말한다. 현재 기상청은 장기예보를 1개월 및 3개월 전망(평균기온, 강수량, 이상저온·고온, 기상가뭄)과 기후전망(계절기후, 연기후)으로 구분하여 제공하고 있는데, 장기예보의 중요성에도 불구하고 낮은 정확도와 사용자들의 인식 부족으로 충분히 활용되고 있지 않는 것으로 보인다.

제3차 기상업무발전 기본계획(‘17~’ 21)에서 기후변화로 인한 이상기후에 선제적으로 대응하기 위한 장기예보 역량 강화를 강조하고 있다. 국내 장기예보 핵심역량은 평균 68.2점으로 취약한 편이며, 장기예보의 정확도 역시 선진국(50~60%) 대비 36%로 낮은 것으로 나타났다(기상청, 2015; 박환일 외, 2017 재인용). 장기예보에 대한 인지도는 전체 응답자의 57.6%였으며, 장기예보 정보를 활용한 경험이 있는 비율은 17.5%에 불과하고, 정보의 가치와 접근법에 대한 인식 부족 및 정보의 부정확성이 원인으로 제시되었다(홍현철 외, 2013; 박환일 외, 2017 재인용).

장기에보의 활용도를 제고하기 위해서는 예보의 정확도를 향상하고 제공하는 정보와 전달 서비스를 개선하는 것이 필요하다. 장기예보의 정확도는 장기적으로 연구개발 투자를 확대하



고 전문인력을 양성하는 등 제도적 지원이 필요하다. 장기예보는 예측의 한계로 구체적인 수치가 아닌 평년과 비교한 확률예보로 제공되는데, 예측의 불확실성을 해소하고 확률예보의 정확도를 높일 수 있는 과학기술 역량의 제고가 필요하다. 하지만 기술적으로 장기예보의 정확도를 큰 폭으로 올리는 것은 한계가 존재한다. 따라서 장기적 관점에서 투자를 지속하여 정확도를 높이기 위한 노력을 기울이는 동시에, 단기적으로 장기예보 수요자들의 필요를 충족시킬 수 있는 정책이 필요하다.

단기적으로는 장기예보 수요자가 필요로 하는 정보의 종류와 내용, 전달방식 등 서비스 체계를 개선함으로써 장기예보의 활용도를 높일 수 있다. 최근 장기예보에 대한 수요가 다각화되고 있어 장기예보 제공 정보와 서비스 개선을 통해 장기예보 활용이 활성화 될 것으로 기대된다. 앞에서 살펴본 바와 같이 기후가 일상생활 외에 다양한 분야의 생산과 소비활동에 미치는 영향이 커지고 있고 장기적인 기후예측과 예보 서비스의 품질에 대한 기업들의 인식이 증대되어 다양한 분야에서의 수요가 발생하고 있다. 그러므로 장기예보 활용도를 높이기 위해서는 제공되는 정보의 다양성 및 접근성이 확보되어야 하며, 정보의 다양화 및 서비스 전달체계 고도화가 이루어져야 한다.

## 2. 연구 목적

본 연구의 목적은 장기예보의 정확도와 활용도를 높이기 위해 정보생산과 서비스체계 개선 방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 우선 주요 선진국의 장기예보 정보, 전달체계, 관련 조직 및 정책 등을 조사·분석하여 시사점을 도출한다. 그리고 장기예보의 공급자와 수요자 측면에서 국내외 현황을 조사·분석한 후 한국의 장기예보 정확도 향상, 정보 및 서비스체계 개선을 위한 정책방향을 제시한다.

## 제 2 절 주요 내용 및 방법

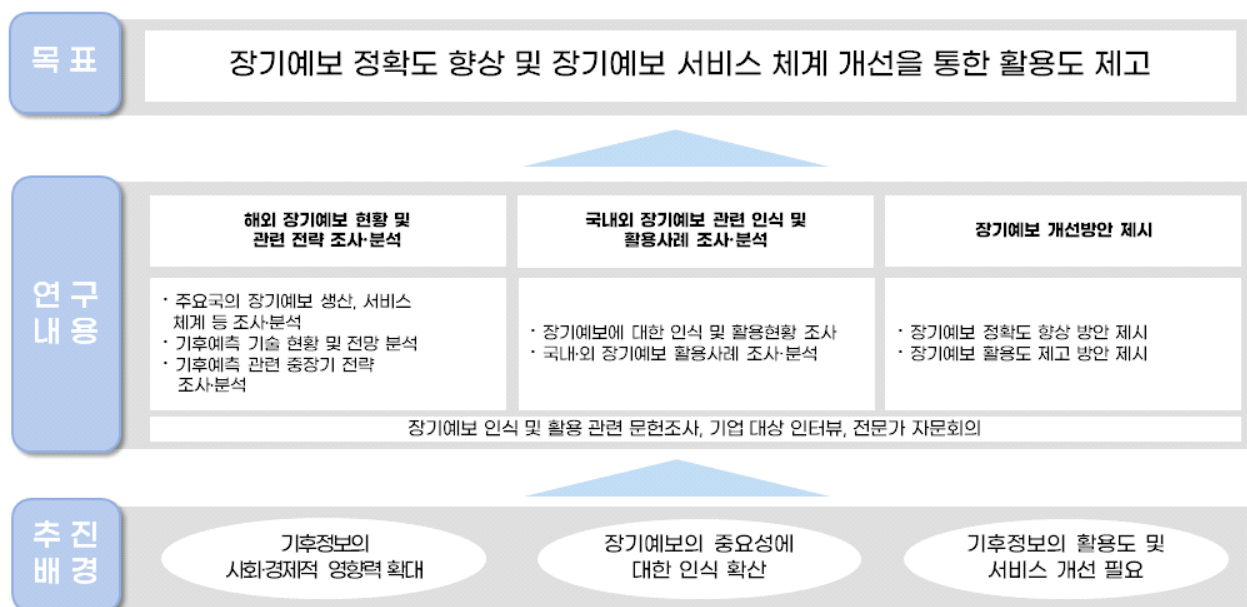
### 1. 주요 내용

본 연구는 세 개의 모듈로 구성되어 있다. 첫 번째, 해외 주요 국가의 장기예보 공급현황과 관련된 정책을 조사·분석한다. 미국, 영국, 일본, 중국, EU 등 주요 국가에서 장기예보를 생산하는 체계, 이들이 제공하는 정보, 전달체계 등에 대해 조사하고, 이와 관련된 조직, 정책 등을 파악한다.

두 번째 모듈에서는 국내외 장기예보 활용현황을 조사·분석한다. 디지털기술을 활용하여 장기예보 정보를 생산하고 서비스를 제공하는 기업들을 선정하고 분석한다. 국내 산업계에서 장기예보를 어떻게 인식하고 있고 활용하고 있는 지 기존자료와 인터뷰를 통해 산업계의 목소리를 전달한다. 그리고 해외에서 수행한 장기예보 정보와 서비스 관련 프로젝트 사례를 조사·분석한다. EU에서 수행한 EUPORIAS 사업, SECLI-FIRM, RedCross 등 사례를 분석하고 시사점을 도출한다.

마지막으로 한국의 장기예보 정확도 향상, 정보 및 서비스 체계 개선방안을 제시한다. 앞의 두 모듈에서 조사·분석한 내용을 바탕으로 한국 장기예보 생산 및 공급 단계에서 개선이 요구되는 사항이 무엇인지 찾아내고 이를 구체화하기 위한 방안을 수립한다.

[그림 1-8] 연구 체계





## 2. 연구 방법

첫 번째 모듈인 해외 장기예보 공급현황 및 정책 조사분석은 관련 기관의 홈페이지, 기존 자료 및 문헌을 참고하여 조사한다. 두 번째 모듈인 국내외 장기예보 활용현황 조사분석은 기존 문헌, 기업 인터뷰, 전문가 자문 등 방법을 통해 수행한다. 마지막 모듈인 개선방향은 전문가 논의를 통해 수립할 예정이다.

[그림 1-9] 연구방법

연구내용	연구방법	비고
<b>모듈 I. 해외 장기예보 현황 및 관련 전략 조사분석</b>		
장기예보 생산, 서비스 체계 등 조사·분석	- 미국, 영국, ECMWF 등 관련기관 홈페이지, 기존 자료 및 문헌 조사 - 전문가 인터뷰	자체/외부 전문가
기후예측 기술현황 및 전망 분석	- 기존 연구보고서 및 문헌 조사 - 전문가 인터뷰	자체/외부 전문가
기후예측 관련 정책, 전략 조사·분석	- 해당 국가 기관 홈페이지, 기존 자료 및 문헌 조사	자체/외부 전문가
<b>모듈 II. 국내외 장기예보 관련 인식 및 활용사례 조사분석</b>		
인식 및 활용에 관한 조사	- 국내외 기존 자료 조사 - 국내 기업 인터뷰	자체
국내외 장기예보 활용사례 조사	- 국내 기업 대상 인터뷰, 기존 자료 및 문헌 조사 - 전문가 인터뷰	자체
<b>모듈 III. 개선방안 제시</b>		
장기예보 정확도 향상 / 활용도 제고 방안	- 전문가 자문 - 기존 자료 및 문헌 조사	자체/ 외부 전문가그룹

## 제 3 절 기대효과

본 연구의 기대효과는 두 가지로 요약된다. 첫째, 국내 민간분야에서 장기예보의 활용도를 제고하여 기후변동성 리스크를 완화하고 ESG 경영이라는 글로벌 트렌드에 부합하는 노력에 기여할 것이다. 한국 기업들이 처한 환경, 산업구조 등이 반영된 장기예보 요소별 수요를 발굴하여 효과적인 전달체계를 통해 공급될 수 있다.

둘째, 국내 기상산업 발전에 기여할 것이다. 장기예보를 생산하는 주체, 즉 기상청, 민간기상업체 등 장기예보 공급 관련 생태계를 구축하고 지속가능한 발전이 가능하도록 지원할 것이다. 기상청과 민간기상업체 간 역할 분담, 상호 시너지 창출을 추진하고 이를 통해 기상산업의 경쟁력을 강화하여 발전을 도모할 것으로 기대한다.

## 제2장

장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구

# 장기예보의 생산 및 공급 현황

- 제1절 국내 현황
- 제2절 해외 현황
- 제3절 소결





## 제 2 장 장기예보의 생산 및 공급 현황

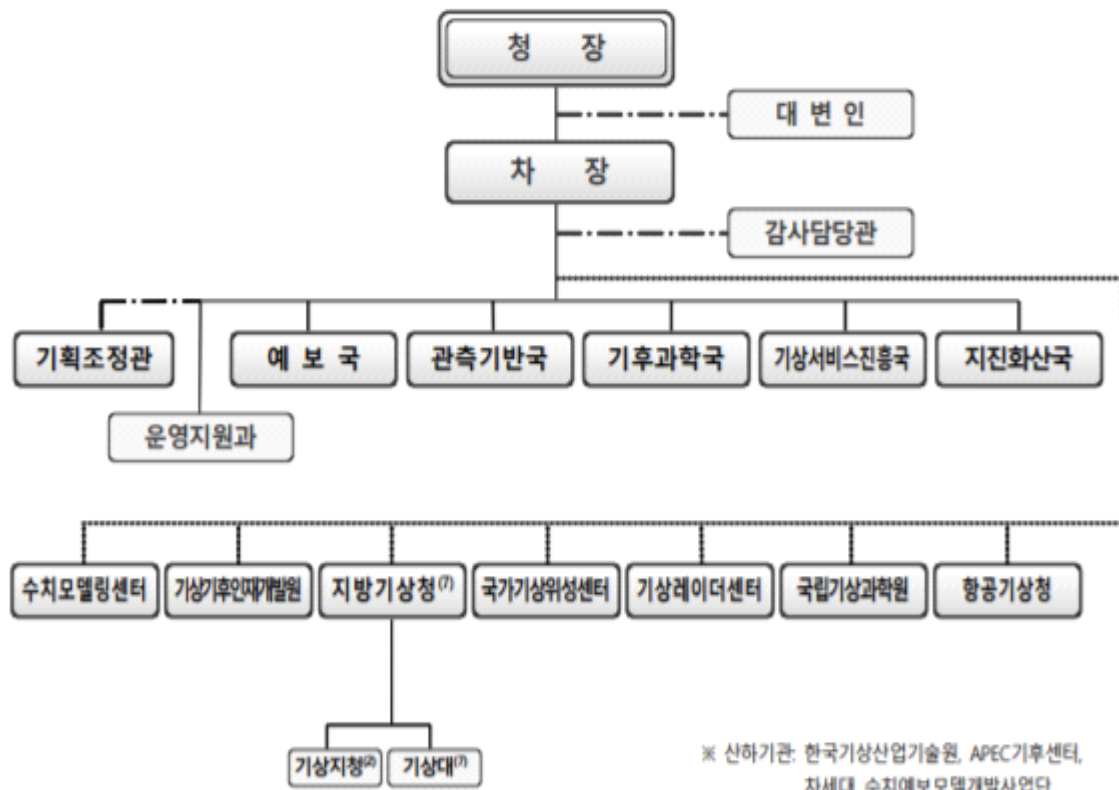
### 제 1 절 국내 현황

#### 1. 기상청 조직 체계 및 업무

##### 가. 조직 체계 및 주요 기능

기상청은 환경부 소속의 중앙행정기관이며, 본청, 수치모델링센터, 기상기후인재개발원, 지방기상청 7곳, 국가기상위성센터, 기상레이더센터, 국립기상과학원, 항공기상청으로 구성되어 있다.

[그림 2-1] 한국의 기상청 조직도



출처: 기상청(2020c), 「2021년도 기상청 소관 세입세출 예산안 개요(2020.12.2.)」, p. 4

기상청의 주요 업무는 관측업무, 정보통신업무, 예보업무, 기후감시업무, 지진·화산업무, 응용기상업무(항공기상분야는 항공기상청), 국제협력업무, 기상산업진흥, 기상연구(국립기상과학원), 기상서비스, 황사업무 등이다. 본청과 소속기관의 주요 기능은 다음과 같다.





<표 2-1> 기상청 본청의 주요 기능

부서별	주요 기능
기획조정관	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주요정책 수립, 예·결산 및 국회업무에 관한 사항</li> <li>○ 제도개선 및 법규·조직·성과관리에 관한 사항</li> <li>○ 기상·기후 및 지진분야 연구개발 총괄에 관한 사항</li> <li>○ 국가간 기상기술 교류 및 국제협력에 관한 사항</li> </ul>
예보국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 예보업무 및 방재기상업무에 관한 정책 수립</li> <li>○ 예보기술 개발 및 기상정보 통보에 관한 계획 수립·조정</li> <li>○ 전국 예·특보의 분석·총괄 및 태풍 감시·정보 생산</li> <li>○ 영향예보 추진에 관한 기본계획의 수립·조정</li> </ul>
관측기반국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상관측에 관한 정책 수립</li> <li>○ 기상관측표준화, 기상관측망 구성 및 조정</li> <li>○ 기상장비 수급·관리와 기상측기 기술개발에 관한 사항</li> <li>○ 정보화 촉진계획 수립 및 기상용 슈퍼컴퓨터 도입·운영</li> </ul>
기후과학국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기후·기후변화 관련 업무에 관한 정책 수립</li> <li>○ 해양기상 정책수립, 기술개발 및 해양기상서비스에 관한 사항</li> <li>○ 기후변화 감시·전망 및 장기예보와 기후전망의 생산·통보</li> <li>○ 수문기상·기상학적 가뭄 및 이상기후에 관한 사항</li> </ul>
기상서비스진흥국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상산업·항공·생활·응용기상 계획 수립</li> <li>○ 기상산업의 육성정책 및 제도에 관한 사항</li> <li>○ 기상기후자료 품질관리·통계 및 공공데이터 제공 서비스</li> <li>○ 기상기후 빅데이터 융합서비스 및 응용특화기상에 관한 사항</li> </ul>
지진화산국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지진·지진해일·화산에 관한 정책의 수립·조정</li> <li>○ 지진·지진해일·화산의 관측·감시·조사·분석·통보</li> <li>○ 지진·지진해일·화산 관측·분석 기술에 관한 사항</li> <li>○ 지진·지진해일·화산·지구물리에 관한 연구</li> </ul>
각 부처 공통	○ 대변인, 감사담당관, 운영지원과

출처: 기상청(2020c), 「2021년도 기상청 소관 세입세출 예산안 개요(2020.12.2.)」, p. 5

<표 2-2> 기상청 소속기관의 주요 기능

부서별	주요 기능
수치모델링센터	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수치예보 관련 정책과 계획의 수립·조정</li> <li>○ 수치예보시스템의 운영 및 예측자료 생산·제공</li> <li>○ 수치예보시스템 및 활용과정의 연구·개발</li> <li>○ 수치예보기술에 관한 국내·외 협력 및 확산</li> </ul>
기상기후인재개발원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전문인력 양성 교육훈련에 관한 사항</li> <li>○ 미래인재 육성 기상과학 문화 확산에 관한 사항</li> <li>○ 세계기상기구 지역훈련센터 운영</li> </ul>
지방기상청 (기상지청, 기상대)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 관할지역 예·특보의 생산·통보와 방재기상업무</li> <li>○ 관할지역 기상관측 및 기상감시와 기후정보업무 지도</li> <li>○ 기상관측 장비와 지방종합기상정보망의 운영·관리</li> <li>○ 기후정보 생산·보급 및 기상지식의 보급</li> </ul>
국가기상위성센터	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상위성에 관한 정책과 기본계획의 수립·조정</li> <li>○ 국가 우주개발 중장기 계획 수립 지원</li> <li>○ 기상위성 운영기반 구축·활용 및 지상국 기술정보 분석</li> <li>○ 기상위성자료를 이용한 분석자료 생산과 제공</li> </ul>
기상레이더센터	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상레이더에 관한 정책과 기본계획의 수립·조정</li> <li>○ 기상레이더 관측의 기준설정 및 제도개선</li> <li>○ 기상레이더 국내·외 기술협력 및 관측망 운영·관리</li> <li>○ 국내·외 기상레이더 관측자료 수집 및 분배</li> </ul>
국립기상과학원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상 미래전략기술 조사 및 기상예보·관측에 관한 연구</li> <li>○ 기후변화 및 응용기상에 관한 연구</li> <li>○ 장기예측·해양기상·수문기상에 관한 현업운영과 연구</li> <li>○ 황사·연무와 기후감시에 관한 현업운영과 연구</li> </ul>
항공기상청	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항공기상정보의 수집·생산·제공</li> <li>○ 비행정보구역에 대한 기상감시에 관한 사항</li> <li>○ 항공기상분야 국제협력에 관한 사항</li> <li>○ 항공기상관측장비의 관리 및 운영</li> </ul>

출처: 기상청(2020c), 「2021년도 기상청 소관 세입세출 예산안 개요(2020.12.2.)」, p. 6



기상청의 정원은 2020년 9월 30일 기준 총 1,336명이며, 자세한 인력구성은 아래와 같다.

<표 2-3> 한국 기상청의 정원

계	정무직	고공단	34급	4급	45급	5급	6급 이하	연구관	연구사	전문직	전문경력관	전문임기제
1,336	1	14	12	40	30	165	924	62	71	14	1	2

계	본부*	수치모델링센터	기상기후인재개발원	지방기상청	국가기상위성센터	기상레이더센터	국립기상과학원	항공기상청
정원(명) : 1,336	411	56	18	523	51	44	118	115
현원(명) : 1,318	415	55	18	508	49	44	114	115

\* 본부: 차장, 6국, 28과, 5팀

출처: 기상청 홈페이지, <https://www.kma.go.kr/aboutkma/organization/quota.jsp> (검색일: 2021.4.1.)

## 나. 장기예보 관련 세부 업무

기상청의 기상 및 장기예보 업무를 보면, 초단기예보, 단기예보, 중기예보, 장기예보, 기후전망<sup>2)</sup>이 있다. 장기예보는 1개월 전망과 3개월 전망을 하고 있으며, 기후전망은 계절기후전망과 연기후전망이 있다. ‘1개월 전망 및 3개월 전망부터 상세 장기예보’가 시행된 것은 2009년 10월 21일이다<sup>3)</sup>.

[그림 2-2] 예보 구분



출처: 기상청 기후정보포털: 카드뉴스 장기예보의 이해

<http://www.climate.go.kr/home/bbs/view.php?code=11&name=notice&vcode=6300&skind=&sword=&category1=&category2=> (검색일: 2021.3.31.)

1개월 전망은 매주 목요일에 발표되며, 발표일이 속한 주의 다음 두 번째 주(월~일요일)부터 다섯 번째 주까지 4주 동안의 주별 기압계, 평균기온과 강수량 전망을 발표하고 있다. 3개월 전망은 매월 23일경, 발표일 다음 월부터 3개월 동안의 월별 기압계, 평균기온과 강수량 전망을 발표하고 있다. 계절 기후전망은 2, 5, 8, 11월 23일경, 발표일 다음다음 계절의 평균기온과 강수량, 엘니뇨/라니냐 전망을 발표하고 있다. 연 기후전망은 12월 23일경, 발표일 다음 해의 평균기온과 강수량, 엘니뇨/라니냐 전망을 발표하고 있다.

2) 기후전망은 다음다음 계절의 기후에 관한 전망으로 엘니뇨/라니냐, 기온, 강수량에 대한 전망을 발표하는 것. 연4회((봄철 기후전망 : 11월 23일 경 발표, 여름철 기후전망 : 2월 23일 경 발표, 가을철 기후전망 : 5월 23일 경 발표, 겨울철 기후전망 : 8월 23일 경 발표) 발표함.

3) 2009년 시행 이전에는 전국을 1개의 예보구역으로 보고 장기예보를 해왔지만, 그 이후 기존의 전국 평균에 대한 장기예보를 개선해 지역별 기후특성을 반영한 12개 구역별(서울·인천·경기, 강원 영서, 강원 영동, 대전·충남, 충북, 광주·전남, 전북, 제주, 부산·울산·경남, 대구·경북, 평안남북·황해도, 함경남북도) 장기예보 서비스를 실시함. 또한 장기예보의 신뢰도와 지점별, 일별 기후정보도 홈페이지를 통해 일반에 제공하기로 함. 자료: 신아일보 “기상청, 장기예보 더 상세해진다”, (<http://www.shinailbo.co.kr/news/articleView.html?idxno=150559>), 검색일: 2021.3.31.



<표 2-4> 장기예보 기간

구분		예보기간	발표시기
장기예보	1개월 전망	4주간의 주별 기압계 전망, 기온 및 강수량 예보	매주 목요일 발표
	3개월 전망	3개월간의 월별 기압계 전망, 기온 및 강수량 예보	월 23일 발표
기후전망	계절기후전망	발표일 다음다음 계절의 평균기온과 강수량, 엘니뇨/라니냐를 전망	연 4회 발표
	연기후전망	발표일 다음 해의 평균기온과 강수량, 엘니뇨/라니냐를 전망	연 1회 발표

출처: 기상청 홈페이지, <https://www.kma.go.kr/aboutkma/biz/forecast02.jsp> (검색일: 2021.4.1.)

상기 장기예보 예측 업무는 기상법(법률), 기상법 시행령(대통령령), 기상법 시행규칙(환경부령), 기후업무규정(기상청 훈령)에서 규정하고 있다.

<표 2-5> 장기예보 예측 업무 관련 법·규정

구분	기후예측 업무	
	장기예보(1 ~ 3개월)	기후전망(6개월 ~ 1년)
	1개월전망, 3개월전망	계절 기후전망, 연 기후전망
기상법 (법률)	제13조(일반인을 위한 예보 및 특보) ① 기상청장은 기상현상에 대하여 일반인이 이용할 수 있도록 필요한 예보 및 특보를 하여야 한다. ④ 예보 및 특보의 종류·내용에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.	제22조(기후전망의 발표) ① 기상청장은 일반인이 이용할 수 있도록 기후에 관한 전망을 발표하여야 한다. ② 기후전망의 발표 주기 및 방법에 필요한 사항은 환경부령으로 정한다.
기상법 시행령 (대통령령)	제8조(일반인을 위한 예보 및 특보) ① 법 제13조제1항에 따른 기상현상에 관한 예보는 기온·강수 등에 관하여 정시 또는 수시로 하되, 다음 각 호의 예보로 구분하여 발표한다. 1. 초단기예보 : 예보대상기간 6시간 이내 2. 단기예보 : 예보대상기간 3일 이내 3. 중기예보 : 예보대상기간 10일 이내 4. 장기예보 : 예보대상기간 11일 이상 ④ 예보 및 특보의 세부 종류·내용, 대상 구역, 발표 기준 등에 관하여 필요한 사항은 기상청장이 정한다.	
기상법 시행규칙 (환경부령)		제6조(기후전망의 발표주기 및 방법) ① 법 제22조제1항에 따른 기후전망은 다음 각 호의 주기로 발표한다. 1. 연 기후전망 : 전년도 12월 하순에 발표 2. 봄철 기후전망 : 전년도 11월 하순에 발표 3. 여름철 기후전망 : 2월 하순에 발표 4. 가을철 기후전망 : 5월 하순에 발표

		5. 겨울철 기후전망 : 8월 하순에 발표 6. 수시 기후전망 : 수시로 발표 ② 기후전망은 인터넷 등을 이용하여 발표한다. ③ 기후전망의 발표일시 그 밖에 필요한 사항은 기상청장이 정한다.
기후업무 규정 (기상청 훈령)	제20조(장기예보의 종류 및 발표일) ① 영 제8조제1항제4호에 따른 장기예보의 종류 및 발표일은 다음 각 호와 같다. 1. 1개월 전망: 매주 목요일, 2. 3개월 전망: 매월 23일, ② 장기예보는 기상청 홈페이지 등을 통하여 발표한다.	제18조(기후전망의 종류 및 발표일) ① 규칙 제6조제3항에 따른 기후전망의 종류 및 발표일은 다음 각 호와 같다. 1. 연 기후전망: 전년도 12월 23일 2. 봄철 기후전망: 전년도 11월 23일 3. 여름철 기후전망: 2월 23일 4. 가을철 기후전망: 5월 23일 5. 겨울철 기후전망: 8월 23일 6. 수시 기후전망: 정해진 날짜 이외의 날 ② 기후전망은 기상청 홈페이지 등을 통하여 발표한다.

출처: 기상청 기후정책과(2020), 「장기예보 정확도 및 서비스 개선을 위한 TF 운영 결과 보고」

## 2. 기상청의 장기예보 관련 정책 및 전략

### 가. 기후변화대응 역량 강화를 위한 기후업무 발전 종합계획<sup>4)</sup>

기후업무 발전 종합계획은 범지구적 기후변화 대응과 국민 행복에 기여하는 기후서비스 확대를 위해 기후업무의 발전 목표와 정책 방향을 설정하고, 이를 달성하기 위한 전략적 과제를 제시하기 위해 수립되었다. 동 기본계획은 기후변화 대응에 있어 국가적 차원에서의 정책을 지원하고, 기상자원 활용 극대화에 필요한 기후정보 생산·제공 및 기반 구축을 위한 기술적·제도적 문제점을 보강하는 내용을 담고 있다. 2010년부터 5년 단위로 2020년 2월 기준으로 제1차(2010-2014), 제2차(2015-2019), 제3차(2017-2021) 종합계획까지 수립되었다. 제1차 계획은 기후정보 생산기반 구축 중심으로, 제2차 계획부터는 고품질 정보 생산과 기후정보 기반의 의사결정 지원 서비스 확대를 강화하기 위한 전략을 제시하고 있다.

4) 기상청(2010.6.), 「기후변화대응 역량 강화를 위한 기후업무 발전 종합계획」; 기상청(2015a), 「기후변화대응 역량 강화를 위한 제2차 기후업무 발전 종합계획」; 기상청(2020d), 「제3차 기후업무발전 기본계획('17~'21) 수정계획」; 기후정보포털 참고하여 작성



〈표 2-6〉 기후업무 발전 종합계획

구분	제1차 계획 (2010-2014) * 2010.6 수립	제2차 계획 (2015-2019) * 2015.1 수립	제3차 계획 (2017-2021) * 2017.1 ('17~'21) 수립, 2022 ('20~'21) 수정계획 수립
비전	범지구적 기후변화대응 노력에 동참하고 녹색성장을 통한 저탄소사회 구현	국민행복에 기여하는 기후서비스	국민행복에 기여하는 기후서비스
기본 목표	기후변화의 과학적 대응 역량 제고 및 신성장 동력 개발 지원	기후정보 기반의 의사결정 지원 서비스 확대 및 창조경제 기여	기후정보 기반의 의사결정 지원 서비스 확대 및 신기후체제 대응
중점 추진전략	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 한반도 기후변화감시 역량 강화</li> <li>2. 기후변화 예측능력 강화 및 선진 기술 확보 2-③ 기후예측 기술 선진화 및 상세기후 전망 서비스 제공 확대</li> <li>3. 녹색성장 기반 구축을 위한 신성장 동력 개발 지원 강화</li> <li>4. 기후변화과학 분야의 국가 대응 인프라 강화</li> <li>5. 기후변화과학 분야 대국민 홍보 서비스 강화</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (기반강화) 기후변화 관측·감시 체계 확대</li> <li>2. (핵심기술) 기후예측 연구개발 역량 강화</li> <li>3 (정책결정) 기후정보 활용·촉진 및 의사결정 지원서비스 확대 3-② 이상기후 대응 장기예보 품질 향상</li> <li>4. (공조확대) 국내외 기후정책 협력 및 대응 인프라 강화</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (기반강화) 기후변화 관측·감시 체계 확대</li> <li>2. (핵심기술) 기후예측 연구개발 역량 강화</li> <li>3 (정책결정) 기후정보 활용·촉진 및 의사결정 지원서비스 확대 3-② 이상기후 대응 장기예보 품질 향상</li> <li>4. (공조확대) 국내외 기후정책 협력 및 대응 인프라 강화</li> </ol>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5대 전략 18개 세부과제</li> <li>- 기후변화감시발전계획, 기후에 관한 영향조사 기본계획을 통합('12.1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4대 전략 12개 세부과제</li> <li>- 제3차 기상업무발전 기본계획('17~'21)과 기간 동일화를 위해 재수립 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4대 전략 11개 세부과제</li> <li>- 제3차 기후업무발전 기본계획의 환경 변화를 반영한 수정계획 필요</li> </ul>

출처: 기후정보포털

제1차 계획에서 장기예보와 가장 관련이 있는 전략은 「2. 기후변화 예측능력 강화 및 선진 기술 확보 전략 2-③ 기후예측 기술 선진화 및 상세기후전망 서비스 제공 확대」이다. 제2차와 제3차 계획에서는 「3 (정책결정) 기후정보 활용·촉진 및 의사결정 지원서비스 확대 3-② 이상 기후 대응 장기예보 품질 향상」 전략과 관련이 있다. 세부 추진계획은 아래와 같다.

〈표 2-7〉 기후업무 발전 종합계획 중 장기예보 관련 전략과 세부 추진계획

기본 계획	중점 추진 전략	세부추진계획	
제1차	2. 기후변화 예측능력 강화 및 선진 기술 확보 전략	2-③ 기후예측 기술 선진화 및 상세기후 전망 서비스 제공 확대	<p>장기예보 정확도와 만족도 제고를 위한 기후예측 기술 선진화</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 한·영 공동 계절예측 시스템의 구축 및 운영( '10~' 12년)</li> <li>○ 아시아 지역의 예보 정확도 향상을 위한 예측모델 개선과 독자 대기·해양 자료동화 기술력 확보( '13~' 14년)</li> </ul> <p>실시간 이상기상 감시·분석 및 지역별 기후전망 서비스 제공 확대</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 장기기후예측 정확도 제고를 위한 계절장기예보 시스템 개선('10~' 12년) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지역 장기예보 및 계절기상 예보 확대 시행</li> <li>※ (1) 지역 특성과 주민의 서비스 요구를 유지하고 있는 예보관이 관할 장기예보 발표</li> <li>(2) 예보구역별로 5개 지방기상청 및 5개 특·정보기상대에서 담당</li> <li>- 중기 수치예보모델 수준(약 55km)의 상세 기후예측자료 생산</li> <li>※ (1) 연차별 인력 증원 추진(현행 4명에서 '12년까지 총 15명으로 운영)</li> <li>(2) 장기예보관 전문직위 지정( '11년)</li> </ul> </li> <li>○ 기후예측 분야 세계선도센터 활동 강화 및 국내외 네트워크 강화 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 아프리카 등 제3세계국가에 대한 장기예보 기술전수 확대</li> </ul> </li> </ul>
제2차	3 (정책결정) 기후정보 활용·촉진 및 의사결정 지원서비스 확대	3-② 이상기후 대응 장기예보 품질 향상	<p>선진 계절예측시스템 도입·평가 및 10년 예측시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 한·영 공동 계절예측시스템 개선 및 성능평가</li> <li>○ 이음새 없는(seamless) 기후예측체계 구축을 위한 10년 예측시스템 개발</li> </ul> <p>해양·해빙 자료동화 체계 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해양·해빙 자료동화과정 시험운영 체계 구축('15)</li> <li>○ 전 지구 해양순환예측시스템 현업 운영 체계 구축('16~'17)</li> <li>○ 전 지구 해양·해빙 자료동화 과정 개선('18~'19)</li> </ul> <p>선진 장기예보 서비스 체계 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선진 장기예보 생산체계 운영 및 개선('15~'19)</li> <li>○ 이상기후 조기탐지 및 조기경보 체계 구축('15~'16) 및 운영('17~) <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 여름철 폭염, 겨울철 한파 등 극한기후에 대한 예측정보 제공</li> </ul> </li> <li>○ 부문별 수요자 맞춤형 장기예보 전달 체계 구축('17~'18) 및 운영('19) <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 산업에너지, 건강, 농업, 산림, 수산분야 등 부문별 영향모델 구축 및 맞춤형 장기예보 제공</li> </ul> </li> </ul> <p>장기예보 정확도 개선을 위한 역량 강화</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ (인력) 장기예보 인력 보강 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 5인 → 8인으로 보강 추진( '15) → 13인( '16)</li> <li>- 국립기상(연), APCC 전문가 포함한 센터개념의 장기예보체계 구축 방안 검토</li> </ul> </li> <li>○ 지역 장기예보관 운영 및 교육훈련을 통한 장기예보 전문가 양성('15~'19) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지역 장기예보관 운영</li> <li>※ (남한 지역 10개) 서울·인천·경기, 강원영서, 강원영동, 대전·세종·충남, 충북, 광주·전남, 전북, 부산·울산·경남, 대구·경북, 제주</li> <li>- 지역 장기예보 활성화를 위한 장기예보 교육과정 운영</li> </ul> </li> </ul>



제3차	3 (정책결정) 기후정보 활용·촉진 및 의사결정 지원서비스 확대	3-② 이상기후 대응 장기예보 품질 향상	<p>선진 계절예측시스템 개선 및 검증</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 한영 공동계절예측시스템 운영·개선 및 활용 기법의 개발</li> <li>○ 태풍 및 황사 3개월 전망을 위한 예측기술 개선</li> </ul>
			<p>전 지구 해양순환 예측시스템 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전 지구 해양·해빙 자료동화시스템 개선 및 검증</li> </ul>
			<p>장기예보 생산·서비스 체계 역량 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 장기예보관 의사결정 지원시스템 구축 등을 통한 예보역량 강화</li> <li>- 기후감사·기후예측모델자료 기반의 장기예보 가이드스 개발</li> <li>- 기후감사전망시스템 개선 및 기후예측모델 후처리 기법 개발 등</li> <li>- 국내외 기후예측 관련기관과의 기술교류를 통한 장기예보 기술 습득</li> <li>- 장기예보 정확도 향상을 위한 전문가 육성 교육 운영</li> <li>○ 청내외 장기예보 역할분담·연계를 통한 장기예보 역량 집중</li> <li>- 기후예측기술 실무협의회 운영 내실화 및 청내외 장기예보 관련 부서/기관간 협업 강화</li> <li>- 선진 장기예보센터 벤치마킹 등을 통한 장기예보센터 설립 추진</li> <li>○ 「WMO 장기예보 선도센터」의 안정적인 운영을 통한 국제사회 선도</li> </ul>
			<p>수요자 친화형 장기예보 서비스 확대</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 이상기후 정보의 제공 분야 및 요소 확대와 공간 상세화</li> <li>※ 제공분야: 에너지('17) → 농업('18) → 보건('19)</li> <li>※ 전망요소: 극한기온(이상고온·저온)('20) → 최고·최저기온('21)</li> <li>※ 대상지역: 전국단위 전망('18~'19) → 지역단위 전망('20)</li> </ul>

출처: 기상청(2010), 「기후변화대응 역량 강화를 위한 기후업무 발전 종합계획」, p. 21; 기상청(2015a), 「기후변화대응 역량 강화를 위한 제2차 기후업무 발전 종합계획」, pp. 30-31; 기상청(2020d), 「제3차 기후업무발전 기본계획('17~'21) 수정계획」, pp. 26-29

#### 나. 장기예보 정확도 향상을 위한 추진전략 및 중점과제<sup>5)</sup>

2020년 여름철 전망에 대한 언론<sup>6)</sup> 질타와 이에 따른 장기예보 정확도 개선에 대한 2020년 국회(결산국회, 국정감사)의 지속적인 요구에 따라, 기상청은 2021년 2월 장기예보 정확도 개선 방안 마련에 나섰다, 이를 위한 추진전략 및 중점과제를 제안하였다. 자세한 전략과 과제 내용은 아래 표에 제시되어있다.

5) 기상청 기후예측과(2021.2), 「장기예보 정확도 향상 방안(안)」

6) 역대급 폭염?...서울 17년만에 7월 열대야 없었다(한국경제/2020.8.1.), '폭염·강수량·긴장마' 어긋난 기상청, 기후변화가 원망스럽다?(한국일보/2020.8.3.), 폭염 온다더니 역대급 장마...못 믿을 기상청(중앙일보/2020.8.4.), 역대급 긴장마로 피해 속출, 예보 역량 부족 탓도 크다(헤럴드경제/2020.8.10.), 기록적인 폭염이라더니...날씨에 뺨 맞은 '에어컨 장사'(머니투데이/2020.8.12.) 등의 언론 보도가 있었다. 이러한 여름철 예보 미진에 대해 기상청장은 "2020년 5월 발표된 3개월 전망에서 7월 강수량과 기온 전망이 일부 빗나가 지적이 있었다"며 "기후예측모델을 인공지능(AI)과 접목해 개선하고 산하기관별 전문성에 따라 체계적으로 역할을 분담하겠다"고 말했다. 이어 "국내외 기후 전문가의 검토 결과를 관계기관, 언론과 소통해 신뢰 높여겠다"며 "향후 개선된 기후예측모델은 2021년 11월까지 도입 및 운영할 계획"이라고 밝혔다.

(자료: 동아닷컴(2020.10.12), 「기상청장 "기상·명측 등장은 국민 기대 못미친 결과"」, <http://donga.com/news.php?id=40545> (검색일 2021.3.31))



〈표 2-8〉 장기예보 정확도 향상을 위한 추진전략 및 중점과제

<b>목표</b>	장기예보 정확도 향상으로 신뢰도 제고
<b>추진전략</b>	① 기후감시요소와 모델의 예측성 분석 강화 ② 기후예측 기술 개발로 장기예보의 객관화 추진 ③ 장기예보관 역량 강화
<b>추진과제</b>	1. 기후감시·분석 능력 강화 ① 블로킹 패턴 감지 능력 향상 ② 장기예보 선행 예측인자의 예측성 분석 강화
	2. 기후예측모델 특성 분석 강화 ① GloSea5의 오차 분석 체계화 마련 ② 1:3개월 전망 생산 관련 예보관과 부서간 환류 체계 정비 ③ GloSea6-UKMO 장기예보생산 활용계획
	3. 기후예측 기술 개발 ① 기후예측모델 가이드스 개발 ② 모델과 기후인자 병합 가이드스 개발 ③ 인공지능을 활용한 기후예측 기술 개발
	4. 장기예보관 역량 및 인력 강화 ① 장기예보 사후분석 강화 ② 장기예보관 인력 강화

출처: 기상청 기후예측과(2021.2), 「장기예보 정확도 향상 방안(안)」, p. 6

#### 다. 2021년도 장기 예보 관련 예산 편성

기상청은 위험기상 조기 탐지를 위한 신규 관측망 확충, 인공지능, 미래기상기술력 확보를 위한 핵심사업에 집중적으로 투자하기 위해 2021년도 예산을 전년 대비 495억원(13.2%) 증가한 4,257억 원으로 편성하였다. 특히 △위험기상 예측역량 강화 및 대국민 전달체계 강화 △기후변화 정책지원 강화 및 미래 기상기술 개발 △위험기상 조기탐지를 위한 지상·해양 등 기상관측망 확충 등에 중점적으로 편성하였다.

〈표 2-9〉 2021년도 기상청 프로그램별 예산 내역

(단위: 백만원)

구분	' 20		' 21 예산 (B)	증감 (B-A)	증감율 (B/A)
	본예산	추경 (A)			
<b>프로그램별 합계</b>	<b>390,920</b>	<b>376,189</b>	<b>425,659</b>	<b>49,470</b>	<b>13.2</b>
<b>1. 기상예보 프로그램</b>	<b>7,478</b>	<b>7,478</b>	<b>8,007</b>	<b>529</b>	<b>7.1</b>
가. 국가태풍센터 운영	874	874	1,036	162	18.5
나. 예보 및 통보체계 개선	6,604	6,604	6,971	367	5.6
<b>2. 기상관측 프로그램</b>	<b>108,635</b>	<b>97,123</b>	<b>115,364</b>	<b>18,241</b>	<b>18.8</b>
가. 지상 및 고층 기상관측	19,861	19,861	23,563	3,702	18.6
나. 해양기상관측	16,006	16,006	19,189	3,183	19.9
다. 기상레이더 관측	9,518	9,518	10,147	629	6.6



라. 지진관측	16,206	16,206	13,555	△2,651	△16.4
마. 기상정보시스템 운영	47,044	35,532	48,910	1,866	4.0
<b>3. 기후변화과학 프로그램</b>	<b>14,002</b>	<b>13,955</b>	<b>13,249</b>	<b>△753</b>	<b>△5.4</b>
가. 기후변화 과학정보 생산 및 서비스	7,334	7,334	7,247	△87	△1.2
나. 아태 기후정보서비스 및 연구개발	6,668	6,621	6,002	△666	△10.0
<b>4. 기상서비스 진흥 프로그램</b>	<b>16,153</b>	<b>16,110</b>	<b>18,045</b>	<b>1,892</b>	<b>11.7</b>
가. 기상산업 진흥	13,060	13,017	13,946	886	6.8
나. 기후자료관리 서비스	3,093	3,093	4,099	1,006	32.5
<b>5. 기상연구 프로그램</b>	<b>61,425</b>	<b>61,372</b>	<b>68,568</b>	<b>7,143</b>	<b>11.6</b>
가. 선진기상·지진 기술개발	26,805	26,752	37,857	11,052	41.2
나. 기상관측위성 개발	13,323	13,323	15,653	2,330	17.5
다. 기상·지진 See-At 기술 개발	21,297	21,297	15,058	△6,239	△29.3
<b>6. 책임행정기관 운영 프로그램</b>	<b>47,428</b>	<b>47,236</b>	<b>56,774</b>	<b>9,346</b>	<b>19.7</b>
<b>7. 국제협력 교육홍보 프로그램</b>	<b>9,994</b>	<b>9,780</b>	<b>10,257</b>	<b>263</b>	<b>2.6</b>
<b>8. 기상행정 지원 프로그램</b>	<b>125,805</b>	<b>123,135</b>	<b>135,395</b>	<b>9,590</b>	<b>7.6</b>

출처: 기상청(2020c), 「2021년도 기상청 소관 세입세출 예산안 개요」, pp. 14-15

특히 장기예보 관련 예산은 2021년 기후변화과학 프로그램의 기후변화 과학정보 생산 및 서비스 세부 예산과 관련있다. 기후변화과학 프로그램은 이상기후로 인한 사회·경제적 피해 경감과 효율적 정책 수립 지원을 위한 고품질 기후예측 정보를 제공하여 국가 기후변화 대응 지원을 강화하고, 지역별 기후변화 적응을 위한 기후변화 과학정보 제공으로 지자체의 정책수립 지원과 지역경제 활성화에 기여하며, 기후변화 공동대처를 위한 국제사회 협력에 기여하는 데 있다. 2021년 기후변화 과학정보 생산 및 서비스 관련 예산은 72억원으로 전년 대비 1.2% 감소했다. 본 프로그램은 기후변화 감시서비스 체계 구축 및 운영(18억원), 장기예보 선진 서비스 체계 구축(18억원), 지역 기후정보 생산 및 활용(23억원), 기후과학 국제협력 역량 강화(14억원)으로 구성되어 있다. 이 가운데 장기예보 선진 서비스 체계 구축 예산이 2020년에 비해 4.8% 줄어든 것으로 나타났다.

<표 2-10> 2021년도 기후변화 과학정보 생산 서비스 예산

(단위: 백만원)

구분	' 20		' 21 예산 (B)	증감 (B-A)	증감율 (B/A)
	본예산	추경 (A)			
<b>합계</b>	<b>7,334</b>	<b>7,334</b>	<b>7,247</b>	<b>△87</b>	<b>△1.2</b>
○ 기후변화 감시·서비스 체계 구축 및 운영	1,770	1,770	1,773	3	0.2
○ 장기예보 선진 서비스 체계 구축	1,927	1,927	1,834	△93	△4.8
○ 지역 기후정보 생산 및 활용	2,249	2,249	2,250	1	0.0
○ 기후과학 국제협력 역량 강화	1,388	1,388	1,390	2	0.1

출처: 기상청(2020c), 「2021년도 기상청 소관 세입세출 예산안 개요」, p. 27

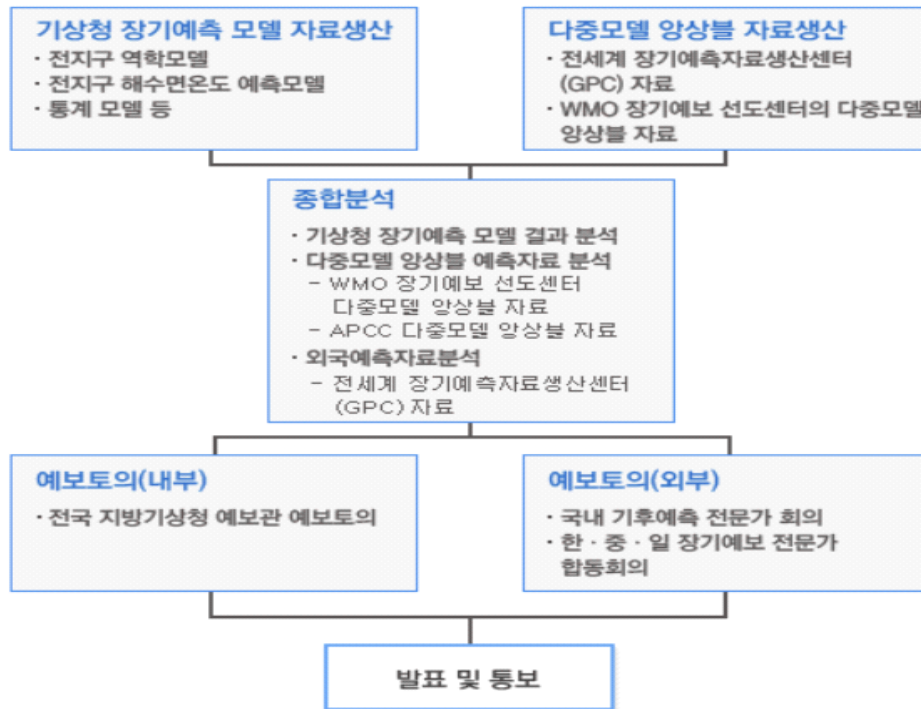


### 3. 장기예보 생산 절차 및 제공 정보의 종류

#### 가. 장기예보 생산 절차

한국의 장기예보는 기상청 장기예측 모델 자료, 다중모델 앙상블 자료를 종합 분석하여, 예보 토의를 통해 발표되고 있다.

[그림 2-3] 한국의 장기예보 생산 절차



출처: 기상청 홈페이지-예보 용어보기(기후전망•장기예보),  
[http://www.weather.go.kr/HELP/html/help\\_fct004.jsp](http://www.weather.go.kr/HELP/html/help_fct004.jsp) (검색일: 2021.3.31.)

#### 나. 장기예보 정보

기상청의 장기예보는 1개월 전망, 3개월 전망으로 구성되어 있으며, 추가적으로 전망관련 자료와 기후전망을 생산하고 있다.

##### (1) 1개월 전망

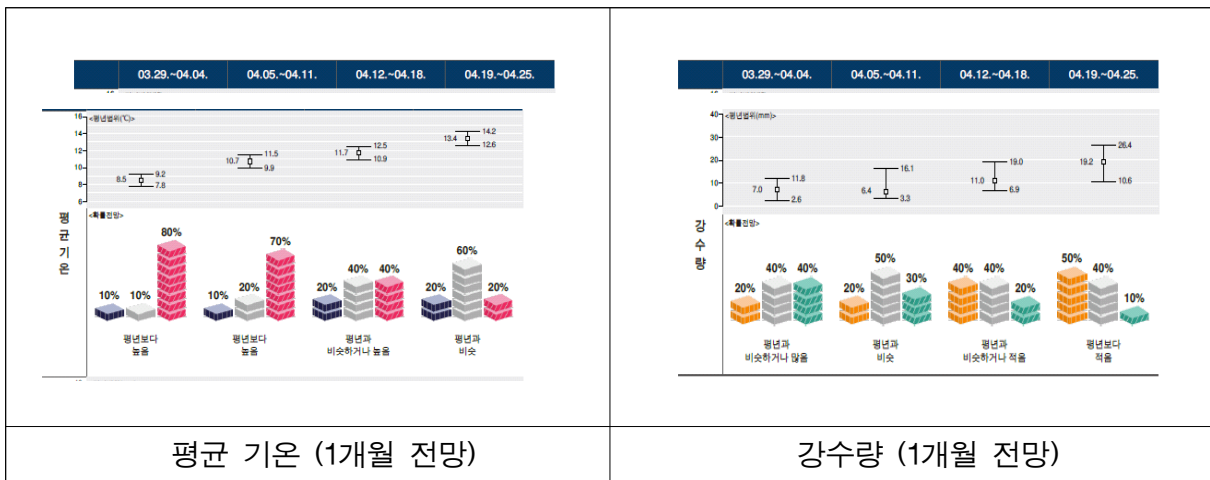
1개월 전망은 매주 목요일 오전 11시에 발표되며, 1주 단위로 평균 기온 및 강수량에 대한 정보를 생산하고, 1개월의 예보 요약과 주별 날씨 전망에 대한 안내를 제공하고 있다. 아울러 이상저온 및 이상고온 전망, 기상가뭄 전망에 대한 데이터를 제공하고 있다. 대상지역은 전국(평균), 전국 10개 지역, 북한 2개 지역이며, 평년보다 “높음/많음”, “비슷”, “낮음/적음”의 3분위에 대한 확률 예보를 제공하고 있다. 예보문은 기상청 웹사이트에서 볼 수 있고,



PDF로도 다운로드 가능하다.

평균 기온은 “낮음”, “비슷”, “높음” 으로 평년 대비 주별·지역별 확률 전망을 제공하고 있으며, 강수량은 “적음”, “비슷”, “많음” 으로 평년 대비 주별·지역별 확률 전망을 제공하고 있다.

[그림 2-4] 한국의 1개월 전망 (평균 기온 및 강수량)



주: 평균 기온 및 강수량의 평년범위는 과거 30년(1981~2010년)간 연도별 30개의 평균값 중 대략적으로 33%-67%에 해당하는 값  
출처: 기상청 홈페이지 자료를 활용하여, 그림을 편집

또한 평년 대비 1개월 동안의 기온전망 및 강수량 전망에 관한 예보 요약을 제공한다.

[그림 2-5] 한국의 기온 및 강수량 예보 요약(예시) (1개월)

- 기온 전망 : 평년보다 높겠으나, 일시적으로 쌀쌀한 날씨를 보일 때가 있습니다.
- 강수량 전망 : 대체로 평년과 비슷한 경향을 보이겠으나, 건조한 날이 많겠습니다.

출처: 기상청 홈페이지 참조

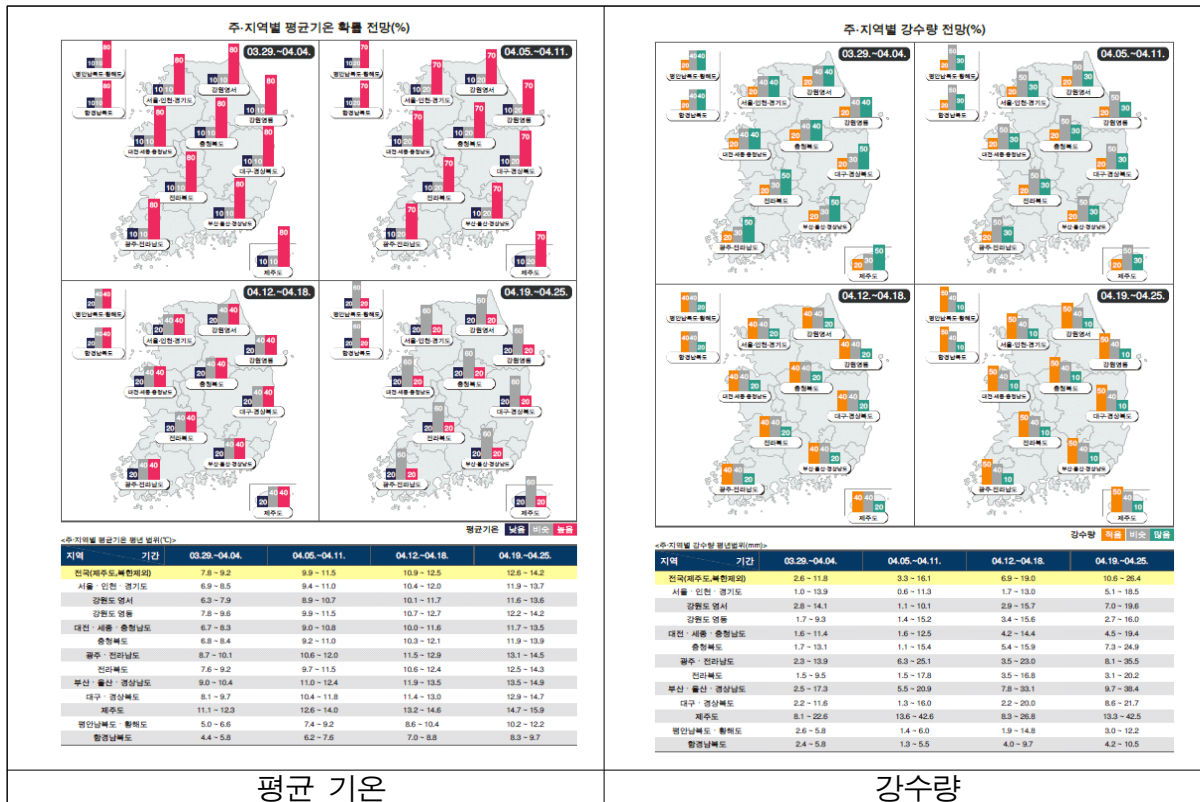
그리고 평균 기온 및 강수량 전망을 기반으로 주별 날씨 전망(요약문) 및 주별·지역별 평균기온 및 강수량 확률 전망(지도 및 표)을 제공하고 있다.

〈표 2-11〉 한국의 주별 날씨 전망(요약문) 예시 (1개월)

기간	주별 전망
03.29.~04.04.	고기압 가장자리에 들어 구름 끼는 날이 많겠으며, 남서쪽에서 다가오는 기압골의 영향을 받을 때가 있겠습니다. (주평균기온) 평년(7.8~9.2℃)보다 높겠습니다. (주강수량) 평년(2.6~11.8mm)과 비슷하거나 많겠습니다.
04.05.~04.11.	이동성 고기압의 영향을 주로 받는 가운데 남쪽을 지나는 기압골의 영향을 받을 때가 있겠습니다. (주평균기온) 평년(9.9~11.5℃)보다 높겠습니다. (주강수량) 평년(3.3~16.1mm)과 비슷하겠습니다.
04.12.~04.18.	이동성 고기압의 영향을 주로 받겠으며, 일시적으로 쌀쌀한 날씨를 보일 때가 있겠습니다. (주평균기온) 평년(10.9~12.5℃)과 비슷하거나 높겠습니다. (주강수량) 평년(6.9~19.0mm)과 비슷하거나 적겠습니다.
04.19.~04.25.	이동성 고기압의 영향을 주로 받겠으며, 상층 찬 공기의 영향으로 쌀쌀한 날씨를 보일 때가 있겠습니다. (주평균기온) 평년(12.6~14.2℃)과 비슷하겠습니다. (주강수량) 평년(10.6~26.4mm)보다 적겠습니다.

출처: 기상청 홈페이지 자료를 활용하여, 그림을 편집

[그림 2-6] 한국의 평균 기온 및 강수량 전망(%) (1개월)



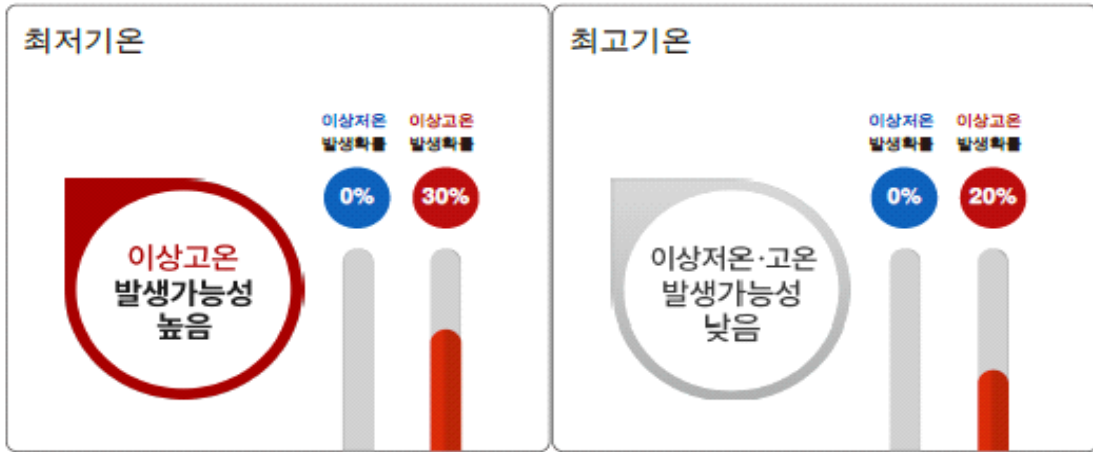
출처: 기상청 홈페이지 자료를 활용하여, 그림을 편집



이상저온 및 이상고온 전망도 제공하는데, 차주 월요일부터 일요일까지의 이상저온 및 이상고온 발생 확률(그림과일)에 대한 전망하고, 주요 도시별 이상저온의 최저기온 및 이상고온의 최고 기온(표) 기준을 제공하고 있다.

- ※ 이상기후는 기온, 강수량 등의 기후요소가 평년(1981~2010년)에 비해 현저히 높거나 낮은 수치를 나타내는 극한현상으로 이상저온은 최저·최고기온 10퍼센타일 미만, 이상고온은 최저·최고기온 90퍼센타일 초과범위로 정의함 (기상청 자료)
- ※ 퍼센타일은 평년 동일 기간의 기온을 비교하여 낮은 순서대로 몇 번째인지 나타내는 백분위수로 이상기후를 정의하는데 사용됨 (기상청 자료)
- ※ 주간 이상기후 전망정보는 주 평균 최저기온과 최고기온의 이상저온·이상고온에 대한 발생가능성(확률)전망을 나타내고, 발생가능성 백분율이 30%이상과 미만일 경우 각각 발생가능성 “높음” 과 “낮음” 으로 제공함 (기상청 자료)

[그림 2-7] 한국의 이상저온 및 이상고온 전망 (1개월)



출처: 기상청 홈페이지 참조

<표 2-12> 한국의 주요 지점별 이상저온 및 이상고온 기준(1개월) 예시

지점	이상저온 기준	이상고온 기준	지점	이상저온 기준	이상고온 기준
	최저기온	최고 기온		최저기온	최고 기온
춘천	-1.3℃ 미만	19.1℃ 초과	서울	2.7℃ 미만	18.4℃ 초과
서울	2.2℃ 미만	17.9℃ 초과	인천	2.3℃ 미만	16.4℃ 초과
청주	0.7℃ 미만	19.6℃ 초과	대구	3.5℃ 미만	20.8℃ 초과
전주	1.1℃ 미만	19.1℃ 초과	광주	2.3℃ 미만	19.6℃ 초과
부산	5.2℃ 미만	17.7℃ 초과	제주	6.3℃ 미만	17.0℃ 초과

출처: 기상청 홈페이지 참조

기상가뭄 현황 및 전망은 최근 6개월의 전국 누적 강수량을 평년 대비 퍼센트로 표기하여 기상 가뭄의 정도에 대한 현황을 표기하고, 향후 1개월을 전망하고 있다.

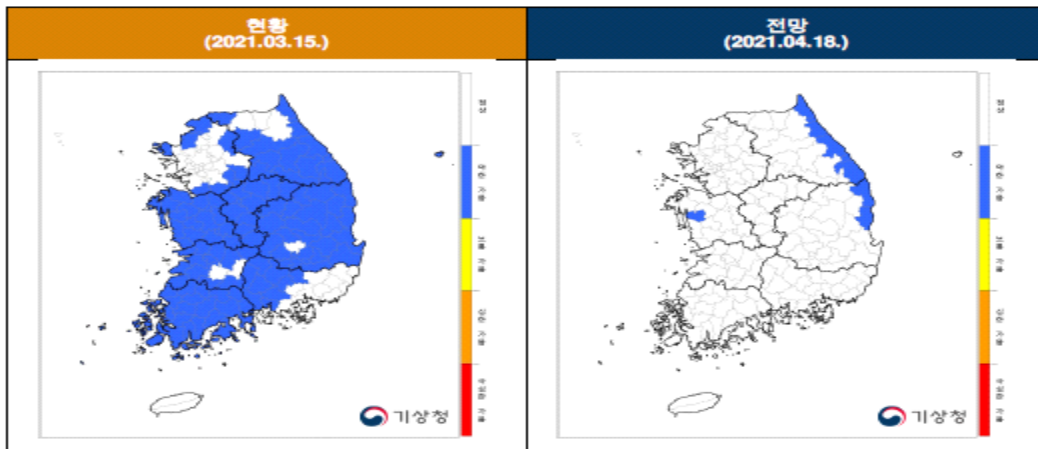
[그림 2-8] 한국의 기상가뭄 현황 및 전망 (예시) (1개월)

- 현황 : 최근 6개월( '20.9.16.~ '21.3.15.) 전국 누계강수량(177.6mm)은 평년(278.9mm)의 65%로 **약한 기상가뭄이 발생하였습니다.**
- 전망 : **기상가뭄이 점차 완화되겠습니다.**

출처: 기상청 홈페이지 참조

지역별 기상가뭄 전망은 “정상(흰색)”, “약한 가뭄(파란색)”, “보통 가뭄(노란색)”, “심한 가뭄(주황색)”, “극심한 가뭄(빨간색)” 으로 한반도 지도상에 지역별로 색깔을 표기하여, 현황 및 전망을 제공하고 있다.

[그림 2-9] 한국의 지역별 기상가뭄 전망 (1개월)



출처: 기상청 홈페이지 참조

[그림 2-10] 한국의 기상가뭄 기준

※ 기상가뭄은 특정지역의 강수량이 평균 강수량보다 적어 건조한 기간이 일정기간 이상 지속되는 현상.  
 ※ 기상가뭄 판단은 6개월 표준강수지수\*를 적용했으며, 기상가뭄 단계는 약한-보통-심한-극심한 가뭄인 4단계로 구분.  
 \* 표준강수지수 : 최근 누적강수량과 과거 동일기간의 강수량을 비교하여 가뭄 정도를 나타내는 지수

구분	기상가뭄 기준
약한 가뭄	최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 $< -1.0$ 이하(평년대비 약 65% 이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수특성 반영할 수 있음
보통 가뭄	최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 $< -1.5$ 이하(평년대비 약 55% 이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수특성 반영할 수 있음
심한 가뭄	최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 $< -2.0$ 이하(평년대비 약 45% 이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수특성 반영할 수 있음
극심한 가뭄	최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 $< -2.0$ 이하(평년대비 약 45% 이하)가 20일 이상으로 기상가뭄이 지속되어 전국적인 가뭄 피해가 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수특성 반영할 수 있음

※ 기상가뭄 예보는 장기확률예보 결과를 반영하여 강수발생확률이 가장 높았을 경우를 기준으로 167개 시·군의 기상가뭄 발생 지역을 나타냅니다.

출처: 기상청 홈페이지 참조



## (2) 3개월 전망

3개월 전망은 매달 23일 오전 11시에 발표되며, 월 단위로 평균 기온 및 강수량에 대한 정보를 생산하고, 3개월의 예보 요약과 주별 날씨 전망에 대한 안내를 제공하고 있다. 아울러 이상저온 및 이상고온 전망 및 기상가뭄 전망에 대한 데이터를 제공하고 있다. 대상지역은 전국(평균), 전국 10개 지역, 북한 2개 지역이며, 평년보다 “높음/많음”, “비슷”, “낮음/적음”의 3분위에 대한 확률 예보를 제공하고 있다. 예보문은 기상청 웹사이트에서 볼 수 있고, PDF 형식으로도 제공된다. 기상청은 또한 3개월 전망 해설서를 발표하고 있는데, 이 해설서에는 기온, 강수량에 관한 3개월 전망 요약, 기후감시 요소(해수면온도, 지구장파복사, 북극진동, 북극 바다얼음, 온난화 추세, 최근 기압계 등) 및 기후예측모델 분석<sup>7)</sup>을 통한 3개월 전망에 관한 해설을 포함한다. 해설서 또한 웹사이트에서 바로 볼 수 있고, PDF 형식으로도 다운로드 가능하다.

평균기온은 “낮음”, “비슷”, “높음”으로 평년 대비 월별·지역별 확률 전망을 제공하고, 강수량은 “적음”, “비슷”, “많음”으로 평년 대비 월별·지역별 확률 전망을 제공하고 있다.

[그림 2-11] 한국의 3개월 전망 (평균 기온 및 강수량)



주: 평균 기온 및 강수량의 평년범위는 과거 30년(1981-2010년)간 연도별 30개의 평균값 중 대략적으로 33%-67%에 해당하는 값  
출처: 기상청 홈페이지 자료를 활용하여, 그림을 편집

또한 평년 대비 3개월 동안의 기온전망 및 강수량 전망에 관한 예보 요약을 제공한다.

7) 기상청 홈페이지, 「3개월 전망 해설서」, <https://www.weather.go.kr/w/weather/long-term/month3-guide.do> (검색일: 2021.8.9.)



[그림 2-12] 한국의 기온 및 강수량 예보 요약(예시) (3개월)

- 기온 전망 : 4월과 6월은 평년과 비슷하거나 높겠으며, 5월은 평년보다 높겠습니다.  
4월에는 상층 찬 공기의 영향으로 쌀쌀한 날씨를 보일 때가 있겠고,  
5~6월에는 일시적으로 고온현상이 나타날 때가 있겠습니다.
- 강수량전망 : 4월은 평년과 비슷하거나 적겠으며, 5월과 6월은 평년과 비슷하겠습니다.  
이동성 고기압의 영향을 주로 받아 맑고 건조한 날이 많겠으나,  
6월에는 남서쪽에서 다가오는 저기압의 영향으로 많은 비가 내릴 때가 있겠습니다.

※ 다음 3개월 전망은 4월 23일 발표됩니다. 기압계 변화 시 수정 전망이 발표될 수 있으며,  
매주 목요일 발표되는 1개월 전망 등 최신 전망을 참고하시기 바랍니다.

출처: 기상청 홈페이지 참조

또한 평균 기온 및 강수량 전망을 기반으로 월별 날씨 전망(요약문) 및 주별·지역별 평균 기온 및 강수량 확률 전망(지도 및 표)을 제공하고 있다.

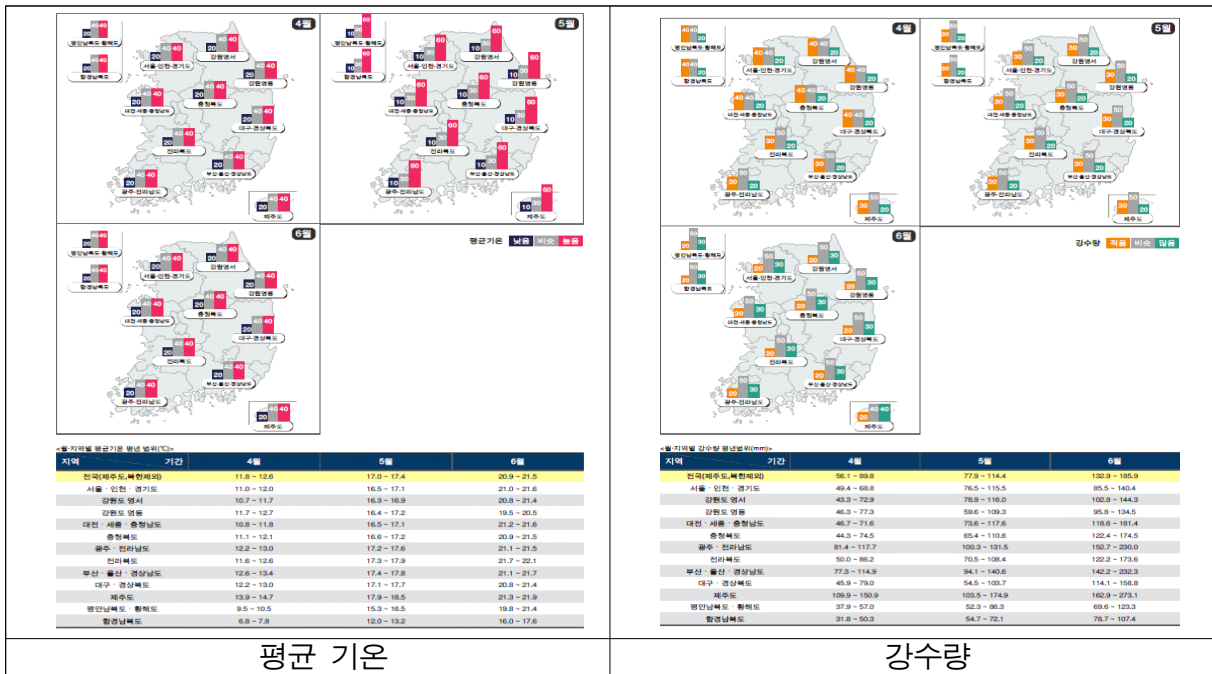
〈표 2-13〉 한국의 월별 날씨 전망(요약문) 예시 (3개월)

기간	주별 전망
4월	이동성 고기압의 영향을 주로 받아 평년보다 다소 높은 기온 경향을 보이겠으나, 상층 찬 공기의 영향으로 쌀쌀한 날씨를 보일 때가 있겠습니다. 낮과 밤의 기온 차가 큰 가운데 맑고 건조한 날이 많겠습니다.  (월평균기온) 평년(11.8~12.6℃)과 비슷하거나 높겠습니다. (월강수량) 평년(56.1~89.8mm)과 비슷하거나 적겠습니다.
5월	따뜻한 공기의 영향을 주로 받아 평년보다 기온이 높겠으며, 남서류의 유입과 낮 동안 일사의 영향으로 일시적으로 고온현상이 나타날 때가 있겠습니다. 전반적으로 건조한 경향을 보이겠으나, 남쪽을 지나는 기압골의 영향으로 다소 많은 비가 내릴 때가 있겠습니다.  (월평균기온) 평년(17.0~17.4℃)과 비슷하거나 높겠습니다. (월강수량) 평년(77.9~114.4mm)과 비슷하거나 적겠습니다.
6월	전반에는 맑고 일교차가 큰 날이 많겠으나, 후반에는 대체로 흐린날이 많겠습니다. 월 전체 평균 기온은 평년과 비슷하거나 높겠으나, 일시적으로 다소 선선한 날씨를 보일 때가 있겠으며, 남서쪽에서 다가오는 저기압의 영향으로 많은 비가 내릴 때가 있겠습니다.  (월평균기온) 평년(20.9~21.5℃)과 비슷하거나 높겠습니다. (월강수량) 평년(132.9~185.9mm)과 비슷하겠습니다.

출처: 기상청 홈페이지 참조



[그림 2-13] 한국의 주·지역별 평균 기온 및 강수량 전망(%) (3개월)



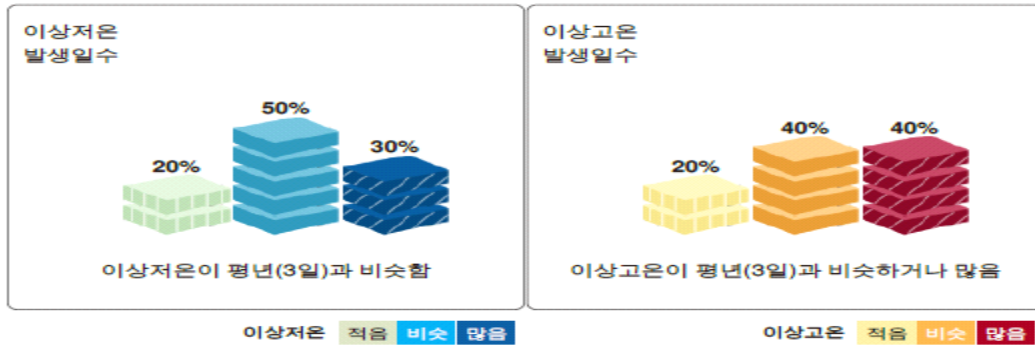
출처: 기상청 홈페이지 자료를 활용하여, 그림을 편집

이상저온 및 이상고온 전망도 제공하는데, 평년 대비 “적음”, “비슷”, “많음” 으로 이상저온 및 이상고온 발생 확률(그림파일)에 대한 전망하고, 주요 도시별 이상저온의 최저기온 및 이상고온의 최고 기온(표) 기준을 제공하고 있다.

- ※ 이상기후는 기온, 강수량 등의 기후요소가 평년(1981~2010년)에 비해 현저히 높거나 낮은 수치를 나타내는 극한현상으로 이상저온은 최저·최고기온 1퍼센타일 미만, 이상고온은 최저·최고기온 90퍼센타일 초과범위로 정의함 (기상청 자료)
- ※ 퍼센타일은 평년 동일 기간의 기온을 비교하여 낮은 순서대로 몇 번째인지 나타내는 백분위수로 이상기후를 정의하는데 사용됨 (기상청 자료)
- ※ 월간 이상기후 전망정보는 한 달 동안의 기온 변동을 고려하기 위해 이상저온과 이상고온 발생일수에 대한 확률 전망을 제공 (기상청 자료)



[그림 2-14] 한국의 이상저온 및 이상고온 전망 (3개월)



출처: 기상청 홈페이지 참조

〈표 2-14〉 한국의 주요 지점별 이상저온 및 이상고온 기준(3개월) 예시

지점	이상저온 기준	이상고온 기준	지점	이상저온 기준	이상고온 기준
	최저기온	최고 기온		최저기온	최고 기온
춘천	0.0℃ 미만	24.5℃ 초과	서울	3.6℃ 미만	24.5℃ 초과
서울	3.7℃ 미만	22.8℃ 초과	인천	4.3℃ 미만	20.8℃ 초과
청주	1.2℃ 미만	24.6℃ 초과	대구	4.3℃ 미만	26.0℃ 초과
전주	1.3℃ 미만	24.4℃ 초과	광주	2.5℃ 미만	24.5℃ 초과
부산	6.4℃ 미만	21.8℃ 초과	제주	6.4℃ 미만	21.4℃ 초과

주: 해당 월 동안 기준 기온편차값은 일별로 동일하며, 기준값은 15일 대표로 제공

출처: 기상청 홈페이지 참조

기상가뭄은 최근 6개월의 전국 누적 강수량을 평년 대비 퍼센트로 표기하여 기상가뭄의 정도에 대한 현황을 표기하고, 향후 3개월을 전망해서 발표한다.

[그림 2-15] 한국의 기상가뭄 현황 및 전망 (예시) (3개월)

○ 현황 : 최근 6개월 전국 누적강수량(178.96mm)은 평년(262.1mm)의 69.3%로

**기상가뭄이 발생하였습니다.**

※ 최근 6개월 : '20.9.21.~ '21.3.20

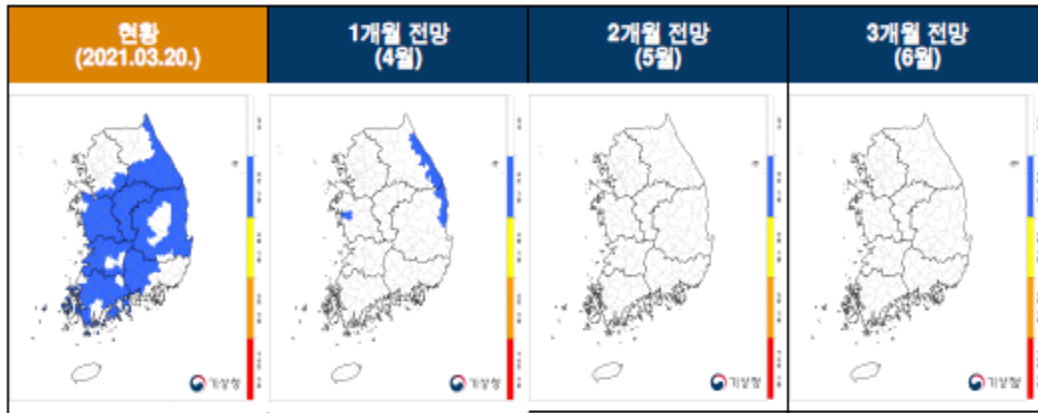
○ 전망 : 기상가뭄은 **점차 해소될 것으로** 전망됩니다.

출처: 기상청 홈페이지 참조

지역별 기상가뭄 전망은 “정상(흰색)”, “약한 가뭄(파란색)”, “보통 가뭄(노란색)”, “심한 가뭄(주황색)”, “극심한 가뭄(빨간색)” 으로 한반도 지도상에 지역별로 색깔을 표기하여, 1개월 단위로 총 3개월의 현황 및 전망을 제공하고 있다.



[그림 2-16] 한국의 지역별 기상가뭄 전망 (3개월)



출처: 기상청 홈페이지 참조

### (3) 기후전망

기후전망은 전국을 대상으로 2월, 5월, 8월, 11월 4째 주 월요일에 발표되고, 그 외에 기압계 급변 시 수정 전망이 발표될 수 있으며, 주로 계절단위로 기후전망에 대한 정보를 생산한다. 해당 절기의 평균기온 전망, 강수량 전망, 엘니뇨·라니냐 전망에 대한 절기단위의 정보 등을 제공한다.

평년 대비 대략적인 기온 및 강수량의 수준을 언급하고, 엘니뇨 감시구역의 해수면 온도에 대한 전망에 대해 요약 발표문도 제공하고 있다.

[그림 2-17] 2021년 여름 기후전망 요약문 (예시)

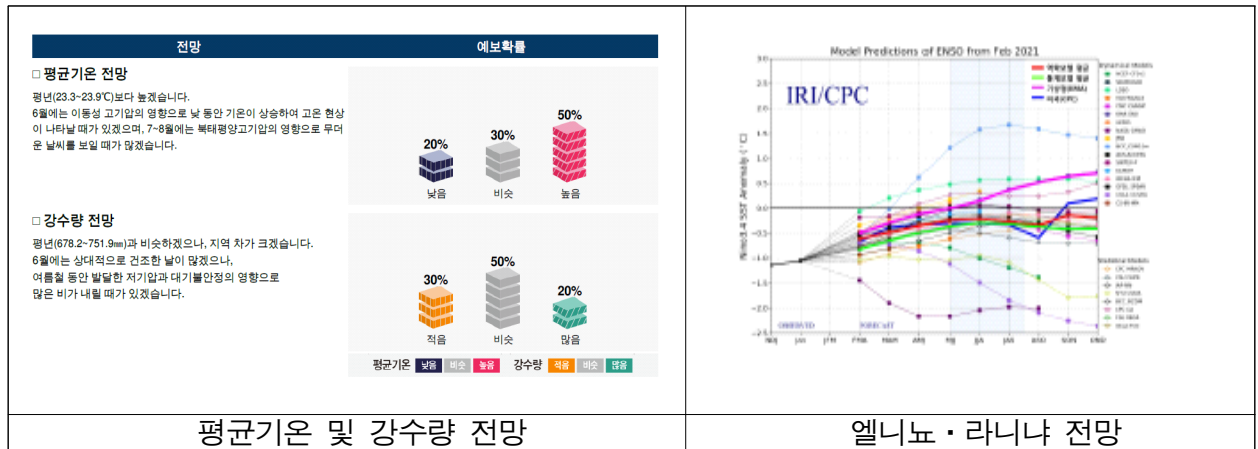
- 기온은 평년(23.3~23.9℃)보다 높겠고, 강수량은 평년(678.2~751.9mm)과 비슷하겠습니다.
- 엘니뇨 감시구역의 해수면온도는 여름철 동안 중립 상태가 될 가능성이 높겠습니다.

출처: 기상청 홈페이지 참조

기후전망은 계절에 관한 평균상태를 “낮음/적음”, “비슷”, “높음/많음”의 3분위로 구분하여 단계별 발생 가능성을 백분율로 산출한다.

평균기온은 “낮음”, “비슷”, “높음”으로 평균 대비 전체 한반도의 전망 및 예보확률(막대 그림)을 제공하며, 강수량은 “적음”, “비슷”, “많음”으로 평균 대비 전체 한반도의 전망 및 예보확률(막대 그림)을 제공한다. 엘니뇨·라니냐 전망은 세계 각국의 예측 결과에 대한 ENSO 모델 예측 그림 및 간략한 전망에 대한 정보를 제공하고 있다.

[그림 2-18] 한국의 기후 전망

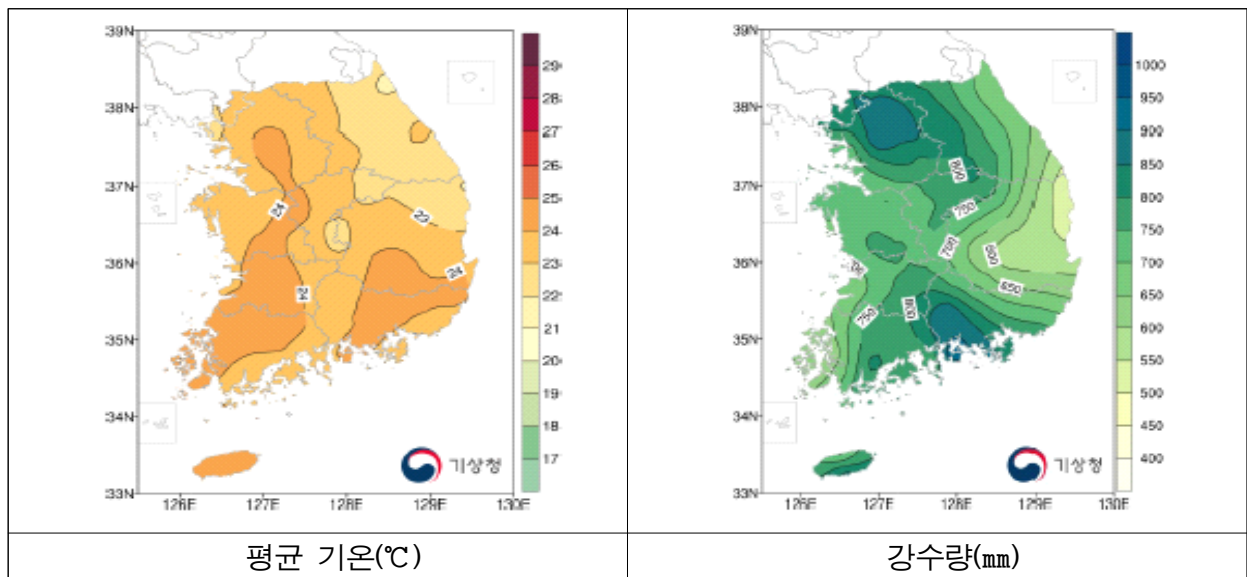


주: 기후전망은 계절에 관한 평균상태를 3분위(낮음/적음, 비슷, 높음/많음)로 구분하여 단계별 발생 가능성을 백분율로 산출하고, 백분율이 33.3% 이상일 경우 해당단계의 발생 가능성이 상대적으로 높음을 의미함. 평균기온 · 강수량 전망의 괄호 안의 숫자는 평년 비슷 범위를 의미함

출처: 기상청 홈페이지 참조

평년(1981~2010년) 해당 계절의 평균기온과 강수량분포를 한반도 지도상에 색깔로 제공하고, 1981년부터 2020년까지 연도별 해당 계절의 평균 기온과 강수량이 표기된 막대그래프를 제공한다.

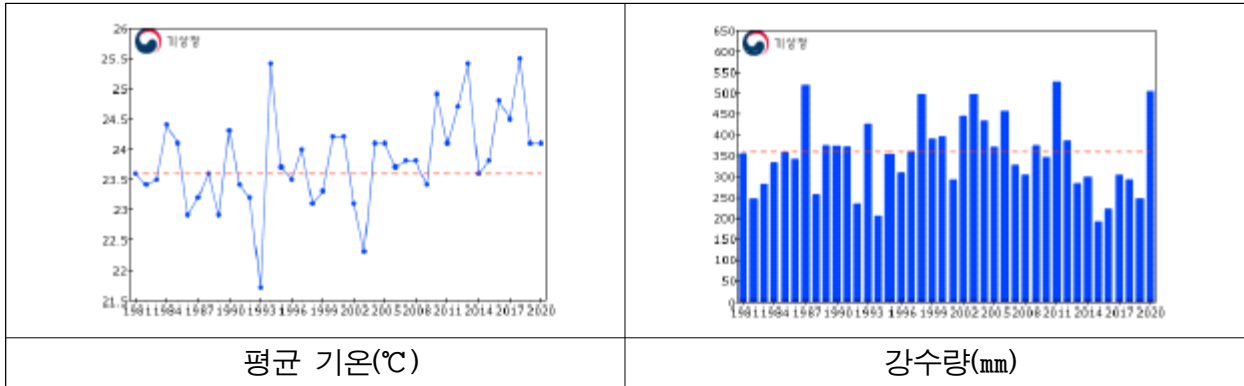
[그림 2-19] 평년(1981~2010년) 여름철 평균기온과 강수량 분포



출처: 기상청 홈페이지 참조



[그림 2-20] 여름철 평균기온과 강수량 시계열(1981~2020년)



출처: 기상청 홈페이지 참조

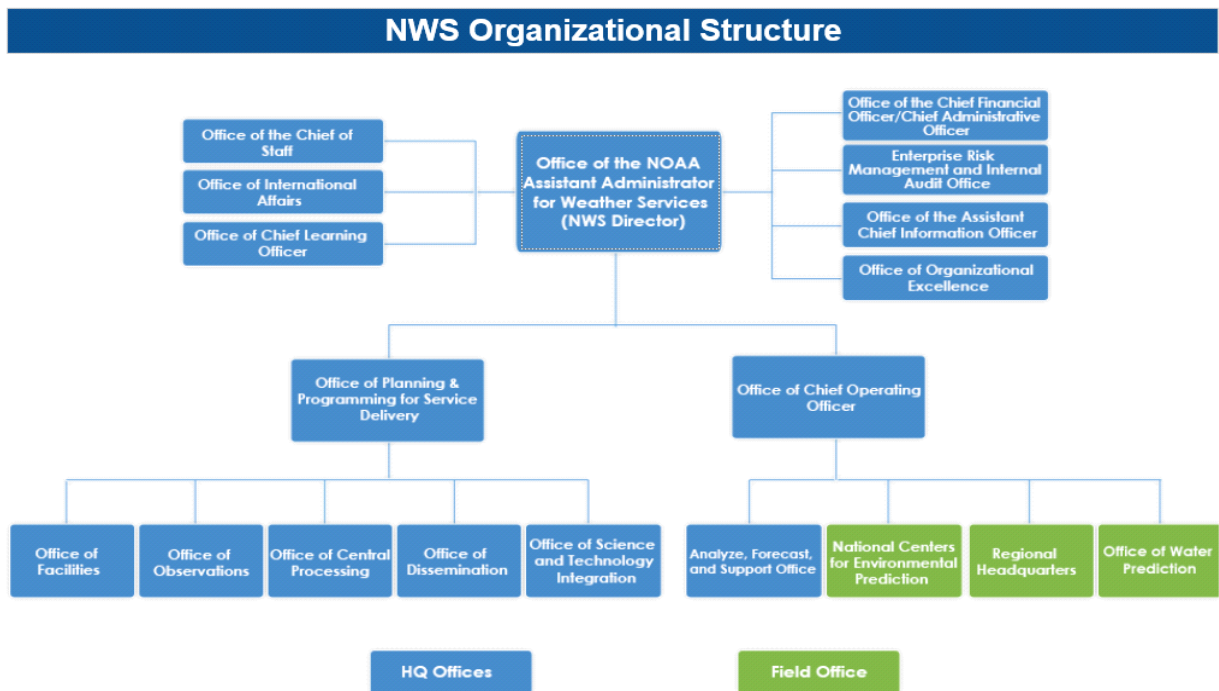
## 제 2 절 해외 현황

### 1. 미국

#### 가. 조직 체계, 업무 및 주요 전략

미국의 기상청(National Weather Service, NWS)은 미 상무부(United States Department of Commerce) 산하의 연방기관인 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 산하의 연방부속기관으로 1870년 2월 9일에 설립되었다.

[그림 2-21] 미국의 기상청 조직도



출처: 미국 기상청 홈페이지 참조

기상청 산하에 국립환경예측센터(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)를 포함한 총 4개의 조직이 있으며, 국립환경예측센터 산하기관에는 NCEP 본부(NCEP Central Operations Center), 환경모델링센터(Environmental Modeling Center), 날씨예보센터(Weather Prediction Center), 해양예보센터(Ocean Prediction Center), 기후예측센터(Climatic Prediction Center, CPC), 항공기상센터(Aviation Weather Center), 태풍예보센터(Storm Prediction Center), 국립허리케인센터(National Hurricane Center), 우주기상예측센터(Space Weather Prediction Center) 등 총 9개의 센터가 있다.

기후예측센터는 6-10일, 8-14일, 3~4주, 1개월, 3개월 기준으로 예보를 진행하며, 가뭄에 대



한 월별, 계절별 정보와 1~2주 단위의 눈보라에 대한 예보를 제공한다. 기후예측센터는 기후변동성에 대한 운영예측과 기후 데이터베이스에 대한 실시간 모니터링, 주요 이상 기후현상의 기원에 대한 평가를 진행한다. 육지, 성층권, 바다 및 대기를 포함하여 주간, 계절간 단위에 따른 예보를 진행한다.

기후예측센터는 현업 예측부서(Operational Prediction Branch)와 현업 모니터링 부서(Operational Monitoring Branch)로 크게 2개의 조직으로 구성되어 있으며, 2021년 3월 기준으로 총 89명이 근무하고 있다. 인력 현황을 살펴보면, 박사인력 비중이 약 51.7%이며, 정규직 비중은 약 52.8%를 차지하고 있다.

<표 2-15> 미국 기후예측센터(CPC)의 최종 학력 분포 현황

직군	박사	박사 이하	소계
Office	1명	5명	6명
Branches	45명	38명	83명
합계	46명	43명	89명

출처: 미국 기상청 홈페이지 참조

<표 2-16> 미국 기후예측센터(CPC)의 정규직 및 비정규직 분포 현황

직군	정규직	계약직	소계
Office	6명	0명	6명
Branches	41명	42명	83명
합계	47명	42명	89명

출처: 미국 기상청 홈페이지 참조

기후예측센터는 몇 주에서 몇 년까지의 시간 척도에 따라 기후 변화를 예측하고, 설명하는 실시간 제품과 정보를 제공하여 기후 위험과 기후 회복력 있는 사회의 효과적인 관리를 촉진하는 주요 임무를 지지고 있다. 기후 서비스는 국내 및 해외의 정부, 공공 및 민간 산업의 사용자에게 제공되며, 사회적 및 경제적 측면의 응용 분야로서 기후 관련 자연 재해의 완화와 농업, 에너지, 교통, 수자원 및 건강 분야 등이 포함된다. 기후예측센터는 진단 연구, 모델 사용자 그룹과의 상호 작용을 통해 지속적인 서비스를 개선하고 있다.

미국 기상청의 2019-2022 전략계획<sup>8)</sup>에서 비전(‘기상, 수문, 기후 관련 사건에 대비하고 대응하는 사회 구축’)과 미션(‘생명과 재산권 보호, 국가경제 강화를 위한 기상, 수문, 기후에 대한 데이터, 예측 및 경보 정보를 제공’)을 달성하기 위해 다음 세 가지 목표와 전략과제를 제시하고 있다.

8) 기상청(2020b), 「차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사」, pp. 207-210; NOAA's National Weather Service, "2019-2022 Strategic Plan in brief"; 기상청·와이즈포스트(2020.11.30.), 「중장기 기상업무 발전방안 연구」, pp. 97-103 참고하여 작성

〈표 2-17〉 미국 기상청의 2019-2022 전략계획의 주요 목표와 전략과제

주요 목표	전략과제
(목표 1) 사람들의 정보 수신, 이해, 행동 방식을 변화시켜 기상, 수문, 기후 관련 사건의 영향 감소	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 현업 및 영향 기반 의사결정지원서비스(Operations and Impact-Based Decision Support Service, IDSS)</li> <li>○ 정보 품질 개선을 통한 의사 결정 개선</li> <li>○ 일관되고 시의적절한 정보 전달</li> </ul>
(목표 2) 최첨단 과학 기술과 공학 기술을 활용하여 최상의 관찰, 예측 및 경보 제공	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 예측 모델 고도화</li> <li>○ 통합 관측</li> <li>○ 시스템, 기술 및 도구</li> <li>○ 관리연구와 연구관리</li> </ul>
(목표 3) 인력, 파트너십, 조직성장에 투자함으로써 변화에 효과적으로 대응할 수 있는 조직으로 성장	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 미래 인력</li> <li>○ 조직 정비</li> <li>○ 민간 기업 파트너십</li> <li>○ 사업 운영</li> </ul>

출처: 기상청(2020b), 「차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사」, pp. 207-210; NOAA's National Weather Service, "2019-2022 Strategic Plan in brief"; 기상청와이즈포스트(2020.11.30.), 「중장기 기상업무 발전방안 연구」, pp. 97-103

## 나. 장기예보 제공 정보의 종류

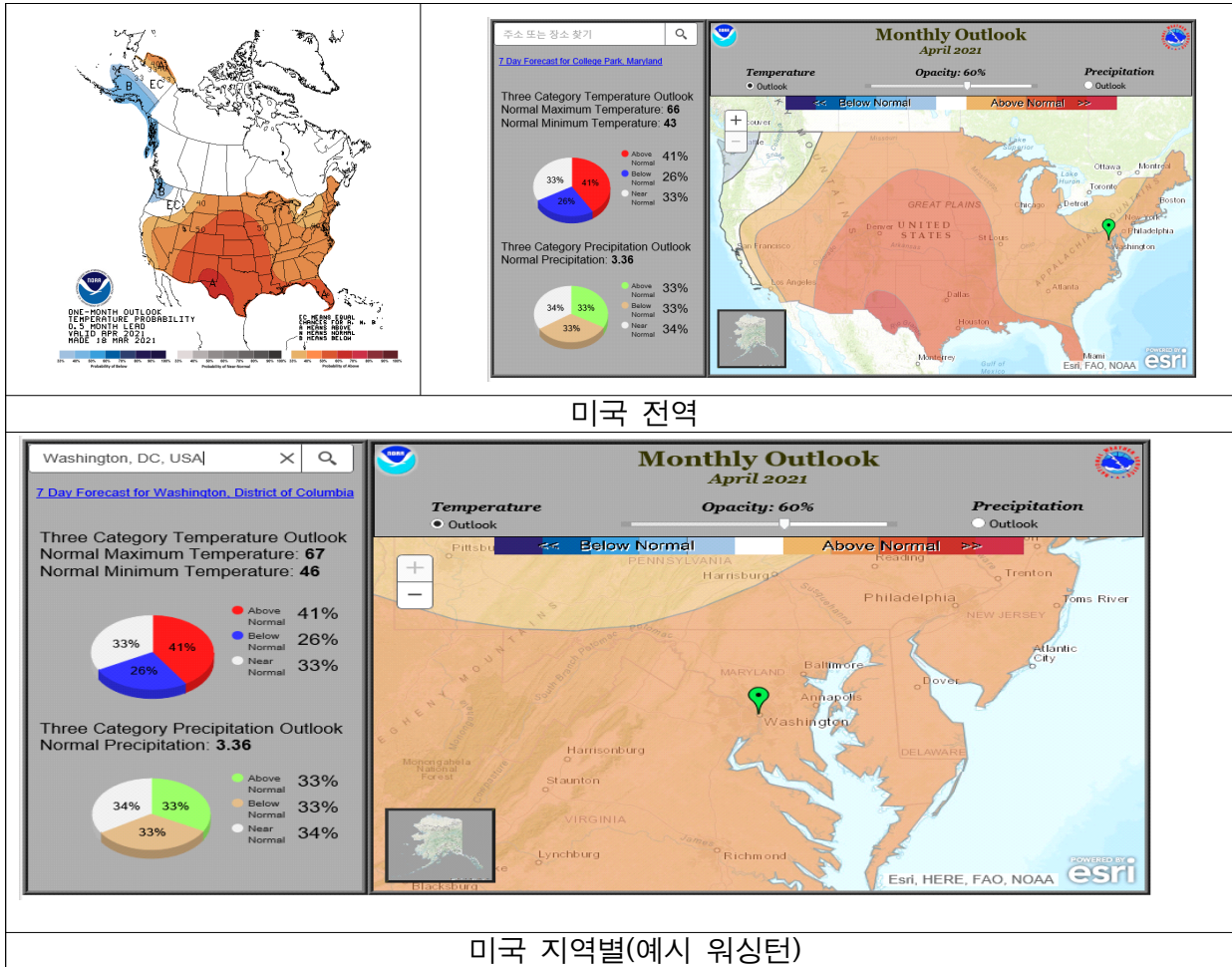
### (1) 1개월 전망

1개월 전망은 매주 미국의 전역 및 도시별 평균 기온 및 강수량, 가뭄 전망 예측 정보를 발표하고 있다. 대상 지역은 본토 102개, 알래스카 24개, 하와이 4개 지역이며, 미국 전체 및 지역별 “평년 수준(Near Normal)”, “평년 이하(Below Normal)”, “평년 이상(Above Normal)” 으로 구분한 3분위 확률 정보를 설명문, 지도, 인터랙티브 맵의 형식으로 제공하고 있다. 인터랙티브 맵은 지도상에서 사용자가 지역을 정하고 클릭하면 해당 지역의 전망 정보를 표시하는 기능이다. 평균 기온은 평년 최고 및 최저 온도에 대한 정보를 제공하고 있으며, 평년 수준은 흰색, 평년 이하는 파란색, 평년 이상은 빨간색으로 표시하고 있다. 강수량은 평년 강수량에 대한 정보를 제공하고 있으며, 평년 수준은 회색, 평년 이하는 갈색, 평년 이상은 연두색으로 표시하고 있다. 매월 세 번째 목요일 동부시간으로 오전 8시 30분에 발표된다. 1개월 전망 정보는 웹사이트를 통해 데이터, 그래픽, SHP 파일(Shapefile) 및 레스터(Raster) 형식으로 볼 수 있다.





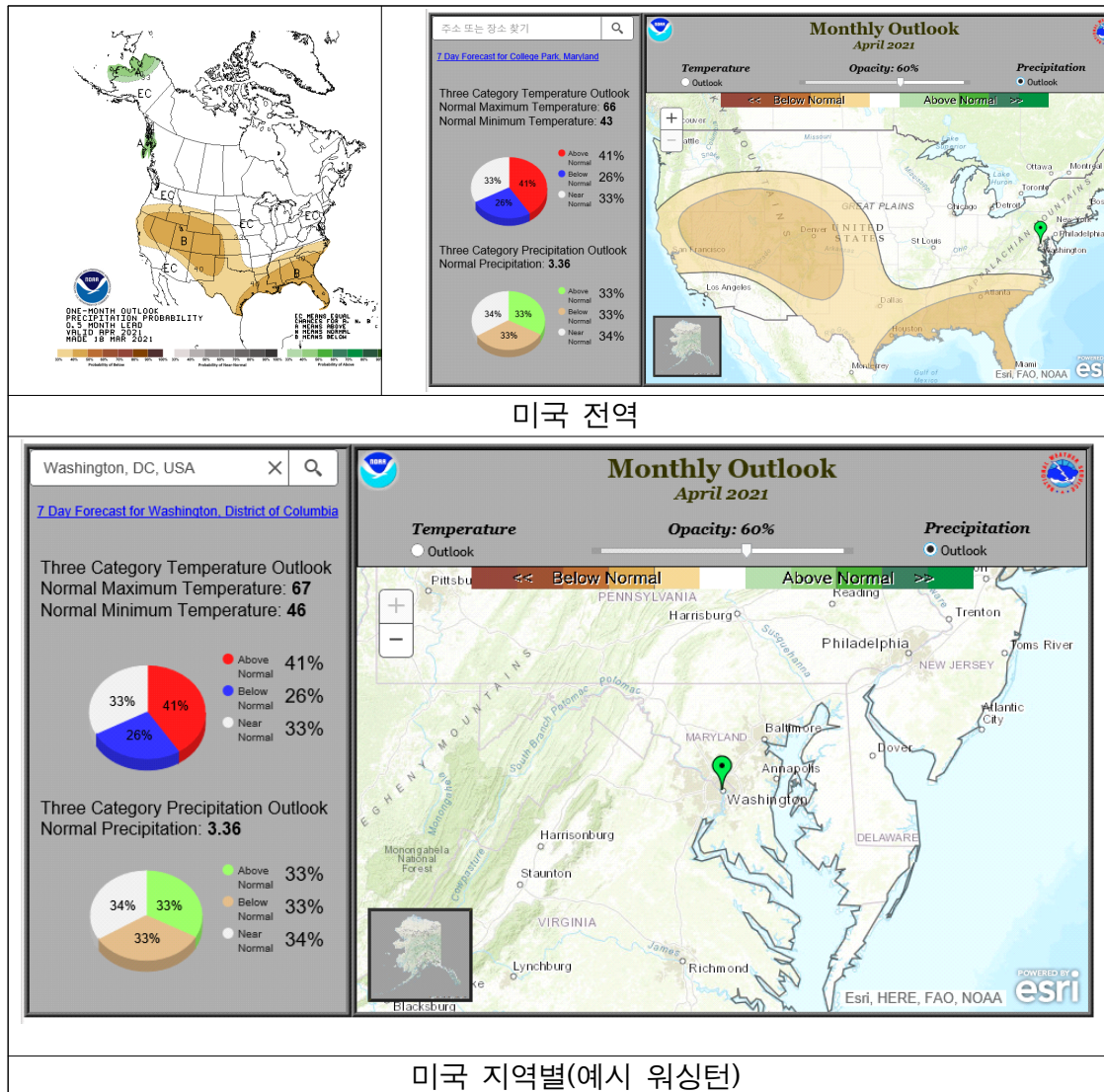
[그림 2-22] 미국의 1개월 평균 기온 전망



출처: 미국 기후예측센터 홈페이지 참조



[그림 2-23] 미국의 1개월 강수량 전망



출처: 미국 기후예측센터 홈페이지 참조

## (2) 3개월 전망

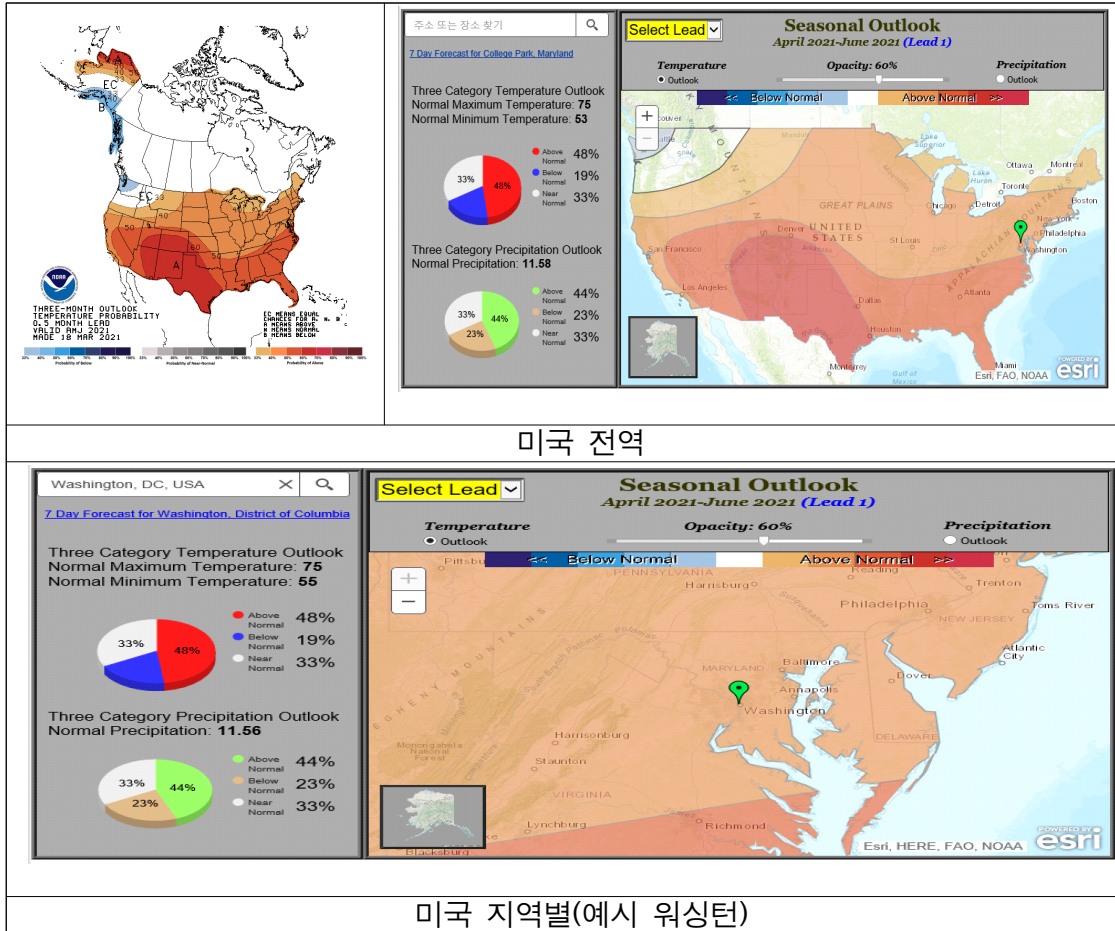
3개월 전망은 매일 발표되며, 본토 102개, 알래스카 24개, 하와이 4개 지역을 대상으로 평균 기온 및 강수량, 가뭄에 관한 예보가 제공한다. 미국의 전역 및 도시별 현재 기준 다음 달부터 총 3개월의 기온 및 강수량을 전망하고, 1개월 전망과 동일한 형태인 3분위 확률로 기온 및 강수량에 대한 정보를 설명문, 지도, 인터랙티브 맵의 형식으로 제공하며, 지역의 경우 추가적으로 총 13개 리드별<sup>9)</sup> 기온 및 강수량의 정보를 제공한다. 매일 세 번째 목요일 동부시간으로

9) 3월 현재 기준 : 1 Lead(2021년 4월 ~ 6월), 2 Lead(2021년 5월 ~ 7월), 3 Lead(2021년 6월 ~ 8월), 4 Lead(2021년 7월 ~ 9월), 5 Lead(2021년 8월 ~ 10월), 6 Lead(2021년 9월 ~ 11월), 7 Lead(2021년 10월 ~ 12월), 8 Lead(2021년 11월 ~ 2022년 1월), 9 Lead(2021년 12월 ~ 2022년 2월), 10 Lead(2022년 1월 ~ 2022년 3월), 11 Lead(2022년 2월 ~ 2022년 4월), 12 Lead(2022년 3월 ~ 2022년 5월), 13 Lead(2022년 4월 ~ 2022년 6월)



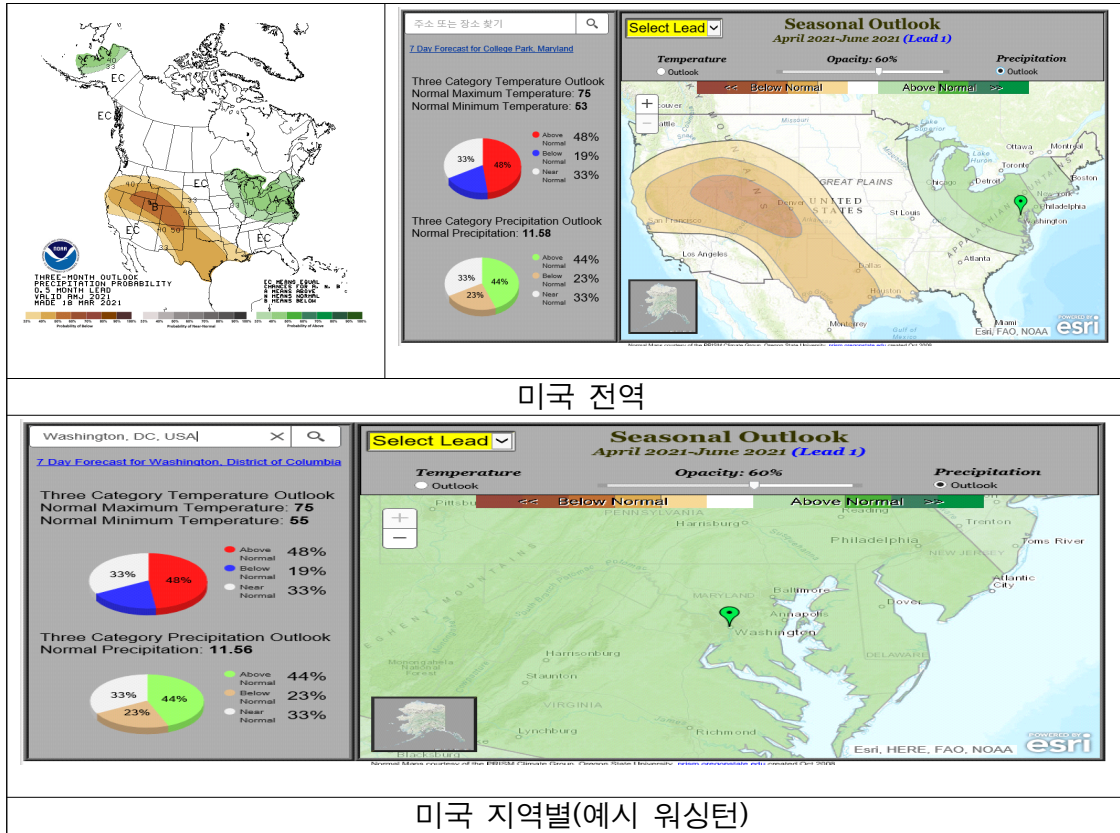
오전 8시 30분에 발표된다. 3개월 전망 정보는 웹사이트를 통해 데이터, 그래픽, SHP 파일 (Shapefile) 및 레스터(Raster) 형식으로 볼 수 있다

[그림 2-24] 미국의 3개월 평균 기온 전망



출처: 미국 기후예측센터 홈페이지 참조

[그림 2-25] 미국의 3개월 강수량 전망



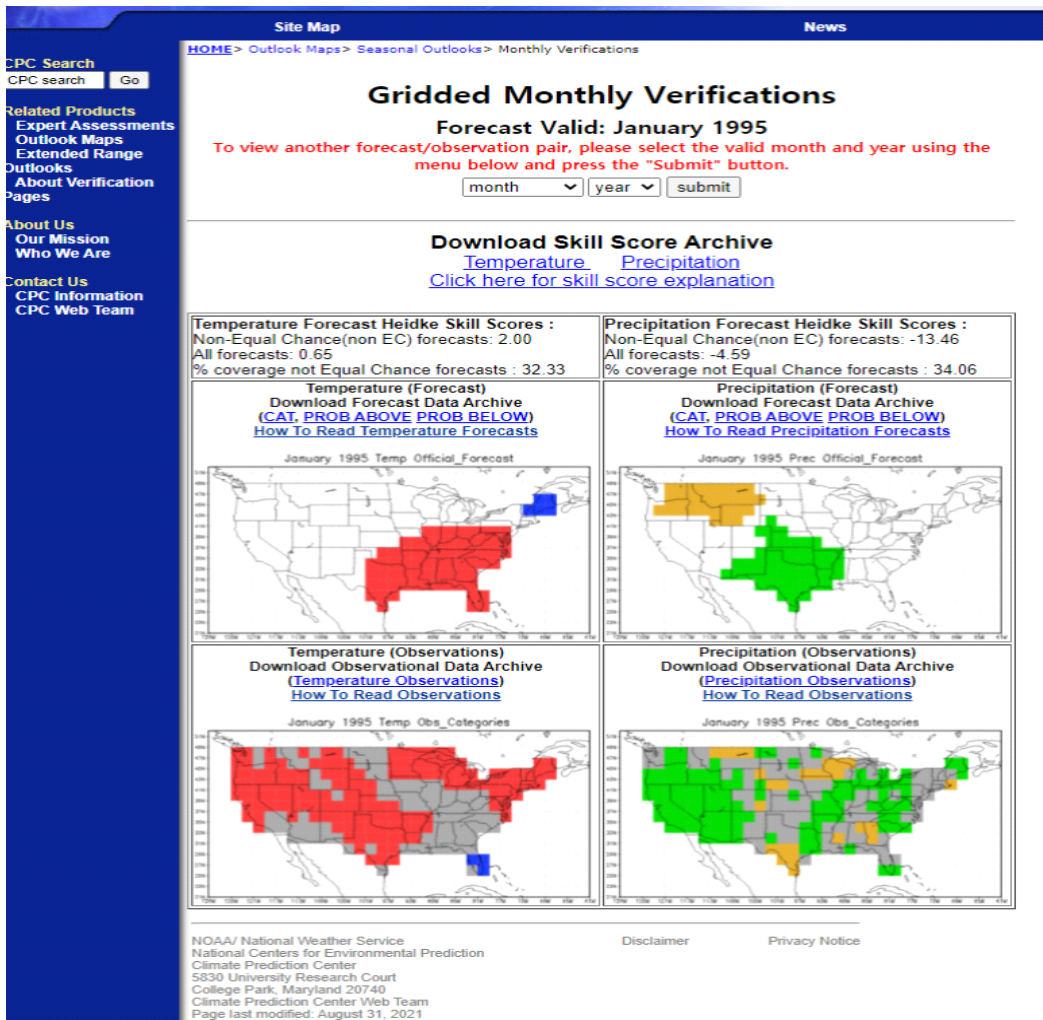
출처: 미국 기후예측센터 홈페이지 참조



(3) 예측에 대한 예보정확도(Skill score) 아카이브

미국의 1개월, 3개월 예보의 특징 가운데 주목할 점은 평균기온과 강수량에 대해 과거에 실시했던 예측자료(forecast)와 실제 관측치(observation) 정보를 제공한다는 것이다. 1개월 전망의 경우, 1995년 1월부터 최근까지 월별로 예측치와 실측치를 아카이브하여 제공한다. 지도상에 3분위 확률 예측치를 색깔별로 표시한 자료와 실제 관측치를 3분위 확률로 표시한 자료를 제공하여 비교가 가능하다. 동시에 아카이브 데이터를 다운로드해서 분석할 수 있다.

[그림 2-26] 미국 1개월 장기예보에 대한 예보정확도

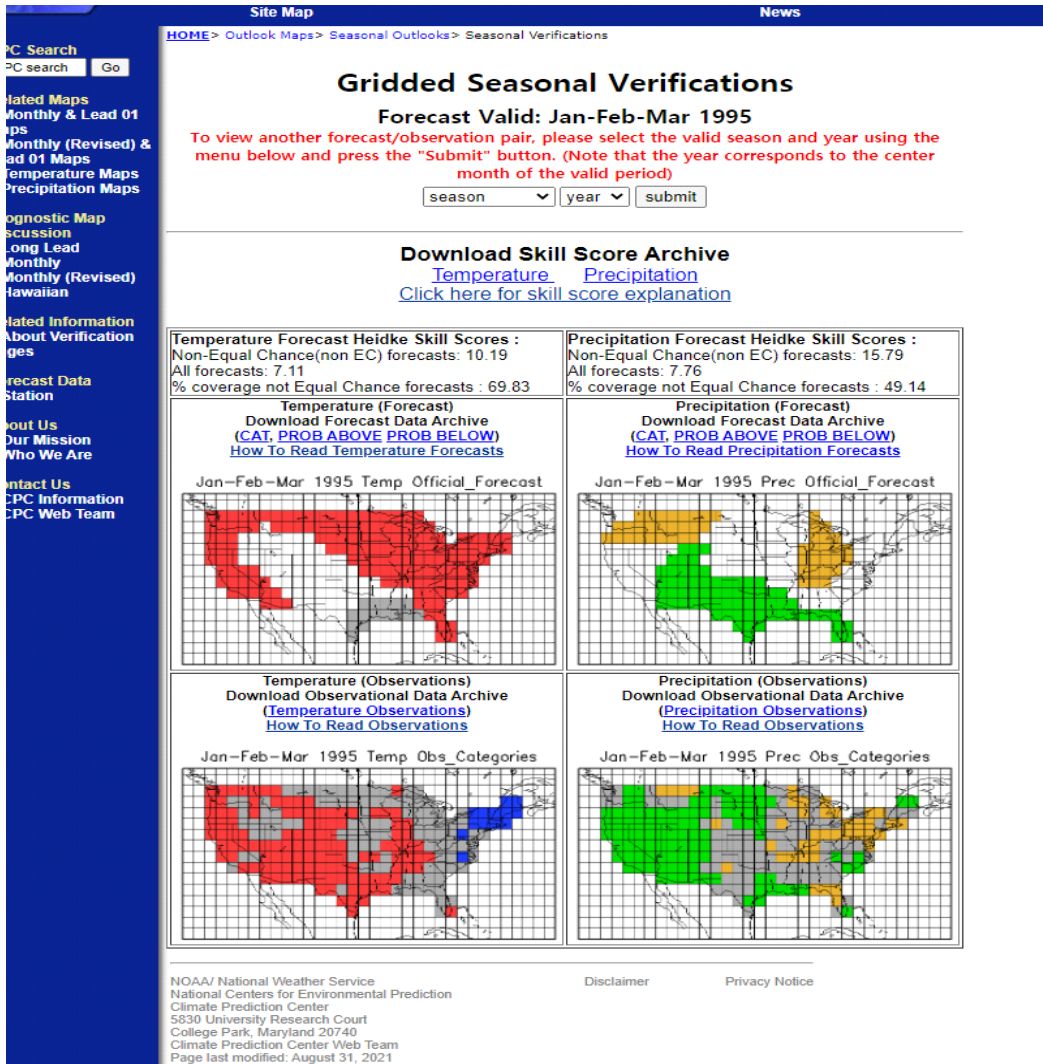


출처: 미국 기후예측센터 홈페이지, [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/long\\_range/tools/briefing/mon\\_veri.grid.php](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/long_range/tools/briefing/mon_veri.grid.php) (접속일: 2021.8.31.)

3개월 전망의 경우, 평균기온과 강수량 전망에 대해 과거 예측치와 실측치를 지도와 데이터 형태로 접근 가능하다. 1개월 전망과 마찬가지로 1995년 1,2,3월부터 최근까지 전망치와 실제 관측치를 제공한다.



[그림 2-27] 미국 1개월 장기에보에 대한 예보정확도



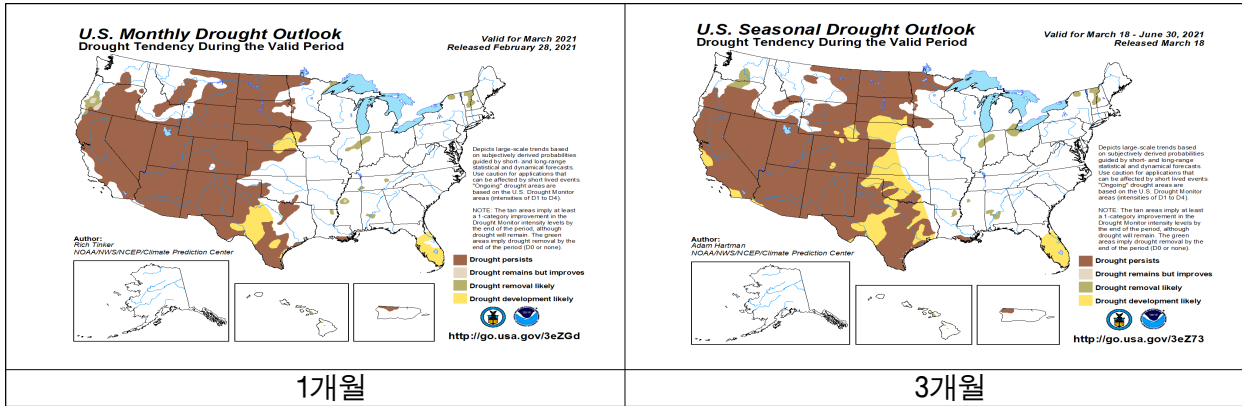
출처: 미국 기후예측센터 홈페이지, [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/long\\_range/tools/briefing/seas\\_veri.grid.php](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/long_range/tools/briefing/seas_veri.grid.php) (접속일: 2021.7.31.)



(4) 가뭄 정보

가뭄 정보는 미국 전역을 대상으로 1개월, 3개월 전망을 제시하고, 추가적으로 최근 모니터링 데이터를 제공한다.

[그림 2-28] 미국의 가뭄 전망



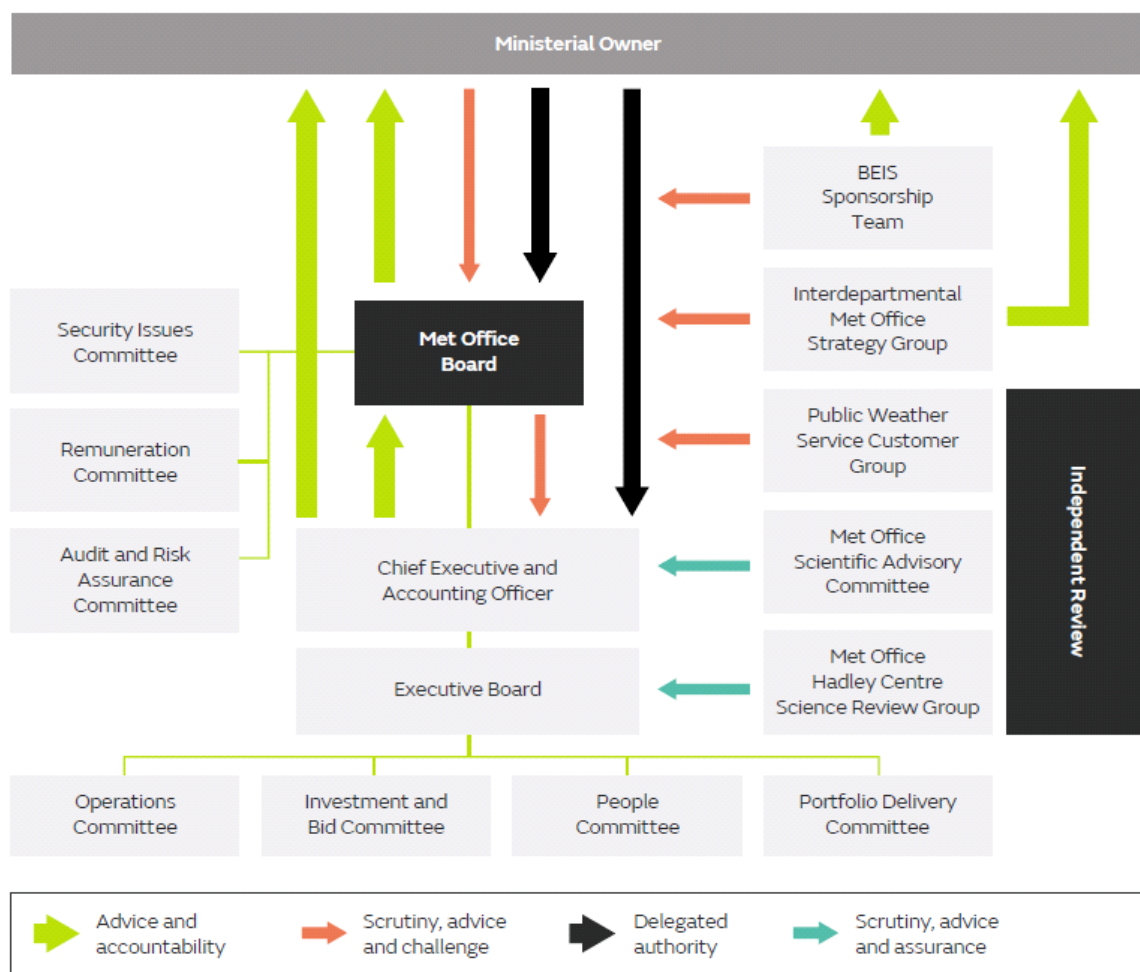
출처: 미국 기후예측센터 홈페이지 참조

## 2. 영국

### 가. 조직 체계, 업무 및 주요 전략

영국의 기상청(Meteorological Office, Met Office)은 기업·에너지·산업전략부(Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS) 소속으로 1854년에 설립되었다. 기상청 운영단(Board)은 부처 장관급, 여러 위원회, 자문 그룹 등과 상호 교류할 수 있는 구조로 구성되어 있다.

[그림 2-29] 영국 기상청 조직 운영 체계



출처: 영국 기상청 홈페이지 참조

2020년 3월 31일 기준으로 영국 기상청의 인력은 총 1,946명이며, 관리자 및 기타 정규직 직원을 포함하면 총 2,073명으로 구성되어 있다<sup>10)</sup>. 기상청은 영국의 국가 기상 서비스 기관으로서, 중요한 기상 서비스와 세계 최고의 기후 과학을 제공하여 안전과 번영을 위한 더 나은

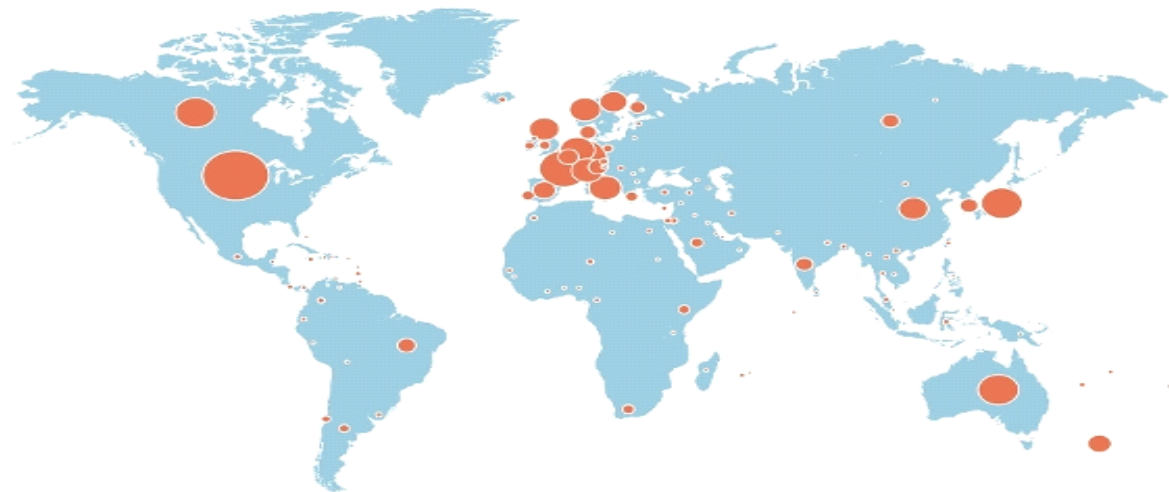
10) 영국 기상청의 연차보고서(Annual Report and Accounts) 2019/20 40쪽



결정을 내릴 수 있도록 지원한다. 구체적으로 설명하면 운영 예측, 데이터, 연구 및 컨설팅 서비스를 통해, 생명, 인프라 및 자연 환경을 보호하고, 날씨 및 기후 위험을 관리하여 산업 기회를 모색하는 데 도움이 되는 정보를 제공한다. 공공 기상 서비스뿐만 아니라 유관 기관과 긴밀한 협력을 통해 전 세계의 과학과 연구에 기여하고 있다. 영국의 기후를 모니터링하고, 모델링하는 일을 담당하고 있으며, 날씨 및 기후 기록을 수집하고, 영국의 기후가 미래에 어떻게 진화할지 평가하여, 기후 관련 위험을 관리하기 위한 다양한 조언을 제공한다. 그리고 변화하는 기후의 문제를 해결하기 위해 과학계와 협력하여 국제기구 및 조약에 과학적 정보 및 증거를 제공한다.

특히 해들리센터(Met Office Hadley Centre)는 영국기상청이 1990년 설립한 기후 과학 및 서비스 센터로서, 138개국 1,700개 이상의 기관에서 온 국제 연구원들과 협력하여 기후변화 과학에 대한 지침을 제공하는 세계 최고의 연구를 수행하고 있으며, 기후 과학 분야의 글로벌 리더로 부상하였다.

[그림 2-30] 영국 해들리센터 글로벌 네트워크 현황



출처: 영국 기상청 홈페이지 참조

해들리센터는 기후변화 모니터링, 기후변화 원인 파악, 기후 위험 관리를 위한 효과적인 접근 방식을 찾기 위해 최종 사용자와 함께 서비스를 개발하고자 설립되었다. 해들리센터의 주요 임무는 ①기후에 대한 전 세계 및 국가 변화 모니터링, ②기후 시스템 내의 물리적, 화학적 및 생물학적 프로세스 이해, ③이러한 프로세스를 나타내는 최첨단 컴퓨터 모델 개발, ④최근 기후변화와 기상 이변의 원인 파악, ⑤모델을 사용하여 지구 기후와 지역 기후 간의 차이와 이전 및 향후 수세기 동안 볼 수 있는 변화를 시뮬레이션, ⑥영국 기후 과학 기반에 도움이 되는 과학적으로 우수한 기후 연구 수행, ⑦정책과 관련된 과학적 증거와 조언을 제공하여 영국 정부의 요구에 부응하는 것이다.

해들리센터는 다음 표와 같이 기상 및 기후과학 관련 다양한 프로그램을 운영하고 있다.



〈표 2-18〉 영국 해들리센터 프로그램

프로그램명	주요 내용
영국 기상청 해들리센터 기후 프로그램 (Met Office Hadley Centre Climate Programme, MOHCCP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 영국의 기업·에너지·산업전략 부서(BEIS)와 환경, 식품 및 농촌 업무 부서(Defra)의 자금을 지원받아 운영 중인 기후 연구 프로그램으로서, 영국 기후과학에 도움이 되고, 핵심 영국 기후과학 인프라 개발을 위해 지원</li> <li>- 정책과 관련된 시기적절한 과학적 증거 및 조언을 통해, 영국정부를 지원하는 한편, IPCC보고서와 같이 국제기후 과학 이니셔티브에 기여</li> <li>- 이전 프로그램을 통해 ①극심한 기상 현상의 원인규명을 위한 새로운 기술, ②HadGEM3, 새로운 물리적 기후 모델, ③UKESM1, 새로운 지구 시스템 모델을 개발</li> <li>- 고성능 컴퓨팅을 활용하여, 기후로 인한 위협 및 영향에 중점을 두고 지구 및 지역 기후 변화를 예측하고, 지구 온난화에 따른 이점과 위협에 대한 과학적인 조언을 제공하는 한편, 정부에 신속한 조언을 제공하기 위한 예측 및 모니터링 시스템을 개발</li> </ul>
서비스 파트너십을 위한 기상 및 기후 과학 프로그램 (Weather and Climate Science for Service Partnership, WCSSP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 영국 정부의 뉴턴 기금을 지원받고 있으며, 영국의 과학 전문 지식을 활용하여 날씨와 기후 변동에 취약한 지역 사회의 탄력성 강화 측면에서 전 세계적으로 파트너십을 개발하는 프로젝트들로 구성</li> <li>- 브라질, 중국, 인도, 남아프리카 및 동남아시아의 파트너들과 함께 글로벌 기후 관련 과제에 초점을 맞춘 프로젝트를 추진 중</li> <li>- 세계 최고 수준의 기상 및 기후 과학을 통해 UN의 지속가능한 개발 목표(SDG)을 지원하고, 전 세계의 파트너십을 통해 국제 기상 역량을 강화하여, 기후위기에 대한 회복력과 대응력을 강화</li> </ul>
영국 기후 회복력 프로그램, 청정 공기 : 분석 및 솔루션 프로그램, ExCALIBUR 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전략적 우선 기금(Strategic Priorities Fund, SPF)을 지원받아 영국연구 혁신청(UK Research and Innovation, UKRI)과 협력하여 운영</li> <li>- (영국 기후 회복력 프로그램) 기후 변화가 마을, 도시, 시골 등 지역에 미치는 영향을 파악</li> <li>- (청정 공기: 분석 및 솔루션 프로그램) 공기 질이 건강에 미치는 영향을 규명</li> <li>- (ExCALIBUR 프로그램) 엔지니어링 및 물리 과학 연구위원회(EPSC)와 관련 기관들과의 협력을 통해, 고성능 시뮬레이션 과학 분야 영국의 연구 및 개발을 유지하면서, 미래 슈퍼컴퓨터를 활용하기 위한 우선 순위가 높은 시뮬레이션 코드와 알고리즘을 재설계</li> </ul>

출처: 영국 기상청 홈페이지 참조

영국 기상청은 ‘기상 및 기후 과학, 서비스 분야의 글로벌 리더로 도약’ 하는 것을 비전으로 삼고 있다. 기상청은 2020-2030 기후과학로드맵<sup>11)</sup>을 통해 연구&혁신 부분에 대한 3대 전략(과학의 활용, 선도적 연구, 국가역량)과 9대 과제를 제시하였다.

〈표 2-19〉 영국 UKMO 3대 전략과 9대 과제

비전	주요 전략	전략과제
기상 및 기후 과학, 서비스 분야의 글로벌 리더로 도약	(전략 1) 과학의 활용(Science to Services): 위험 관련 결정을 위한 과학적 지식, 인력, 협력관계, 기반의 개발 및 활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 의사 결정을 위한 재해 예측 분야</li> <li>○ 생산성 기반 연구</li> <li>○ 데이터 생산, 정제 및 제공</li> </ul>
	(전략 2) 선도적 연구(Pioneering Research): 기상 및 기후 분야 최첨단 지식의 확장	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고해상도 예측 개발</li> <li>○ 제작 및 활용 통일: 앙상블</li> <li>○ 환경 예측능력 확장</li> </ul>

11) 출처: Met Office Hadley Centre Climate Science Roadmap 2020-2030(2020.5.25.), “30 years Leading climate science and services in our changing world”



	(전략 3) 국가 역량(National Capability): 기상 및 기후 학계를 위한 선도 연구자, 협력관계, 기반의 유지 및 개선	<input type="radio"/> 이음새 없는(seamless) 환경 예측 <input type="radio"/> 차세대 모델링 시스템 <input type="radio"/> 데이터 시뮬레이션
--	---	--

출처: Met Office Hadley Centre, "Climate Science Roadmap 2020-2030(2020.5.25.)-30 years Leading climate science and services in our changing world", p. 4

## 나. 장기예보 제공 정보 종류

### (1) 1개월(15~29일) 전망

1개월(15~29일) 전망은 현재 시점부터 15일 이후 29일까지 기간에 해당하는 기온, 강수량, 풍속 등 발생가능한 기상현상에 대해 매일 간략하게 설명하는 예보를 제시한다. 영국 전국을 대상으로 텍스트 형식으로 정보를 제공한다.

[그림 2-31] 영국 1개월 전망

### UK long range weather forecast

**Friday 13 Aug - Sunday 22 Aug** ^

An unsettled start to the period bringing heavy thundery showers across the north and northwestern areas while remaining largely dry elsewhere with sunny spells. By the weekend there is an increasing likelihood of thicker cloud bringing further rain and stronger winds to northwestern areas, with drier and brighter conditions across the southeast. Beyond this it is likely to remain changeable; confidence is low in terms of detail, but most places will likely see showers or longer rain spells, interspersed with some drier, more settled periods, these likely becoming more common toward the end of this period. Strong winds are possible at times, especially in the northwest. Temperatures likely to be around average, perhaps warm in the east and southeast.

Updated: 15:00 (UTC+1) on Sun 8 Aug 2021

**Monday 23 Aug - Monday 6 Sep** ^

Although confidence is very low through this period, a general trend towards more settled conditions is likely. Somewhat unsettled and changeable conditions are most likely to remain in place at the start of the period, with these looking to give way to more settled, drier conditions by the end. Temperatures are likely to be above average, with the potential for hotter weather later in the month.

Updated: 16:00 (UTC+1) on Sun 8 Aug 2021

출처: 영국 기상청 홈페이지 참조

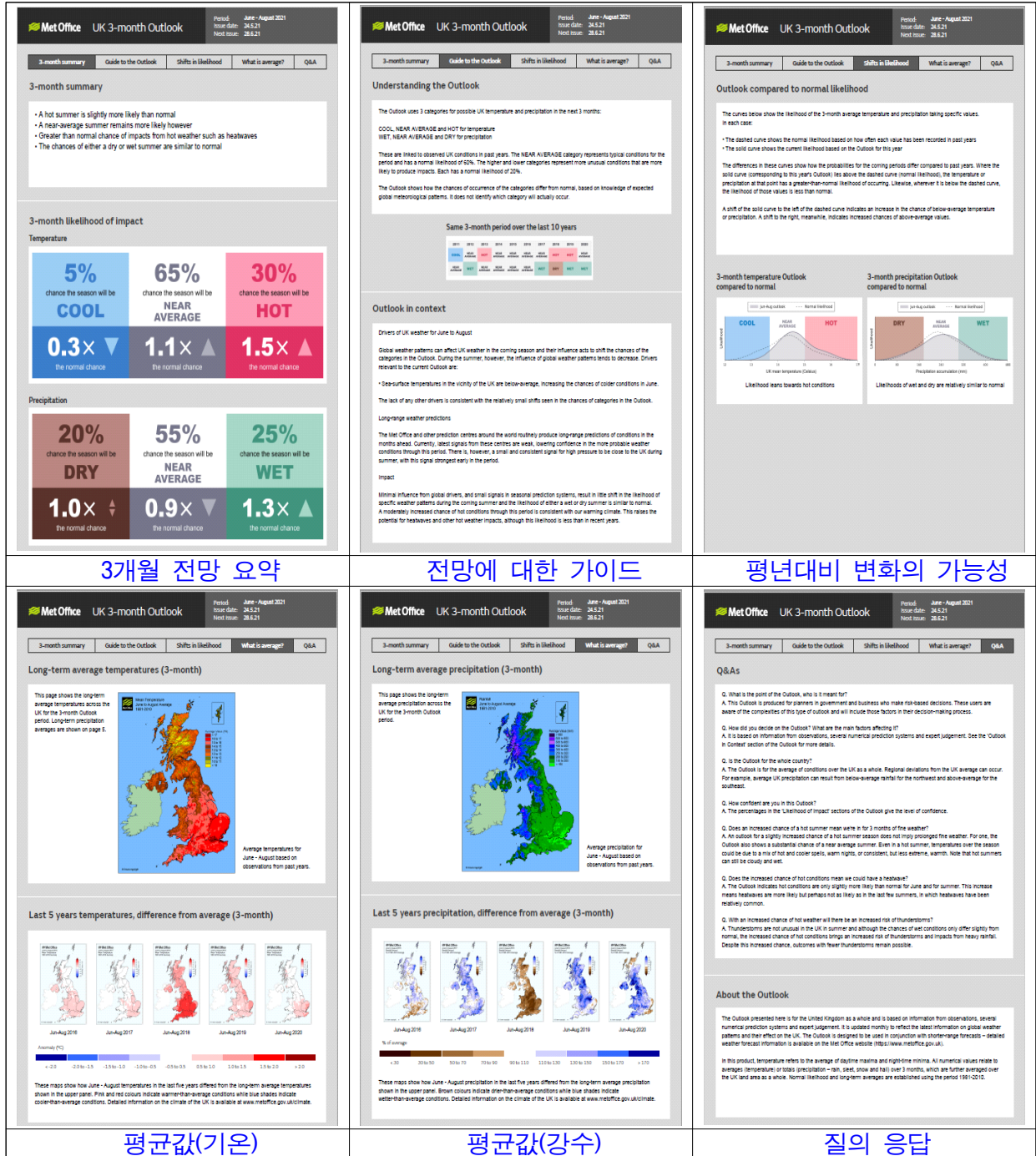
### (2) 3개월 전망

3개월 전망은 일반인보다는 장기적인 위험에 대한 의사결정이 필요한 정부, 지방 당국 및 기업의 리스크 관리 담당자들을 대상으로 정보가 제시된다. 향후 3개월의 평균 기온 및 강수량 정보를 영국 전역을 대상으로 1개월 단위로 제공한다. 제공하는 설명문 자료는 “3개월 전망 요약”, “전망에 대한 가이드”, “평년대비 변화의 가능성”, “평균값”, “질의응답” 등 크게 5가지로 구분하여 지도와 함께 설명문 형태(pdf로 다운로드)로 전달하고 있다.

3개월 전망에서 평균기온과 강수량은 3분위 확률로 구분하고 있는데, 영국의 프로토콜은 평년수준 60%, 평년보다 낮음 20%, 평년보다 높음 20%로 설정되어 있다. 따라서 평균기온과 강수량 전망은 평년 프로토콜 수치에 가중치를 곱해서 산출된다.

3개월 전망 설명문에는 평균기온과 강수량에 대해 과거 5년간 실제 관측치와 평년값의 차이를 지도상에 표시해서 제공한다. 평균기온은 평년값보다 실제 관측치가 높은 경우에는 빨간색으로, 낮은 경우에는 파란색으로 표시한다. 강수량은 평년값보다 실제 관측치가 많은 경우에는 파란색으로, 적은 경우에는 갈색으로 표시한다.

[그림 2-32] 영국 3개월 전망



출처: 영국 기상청 홈페이지. <https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/business/public-sector/civil-contingency/3moutlook-jas-v2.pdf>

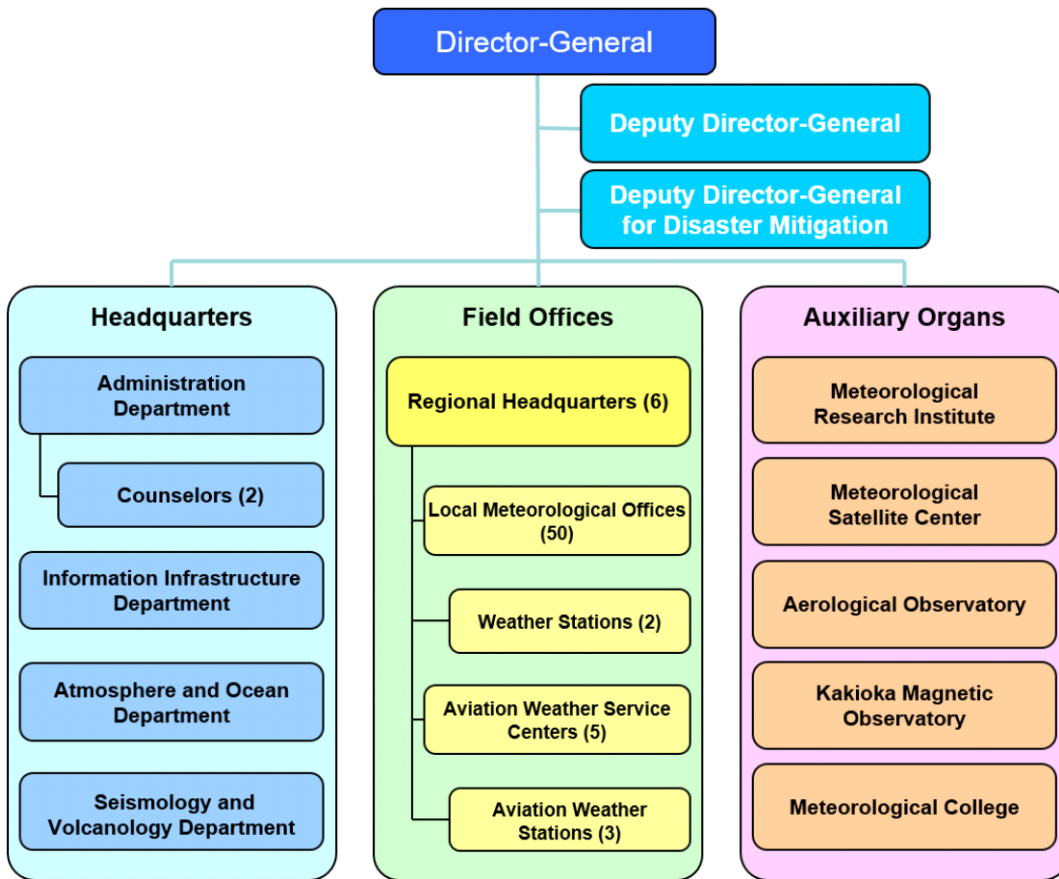


### 3. 일본

#### 가. 조직 체계, 업무 및 주요 전략

일본의 기상청(Japan Meteorological Agency, JMA)은 국토교통성 소속기관으로 1875년에 설립되었으며, 본부, 지역 본부, 지방 기상청, 기상 관측소 및 보조 시설로 구성되어 있다.

[그림 2-33] 일본의 기상청 조직도

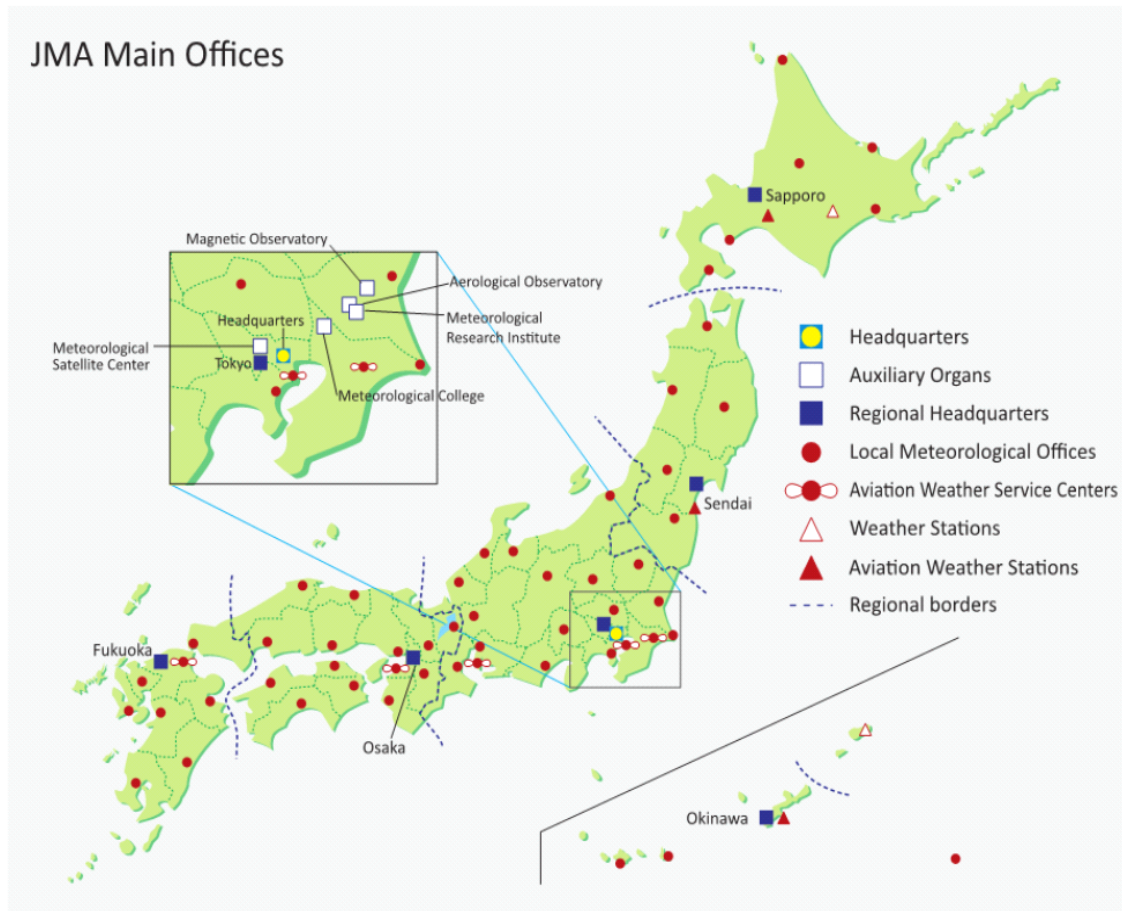


출처: 일본 기상청 홈페이지 참조

기상청 본부에서는 기관의 관리 및 운영을 총괄하고, 행정, 정보인프라, 대기 및 해양, 지진 및 화산 등 업무를 담당하고 있다. 기상청은 지역 사회에 다양한 서비스를 제공하기 위해 전국에 여러 곳의 기상관측소를 운영하고 있다.



[그림 2-34] 일본 기상청의 주요 거점



출처: 일본 기상청 홈페이지 참조

삿포로, 센다이, 도쿄, 오사카, 후쿠오카 및 오키나와 등 6개의 지역 본부는 50개의 지방 기상청과 2개의 기상 관측소를 총괄하는 지역 중앙 사무소 역할을 수행하고 있다. 아울러 기상청은 연구, 조사, 교육/훈련 등 전문 서비스를 지원하기 위해, 기상연구소(Meteorological Research Institute), 기상 위성 센터(Meteorological Satellite Center), 항공 전망대(Aerological Observatory), 카키오카 마그네틱 천문대(Kakioka Magnetic Observatory), 기상대학(Meteorological College) 등 5개의 보조기관을 운영하고 있다.

기상청은 국토교통성 설립법 및 기상 서비스 법에 따라 “자연 재해 예방 및 완화”, “교통안전”, “산업의 발전과 번영”, “공익 증진”의 목표 하에 서비스를 제공하고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해, 지구 환경을 모니터링하며, 대기, 해양 및 지구와 관련된 자연 현상을 예측하고, 관련 분야의 연구 및 기술 개발을 수행하는 데 주력하고 있다. 또한 일본의 국제적 의무를 충족하고, 국가 기상 및 수문 서비스 및 다양한 관련 국제기관과의 파트너십을 촉진하기 위해 기상 및 지진학에 관한 국제 협력 활동에 참여하고 있다.

특히, 태풍, 폭우, 지진 등 다양한 자연 재해에 취약하기 때문에 자연 재해의 예방과 완화에 중점을 두고 있다. 기상/쓰나미 경보 및 권고를 발행하는 유일한 국가 기관으로서 자연 재해 예방 및 완화를 위해 정부 기관 및 주민들에게 신뢰할 수 있고, 시의적절한 정보를 제공하고



자 노력하고 있다.

기상청은 평균기온, 강수량, 일조시간, 적설량 등에 대해 일 단위, 1~2주 단위 전망을 예보한다. 그리고 중장기 예보는 1개월 전망과 3개월 전망, 이상기후 조기경보를 생산·제공한다. 1개월 전망의 경우, 내부 회의 및 토론, 예보 결정, 예보 발표의 순으로 정보를 제공하고 있다. 3개월 전망은 기온 편차, 강수량, 해양·대기 순환장의 통계적 분석 결과 등을 고려하여 정보를 제공한다.

도쿄 기후센터(Tokyo Climate Center, TCC)는 4개의 아시아 지역 WMO 지역 기후 센터<sup>12)</sup> 중 하나로써, 세계 기후, 기후 시스템 모니터링, 엘니뇨 모니터링, 수치예보 모델 예측, 지구온난화, 일본 기후, 교육 훈련 등의 업무를 수행하고 있다. TCC는 1개월 예측을 위해 대기-해양 결합 글로벌 순환 모델(CGCM)을 활용하고 3개월 예측을 위해 글로벌 순환 모델(AGCM)의 앙상블 예측시스템을 운영하고 있다.

기상청은 ‘안전, 강인하고 활력있는 사회를 목표로 국민과 함께 전진하는 기상업무’ 라는 비전과 ‘기상 업무의 건전한 발달을 도모하고 재해 예방, 교통안전의 확보, 산업의 융성 등 공공복지 증진에 기여 및 기상업무에 관한 국제협력 실시’ 미션 아래, 2030년까지의 전략에서 다음 세 가지 기본 목표와 전략 방향성을 제시하였다.

<표 2-20> 일본 JMA의 2030 전략의 기본 목표와 전략 방향성

기본 목표	전략 방향성
(목표 1) 방재 기상정보의 정확한 제공 및 지역의 기상방재에 대한 공헌	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 태풍·호우 방재를 위한 정확한 정보제공</li> <li>○ 지진·화산 방재를 위한 정확한 정보제공</li> <li>○ 지역의 기상방재 대처 추진</li> </ul>
(목표 2) 사회경제활동에 이바지하는 기상정보·데이터의 정확한 제시 제공 및 산업의 생산성 향상 기여	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항공기·선박 등의 교통안전에 공헌하는 정확한 정보 제공</li> <li>○ 지구환경 보전에 공헌하는 정보·데이터의 정확한 제공</li> <li>○ 생활 및 사회경제 활동에 공헌하는 정보·데이터의 정확한 제공</li> <li>○ 산업의 생산성 향상을 위한 기상데이터 이용, 활용 촉진</li> </ul>
(목표 3) 기상업무에 관한 기술의 연구·개발 등의 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상업무에 활용하는 선진적인 연구개발 추진</li> <li>○ 관측·예보시스템 등의 개선·고도화</li> </ul>
(목표 4) 기상업무에 관한 국제협력 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상업무에 관한 국제협력 추진</li> </ul>

출처: 기상청(2020b), 「차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사」, pp. 218-219; 기상청·와이즈포스트(2020.11.30.), 「중장기 기상업무 발전방안 연구」, pp. 109-112

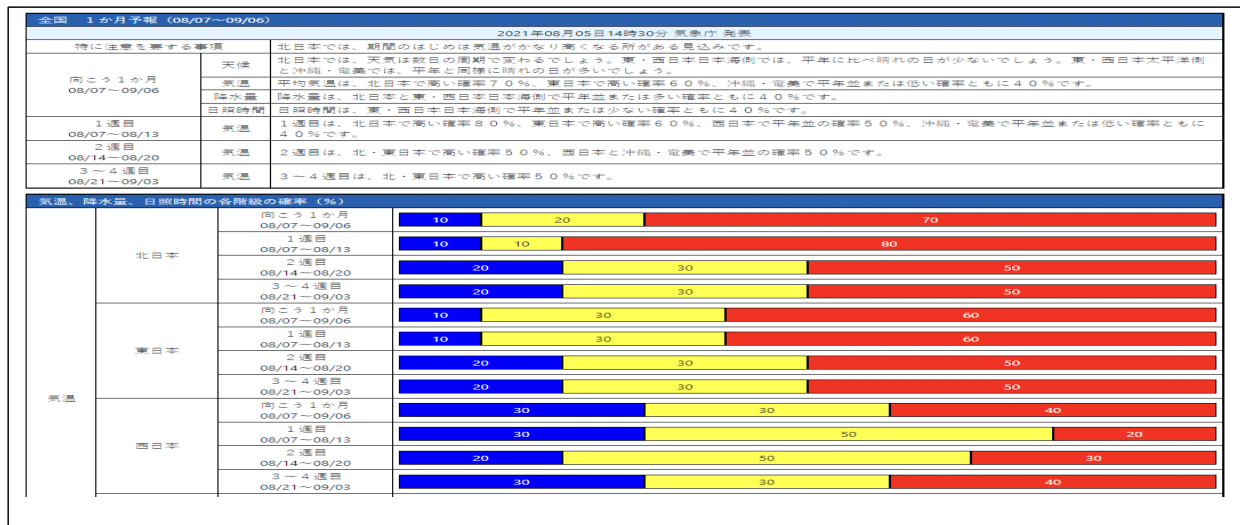
12) WMO 지역 기후 센터(RCCs)는 지역 및 국가 기후 활동을 지원하는 장기 예측을 포함한 지역 정보를 생성하여 특정 지역에서 WMO 회원의 역량을 강화하여 국가 사용자에게 더 나은 기후 서비스를 제공하고 있다. RA II(아시아지역)에는 베이징 기후센터(BCC), 도쿄 기후센터(TCC), 북유라시아 기후센터(NEACC), 인도기상부서(India Meteorological Department) 등 4개가 있으며, 중국의 베이징 기후센터(BCC)와 일본의 도쿄 기후센터(TCC)가 2009년에 RCC 베이징과 RCC 도쿄로 각각 지정되었으며, 러시아 연방의 북유라시아 기후센터(NEACC)는 2013년에 새로운 RCC로 지정되었고, Pune의 인도 기상 부서가 2017년에 RCC로 지정되었다.

## 나. 장기예보 제공 정보 종류

### (1) 1개월 전망

1개월 전망은 매주 목요일 14시 30분 경에 발표되며, 전국 12개 지역(홋카이도, 호쿠리쿠, 간사이, 주고쿠, 호쿠부큐슈, 아마미, 오키나와, 규슈, 시코쿠, 도카이, 칸토 코신, 도호쿠)을 대상으로 평균기온, 강수량, 일조량, 강설량 정보를 제공한다. 평균기온의 경우는 향후 전체 1개월과 1주, 2주, 3~4주 간격으로 일본 지도 상에 색깔과 숫자로 “평년 수준(Near Normal)”, “평년 이하(Below Normal)”, “평년 이상(Above Normal)”으로 구분한 3분위 확률을 표시하여 정보를 제공하는 반면, 강수량 및 일조량은 전체 1개월 단위로 일본 지도 상에 색깔과 숫자로 “평년 수준(Near Normal)”, “평년 이하(Below Normal)”, “평년 이상(Above Normal)”의 확률을 표시하고, 강설량의 경우는 겨울철에 전체 1개월 단위로 정보를 제공(지역별 상세 데이터 無)하고 있다. 1개월 전망은 웹사이트로 지도, 텍스트 형식으로 볼 수 있으며, 예보문을 다운로드할 수 있다<sup>13)</sup>.

[그림 2-35] 일본의 1개월 전망 예보문 예시



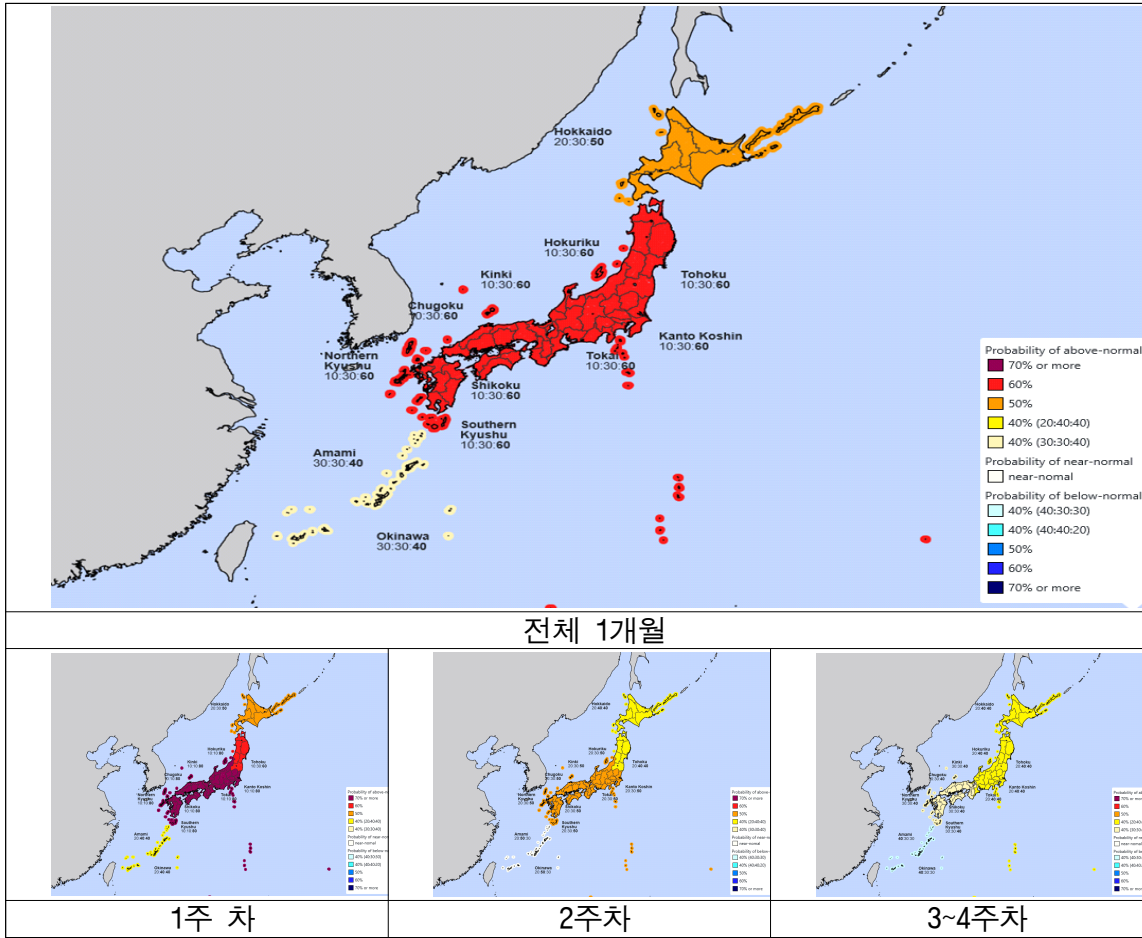
출처: 일본 기상청 홈페이지, <https://www.jma.go.jp/bosai/season/> (검색일: 2021.8.9.)

13) 예보문, 그래프, 텍스트 등 자세한 정보는 일본어 홈페이지에서만 제공됨



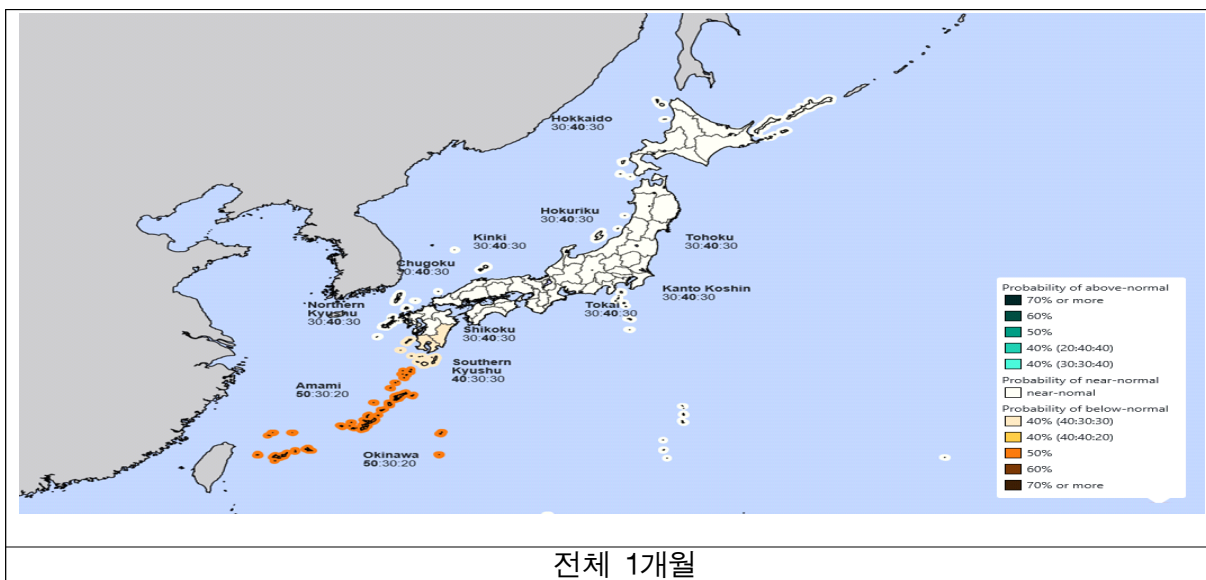


[그림 2-36] 일본의 1개월 평균기온 전망



출처: 일본 기상청 홈페이지 참조

[그림 2-37] 일본의 1개월 강수량 전망



출처: 일본 기상청 홈페이지 참조

## (2) 3개월 전망(계절 전망)

3개월 전망은 매월 25일 경 14시에 발표되며, 전국 12개 지역을 대상으로 평균기온, 강수량, 일조량, 강설량 정보를 제공한다. 3개월 전망(계절 전망)에서 평균기온과 강수량의 경우는 향후 전체 3개월과 1개월, 2개월, 3개월 간격과 현재 시점의 다음 계절인 3개월 단위로 일본 지도 상에 색깔과 숫자로 “평년 수준(Near Normal)”, “평년 이하(Below Normal)”, “평년 이상(Above Normal)” 으로 구분한 3분위 확률을 표시하여 정보를 제공하는 반면, 일조는 계절 단위의 정보를 제공하지 않고, 강설량의 경우는 전체 3개월 단위와 다가올 겨울철의 3개월 단위의 정보를 제공한다. 강수량은 계절 전망의 경우 이번 달을 포함한 3개월, 이번달, 다음달, 다다음달, 다음 절기 3개월과 여름철의 경우 추가적으로 장마철의 정보를 제공하고, 평년 이하 강수(건조), 평년 수준 강수(평균), 평년 이상 강수(젖음)일 확률을 순서대로 지역별로 표시하고 있다. 3개월 전망은 웹사이트로 지도, 텍스트 형식으로 볼 수 있으며, 예보문을 다운로드할 수 있다.

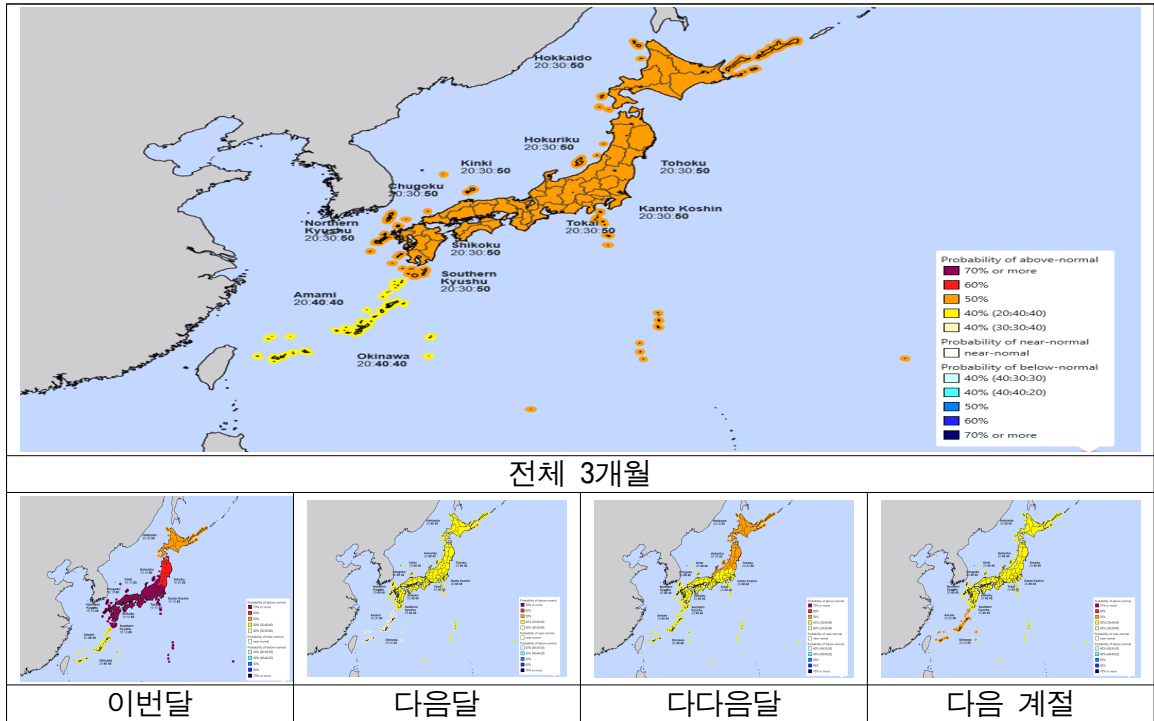
[그림 2-38] 일본의 3개월 전망 예보문 예시

全国 3か月予報 (08月~10月)		2021年07月21日 14時00分 気象庁発表			
08月~10月	気温	平均気温は、北日本で平年並または高い確率ともに4.0%、東・西日本と沖縄・奄美で高い確率5.0%です。			
	降水量	降水量は、西日本太平洋側と沖縄・奄美で平年並または多い確率ともに4.0%です。			
08月	天候	北日本では、天気は数日の周期で変わって来よう。東・西日本と沖縄・奄美では、平年と同様に晴れの日が多いでしょう。			
	気温	気温は、全国で平年並または高い確率ともに4.0%です。			
09月	天候	北・東日本と西日本太平洋側では、天気は数日の周期で変わって来よう。西日本太平洋側と沖縄・奄美では、平年と同様に晴れの日が多いでしょう。			
	気温	気温は、北・東・西日本で平年並または高い確率ともに4.0%、沖縄・奄美で高い確率5.0%です。			
10月	天候	北・東日本と沖縄・奄美では、天気は数日の周期で変わって来よう。西日本では、天気は数日の周期で変わり、平年と同様に晴れの日が多いでしょう。			
	気温	気温は、東・西日本で平年並または高い確率ともに4.0%、沖縄・奄美で高い確率5.0%です。			
気温、降水量の各階級の確率 (%)					
気温	北日本	08月~10月	20	40	40
		08月	20	40	40
		09月	20	40	40
		10月	30	30	40
	東日本	08月~10月	20	30	50
		08月	20	40	40
		09月	20	40	40
		10月	20	40	40
	西日本	08月~10月	20	30	50
		08月	20	40	40
		09月	20	40	40
		10月	20	40	40
	沖縄・奄美	08月~10月	20	30	50
		08月	20	40	40
		09月	20	30	50
		10月	20	30	50

출처: 일본 기상청 홈페이지, <https://www.jma.go.jp/bosai/season/#term=3month> (검색일: 2021.8.9.)

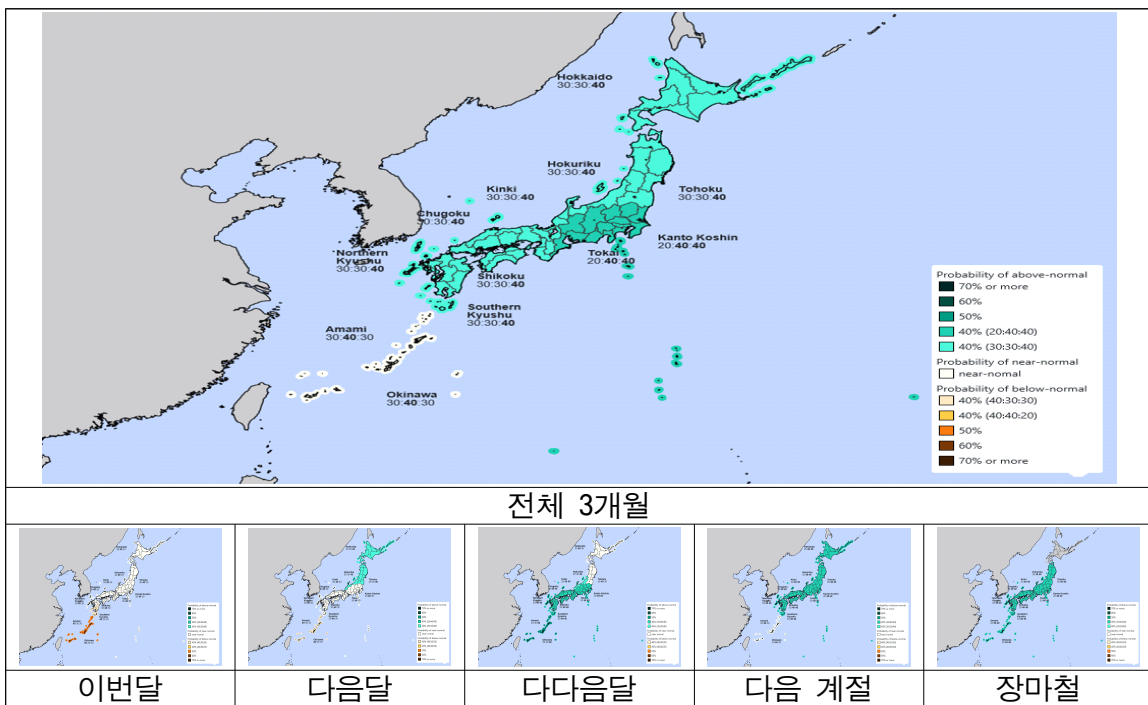


[그림 2-39] 일본의 계절 기온 전망



출처: 일본 기상청 홈페이지 참조

[그림 2-40] 일본의 계절 강수량 전망



출처: 일본 기상청 홈페이지 참조

#### 4. 유럽중기기상예보센터(ECMWF)

##### 가. 조직 체계, 업무 및 주요 전략

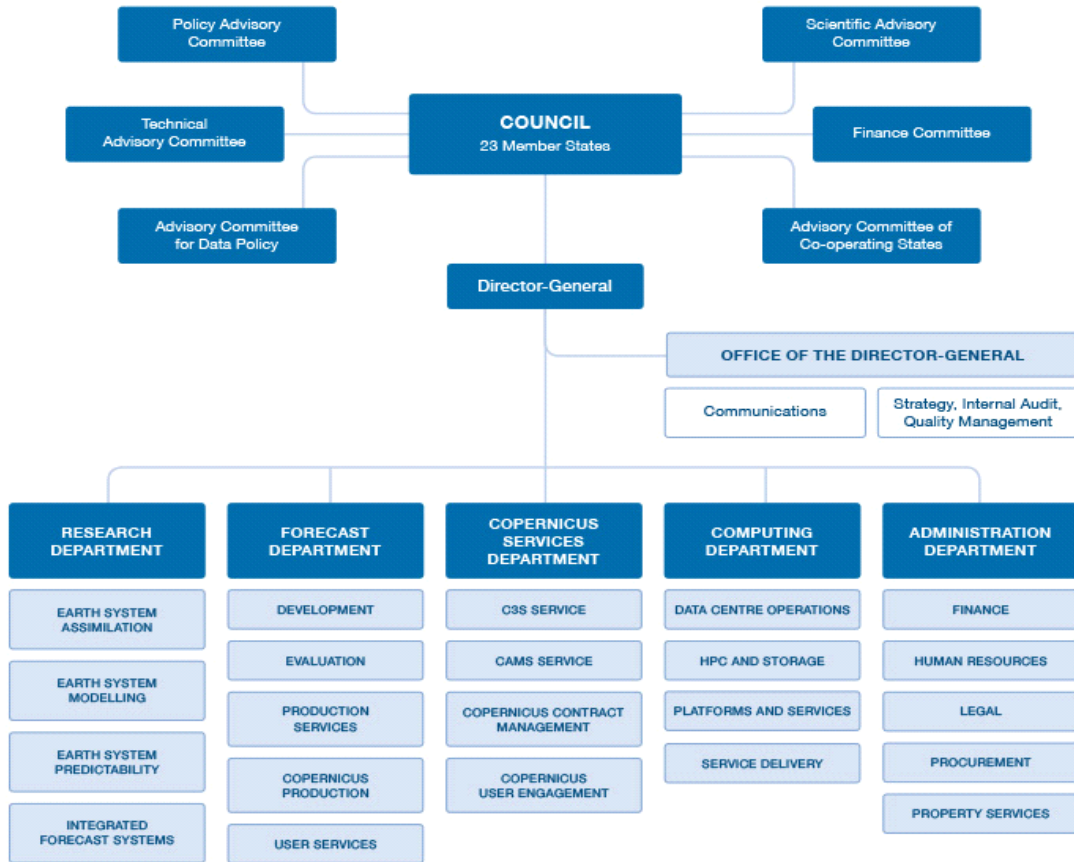
유럽중기기상예보센터(European Centre for Medium-Range Weather Forecast, ECMWF)는 유럽의 기상 자원을 모아 정확한 기후 데이터와 중기예보를 생성하기 위해 1975년에 설립된 34개국에서 지원하는 독립적인 정부 간 기구이다.

ECMWF는 연구 기관이며, 연중 무휴 운영 서비스로, 회원국 및 협력국과 더 넓은 지역 사회를 위해 글로벌 수치 기상 예측 및 기타 데이터를 생성하여 배포하고 있으며, 생성된 데이터는 회원국의 국가 기상 서비스에 활용될 수 있게 모두 제공한다. 또한 전 세계 기업 및 기타 상업 고객이 구입할 수 있는 예측 데이터 카탈로그를 제공한다. ECMWF가 보유한 슈퍼컴퓨터 시설 및 관련 데이터 아카이브는 유럽에서 가장 큰 시설 중 하나이며, 회원국은 자체 용도로 용량의 25%를 활용할 수 있다.

ECMWF는 1975년 11월 1일 발효된 협약에 의해 설립되었고, 이사회는 위원회, 사무총장 및 6개의 자문위원회로 구성되어 있고, 현재 30개국 이상 약 360명의 직원이 근무하고 있다. ECMWF 위원회는 회원국 대표들로 구성되어 있으며, 1년에 두 번 회의를 진행한다. 사무총장은 위원회에서 임명한 센터의 최고 경영자이며, 센터 업무에 대한 전반적인 총괄을 담당하고, 위원회에 주기적으로 보고할 책임을 가지고 있다. 자문위원회는 전반적으로 위원회에 자문하는 역할을 수행하며, 과학 자문위원회(SAC), 재정위원회(FC), 정책 자문위원회(PAC), 기술 자문위원회(TAC), 협력 국가 자문위원회(ACCS), 데이터 정책 자문위원회(ACDP) 등 6개의 자문위원회로 구성되어 있다. ECMWF는 연구부, 예측부, 코페르니쿠스 서비스 부, 컴퓨팅 부, 관리부 등 5개의 내부 조직으로 구성되어 있다.



[그림 2-41] ECMWF의 조직도



출처: ECMWF 홈페이지 참조

ECMWF는 23개의 회원국<sup>14)</sup>과 11개의 협력국<sup>15)</sup>으로 구성되어 있으며, 연간 예산은 국가 총소득을 기준으로 규모에 따라 주로 회원국과 협력국의 연간 기부금으로 운영된다. 회원국 및 협력국은 ECMWF의 수치 예측 데이터를 실시간으로 수신하여 최종 사용자를 위한 예측 자료를 제공하고, 센터의 기본 컴퓨팅 시설, 기상 아카이브 및 임시 테이프 스토리지에 접근할 수 있다. ECMWF는 모델링 기능을 개발하고 신제품을 설계하며, 예측 품질 평가 및 진단을 위해 회원국 및 협력국의 국가 기상 및 수문 서비스, 연구 기관과 협력을 활성화하고 있다.

ECMWF 기후 예측의 주요 임무는 수치 기상 예보 생성 및 지구 시스템 모니터링, 예측 기술 향상을 위한 과학적이고 기술적인 연구 수행, 기상 데이터 아카이브(기록보관소) 유지 등이다. 또한 회원국 및 협력국의 과학 인력에게 고급 교육을 제공하고, WMO 프로그램을 지원한다. EU의 코페르니쿠스 지구 관측 프로그램인 코페르니쿠스 대기 모니터링 서비스(CAMS)와 코페르니쿠스 기후 변화 서비스(C3S)의 두 가지 서비스를 운영하고 있으며, 코페르니쿠스 비상 관리 서비스(CEMS)에 기여하고 있다. ECMWF는 하루에 네 번 글로벌 수치 기상 예보, 공기질 분석, 대기 조성 모니터링, 기후 모니터링, 해양 순환 분석, 수문학적 예측, 화재 위험 예측 등

14) (회원국) 오스트리아, 벨기에, 크로아티아, 덴마크, 에스토니아, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 아이슬란드, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 네덜란드, 노르웨이, 포르투갈, 세르비아, 슬로베니아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 터키 및 영국

15) (협력국) 불가리아, 체코, 헝가리, 이스라엘, 라트비아, 리투아니아, 몬테네그로, 모로코, 북 마케도니아, 루마니아, 슬로바키아



을 통해 위와 같은 활동을 지원하고 있다.

〈표 2-20〉 ECMWF의 주요 업무

주요 업무	상세 내용
글로벌 예측	가능한 시나리오의 범위와 발생 가능성을 설명하는 운영 앙상블 기반 분석 및 예측을 생성하고, 중간 범위에서 월별 및 계절별, 최대 1년까지의 기간 동안의 예측 정보를 제공
수치예보 과학	최대 1년 전의 예측과 관련된 세계 기상 예측의 모든 측면에 대한 연구를 수행
환경 서비스	통합 예측 시스템을 통해 순수한 날씨가 아닌 자연 환경의 다른 측면을 분석하고, 예측할 수 있는 기회를 제공
기상학 제공	회원국 및 협력국의 자원을 활용하여, 세계 최고의 일기 예보, 전문 소프트웨어 및 세계 최대의 기상 데이터 아카이브를 생성하여 커뮤니티에 서비스를 제공
슈퍼 컴퓨팅	고성능 컴퓨팅 시설을 통해 사용자에게 최첨단 고성능 컴퓨팅(HPC)기술을 제공

출처: ECMWF 홈페이지 참조

ECMWF의 2016-2025 전략에 따르면, 예보의 정확성과 신뢰성 확보에 대한 장기적인 사회적 요구가 확대됨에 따라 대기, 해양, 해빙, 지면 등의 지구시스템 구성요소들의 상호작용 모델링 개발을 목표로 하고 있다. 이에 따라 기존 구축되어 있는 자료동화, 모델개발, 불확실성 평가, 지구시스템구성모델 접합 기술들의 개선을 위해 관련 전략을 설정하였다.

〈표 2-21〉 유럽 ECMWF의 2016-2025 발전전략

주요 전략		주요 분야
2025 로드맵	기상과학 발전 및 기상수치 향상을 위해 인재와 기술의 조화	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 매력적인 근무 조건 및 인재 유치 환경 조성</li> <li>○ ECMWF의 국제과학 유치 및 회원국과 컴퓨팅 협업</li> <li>○ 고성능 컴퓨팅 시설과 환경영향을 최소화하기 위한 에너지 효율적이며 복원력있는 인프라</li> <li>○ 종합적인 지구시스템 접근을 포함하는 확장가능하고 효율적인 모델링 및 처리 코드</li> </ul>
서비스 전략	회원국과 협력 국가, 더 광범위한 커뮤니티에 제공하고 있는 서비스의 개발과 개선	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 슈퍼컴퓨터 역량과 관련 소프트웨어 전문가</li> <li>○ ECMWF에서 활용가능한 종합기상데이터 저장소</li> <li>○ 전지구 재분석(reanalyses) 및 재예측(re-forecasts)</li> <li>○ 지구시스템 모델링 및 예측에 대한 고급 교육</li> <li>○ 최빈국에 필수기상정보(생명에 중요한 데이터)의 제공을 위한 WMO와의 협력관계</li> <li>○ 고해상도 지역 기상예측모델을 위한 초기 및 경계조건</li> <li>○ 대기 모니터링, 홍수 예측, 기후변화 서비스 등의 추가 운영 활동</li> </ul>
기상과학 고도화 전략	중기예보 성능의 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지구시스템모델링: 모델 개발, 대기·해양·해빙·지면 간의 상호작용을 포함하는 지구시스템 모델링 개발</li> <li>○ 예측 기술 개선: 자료동화(초기 조건의 불확실성 최소화), 모델의 불확실성 추정(오류 개선), 예측가능성 향상(예측 범위 확대)</li> </ul>
글로벌 예측 제공 전략	앙상블 시스템 분석 및 예측 가능성/예측 품질에 대한 국제 기준 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 통합적 앙상블 시스템 구축</li> <li>○ 예측 품질 평가</li> </ul>

출처: 기상청(2020b), 「차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사」, pp. 198-200; ECMWF, “ECMWF Strategy 2016-2025: The Strength of a Common Goal”, p. 5, pp. 11-26

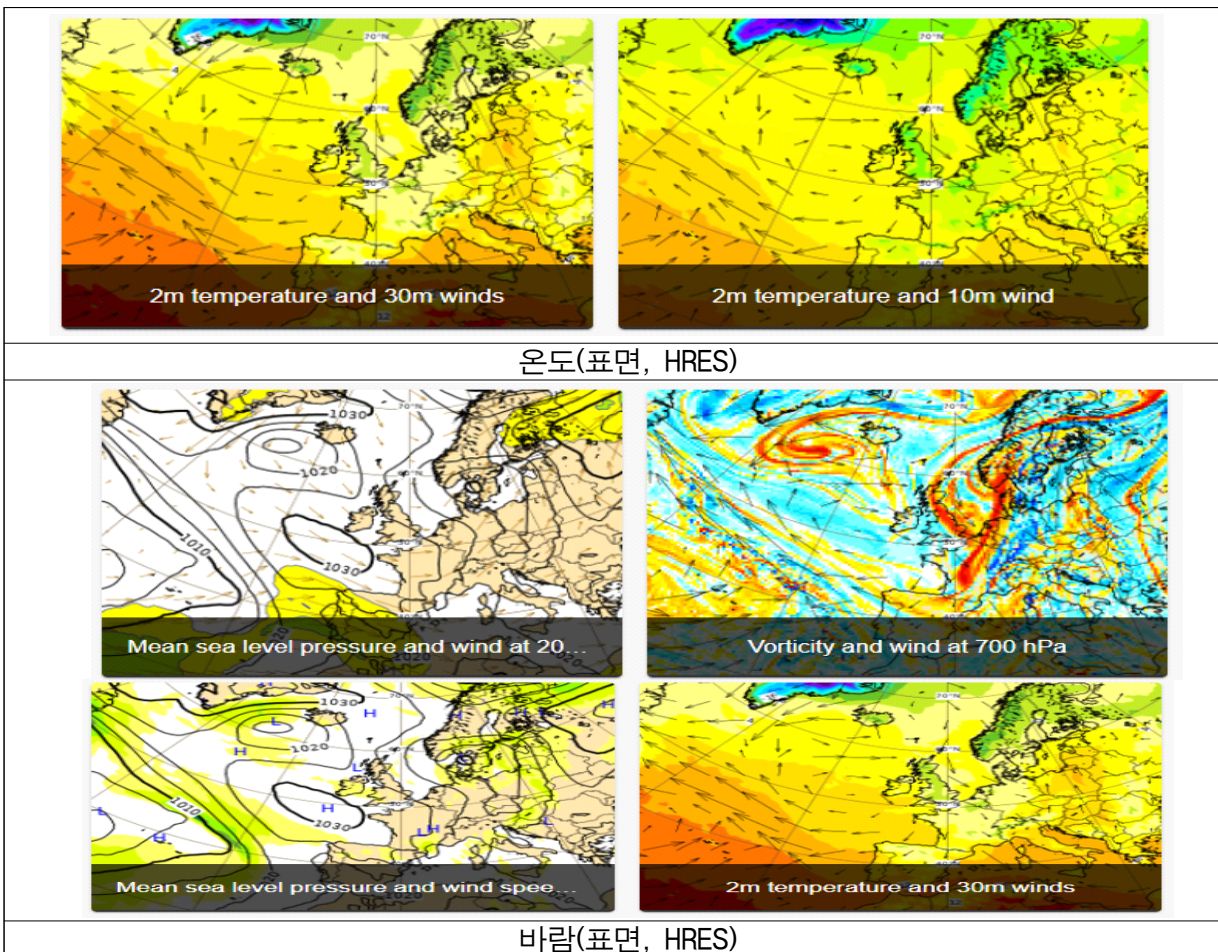


### 나. 장기예보 제공 정보 종류

ECMWF는 통합예측시스템(Integrated Forecasting System)을 통해 중기(10일~15일), 확장된 중기(최대 46일), 장기(최대 13개월)를 대상으로 하는 중장기 예측 자료를 제공하고 있다. 그 밖에 열대성 저기압, 열대성 폭풍, 허리케인 및 태풍 등 최신 열대 저기압 예측과 열대 저기압 활동에 정보를 차트, 데이터세트 등 형태로 제공하고 있다. ECMWF는 각 국가의 기상청에서 제공하는 장기예보와 달리, 수치모델 결과와 기후예측 관련된 요소들에 대한 전망정보를 제공한다.

중장기 예측의 구성요소는 표면, 대기이며, 제품 형태는 고해상도 예측 (HRES), 앙상블 예측 (ENS), 결합 (ENS + HRES), 극단적 예측 지수, 포인트 기반의 제품이다. 변수는 바람, 평균 해수면 압력, 온도, 지오폠펌셜, 강수량, 구름, 수증기, 지수, 파도, 표면 특성, 눈, 열대성 저기압이다.

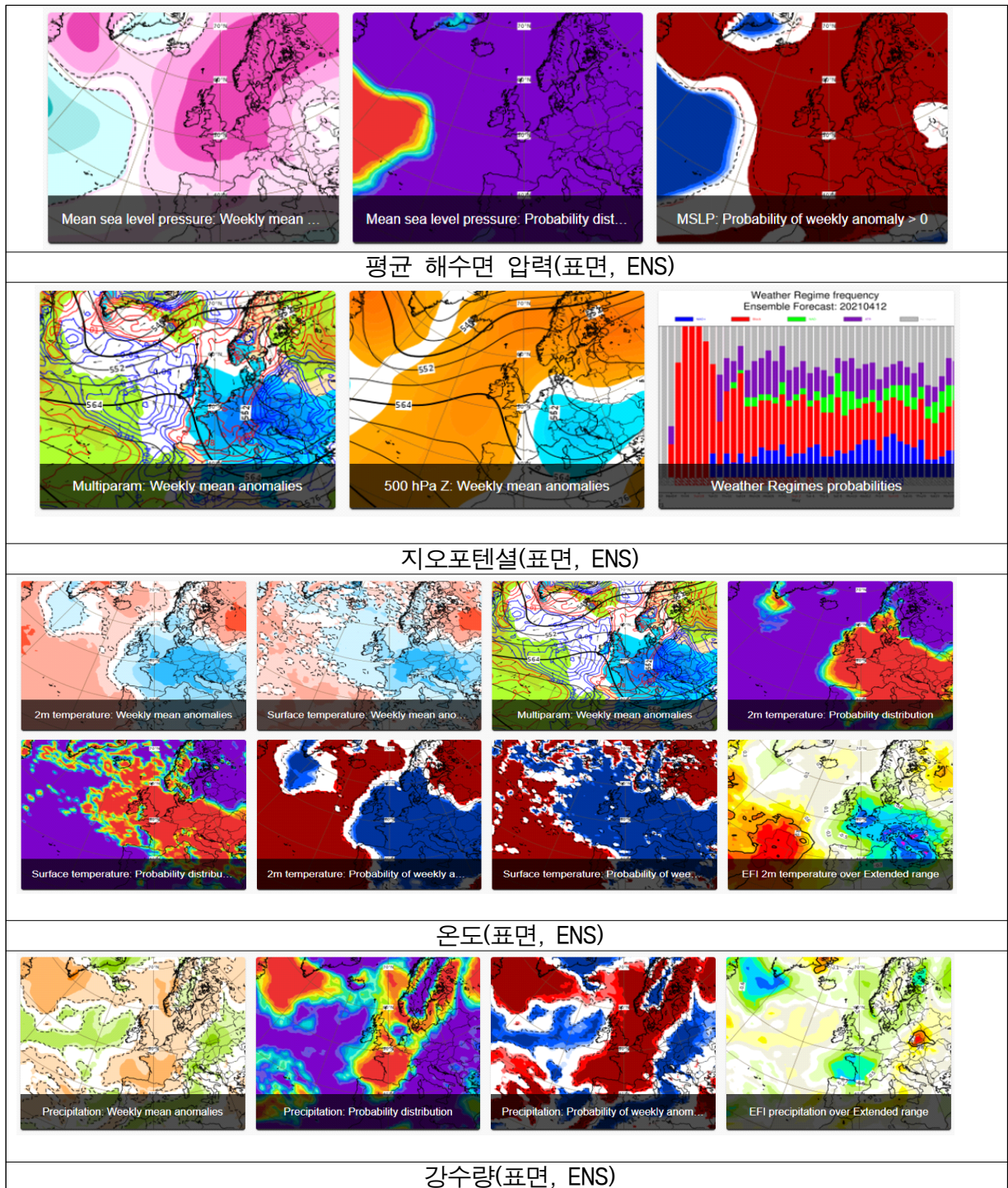
[그림 2-42] ECMWF의 중기 예측



출처: ECMWF 홈페이지 참조



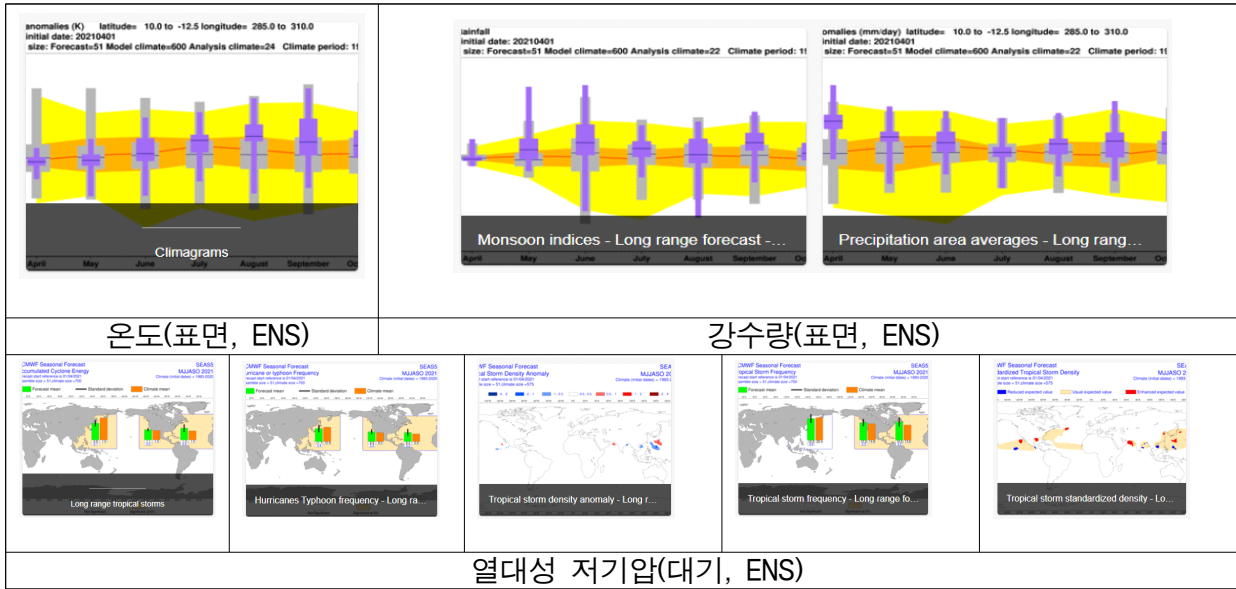
[그림 2-43] ECMWF의 확장된 중기 예측



출처: ECMWF 홈페이지 참조



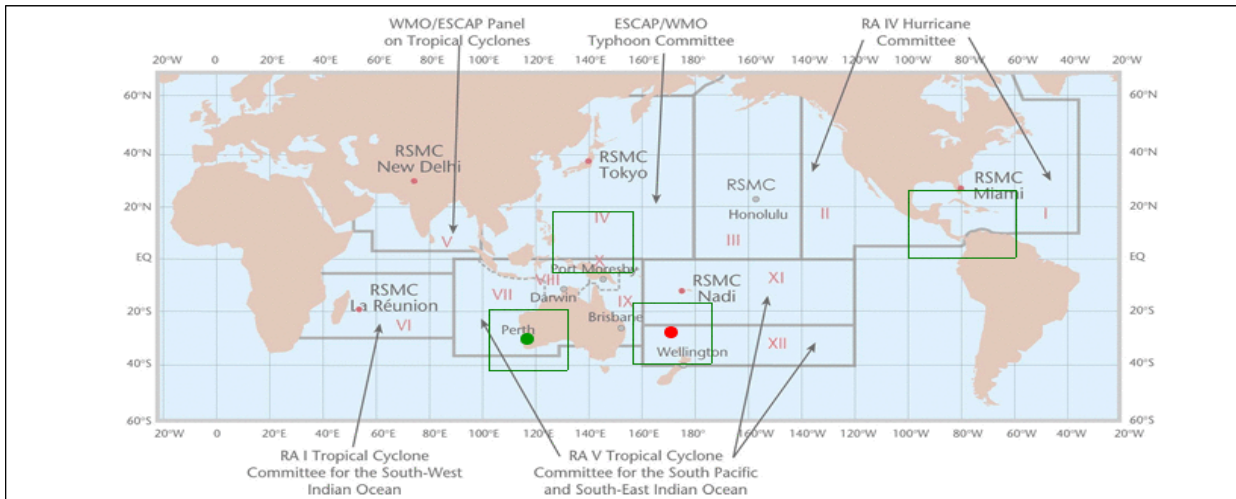
[그림 2-44] ECMWF의 장기 예측



출처: ECMWF 홈페이지 참조

그 밖에 열대성 저기압, 열대성 폭풍, 허리케인 및 태풍 등 최신 열대성 저기압 예측과 열대성 저기압 활동에 정보를 제공하고 있다. 최신 열대성 저기압 예측은 예측 초기에 열대성 저기압이 관찰 될 때마다 자동으로 생성되고, 고해상도 예측 및 앙상블 (ENS)에 표시되며, 열대 저기압 우모, 열대성 저기압 공격 확률, 열대 사이클론 트랙, 열대성 저기압 검증 등 4가지 형태의 정보를 제공하고 있다.

[그림 2-45] ECMWF의 최신 열대성 저기압 예측 자료



출처: ECMWF 홈페이지 참조

열대성 저기압 활동은 중장기 예측 정보와 연동되어 앞으로의 며칠, 몇주, 몇 달 동안의 잠

재적인 열대성 저기압 활동을 예측하고, 정보 생성 주기의 경우는 ENS에서 하루에 두 번 생성되며, 단 확장된 중기의 경우는 일주일에 두 번 생성되며, 계절예측의 경우는 한 달에 한번 생성되고 있다.










## 5. 중국

### 가. 조직 체계, 업무 및 주요 전략

중국의 기상국(China Meteorological Administration, CMA)은 국무원 직속 기관으로 1949년에 설립되어 주로 중국 전역의 기상업무에 관한 행정 관리 및 조직 관리를 담당하고 있으며, 본부는 베이징에 위치해 있다. 기상국은 9개의 내부 조직과 11개의 산하 기관으로 구성되어 있다. 내부조직은 본부 사무실, 비상 대응, 재난 완화 및 공공 서비스 부서, 예측 및 네트워킹학과, 통합 관측학과, 과학기술 및 기후변화학과, 기획 재무학과, 인적 자원학과, 정책 및 규정 부서, 국제 협력학과로 이루어져 있다. 산하기관은 국립 기상센터, 국립 기후센터, 국립 위성 기상센터, 국립 기상 정보 센터, 기상 관측 센터, CMA 공공 기상 서비스 센터, 중국 기상 과학 아카데미, CMA 교육 센터, 기상 커뮤니케이션 및 아웃 리치 센터, 중국 기상 뉴스 보도, 중국 기상 언론 등이 있다.

기상국의 기상예보는 중국 및 지역별로 시간별, 하루, 15일간의 그래프와 테이블 형태로 날씨, 기온, 바람 등의 정보를 제공하고, 하루 예보의 경우 추가적으로 세차, 여행, 빨래, 건조, 대기오염 확산 등 이모티콘 형태의 리빙 인덱스를 제공하고 있다.

[그림 2-46] 중국 기상국의 리빙 인덱스 제공 정보

Living Index		
<b>Carwash Index</b>  It is not appropriate	<b>Travel Index</b>  Ordinary	<b>Dressing Index</b>  Probaly Comfortable
<b>Aridity Index</b> 	<b>Comfort Index</b>  Not comfortable	<b>Air Pollution Diffusion Index</b>  Good
<b>UV Index</b>  Weakest	<b>SPF Index</b>  Weak	<b>Umbrella Index</b>  No umbrellas

출처: 중국 기상국 홈페이지 참조





기후예측의 경우 기상국 산하기관인 국립 기후센터 가운데 베이징 기후센터(Beijing Climate Center, BCC)에서 담당하고 있으며, 중국을 포함한 아시아 및 세계 기후예측 전망을 하고 있다. 베이징 기후센터는 4개 아시아 지역의 WMO 지역 기후 센터 중 하나로써, 중국 기상국이 국가 기후센터를 기반으로 2003년에 설립했고, 2009년 6월 RA II(아시아지역)의 WMO 지역 기후 센터(RCCs)로 지정되어 아시아 및 주변국가와 국제 기후 공동체에 기후 서비스를 제공하고 있다.

베이징 기후센터는 한 개의 총무실과 기후 예측과(CPD), 기후 시스템 모델링과(CSMD), 기후 서비스과(CSD), 기후 변화과(DCC), 생태 기후 평가과(ECAD), 기후 연구실(LCS), 기상 재해 위험 관리과(MDRMD), 운영, 과학 및 기술과(DOST), 운영 시스템 개발 및 유지 관리과(OSDMD) 등 총 9개의 기상부서로 구성되어 있다.

베이징 기후센터는 ①동아시아에 초점을 맞춘 지구 대기 및 해양 조건과 중요한 기후 이벤트를 모니터링하고 진단, ②동아시아에 초점을 맞춘 지구 기후 예측 및 영향 평가의 월별, 계절별 및 연간 업데이트를 제공, ③지구 및 지역 기후변화에 대한 연구, 지역 기후 시나리오 감지 및 대응 전략 개발, ④데이터 수집 및 교환을 위한 관측, 통신 및 컴퓨팅 네트워크에 대한 NMH(National Meteorological and Hydrological Service) 간의 협력 강화, ⑤기후 데이터베이스 및 보관 서비스를 제공, ⑥통역, 평가, 처리, 탐지 및 발행 등 기후 관련 제품 및 관련 서비스 제공 등 총 6가지 주요업무를 수행하고 있다.

베이징 기후센터의 업무 목표는 ①기후 연구 및 개발 프로젝트를 제안하고 다른 지역 기후 센터(RCC)와 협력, ②지역의 기후 변동성, 예측 가능성 및 영향 연구 계획수립, ③지역에서 상충되는 정보를 처리하기 위한 일관된 과정을 개발, ④계절-연간 예측 제품과 관련된 검증 절차를 개발하고, 다른 RCC와의 조율을 강화, ⑤ 지역 모델, 축소 방법 및 글로벌 예측 제품의 해석을 개발, ⑥응용 연구를 수행하고 다양한 사용자를 위한 특정 제품의 개발 및 응용을 지원, ⑦기후 정보의 경제적 가치를 연구 하는 등 총 7가지로 구성되어 있다.

베이징 기후센터의 전문가 구성을 살펴보면, 2021년 4월 기준으로 기후 예측과(6명), 기후 시스템 모델링과(9명), 기후 서비스과(7명), 기후 변화과(3명), 생태 기후 평가과(3명), 기후 연구실(8명), 기상 재해 위험 관리과(5명), 운영, 과학 및 기술과(1명), 운영 시스템 개발 및 유지 관리과(2명) 등 9개 기상부서에 총 44명의 전문가팀으로 구성되어 있다.

기상국은 기상서비스를 관장하며, 그와 관련된 정책, 법률, 규정, 개발 전략 및 장기 계획을 수립한다. 기상국의 개발 전략 목표는 2020년까지 종합기상정보서비스 시스템의 현대화를 추진하는 것이다. 전반적으로 현대화된 기상 서비스 시스템 구축을 위한 기반을 마련하기 위해 복지 사회 건설을 위한 기상 서비스 역량 제고, 기상 재난 대비 및 경감, 기후변화 대응 강화, 기상 서비스에 대한 전반적인 개발, 더 나은 개혁과 개방, CPC 구축 및 기상 문화 확산을 추진하고자 한다. 특히 기상 재해로 인한 손실을 최소화하고 사람들의 생명과 재산을 보장하기 위해 사회 전체의 방재, 완화 및 대응 기술을 향상시키는 데 있다.

〈표 2-22〉 중국 CMA의 개발 전략

구분	주요 분야
목표	2020년까지 종합기상정보서비스 시스템의 현대화
기상 서비스 개발 가속화를 위한 지침	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과학기술 기반의 기상서비스</li> <li>○ 대중을 대상으로 하는 기상서비스</li> <li>○ 일기예보 및 기후예측기술을 향상시키고 과학기술혁신을 촉진하기 위해 최고 수준의 장비, 기술 인력을 갖추는 등 관측 기반 강화</li> <li>○ 경제 및 사회 발전, 국가 안보 및 지속가능성을 지원하는 기상학의 역할을 강화하고 세계일류 기상 서비스를 제공하기 위해 기상 서비스 선진화 노력</li> </ul>
기상 재해 예방 강화를 위한 일반 요건	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상 재해 모니터링 및 정보 시스템 향상               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 통합적인 기상 재해 모니터링 시스템 강화</li> <li>- 재난 예보 및 예측 강화</li> <li>- 기상 재해 정보 및 알람 강화</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상 재해에 대한 긴급 대응 강화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개선된 비상 대응 프로그램 개발</li> <li>- 날씨 변조(weather modification) 역량 강화</li> <li>- 긴급 구조팀 조직</li> <li>- 재난 구호 능력 강화</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 재해 예방 및 관리 시스템의 향상               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과학 및 기술의 지원 역할 강화</li> <li>- 관련 규정 및 표준 개발</li> <li>- 재정 투입 증가</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 리더십 및 공공 교육·홍보 강화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 재해 예방 및 완화를 위한 책임 강화</li> <li>- 관련 부서와 협조 강화</li> <li>- 대중의 인식 제고를 위한 과학 교육 강화</li> </ul> </li> </ul>

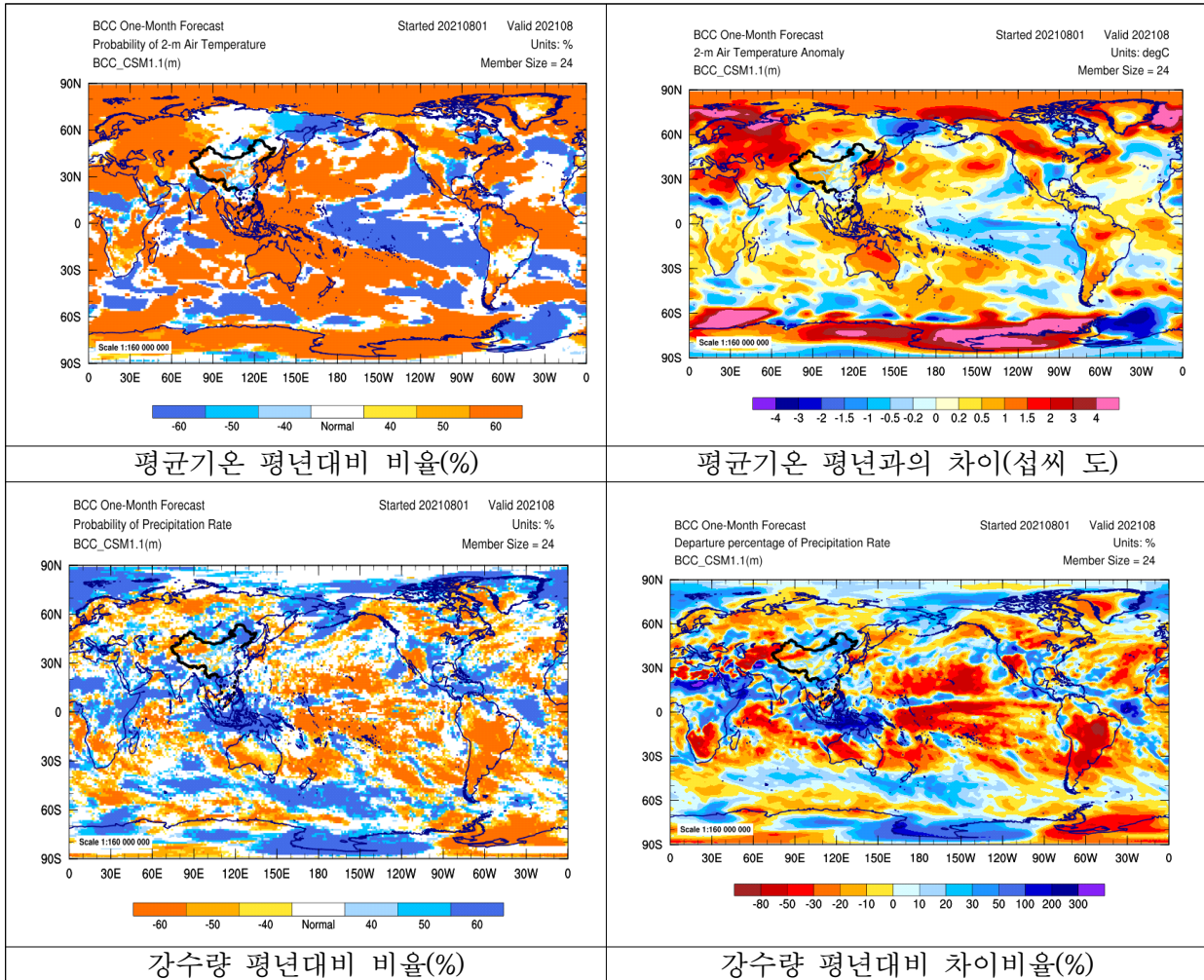
출처: China Meteorological Administration(CMA) 홈페이지: Development Strategies, <http://www.cma.gov.cn/en2014/aboutcma/>, 검색일: 2021.5.20.

## 나. 장기예보 제공 정보 종류

중국은 향후 15일까지 기온, 풍향 및 풍속에 대해 그래프 및 표를 통해 중국지역별로 예측 결과를 제공하고 있다. 장기예보는 1개월부터 12개월까지 월별, 계절별 기온, 강수량 등 정보를 제공하고 있다. 글로벌과 아시아 지역을 대상으로 지도상에 색깔을 구분하여 표시한다. 평균기온의 경우 평년보다 60% 낮은 수준부터(파란색) 60% 높은 수준까지(주황색) 다른 색상으로 표현한다. 또한 평년과의 차이를 -4도부터(보라색) +4도까지(분홍색) 구분하여 표시한다. 강수량의 경우 평년보다 60% 적은 수준부터(주황색) 60% 많은 수준까지(파란색) 구분하고, 평년수치와의 차이를 평년대비 비율로 계산하여 80% 적은 수준(진한 빨강색), 300% 많은 수준(보라색)으로 구분하여 표시한다.



[그림 2-47] 중국의 글로벌 평균기온 및 강수량 1개월 전망



출처: China Meteorological Administration(CMA) 홈페이지:

[http://cmdp.ncc-cma.net/eng/index.php?pred\\_elem=RAINA&pred\\_start\\_date=2021-08-01&leadTime=L0&pred\\_region=GL&M01=Monthly&ChannelID=56&channel=16&submit=1#pred\\_seasonal](http://cmdp.ncc-cma.net/eng/index.php?pred_elem=RAINA&pred_start_date=2021-08-01&leadTime=L0&pred_region=GL&M01=Monthly&ChannelID=56&channel=16&submit=1#pred_seasonal) 검색일: 2021.9.1.

베이지 기후센터는 BCC-CGCM1.1 기후모델을 통해 1개월~12개월 전망을 하고 있다. 이 외에도 ENSO 모니터링, 분석 및 전망, 다장양상블 모델을 통한 기후현상 및 기후요소 전망 등을 제시하고 있다.

## 제 3 절 소결

본 장에서는 주요 국가(한국, 미국, 영국, 일본, 유럽, 중국)의 장기예보 생산현황을 조사·분석했다. 우선 기후 관련 조직체계, 주요 정책들을 살펴본 결과, 각 국가에서는 이상기후 및 재해예측 기술력 확보를 중심으로 기상정보 시스템의 현대화 및 최첨단 예측능력 강화, 기상 데이터 이용과 활용 확대 등의 목표와 추진전략들이 공통적으로 발견되었다.

〈표 2-23〉 주요 국가의 기상·기후 관련 조직 및 정책

국가명	조직 체계	주요 정책	목표	추진 전략
한국	기상청(환경부)	기후업무발전계획	고품질 정보 생산과 기후정보 기반의 의사결정 지원 서비스 확대	선진 계절예측시스템 개선 및 검증/ 전 지구 해양순환예측 시스템 개발/ 장기예보 생산·서비스 체계 역량강화/ 수요자 친화형 장기예보 서비스 확대
		장기예보 정확도 향상 방안	장기예보 정확도 향상으로 신뢰도 제고	기후감시요소와 모델의 예측성 분석 강화/ 기후예측 기술 개발로 장기예보의 객관화 추진/ 장기예보관 역량 강화
미국	기상청(상무부) 기후예측센터	NOAA NWS의 2019-2022 전략계획	기상·수문·기후 관련 사건에 대비를 위한 정보 품질 개선, 과학기술기반 예측 역량 강화, 조직 정비	정보품질 개선을 통한 의사 결정 개선/ 예측 모델 고도화 및 통합 관측/ 인력, 조직 정비 및 민간 기업 파트너십 강화
영국	기상청(기업, 에너지, 산업전략부), 해들리센터	UKMO 2020-2030 기후과학로드맵	과학 기반 서비스 강화, 최첨단 예측능력 강화, 기상·기후 분야의 국제 커뮤니티 선도	재해 관련 결정을 위해 과학적 지식 활용/ 고해상도 예측 개발/ 차세대 모델링 시스템 개발
일본	기상청(국토교통성), 도쿄 기후센터	JMA의 2030 전략	재해 예방을 위한 정확한 정보 제공, 산업의 생산성 향상을 위한 기상 데이터 이용·활용 촉진, 기상 기술 연구개발, 국제협력 강화	재해(대풍, 호우, 지진, 화산 등) 방재를 위해 정확한 정보제공/ 교통안전, 지구환경 보전, 산업의 생산성 향상을 위해 정확한 정보 제공/ 관측·예보시스템의 개선 및 고도화
유럽	유럽중기예보센터(정무간 기구)	ECMWF의 2016-2025 발전 전략	글로벌 수치 예보 및 지구시스템 모니터링 강화, 예보기술에 대한 과학적 연구 확대, 기상데이터 축적 관리	기상과학발전 및 기상수치 향상을 위한 기술 개발 및 인재유치/ ECMWF 안팎에 제공하고 있는 서비스의 개발과 개선/ 중기예보 성능의 향상 및 예측 품질에 대한 국제 기준 향상
중국	기상국(국무원), 베이징 기후센터	CMA의 개발 전략	2020년까지 종합기상정보서비스 시스템의 현대화	과학기술 기반의 기상서비스/ 대중을 대상으로 하는 기상서비스/ 일기예보 및 기후예측 기술 향상/ 기상 서비스 선진화/ 기상 재해 모니터링 및 경보 시스템 향상

출처: 연구진 작성

주요 국가의 장기예보 정보와 방식 등을 정리하면 아래와 같다. 장기예보 범위는 1개월부터 1년 미만으로 조사·분석하였다.

〈표 2-24〉 주요 국가의 장기예보 생산 현황

	한국		미국		영국	
	1개월	3개월	1개월	3개월	1개월	3개월
예보 요소	· 평균기온 · 강수량 · 가뭄 · 이상고온/이상저온	· 평균기온 · 강수량 · 가뭄 · 이상고온/이상저온	· 평균기온 · 강수량 · 가뭄	· 평균기온 · 강수량 · 가뭄	· (15-29일) 기온, 강수, 풍속 등 기상현상	· 평균기온 · 강수량
발표 주기	· 매주	· 매월	· 매주	· 매월	· 매일	· 매월
대상 지역	· 전국(평균) · 전국 10개 지역 · 북한 2개 지역	· 전국(평균) · 전국 10개 지역 · 북한 2개 지역	· 본토 102개, 알래스카 24개, 하와이 4개 지역	· 본토 102개, 알래스카 24개, 하와이 4개 지역	· 전국(평균)	· 전국(평균)
표현 방식	· 3분위 확률 · 예보문 · 지도	· 3분위 확률 · 예보문 · 해설서 · 지도	· 3분위 확률 · 설명문 · 지도 · 인터랙티브 맵	· 3분위 확률 · 설명문 · 지도 · 인터랙티브 맵	· 설명문	· 3분위 확률 · 설명문 · 지도
접근성 (형태)	· 웹사이트 (예보문 다운로드)	· 웹사이트 (예보문 다운로드)	· 웹사이트 (데이터, 그래픽)	· 웹사이트 (데이터, 그래픽)	· 웹사이트	· 웹사이트 (PDF)





	한국		미국		영국	
	드)  <a href="https://www.weather.go.kr/w/weather/long-term/month1.do">https://www.weather.go.kr/w/weather/long-term/month1.do</a>	드)  <a href="https://www.weather.go.kr/weather/forecast/season.jsp">https://www.weather.go.kr/weather/forecast/season.jsp</a>	Shapefile and Raster)  <a href="https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/610day/index.php">https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/610day/index.php</a>	Shapefile and Raster)  <a href="https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/610day/index.php">https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/610day/index.php</a>	<a href="https://www.metoffice.gov.uk/weather/forecast/gc/vj07#?date=2021-05-20">https://www.metoffice.gov.uk/weather/forecast/gc/vj07#?date=2021-05-20</a>	<a href="https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegov.uk/pdf/business/public-sector/civil-contingency/3month-outlook-jas-v2.pdf">https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegov.uk/pdf/business/public-sector/civil-contingency/3month-outlook-jas-v2.pdf</a>
기타	<p>&lt;기타전망&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 기후전망 (다음다음계절)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- [요소]</li> </ul> </li> <li>· 연기후전망 (다음해)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- [요소]</li> </ul> </li> <li>· 평균기온, 강수량, 엘니뇨라니냐               <ul style="list-style-type: none"> <li>- [발표주기]</li> </ul> </li> <li>· 매분기(연4회)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- [대상지역]</li> </ul> </li> <li>· 전국               <ul style="list-style-type: none"> <li>- [표현방식]</li> </ul> </li> <li>· 3분위 확률</li> </ul>		<p>&lt;기타전망&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 폭염, Wind chill 지수</li> <li>· 허리케인, 자외선, 토양수분</li> </ul>			
	<p>&lt;설명 자료&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 기후감시요소               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 엘니뇨라니냐, 북극진동, 북극해빙, 해수면온도, 티벳지역눈덮임 등</li> </ul> </li> <li>· 기후예측 모델</li> </ul>		<p>&lt;전망 관련 자료&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 기후감시 요소               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 엘니뇨라니냐, MJO, 블로킹, AAO, AO, NAO, PNA, 몬순 등</li> </ul> </li> <li>· 기후예측 모델</li> </ul>			
	일본		유럽(ECMWF)		중국	
예보 기간	1개월	3개월	최대 46일	최대 13개월	1개월	최대 12개월
예보 요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> <li>· 일조량</li> <li>· 강설량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 평균기온</li> <li>· 강수량</li> <li>· 일조량</li> <li>· 강설량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 바람</li> <li>· 평균 해수면</li> <li>· 압력</li> <li>· 기온</li> <li>· 지오폠텐셀</li> <li>· 강수량</li> <li>· 지수</li> <li>· 파도</li> <li>· 열대 저기압</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 바람</li> <li>· 평균 해수면</li> <li>· 압력</li> <li>· 기온</li> <li>· 지오폠텐셀</li> <li>· 강수량</li> <li>· 파도</li> <li>· 열대 저기압</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기온</li> <li>· 강수량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기온</li> <li>· 강수량</li> </ul>
발표 주기	· 매주	· 매월	· 매주 2회	· 매월	·	·
대상 지역	· 전국 12개 지역	· 전국 12개 지역	· 글로벌	· 글로벌	· 글로벌 및 아시아	· 글로벌 및 아시아
표현 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 지도(음영)</li> <li>· 텍스트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3분위 확률</li> <li>· 지도(음영)</li> <li>· 텍스트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지도(음영)</li> <li>· Anomalies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 그래프</li> <li>· 지도(음영)</li> <li>· Spatial maps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지도(음영)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지도(음영)</li> </ul>
접근성 (형태)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (예보문 다운로드)</li> </ul> <a href="https://www.jma.go.jp/bosai/season/#term=1month">https://www.jma.go.jp/bosai/season/#term=1month</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (예보문 다운로드)</li> </ul> <a href="https://www.jma.go.jp/bosai/season/#term=3month">https://www.jma.go.jp/bosai/season/#term=3month</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (Metogram, Image/PDF 다운로드)</li> </ul> <a href="https://apps.ecmwf.int/webapps/opencharts/?facets=%7B%22Product%20">https://apps.ecmwf.int/webapps/opencharts/?facets=%7B%22Product%20</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트 (Image/PDF 다운로드)</li> </ul> <a href="https://apps.ecmwf.int/webapps/opencharts/?facets=%7B%22Product%20">https://apps.ecmwf.int/webapps/opencharts/?facets=%7B%22Product%20</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트</li> </ul> <a href="http://cmdp.ncc-cma.net/eng/index.php?channel=16&amp;pred_elem=TA2MP#pred_seasonal">http://cmdp.ncc-cma.net/eng/index.php?channel=16&amp;pred_elem=TA2MP#pred_seasonal</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 웹사이트</li> </ul> <a href="http://cmdp.ncc-cma.net/eng/index.php?pred_elem=TA2MP&amp;pred_start_date=2021-08-01&amp;leadTime=L">http://cmdp.ncc-cma.net/eng/index.php?pred_elem=TA2MP&amp;pred_start_date=2021-08-01&amp;leadTime=L</a>

	한국	미국	영국
		7B%22Product%20type%22%3A%5B%5D%2C%22Parameters%22%3A%5B%5D%2C%22Range%22%3A%5B%22Extended%20%2830%20days%29%22%2C%22Long%22%2C%22Extended%20%2842%20days%29%22%5D%2C%22Type%22%3A%5B%22Forecasts%22%5D%7D	0&pred_region=GL&M03=Seasonal&ChannelID=56&channel=16&submit=1#pred_seasonal

출처: 연구진 작성

주요 국가의 장기예보 생산현황을 비교분석한 결과, 미국과 영국의 사례를 벤치마킹하여 시사점을 제안하고자 한다. 미국은 설명문, 지도, 인터랙티브 맵 형태로 정보를 제공하는데, 평균기온과 강수량을 전망하는 설명문에 이상저온, 이상고온, 가뭄 전망도 같이 포함하여 서술한다. 그리고 전망에 사용된 모델, 방법, 관련 근거가 함께 제시되어 있고 여러 가지 어려운 용어에 대한 설명도 추가되어 있다. 장기예보의 활용과 이해 측면에서 사용자 입장을 충분히 반영한 것으로 보인다. 1개월과 3개월 전망 모두에서 과거 전망자료와 실제 관측치 데이터를 제공하여 사용자가 미국 장기예보의 정확도를 검증할 수 있도록 정보를 공개하고 있는 특징이 있다.

영국은 1개월 전망은 간략하게 정보를 제공하지만 3개월 전망은 자세한 자료를 제공하고 있다. 3개월 전망은 일반인보다는 정부 및 기업에서 리스크 관리 담당자를 대상으로 하고 있다는 점이 특징이다. 설명문을 pdf 형태로 작성하여 다운로드 가능하며, 본 자료에는 요약, 해설, 평년 대비 변화가능성, 질의응답 등 다양한 정보를 제시하고 있다. 또한 과거 5년간 기온 및 강수량 관측치와 평년값의 차이를 지도상에 시각화하여 제공하는 점이 특징으로 나타났다.

반면 일본, 중국의 경우, 제공되는 정보는 한국, 미국 등에 비해 부족했으며 자국어로 설명이 되어있는 것이 미흡한 점으로 보인다. ECMWF는 수치모델링 결과와 기후전망 관련 정보들을 제공한다는 점에서 다른 국가들의 장기예보 정보 서비스와는 다른 모습을 보였다.

한국은 장기예보의 생산과 전달을 효과적으로 수행하기 위해 정책적 노력과 함께 기상청 홈페이지 개편을 추진해왔다. 다만 미국에 비해서는 사용자 편의성이 부족하고, 영국에 비해서는 분석적 정보의 제공이 미흡한 것으로 나타나 이 부분에서 보완이 필요한 것으로 판단된다.



## 제3장

장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구

# 장기예보 인식 및 활용 현황

제1절 장기예보 인식 및 활용에 관한 조사

제2절 장기예보 활용사례





## 제 3 장 장기예보 인식 및 활용 현황

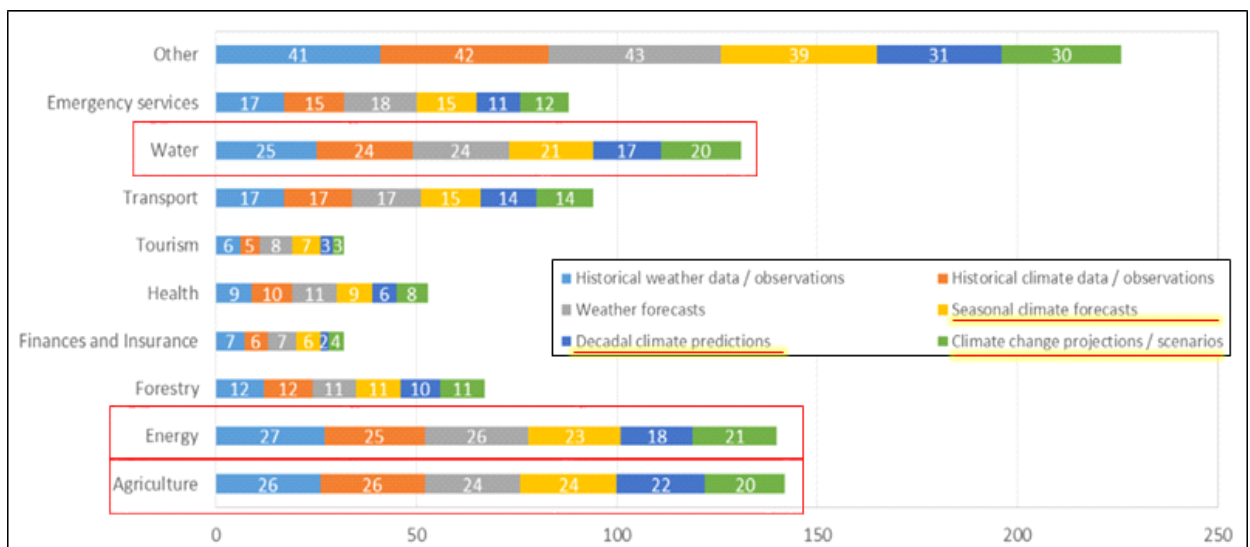
### 제1절 장기예보 인식 및 활용에 관한 조사

2장에서 장기예보의 생산 측면에서 주요 국가의 관련 정책, 전략 및 생산 현황을 살펴보았다면, 이 장에서는 수요자 입장에서 장기예보에 대한 인식이 무엇이고 실제 활용하고 있는 사례가 무엇인지 조사·분석하고자 한다. 제1절에서는 기존 문헌 분석, 국내 기업 대상 사례 조사, 인터뷰 등 방법을 활용하여 장기예보에 대한 인식과 활용을 조사한다.

#### 1. 기존 문헌 조사

기존 문헌에서 장기예보에 대한 인식과 활용성을 조사하여 정리한 내용을 참고하여 본 내용을 작성했다. 2020년에 수행한 차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사 연구에서 기후과학 전문가 대상으로 조사한 결과, 장기예보에 대한 인지도에 비해 활용 경험이 적고 만족도도 높지 않았다(기상청, 2020b). 낮은 활용도와 만족도의 원인으로서는 정보의 부정확성과 이용 가능한 정보의 부족 및 홍보 부족으로 나타났다. 2016년에 발간된 ‘Barriers and enablers to the use of seasonal climate forecasts amongst organisations in Europe’ 논문에서는 EU 16개 국가의 8개 섹터(에너지, 수송, 물, 농업 등)에서 75개 기업 및 기관 인터뷰를 하였다. 이 논문은 낮은 신뢰성 및 정확도, 관련성 및 인식 부족, 비용발생, 기존 관습 등을 계절기후예보(Seasonal climate forecasts, SCF)의 낮은 활용 등의 원인으로 주장하고 있다(Soares & Bessai, 2016).

[그림 3-1] 섹터별 활용하는 기상정보



자료: 이명인(2021). 세미나 발표자료





2020년에 발표된 도쿄상공리서치 보고서 “산업계의 기상데이터 이·활용 상황에 관한 조사”에 따르면, 전체 2,031업체 중 65.4%가 기상정보 및 기상데이터가 “사업 상 영향을 미침,” 50.8%가 “사업내용·상품·서비스 변경”에 영향을 미친다고 답변하였다. 활용하지 않는 이유로는 “활용방법을 모른다(33.3%),” “전문인력이 없다(30.4%),” 그리고 “예측 정확도가 충분히 높지 않다(9.5%)” 등의 답변들이 있었다. 장기예보의 활용 효과로는 ‘안전관리’ (66.4%), ‘적절한 인원 배치’ (32%), ‘새로운 서비스 창출’ (24.1%), 그리고 ‘매출향상’ (23.7%) 등을 선택하였다. 더불어 장기예보는 재난관리, 수자원 관리, 에너지 수급, 농업, 제조 및 유통업 등 다양한 분야에서 활용 및 수요가 증가되고 있다는 것을 알 수 있다.

## 2. 날씨경영우수기업 조사

산업계에서는 날씨를 경영의 다양한 단계와 분야에 영향을 미치는 변수로 인식하고 있다. 이에, 날씨 변화로 발생할 수 있는 리스크를 관리하고 경영 효율성 및 이윤 증대를 위해 날씨정보를 활용하는 기업들이 증가하고 있다. 이를 날씨경영이라고 하는데, 우리나라는 기상청(총괄기관)과 한국기상산업기술원(운영기관)을 중심으로 2011년도부터 날씨경영을 활발히 적용하고 있는 기업, 소상공인, 공공기관을 대상으로 날씨경영우수기업 선정제도를 운영하고 있다. 본 연구에서는 2020년도 날씨경영우수기업을 대상으로 살펴보았다<sup>16)</sup>.

2020년 기준으로, 기상산업기술원 날씨경영 우수기업 70개를 분석하여 국내 민간 분야를 조사하였다. 총 12개 업종의 70개 기업을 대상으로 날씨경영을 위한 자체 시스템 보유 여부와 장기예보 및 해외 날씨정보 수요를 살펴보았다. 70개 기업은 건설/시설관리업(9), 관광/레저(9), 교육(3), 농축수산(8), 보험(2), 서비스(3), 에너지(9), 외식/유통(3), 운송(8), 제조(6), 항공(4), 해운(6) 등 업종으로 구분했다. 날씨경영 우수기업 보고서 내용을 기반으로 각 기업이 기상관측, 분석 장비, 인력, 조직, 관련 시스템을 보유하고 있는지 여부를 판단했다. 조사 결과, 교육과 외식/유통 분야를 제외하고는 모든 업종에서 최소 1개 업체 이상이 날씨경영을 위한 자체시스템을 보유하고 있어 전체의 46%가 시스템을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 항공과 해운 부문 같이 날씨가 실시간으로 기업 활동에 즉각적인 영향을 미치고, 안전 등 생명과 직결되는 문제를 야기하는 부문의 경우 각각 1개 기업을 제외하고는 날씨 관측 및 이를 반영한 운항 관리 및 계획 시스템을 갖추고 있는 것으로 나타났다. 그 외에도 건설/시설관리, 관광/레저, 농축수산, 제조업 분야의 날씨경영우수기업 중 50% 안팎의 기업들이 자체 시스템을 보유하고 있었다. 이를 통해 경영활동에 날씨를 적극적으로 활용하고 있는 기업들 중에서도 기상청 등 외부에서 생산된 정보를 활용하는 것 뿐만 아니라 자체적으로 정보 수집 및 분석 역량과 기능을 갖추고자 하는 기업들이 다수 있음을 확인할 수 있다.

16) 날씨경영우수기업 사례 분석 과정에서 한계점은 다음과 같다. 해당 기업들은 단기, 장기예보를 모두 포함하여 날씨경영으로 인식하고 있기 때문에 분석내용이 명확하게 장기예보에 해당한다고 결론내릴 수는 없다

〈표 3-1〉 날씨경영우수기업의 자체 시스템 보유 현황

업종	기업 수	자체시스템 보유(비중)	내용
건설/시설관리업	9	4(44%)	풍속계, 우량계, 기상장비, 기상관측장비
관광/레저	9	5(56%)	기상관측장비, 기상정보시스템
교육	3	-	-
농축수산	8	4(50%)	기상관측장비, 기상정보분석 소프트웨어, 모니터링 장비
보험	2	1(50%)	교통기후환경연구소
서비스	3	1(33%)	공기질 측정기, 에어맵
에너지	9	3(33%)	기상예측, SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)
외식/유통	3	-	-
운송	8	3(38%)	기상정보, 방재기상예보
제조	6	3(50%)	기상기사, 기상관측시스템
항공	4	3(75%)	종합통제, 항공운항, 비행계획 시스템
해운	6	5(83%)	예보모델, 운항관리, 기상관측 등
합계	70	32(46%)	-

출처: 기상청 · 한국기상산업기술원(2020). 2020년도 날씨경영우수사례집을 기반으로 연구진 작성

날씨경영우수사례집 내용을 기반으로 본 연구진은 각 기업이 장기예보가 필요하거나, 활용하고 있다는 내용을 확인해보았다. 그 결과, 기업 가운데 전체 기업 70개 중 31%인 22개 기업이 장기예보 수요가 높은 것으로 파악되었다. 특히 농축수산, 외식/유통, 제조 분야의 수요가 높게 나타났다. 그리고 해외에서 생산된 날씨정보를 활용하고 있는 기업은 6개로써 전체 9% 수준이었다. 이 기업들은 미국, 일본, 호주 등 국가의 기상청이 생산하는 정보와 해외의 민간 기상기업이 가공 및 분석한 정보를 수집하여 활용하고 있는 것으로 나타났다. 위에서 살펴본 결과, 날씨경영을 실시하고 있는 기업들의 상당수가 날씨경영의 품질 제고를 위한 자체적인 노력과 장기예보를 활용하고자 하는 의지를 확인할 수 있었다.



<표 3-2> 날씨경영우수기업의 장기예보 수요 현황

업종	기업 수	장기예보 수요가 높은 기업(비중)	해외 날씨정보 수요가 높은 기업(비중)
건설/시설관리업	9	3(33%)	0
관광/레저	9	0	0
교육	3	0	0
농축수산	8	4(50%)	1(13%) / 일본, 미국 기상청, 민간기업
보험	2	0	0
서비스	3	0	0
에너지	9	4(44%)	0
외식/유통	3	3(100%)	0
운송	8	1(13%)	0
제조	6	6(100%)	1(17%) / 호주, NOAA, 민간기업 등
항공	4	0	2(50%) / 해외 기상청, IBM
해운	6	1(17%)	2(33%) / NOAA, 해외 기상청, 민간기업 등
합계	70	22(31%)	6(9%)

출처: 기상청 · 한국기상산업기술원(2020). 2020년도 날씨경영우수사례집을 기반으로 연구진 작성

### 3. 기업 인터뷰

날씨경영우수기업 가운데 장기예보에 대한 수요가 있는 기업을 선정하고 한국기상산업기술원의 추천을 통해 8개 기업을 인터뷰했다. 건설, 보험, 에너지, 관광레저, 운송, 식품제조 등 6개 업종의 8개 기업을 대상으로, 2021년도 4월 19일부터 5월 11일까지 시행했다. 인터뷰 기업을 대상으로 업계 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성, 기상정보(장기예보) 활용현황, 기업의 대응노력, 애로사항, 성과 등에 대해 대면 또는 온라인 인터뷰를 실시했다.

<표 3-3> 국내 기업 인터뷰 개요

업종	기업명	일시	주요 질문
건설	A건설	2021. 4. 19.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 업계 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성</li> <li>- 장기예보 정보의 존재 및 활용법에 대한 업계의 인지도</li> <li>- 날씨경영 도입의 동기</li> <li>- 업계 평균 대비 귀사의 날씨경영 적용 수준</li> <li>● 기상정보(장기예보) 활용 현황</li> <li>- 주로 활용하는 정보 요소</li> <li>- 정보의 출처</li> <li>● 날씨경영 도입을 위한 귀사의 노력</li> <li>- 날씨컨설팅 경험 유무 및 관심 유무</li> <li>- 기상/기후 예측 및 분석을 위한 자체적인 시스템 또는 조직 구축 여부</li> <li>● 장기예보 활용의 애로사항</li> <li>● 날씨경영 적용의 주요 성과</li> </ul>
보험	B화재	2021. 4. 22.	
	C손해보험	2021. 4. 22.	
에너지	D공사	2021. 4. 23.	
	E서비스	2021. 5. 11.	
관광레저	F리조트	2021. 4. 26.	
운송	G사	2021. 4. 28.	
제조	H사	2021. 4. 28.	

출처: 연구진 작성

### 가. 건설업(A건설)

A건설은 국내 5대 건설기업 중의 하나로서 일반적으로 건설업계에서 활용하는 수준의 기상 정보를 경영에 활용하여 왔다. A건설은 여타 건설업체와 마찬가지로 크게 세 가지 측면에서 기상정보를 활용하고 있다. 첫째, 신규 프로젝트에 대한 입찰 시 해당 현장 내 연간 작업가능 일을 예측하여 공기 및 공사건적 산출이 매우 중요하며, 현재로는 이러한 입찰건적에 필요한 기상정보는 모두 과거관측치를 활용하고 있다. 연간 작업가능일수를 계산하기 위해서는 연 단위 기상예보 혹은 기상관측치를 필요로 한다. 국내의 경우 대부분 발주처에서 관련 기상정보를 일괄 제공하고 있으며, 기상 이변 등의 발생 시 실제 건설 과정에서 공기 지연이 일어날 경우 발주처에서 공기연장을 허용해 주고 있는 것으로 나타났다.

두 번째로는 현장운영 과정에서 날씨변동에 따라 공정진행 여부가 결정되기 때문에, 기상정보를 활용하여 인력관리 및 풍수해와 같은 재난기상에 대비하고 있다. 대체로 주간 단위로 인력관리 및 재난 대응 계획을 수립하기 때문에 주간 기상정보를 주로 활용한다. 작업환경 변화에 따라 온도/풍속/강수/폭설 등 다양한 일기에 민감하다. 다만, 교량이 포함된 현장의 경우 태풍, 수해 등의 큰 재난이 발생할 확률이 있을 경우 건설과정에 필요한 임시 가교의 철거 여부를 결정하고 이행하는데 1주 이상의 시간이 소요되어 약 2주 정도의 대응계획 마련이 필요하다고 응답하였다. 따라서, 현장에서는 주로 1주에서 최대 2주 정도의 기상예보를 바탕으로 현장운영과 관련된 다양한 관리계획을 수립하고 이행하고 있는 것으로 볼 수 있다. 현장운영과 관련된 기상정보의 경우 인터넷 보급 전에는 본사에서 일괄 기상정보를 각 현장에 배포하여 왔으나, 인터넷 보급 이후에는 각 현장에서 주요 의사결정권자들이 각국의 무료 기상정보를 비교하며 필요에 따라 알아서 활용하고 있는 것으로 응답하였다.

마지막으로 현장에서 큰 무리없이 일정보다 빨리 건설공정을 마칠 경우, 발주처와의 협의에 따라 추가적으로 예산확보를 통해 당해년도 건설공정을 확대할 수 있는 경우가 있다. 이 경우 연말까지 추가로 작업가능일수를 산출하여 추가예산을 확보하게 되는데, 과소 산출 혹은 과다 산출의 경우 발주처와 기업 양측에 곤란한 상황이 발생하게 된다. 이러한 경우에는 기상청의 장기예보가 매우 중요한 가치를 지니게 된다. A건설은 장기예보를 포함해 기상청의 제공정보에 대해 정확도 개선이 필요하다고 생각하며, 특히 업계 특성상 건설현장이 위치해 있는 특정 지역의 기상정보 서비스 제공이 필요하다고 요청하였다.

〈표 3-4〉 A건설사 인터뷰 결과

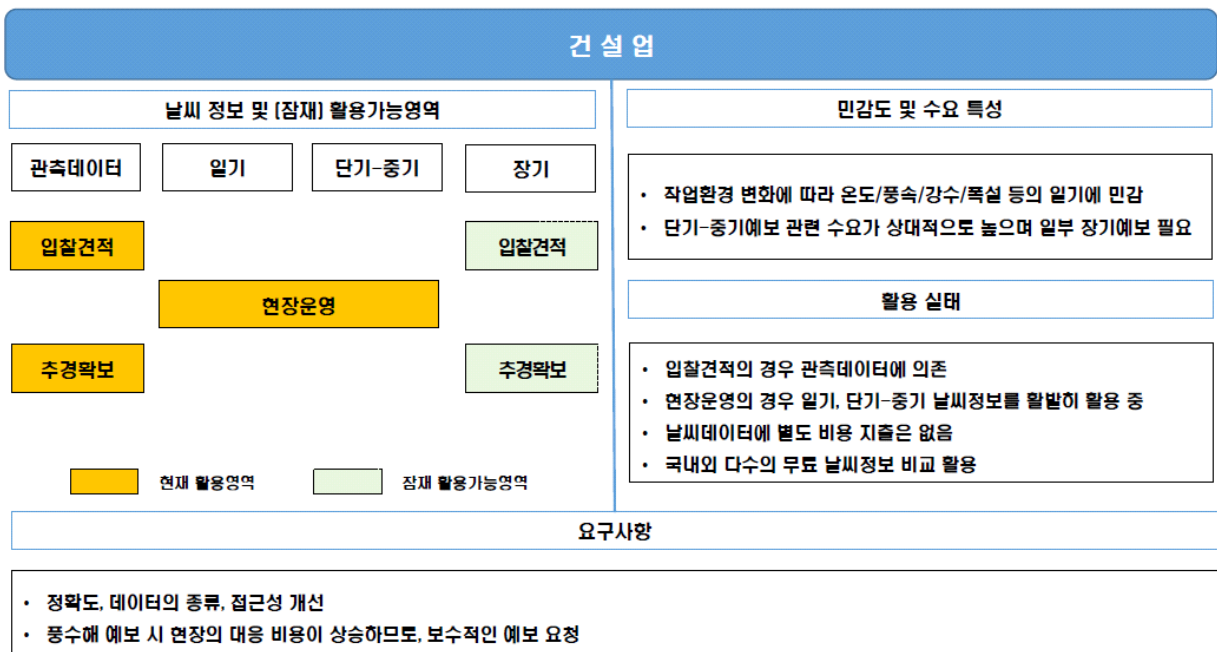
질의	답변
업계의 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성	○ 사업계획을 기안할 때 필요함 -공사 건적, 즉 공정계획을 수립할 때에, 기상 관측 데이터, 예를 들어서 1년 동안 평년에 왔던 비의 일수 등을 비교하여 며칠이나 휴지기간이 필요한지에 대한 논의를 함



기상/기후정보(장기예보) 활용 현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 근로자 고용계획 때 활용 -1-2주 단위로 근로자 고용 계획을 세움</li> <li>○ 교량, 가교 등 건축물 자재 구입 및 설치 때 활용</li> <li>○ 손해보험 가입 -천재지변으로 인해 공사한 결과물이 무너졌을 때</li> <li>○ 해상공사 할 때 -구체적으로는 조선업계 같은 경우 특성상 안전한 작업 환경을 확보하기 위해서 해상 날씨 예보가 작업 환경 조성에 큰 영향을 미친다. 그러므로 체계적이고 효율적인 날씨 경영 시스템 도입이 필요함</li> </ul>
날씨경영 적용의 주요 성과	○ 사업기획할 때 활용하고 있음
날씨경영 도입을 위한 노력	○ 구체적인 날씨경영시스템을 도입할 지는 미정 - 현재로서는 국내건설을 낼 때에는 민간기상업체와 체결하여 날씨정보를 구매하지는 않는다. 국내기상청, 해외기상청 및 공공데이터를 날씨정보를 제공하는 민간사업체의 정보를 가공하여 활용하는 정도임
장기예보 활용의 어려운 점	○ 약한 예측성으로 인한 체계적인 계획을 수립하기가 어려움
특이사항	○ 장기예보보다 단기예보의 중요성이 큼 - 건설업계 특성상 6개월, 1년단위의 장기예보보다는 근로자 고용 계획과 외부에서 작업하는 환경을 고려했을 때, 단기예보의 중요성이 장기예보보다 크다. 또한 단기예보를 참고할 때 고려하는 소스로는 오픈된 공공데이터를 활용하는 편이다. 현재로서는 기상정보 투입에 들어가는 비용은 없다고 판단해도 무방하고, 본사에서 정보를 받기는 하지만, 이 또한 비용을 들여서 받는 정보들은 아님.

출처: 연구진 작성

[그림 3-2] 건설업 날씨경영 특성



출처: 연구진 작성



## 나. 보험업(B화재, C손해보험)

인터뷰 대상인 2개 기업은 국내 손해보험업계 빅4에 속해 있다. 전체적으로 손해보험업계는 자연재해(강수/폭설/풍수해 등)에 민감하기 때문에 일기, 단기, 중기, 장기예보 등 거의 대부분의 기상정보를 모두 필요로 한다. 또한, 타 보험사의 상품에 대한 인수심사, 내부 상품기획 및 개발, 손해사정, 대고객 서비스 등 다양한 영역에서 장기예보를 포함한 시장정보의 적용이 요구되는 산업이기도 하다. 관련하여 손해보험 업계의 각 활용영역별 내용과 특성을 정리하면 아래와 같다.

첫째, 타 보험사, 재보험사에서 상품에 대한 인수심사시 리스크 계산을 통해 인수여부를 결정할 때 기상정보가 필요하다. 이들 상품의 기획 및 인수심사가 최소 수개월 이상의 시차를 두고 이루어진다는 점을 감안하면 장기예보 활용이 여러 상품에서 이루어질 것임을 짐작할 수 있다. 다만, 아직까지 장기예보의 정확도에 대한 신뢰가 높지 않아 보험업계에서는 과거 관측치를 기준으로 인수심사 결정을 위한 견적을 진행하고 있다. 둘째, 자사 상품기획 및 개발에도 기상정보, 특히 장기예보가 활용될 수 있다. 일반적으로 상품기획 및 개발, 판매, 향후 손해사정 등에 이르는 기간을 고려하면 장기예보가 관련 경영활동에 필수 정보임을 확인할 수 있다. 그러나, 이 경우에도 아직까지는 기상정보 필요시 과거 관측치를 활용하고 있는 단계에다. 셋째, 손해사정의 경우 대부분 손해 발생 이후 적정한 손해치를 산정하는 과정으로서, 예보치보다는 관측치가 필요한 영역으로 볼 수 있다. 이 영역은 보험업계에서 상당한 수준으로 손해사정 체계가 갖추어져 있는 것으로 응답하였다. 마지막으로 고객들을 대상으로 풍수해 등 재난 관련 위기를 사전 경고하는 고객서비스에 기상정보가 활발히 활용되고 있다. 고객들이 신속히 재난 대응을 할 수 있도록 단기~중기 기상예보를 활용하여 사전 경고를 전파하는 방식으로 운영되며, 기상정보의 정확도가 상당히 높아 현재 손해보험 업계에서도 활발히 활용하고 있는 분야로 볼 수 있다.

손해보험업계 공통으로 기상정보를 주로 다루는 위험관리 부서가 존재하며 타 부서에 관련 정보를 가공, 해석하여 전파하는 역할을 하고 있으나, 인수심사, 상품기획 및 개발 등을 주로 담당하는 핵심 부서에서는 아직까지 장기예보의 경우 참고 수준에서만 활용하고 있는 것으로 파악되었다. 앞서 기술한 대로 손해보험 업계의 핵심 영역인 인수심사, 상품개발 등에서 장기예보의 중요성은 공히 인정되고 있으나, 현재 기상청(타국 포함)에서 제공하는 확률정보 형태의 장기예보 정보로는 손해보험 업계의 경영활동에 활용이 어려우며, 결국 수치정보 형태로 제공되어야만 활용이 가능하다고 응답하였다. 따라서, 확률에서 수치로의 정보형태 변경, 그와 함께 장기예보 정확도의 개선 등이 필요하다고 응답하였다. 다만, 보험업계에서는 명확한 수치를 요구하면서도, 그 정확도에 대한 정보 민감도는 그리 높지 않다고 응답하였다. 예를 들어 구미 선진국 기상정보 또한 그 신뢰도가 높지 않고 틀릴 확률이 높은 상황에 대해 잘 인지하고 있으며, 정확도가 그리 높지 않더라도 업계 특성상 수치 정보로 제공될 경우 충분히 활용이 될 것으로 예상하였다. 그와 함께 과거 예보와 실측데이터간 오차 비교분석을 위한 데이터 제공을 요청하였는데, 이를 통해 각 기업 나름대로 기상정보의 활용가능성 평가, 활용방안 등에 대한 연구에 관심을 표명하였다.



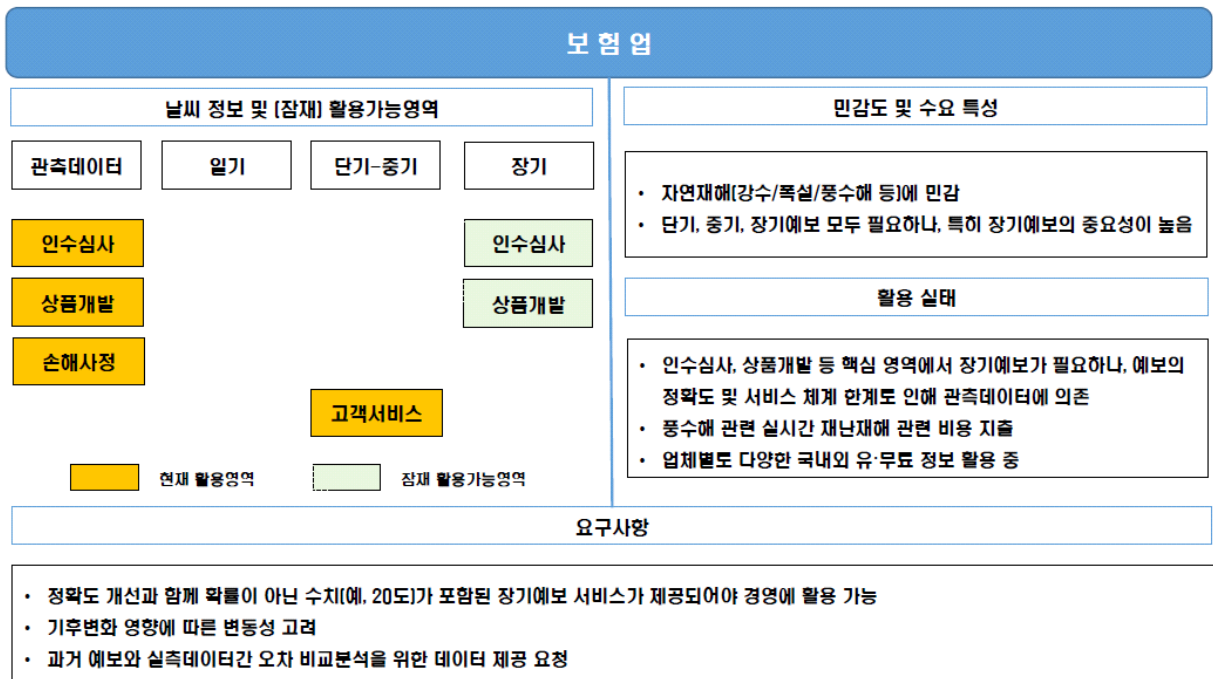


<표 3-5> B화재, C손해보험 인터뷰 결과

질의	답변
업계의 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성	○ 연초에 사업기획할 때 필요함
기상/기후정보(장기예보) 활용 현황	○ 연초에 농작물보험, 풍수피해보험 등 보험 수요결정을 할 때 ○ 자연재해의 위험도 산출-장마 후 피해 농작물 산출했을 때 반영 - 피해액을 산정해서 보상, 작물에 따라서 피해액 산정하는 방법이 다름, 피해액수가 너무 크면 재보험으로 넘김. ○ 날씨보험 - 놀이공원: 놀이공원에 판매했던 보험이 있었음. 구체적으로는 비가 몇 mm 이상왔을 때 입장객이 감소하면 그에 해당하는 보험으로 배상함 - 프로야구: 3개월동안 평년대비 비가 며칠 더 오면, 입장객 기준으로 배상. 평균 입장객만큼을 보장함 ○ 기업 경품행사 - 야후코리아: 일정기간동안 오는 고객들 대상으로 화이트 크리스마스 때 오면 경품행사를 진행했었음 (캐나다에 스키여행 보내주기)
날씨경영 적용의 주요 성과	○ 사업기획할 때 활용하고 있음
날씨경영 도입을 위한 노력	○ 민간기상업체와 계약해 날씨경영시스템을 도입하려고 노력중 - 오픈된 공공데이터임에도 불구하고, B화재 같은 경우는 민간기업이기 때문에 기상청의 자료를 활용할 수 없다. 법률상 민간기상업체의 기상정보를 활용하도록 되어있기 때문에 K-weather등 민간기상업체와 계약을 체결해 기상정보를 받고 있는 상황. 또한 자연재해의 위험도를 산출하면, 고객사에게 사전고지 하는 경우가 있고, 내부적으로도 선별하기 위해서, 과거데이터 & 예측데이터도 있는데, 과거데이터 기준이라고 봐야 한다. 위험지수 자체를 내부사에서 산출하는 것은 아니고, 관할하는 기관이 따로 있음
장기예보 활용의 어려운 점	○ 약한 예측성으로 인한 체계적인 계획을 수립하기가 어려움 - 디지털 기술 예를 들어 AI를 활용한 예측성 강화와 과거데이터의 기록은 존재하는 반면, 예측데이터 즉 예측했던 데이터에 대한 기록이 부재하여 아쉬움, 기후변화로 인한 예측의 어려움이 예상됨. 보험을 1년단위로 준비하기 때문에, 장기예보가 중요한 상황
특이사항	○ 업계의 특성상 단기예보보다는 장기예보의 중요성이 크다. - 단기예보는 풍수해보험 (태풍, 집중호우) 때문에 필요함. 예를 들어서 해외 보험회사(독일 알리안츠) 같은 경우에는, 태국에서 홍수가 일어났으면 태국뿐만이 아니라 전세계 보험회사에서 일정한 책임을 지고 있음, 재보험계약은 1년단위로 재계약하는 상황임.

출처: 연구진 작성

[그림 3-3] 보험업 날씨경영 특성



출처: 연구진 작성

#### 다. 에너지(D공사, E서비스)

인터뷰 대상인 2개 기업 모두 적정 수요에너지를 예측하고, 그에 따라 확보된 설비가동 용량 하에서 최적의 가동을 통해 에너지 수요에 최적화된 운영을 지향하는 기업들이다. 에너지 수요의 특성상 특정 계절, 즉 겨울철에 민감한 특성이 있다. 최근에는 기후변화 대응 압력, 신사업 다각화 측면에서 신재생에너지 영역으로 사업 범위 확대가 진행되고 있어 기상정보 활용의 범위가 확대되고 있다. 관련하여 에너지 업계의 각 활용영역별 내용과 특성을 정리하면 아래와 같다.

첫째, 에너지 업계에서 가장 핵심 영역인 에너지 수요 예측 부문이다. 연간 수요예측, 분기별 수요예측, 주간 수요예측, 일 수요예측 등 다양한 기간을 대상으로 기업 내에서 수요예측 활동이 이루어지고 있으며, 모든 영역에서 일기, 단기-중기, 장기 등 기상정보가 필요하다. 온도/폭설 등 날씨 변동에 따라 수요변동이 커져 (온도 1도당 수요 3% 변동) 날씨예보 정보에 매우 민감하다. 일반적으로 산업수요 대비 가정수요가 변동폭이 크며, 동계에 난방에너지 수요가 집중되어 있기 때문에, 가정 및 동계 시즌의 민감도가 높다고 할 수 있다. 난방에너지 수요의 경우 단순 온도 정보보다는 체감온도, 전날 대비 온도차 등 별도의 정보가 추가로 필요하게 된다. 현재 이러한 수요예측 과정에서 장기예보는 활용되고 있지 못하며, 모두 과거 관측치를 활용하여 의사결정을 하고 있다. 둘째, 자사 설비와 관련하여 안전관리 영역에서 기상정보를 활용하고 있다. 특히, 풍수해 등의 재난 상황 발생시 설비운영의 여부, 관련 대응 등을 위해 과거 관측데이터 및 단기-중기에 이르는 기상정보를 활용하고 있는 것으로 나타났다. 마지막으로, 기후변화 대응을 위해 온실가스 배출이 많은 에너지 기업을 대상으로 온실가스 감축 압력이



커지면서, 신재생에너지 사업으로의 다각화가 에너지업계의 화두로 떠오르고 있다. 이에 따라 에너지 업체가 직접 신재생에너지(태양광, 풍력 등) 발전사업을 하는 경우, 혹은 소규모 신재생에너지 발전사업자들을 모아 전력거래소에 전기를 판매하는 가상발전소 사업을 하는 경우 모두에서 향후 일조시간, 바람 등 기상정보에 대한 활용이 증가하고 있다. 신재생에너지 발전소 건설 지역의 기상 예측정보를 활용하여 에너지생산량을 예측하고, 이를 통해 건설여부 결정에서부터 에너지 생산량을 기반으로 전력거래 판매 전략 수립 등에 이르기까지 기상정보의 활용도는 매우 높다. 또한, 여러 기상정보 중에서도 장기예보의 중요성이 부각되는 분야이다.

현재 전력거래소나 민간기상업체를 통해 날씨데이터를 확보하고 있는데, 에너지 공급 업계에서도 손해보험업계와 유사한 요구사항을 인터뷰 과정에서 전달하였다. 현재 기상청(타국 포함)에서 제공하는 확률정보 형태의 장기예보 정보로는 에너지 업계의 경영활동에 활용이 어려우며, 결국 수치정보 형태로 제공되어야만 활용이 가능하다고 응답하였다. 특히, 기온 뿐만이 아니라, 체감온도, 최저 및 최고 온도차, 일간 온도 변화 등 에너지 업계 특성에 맞는 다양한 2차 기상정보 가공 과정을 거쳐야만 업계에 의미있는 정보를 확보할 수 있다고 응답하였다. 이를 위해서는 기존 장기예보의 정확도 개선과 함께 정보제공 형태의 변화가 필요하다. 그와 함께 보험업계와 마찬가지로 과거 예보와 실측데이터간 오차 비교분석을 위한 데이터 제공을 요청하였는데, 이를 통해 각 기업 나름대로 기상정보의 활용가능성 평가, 활용방안 등에 대한 의지를 표명하였다. 다만, 에너지 업계는 업계 특성상 보험업계 대비 제공정보의 정확도에 대한 민감도는 매우 높아, 과거 관측치에 대한 의존도는 상대적으로 더 높을 것으로 판단된다.

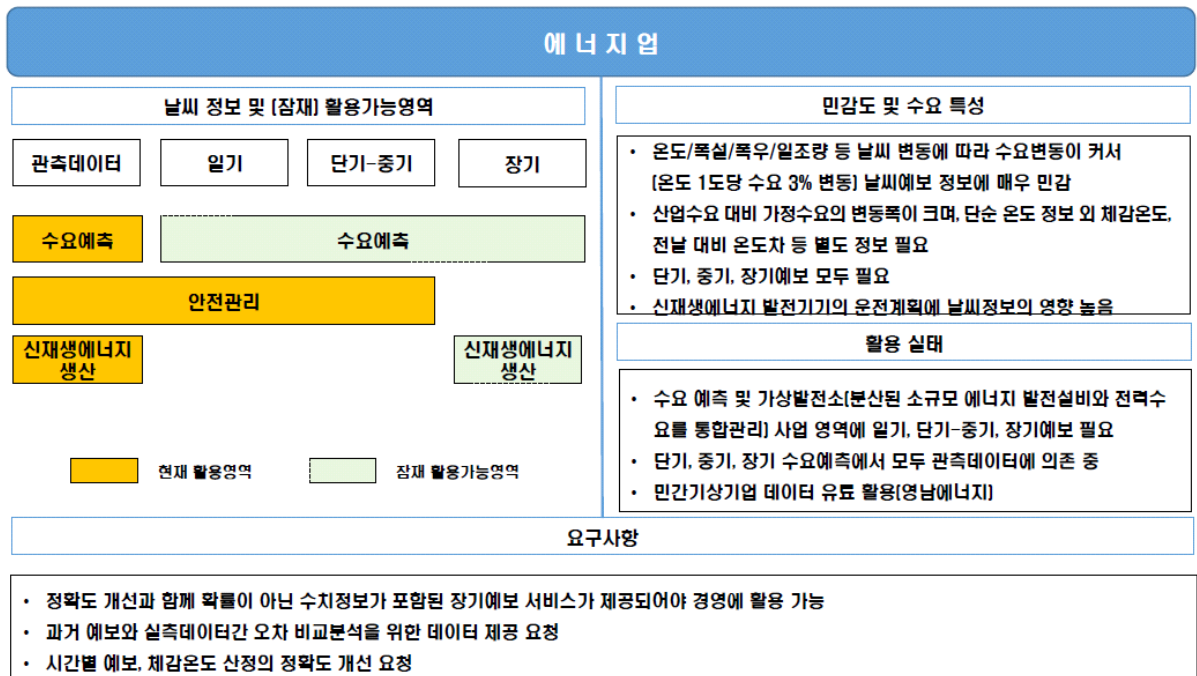
<표 3-6> D공사, E서비스 인터뷰 결과

질의	답변
업계의 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성	○ 연초에 사업기획할 때 필요(운영총괄부/안전시설팀)
기상/기후정보(장기예보) 활용 현황	○ 열수요를 예측하는 부서에서 활용중 -습도는 민감하지 않다. 민감한건 온도인데, 외부온도가 1℃가 감소하면 열수요가 3% 증가한다. 온도 1℃로 오차율 3%정도 벌어진다. ex-잘못된 기상정보로 열수요가 정확히 예측되지 않는다면, 에너지가 부족할 때, 더 비싼 대체설비를 돌리는 상황이 온다. 이는 곧 비용손실로 이어짐 -월단위, 주단위, 일단위로 열 수요 예측을 하고 있다. -운영총괄부에서 1년 총생산계획을 짜는데, 월 전략수립이라고 해서 그 전달에 다음달 열 수요를 예측하여 계획을 짠다. 1개월 전망도 기상정보가 제공되지 않아서, 자료로 못 쓰고 있는 상황이여서, 예전 실적들(3개년)을 참고해서 계획수립. -겨울동안 운용을 위해서 연료를 확보한다. LNG사용량을 한국가스공사하고 약정을 해서, 사용하지 않았을 경우 또는 초과사용할 경우는 그에 따른 패널티가 있음 -간절기 동안은 타이트하게(열 수요 양이 작기 때문에), 동절기때에는 열수요차가 크기 때문에, 기본적으로 소비되는 열 양이 있음
날씨경영 적용의 주요 성과	○ 사업기획할 때 활용하고 있음

날씨경영 도입을 위한 노력	○ 기상청과 민간기상업체와 협업해 열 수요 예측성을 높이려고 노력중 - 기상청, 민간기상업체(K-weather와 계약체결-온도, 풍속, 몇백만원 단위)와 협업하여 열 수요 예측도의 정확도를 강화시키기 위해 노력 중이다. 이에 따라 통합관제센터는 24시간 근무중이며 날씨경영시스템을 도입하기 위한 시범운영을 많이 하고있다-예측도의 정확도를 올리려고 해도, 기상정보 자체가 틀리면, 별로 의미가 없다
장기예보 활용의 어려운 점	○ 실시간 업데이트되는 정보가 부족한 상황 - 외부온도에 따라서 공기의 발전이 달라서, 물론 통합센터에서 전력입찰하고 있지만, 기상정보를 기반으로 하는데, 실제로 거래소 온도를 받아 온다고 하지만, 기상청 온도이다. 전국의 복합화력발전소는 같은 고민을 하고 있다. 날씨경영은-비용감소, 수익증대와 밀접한 관련이 있음 - 기상예보가 3시간 단위로 업데이트 되고 있는데, 시간당(hourly) 예보가 되었으면 좋겠고, 하루 최고-최저온도 편차도 제공해주었으면 함. 현재 기상 데이터가 월 평균으로 업데이트되는데, 주 평균, 일 평균 오차도 제공해주었으면 함. 더불어 실질적으로 체감하는 온도가 실시간으로 제공되었으면 함.
해외기상청 정보를 활용하는 사업체들	○ 신재생에너지 사업체와 해외기상청 정보를 활용중 - 신재생에너지 사업체가 해외기상청 정보를 활용하는 경우가 많음. 전력수요가 많을 때에는 소비자가 전력사용량을 줄이고, 이 양을 모아서 입찰해주는 사업자들이 있다.
특이사항	○ 에너지 분야는 장기예보와 가장 밀접도가 높은 분야 - 기상정보의 오차가 바로 비용손실로 연결되기 때문에 단기에보뿐만이 아닌 장기예보가 크게 영향을 미치는 분야였다. 기상청과 협업하여 진행하는 프로젝트가 전무하다고 하는데, 같이 협업했을 때 시너지효과를 가장 많이 기대할 수 있는 분야가 아닐까 싶다. 전력거래소와 더불어 열수요예측이 절대적으로 중요한 분야다. 관측데이터와 기상예보를 기반으로 전력수요 패턴을 디자인할 수 있음

출처: 연구진 작성

[그림 3-4] 에너지업 날씨경영 특성



출처: 연구진 작성



## 라. 관광레저업(F리조트)

관광레저업 중에서도 리조트 부문에 속하는 기업 F는 2015년도에 날씨경영 인증을 받았으나 국내에 날씨경영의 개념이 정립되기 이전부터 기상정보를 활용해 왔다. 해당 기업의 담당자에 따르면, 리조트 업계 중에서는 최초로 날씨경영을 도입하였고 규모도 가장 크다고 할 수 있다. F리조트는 크게 세 가지 측면에서 기상정보를 활용하고 있다. 첫째, 핵심 사업 분야인 골프장, 스키장 등을 이용하는 고객에게 기상정보를 제공한다. 고객들이 쉽게 기상정보에 접근할 수 있도록 민간 기상업체인 웨더아이를 통해 홈페이지와 어플리케이션을 구축해 사업장과 인근 지역의 상세 기상정보를 제공하고 있다. 제공 항목은 리조트가 위치한 지역의 현재 날씨(기온, 강수량, 풍향, 풍속, 습도, 불쾌지수), 3일간의 상세예보(날씨, 기온, 강수확률, 풍속), 주간예보(날씨, 기온, 강수확률), 인근 지역의 현재 날씨(기온, 풍향, 풍속, 시간당 강수량, 0시 이후 강수량)이다.

둘째, 기업 경영의 측면에서 골프장의 잔디 관리, 스키장의 인공 제설작업 등에 활용하고 있다. 잔디의 발아와 온도, 습도의 정보를 데이터화 해 운영하고 있으며, 리조트 내에 설치된 자동기상관측시스템(Automatic Weather System, AWS)이 기상청과 연동되어 있어 기상자료를 제설통제실에서 실시간으로 받아 현장과 공유하고 있다. 사업장이 위치한 지역에 대해서는 30년 이상의 날씨 데이터를 수집 및 기록해 왔는데, 데이터에 대한 분석적 접근보다는 영업 상황에 대한 판단을 하는 정도라고 할 수 있다.

셋째, 인력 고용 계획에 활용하고 있다. 위의 두 활용법에 비해서는 비중이 크지 않지만 기상 상황에 따라 아르바이트 고용 계획을 수립해 인력 고용에 따른 비용 절감 효과가 있다.

장기예보의 활용 측면에서는 골프장과 스키장을 관리하기 위한 1개월 수준에서의 예보가 중요한 것으로 나타났다. 해당 기업은 계절에 따라 운영하는 사업이 고정되어 있기 때문에 3개월 수준의 장기예보를 통해 사업 계획이나 서비스 내용에 유의미한 변화를 주기 어렵다고 답변하였다. 오히려 장기예보 보다는 고객이 서비스를 이용하기 위한 판단의 근거로 제공하고 있는 단기예보가 기상정보를 활용하는 주목적이라고 할 수 있다. 현재까지는 고객들이 기상정보의 일부 부정확성에 대해 F리조트측에 개선을 요구하지 않지만, 정확도 등에 대한 고객들의 니즈가 전제될 경우 현재 민간의 기상서비스를 이용하는 수준에서 더 확대 투자할 의지가 있다고 밝혔다.

F리조트는 장기예보를 포함해 기상청의 기상정보 서비스 활용에 있어 개선이 필요한 사항으로 산업분야별 맞춤 정보 제공과 지역별 페이지의 접근성 개선을 꼽았다. 산업분야별로 필요한 정보의 종류와 정보 제공의 형태에서 차이가 있는데 관광레저 분야에서는 미세먼지, 파고 등도 중요한 정보에 속하며, 지역별로 행정구역 전체에 대한 정보에서 나아가 사업장이 위치한 좁은 지역에 대한 기상정보를 필요로 하였다. 또한, 홈페이지 내 지역별 기상정보를 제공하는 페이지의 접근성을 개선이 필요하다. 지역별 페이지에서 제공하는 정보의 항목과 위계(레벨) 구성이 지역마다 제각각이어서 기상정보를 자주 활용해 익숙한 편인 담당자조차 정보 활용이 쉽지 않은 상황인데, 통일성과 체계성 개선의 필요성을 제기하였다.



〈표 3-7〉 F리조트 인터뷰 결과

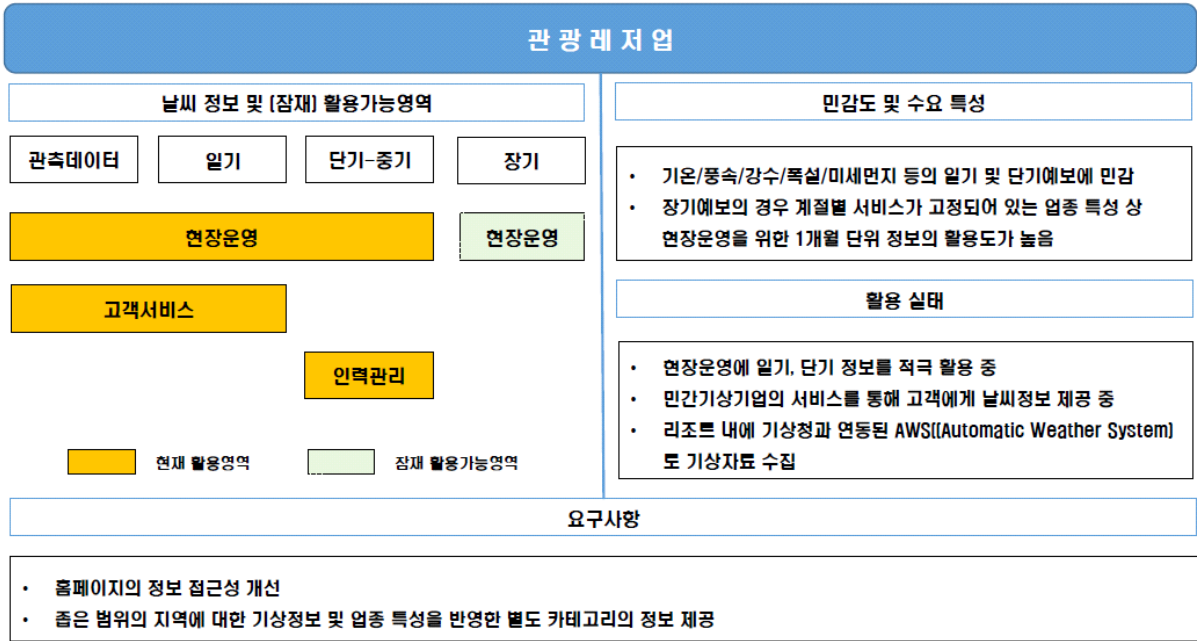
질의	답변
업계의 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 영업상황의 판단 및 고객에게 정보제공을 위해 필요</li> </ul>
기상/기후정보(장기예보) 활용 현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 고객에게 골프장, 스키장 등의 기상정보 제공               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 민간 기상업체 통해 홈페이지와 앱으로 상세정보 제공</li> </ul> </li> <li>■ 골프장 잔디관리, 스키장 인공 제설작업에 활용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3개월 보다는 1개월 정도의 예보가 중요함</li> <li>- 스키장의 경우 11월 이후의 정보를 미리 아는 것이 중요함</li> </ul> </li> <li>■ 아르바이트 등 인력 고용 계획에 활용</li> </ul>
날씨경영 적용의 주요 성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 핵심 사업분야인 골프장, 스키장 운영에 적용</li> </ul>
날씨경영 도입을 위한 노력	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 웨더아이를 통해 기상정보 제공               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기상정보의 정확도에 대한 고객들의 클레임이 없어 정보 제공의 부담이 적으며, 향후 고객들의 니즈가 확인되면 민간 기상서비스 이용 확대 고려 가능</li> </ul> </li> <li>■ 리조트 내에 기상자료 수집 장치 마련               <ul style="list-style-type: none"> <li>- AWS(기상청 연동) 통해 기상자료를 제설 통제실에서 실시간으로 수집, 현장과 공유</li> </ul> </li> </ul>
장기예보 활용의 어려운 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1개월 단위의 정보가 필요함               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 계절별로 운영하는 서비스가 고정되어 있는 업종이기 때문에 3개월 단위 장기예보를 통해 서비스에 큰 변화를 주기 어려움</li> </ul> </li> <li>■ 지역별 홈페이지의 정보 구성이 제각각이어서 접근 및 활용이 어려움               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제공하는 정보의 항목, 위계가 지역마다 제각각이므로 통일성 있는 체계 구축이 필요함</li> </ul> </li> </ul>
특이사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 장기예보, 단기예보를 넘어 좁은 범위의 지역에 대한 기상정보가 필요하며, 레저시설의 특성이 반영된 별도 카테고리의 기상정보가 필요함</li> </ul>

출처: 연구진 작성





[그림 3-5] 관광레저업 날씨경영 특성



출처: 연구진 작성

### 마. 운송업(G사)

운송업 부문의 기업 G는 날씨에 따라 열차의 운행 스케줄을 관리해야하기 때문에 날씨경영을 수행하고 있다. 기상정보는 엑스로이스(XROIS)라는 한국철도공사의 내부 전산망인 철도운영정보시스템을 통해 수신하고 있다. 이 시스템을 통해 선로 주변의 강수량, 안개, 적설량 등을 측정해 그에 맞게 열차의 속도를 제한하고 근무자들에게 실시간으로 정보를 제공하고 있으며, 해당 정보를 수집하기 위해 60대의 컴퓨터를 설치해 활용하고 있다. 또한 이 기업에게는 미세먼지 역시 중요 정보로, KT와 협업하여 측정 정보를 제공받고 있다. 이 외 항목에 대해서는 기상청의 정보를 활용하고 있으나 그 비중은 매우 작다고 답변하였다.

또한, 해당 기업은 적극적으로 자체 날씨경영 역량을 제고하기 위한 노력을 기울이고 있었다. 대표적인 예로, 일부 날씨경영우수기업을 대상으로 제공한 컨설팅을 통해 민간 기상기업인 웨더아이로부터 날씨경영 마스터플랜 자문을 받았으며, 정보화시스템 고도화 사업도 추진하고 있다. 해당 사업은 R&D 사업의 성격으로 정부에서 3,500만원 규모를 지원받고, G사가 1,500만원을 부담하여 날씨경영 고도화를 위한 정보화시스템을 구축하고 있다.

해당 기업은 열차의 운행 스케줄 관리를 위한 단기예보와 시설유지관리를 위한 장기예보를 모두 활용하고 있다고 답변하였다. 업종 성격 상 열차 운행에 직접적인 영향을 주는 폭설, 태풍, 폭염 등 재난 상황에 대비하기 위한 단기예보가 더 중요시 되지만 최근 장기적 관점에서의 데이터를 구축하고 해당 정보를 물품 공급, 시설물 관리 등에 활용하고자 하는 노력을 기울이고 있다. 특히, 50-100년 단위의 재난 상황에 대한 정보를 구축하고 향후 시설물 관리에 대비할 수 있는 시스템을 구축하고 있는데, 업체가 운영하고 있는 역사에 한정하여 국지적인 수준에서의 시스템으로 구축되고 있다. 뿐만 아니라 해당 기업은 고객에게 날씨정보를 제공하

고 있는데, 기업 이윤에는 큰 영향을 미치지 않지만 대국민 서비스 차원에서 운영하고 있다.

해당 기업은 기상정보의 서비스와 이용에 대한 의견으로 기상청의 정보는 거시적인 반면 해당 기업은 미시적, 국지적인 정보가 필요하다고 밝혔다. 따라서 분야별로 다양하고 차별화된 정보가 제공된다면 활용도가 높아질 것임을 언급하면서, 정확도가 보장되는 정보가 제공될 수 있다면 민간 기상기업의 서비스에 투자할 의지를 보였다. 국내 운송분야 기업들이 원하는 정보의 종류는 비슷할 것이므로 이들의 니즈를 겨냥한 통합서비스(패키지)가 제공된다면 기업간 중복투자 없이 서비스를 활용할 수 있어 효율적일 것이라는 의견도 제시하였다.

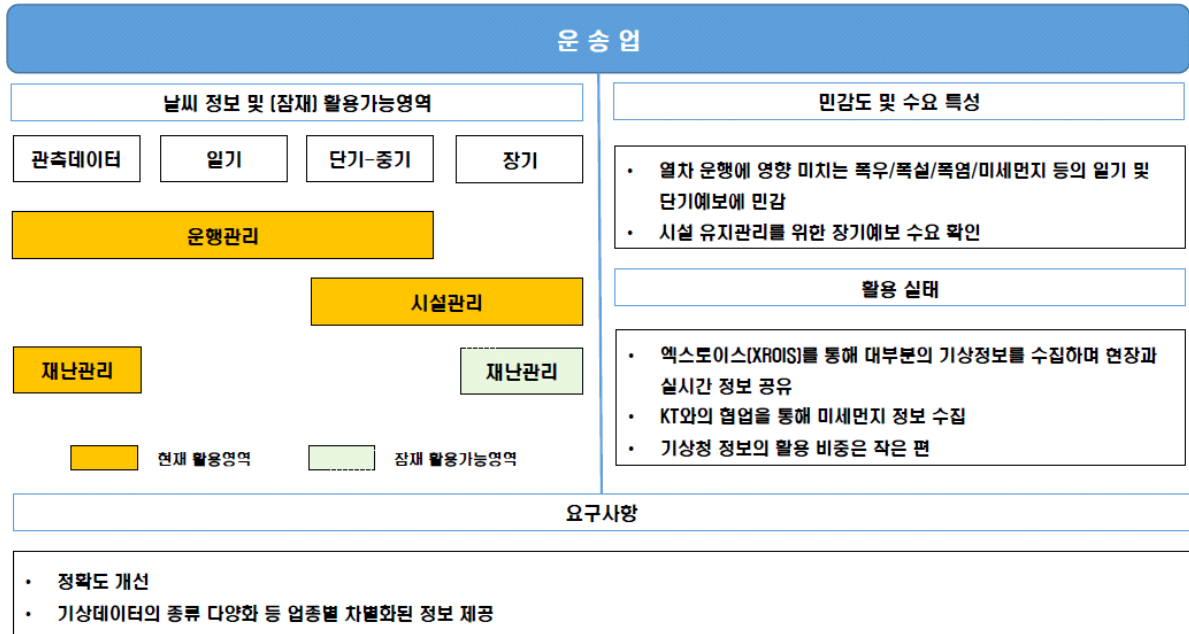
〈표 3-8〉 G사 인터뷰 결과

질의	답변
업계의 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 열차의 운행 스케줄 관리(단기예보), 장기적인 시설 유지관리(장기예보)에 필요함</li> </ul>
기상/기후정보(장기예보) 활용 현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 열차 운행에 직접적인 영향을 주는 재해 부분의 정보 활용함</li> <li>- 폭설, 태풍, 미세먼지, 폭염 등의 정보를 통해 재난상황에 미리 대비하기 위해 단기예보 위주로 활용</li> <li>■ 최근 장기간에 걸친 재난 데이터를 구축하기 위해 노력 중임</li> <li>- 사전에 물품 공급, 시설물 관리 등의 차원에서 50-100년 단위의 재난 상황에 대한 정보와 시스템 구축 중</li> </ul>
날씨경영 적용의 주요 성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 열차 안전운영 및 역사 관리</li> </ul>
날씨경영 도입을 위한 노력	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 날씨정보 활용을 위한 기술적 노력을 다수 기울이고 있음</li> <li>- 엑스로이스(XROIS, 한국철도공사의 내부 전산망 철도운영정보시스템)를 통해 정보 받기 위해 60대의 컴퓨터 설치, KT와 협업하여 미세먼지 정보 제공 받으며 그 외 항목의 정보는 기상청 정보 활용(비중은 적음)</li> <li>■ 날씨경영우수기업 선정제도를 적극적으로 활용</li> <li>- 인증제 컨설팅의 일환으로 웨더아이에게 날씨경영 마스터 플랜에 대해 자문 받음(500만원 규모)</li> <li>R&amp;D 성격을 가진 정보화시스템 고도화 사업에도 선정되어 추진 중</li> <li>■ 정보의 정확성과 효율성이 담보되는 정보를 받을 수 있다면 민간서비스에 투자할 의지 있음</li> <li>- 국내 운송업체들이 원하는 정보는 비슷할 것으로 예상되므로, 이들을 대상으로 한 패키지 서비스가 제공된다면 효율적일 것으로 생각함</li> </ul>
장기예보 활용의 어려운 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 업종별 차별화된 정보가 필요함</li> <li>- 기상청의 정보는 거시적인 측면이 있지만 에스알은 미시적, 국지적인 정보 필요</li> </ul>
특이사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 단기예보의 중요성이 더 높으나 장기적 관점의 관리에 날씨정보를 활용하고자 하는 의지 있음</li> </ul>

출처: 연구진 작성



[그림 3-6] 운송업 날씨경영 특성



출처: 연구진 작성

### 바. 제조업(H사)

식품제조 기업에 속하는 기업 H는 기상정보를 다양한 측면에서 활용하고 있다. 먼저, 원료인 농산물을 수입할 때, 기상 상황이 농산물의 재배와 수급에 직접적인 영향을 주고 그 결과가 가격에 즉각 반영되기 때문에 단기정보를 근거로 가격변동 관리를 위한 파생상품 기획이 이루어진다. 이 과정에서 엘니뇨와 라니냐 정보가 장기정보로서 일부 참고 되고 있으며, 기상 정보는 미래에 대한 정보 자체로서도 중요하게 활용되지만 과거 데이터와의 비교를 통해 미래를 예측하기 위한 측면에서 많이 활용된다. 그 외 마케팅의 측면에서 날씨의 영향이 뚜렷한 식품의 경우 기상 정보가 활용되며, 원료 수입 시 물품이 한국에 들어오는 시점의 날씨가 영향을 미치기 때문에 부딪가의 단기 기상상황을 파악하기 위해 기상청 정보를 활용하고 있다. 국내에서 농산물을 수급하는 부서에서는 1개월 단위의 중장기 예보를 참고하고 있다. 또한, 해당 기업은 외부에서 제공되는 정보를 활용하는 것을 넘어 부서 내 기상정보 관련 전문인력을 배치하여 해외 기상청에서 생산하는 정보를 직접 분석, 가공하고 머신러닝 등의 기술을 접목하여 데이터를 분석하고 향후 기상상황을 유추하는 작업을 내부적으로 수행하고 있다.

해당 기업은 해외 기상청 및 민간업체의 유료정보와 서비스를 중심으로 활용하고 있다. 실제 정확도 측면에서는 우리나라 기상청과 해외 기관이 비슷하다고 평가하고 있음에도 NOAA, 해외 민간기상업체를 활용하는 이유는 제공하는 자료의 형태가 결정적이라고 하였다. 해외에서는 미래 예상되는 상황을 세부 항목별로 과거 동일시기의 데이터와 비교할 수 있는 형태로 가공하여 제공해준다는 점에서 이점이 있다. 추가적으로, 인터뷰이(interviewee)의 부서의 역할 특성상 단기예보가 훨씬 중요할 수밖에 없지만 그 외에도 국내 기관이 제공하는 장기예보의 활용이 적은 이유에 대해서는 기상청이 제공하는 데이터의 형태가 텍스트 위주로 되어 있어

활용하기 어렵고, 평년대비 정보이기 때문에 정확한 수치를 예상하기 어렵기 때문이라고 밝혔으며, 되도록 수치정보와 API 형태의 데이터를 제공한다면 활용도를 높일 수 있을 것이라고 강조하였다.

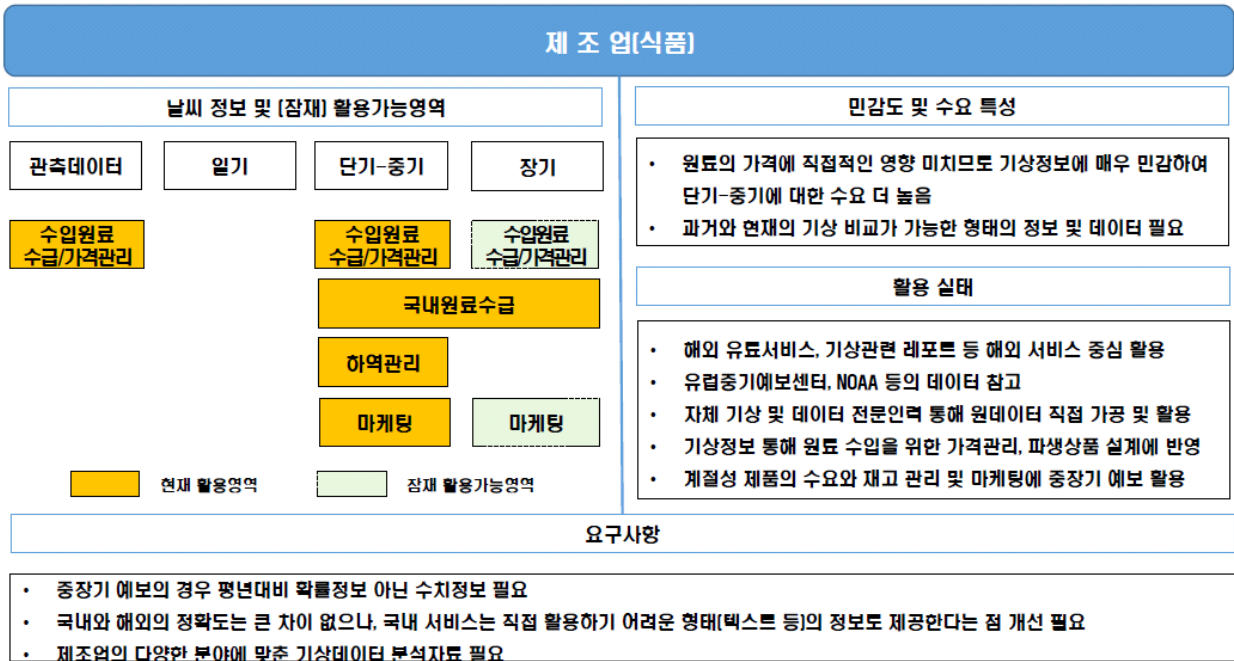
〈표 3-9〉 H사 인터뷰 결과

질의	답변
업계의 특성과 날씨경영(장기예보)의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 원료(농산물) 수입을 위한 가격관리에 활용</li> </ul>
기상/기후정보(장기예보) 활용 현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 가격변동 관리를 위한 파생상품의 근거로 기상정보 활용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 장기정보로는 엘니뇨/라니냐 참고하고 있음</li> <li>- 미래 정보도 중요하지만 과거와의 비교를 위한 목적으로 주로 활용</li> </ul> </li> <li>■ 마케팅 측면에서도 계절성이 뚜렷한 식품 등은 날씨정보 활용</li> <li>■ 원료 수입 시 부두의 기상상황이 중요하기 때문에 이와 관련한 기상청 정보 참고</li> <li>■ 국내 농산물 수급하는 부서에서는 1달 단위 중장기예보 참고하고 있음</li> </ul>
날씨경영 적용의 주요 성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 원료 수급의 안정성 확보, 가격관리를 통한 비용손실 방지</li> </ul>
날씨경영 도입을 위한 노력	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 현지 기상정보 수집에 노력하고 있음               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외 유료서비스 활용, 지역에 대한 기상관련 레포트, NOAA 등의 데이터 참고</li> </ul> </li> <li>■ 자체적인 데이터 분석 노력               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수집된 데이터를 자체적으로 가공, 머신러닝 활용해서 패턴 분류해 기상상황 유추하고 있음</li> <li>- 팀 내 기상정보 수집하고 농업부문과 관련하여 raw 데이터 분석하는 인력 있음 (1인)</li> </ul> </li> </ul>
장기예보 활용의 어려운 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 제공되는 데이터의 형태가 활용하기에 어려움               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 텍스트로 제공되는 정보가 많으며, API 형태로 제공되어야 유용함</li> </ul> </li> <li>■ 중장기예보는 평년대비 정보를 주기 때문에 정확한 수치를 짐작하기 어려움</li> </ul>
특이사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 단기예보의 중요성이 더 높으며, 날씨정보에 매우 민감함</li> <li>■ 국내와 해외 서비스의 가장 큰 차이점은 정확도가 아닌 “원하는 종류의 정보 제공 여부”               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 예를 들어 올해 비가 덜 온다고 한다면, 동일시기에 대한 30년치 강우량, 온도 데이터 등을 비교분석이 가능하게 정보를 제공함</li> </ul> </li> </ul>

출처: 연구진 작성



[그림 3-7] 제조업 날씨경영 특성

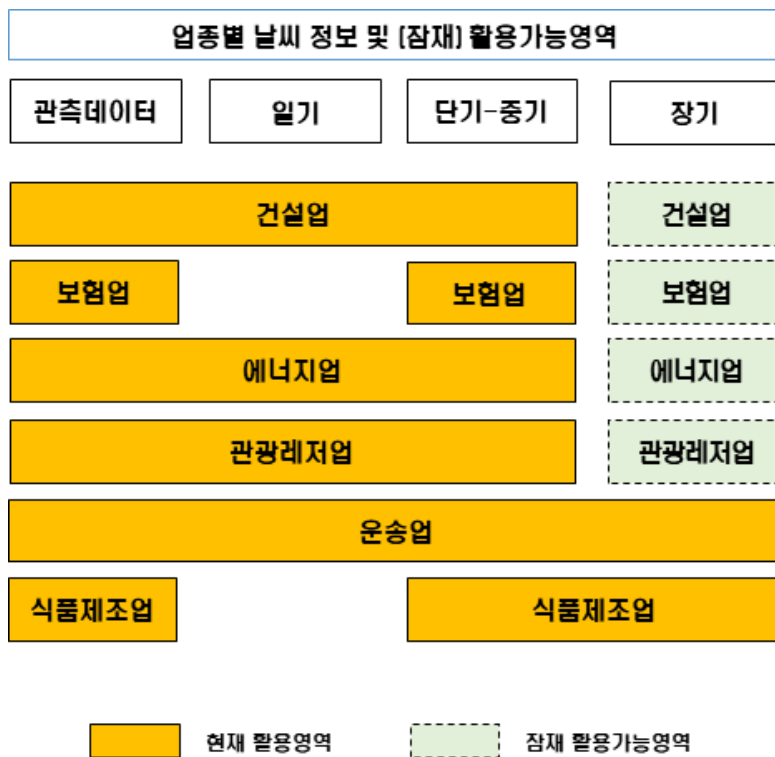


출처: 연구진 작성

#### 4. 시사점

국내 기업인터뷰를 통해 장기예보의 잠재적 수요는 충분히 있는 것으로 파악되었다. 건설업은 관측데이터, 일기, 단기-중기예보를 활용하고 있으며, 장기예보는 잠재적으로 활용할 수 있는 분야이다. 보험업은 관측데이터와 단기-중기예보를 활용하고 있으며, 장기예보는 잠재 수요가 존재하는 것으로 나타났다. 에너지업은 관측데이터, 일기, 단기-중기 예보를 활발히 이용하고 있으며, 장기예보도 잠재적으로 활용가능성이 높은 분야이다. 관광레저업의 경우에도 에너지업과 마찬가지로 세 분야 다 활발히 활용중이며, 장기예보는 향후에 활용할 수 있는 영역이다. 운송업은 다른 업종과 달리 관측데이터, 일기, 단기-중기예보 뿐만 아니라 장기예보도 활발히 사업 운영에 활용하고 있다. 식품제조업은 현재 관측데이터를 활발히 이용중이며, 일기 보다는 단기, 중-장기예보를 활용하고 있다.

[그림 3-8] 업종별 날씨 정보 활용(가능) 영역



출처: 연구진 작성

국내 기업들과 장기예보에 대해 가지고 있는 인식, 활용도 제고 방안 등에 대해 논의할 결과, 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다. 첫째, 업종 특성에 따른 특화된 정보가 필요하다는 점이다. 기업경영 비용과 직결된 이슈인 임금, 원자재 조달, 재해 대응 등에 영향을 미치는 특화된 정보가 필요하고 체감온도와 같은 구체적인 정보를 필요로 한다. 둘째, 수치정보를 요구하고 있다는 점이다. 현재 생산·공급되고 있는 확률 예보가 아닌 수치 예보를 필요하다는 의견이 상당수 존재했다. 정확도가 높지 않아도 수치형태로 제공되어야 활용가치가 높다는 의미로 해석할 수 있다. 확률 정보는 기업경영 투자활동의 방향성에 기여하지만, 수치정보는 상품, 서비스 개발에 활발히 활용될 수 있는 것이다. 셋째, 과거에 발표했던 예보와 실측치와의 오차를 비교분석한 정보가 필요하다는 점이다. 이를 통해 예측에 대한 신뢰도를 검증할 수 있다. 또한 이는 정확도 개선에 대한 대안으로 제안될 수도 있다. 마지막으로, 정보 접근성 개선이 필요하다는 점이다. 예를 들어서 원하는 지역이나 시점 정보를 빠르게 획득가능하게 정보전달 서비스가 이루어져야 한다.





## 제 2 절 장기예보 활용사례

### 1. EUPORIAS

EUPORIAS는 EUropean Provision Of Regional Impact Assessment on a Seasonal to decadal timescale의 약자로, 첨단 예측역량을 활용해 특정 분야의 수요에 기반한 활용 가능한 정보를 생산하고, 정보 기반의 의사결정을 필요로 하는 잠재적 수요자와의 연계 등을 목적으로 하는 도구와 서비스 개발 프로젝트이다. ‘계절부터 다년도에 이르기까지 다양한 기간에 걸친 기후 서비스 개발’, ‘의사결정 지원을 통한 가치 창출’, ‘기후서비스 시장 활성화 지원’, ‘기후변동성 및 기후변화에 대한 사회의 복원력 강화’를 주요 비전으로 EU FP7<sup>17)</sup>으로부터 13.2 백만유로의 지원을 받아 2012년 11월에 시작되어 2017년 1월에 종료되었다. 해당 프로젝트는 24개 기관의 컨소시엄 형태로 이루어졌는데, 유럽의 대표적인 기후연구 및 기후서비스 센터, 영향평가 및 계절예측 전문가, 2개의 UN 기구, 뉴미디어 전문가, 에너지, 물, 여행 등 기후민감 산업군의 기업으로 구성되었다.

[그림 3-9] EUPORIAS 참여 기관

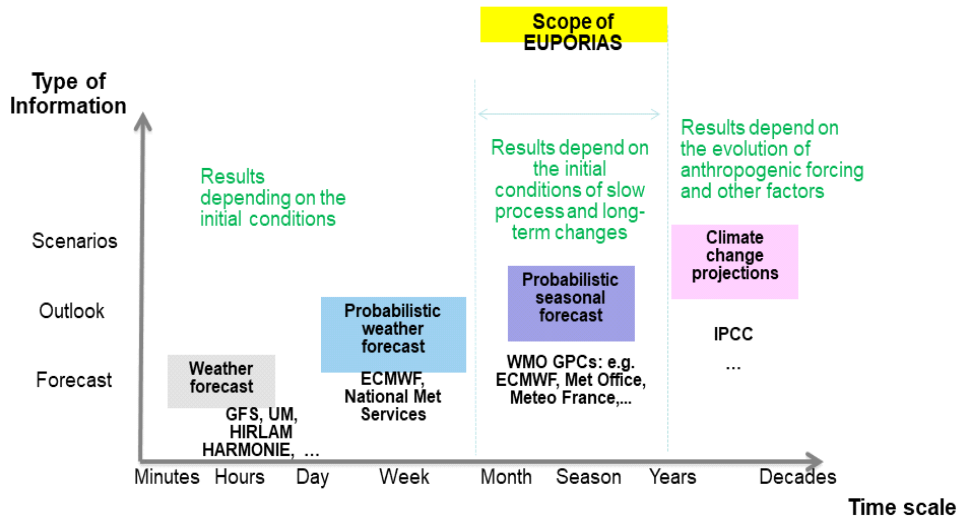


자료: Met Office. Progress in the EUPORIAS project.

EUPORIAS의 대상 범위와 구성을 살펴보면 아래 그림과 같다. 시간범위를 중심으로 보았을 때, 계절에서 다년간에 걸친 장기전망(예보)의 부분을 EUPORIAS의 주요 범위로 설정하고 있음을 알 수 있다.

17) EU seventh Framework Program

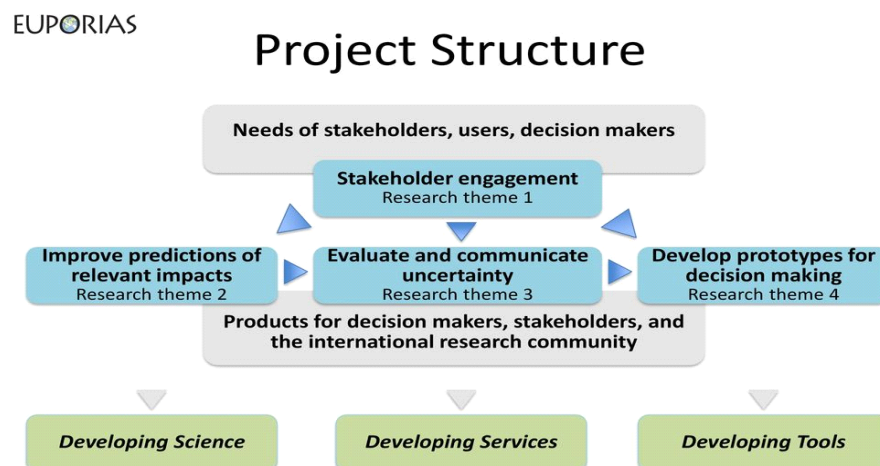
[그림 3-10] EUPORIAS 범위



자료: Buontempo(2015)

EUPORIAS는 이해당사자 및 의사결정자의 수요에 기반한 4개의 연구주제로 구성되어 있는데, 각각 ‘프로젝트의 시작 단계부터 관련 이해당사자의 참여’, ‘기후영향에 대한 예측력 제고’, ‘불확실성에 대한 평가 및 소통’, ‘의사결정을 위한 모형(prototype) 개발’로 설정되어 있다. 이러한 연구주제 수행의 주요 결과물로서 기후과학, 기후서비스, 활용 수단의 발전을 제시하고 있다.

[그림 3-11] EUPORIAS 구성



© Crown copyright Met Office

자료: Met Office. Progress in the EUPORIAS project.



약 4년의 기간 동안 연차별로 이루어진 활동을 간략히 정리하면 아래 표와 같다. 1차년도에는 관련된 이해당사자를 식별하고, 인터뷰, 미팅 등을 통해 기후서비스의 수요자 현황과 수요를 파악하고, 모형개발에 필요한 기본적 정보를 제공하였다. 2차년도에는 모형을 선정하고, 이해관계자의 참여 및 정보 구축 등을 통해 향후 개발할 모형을 선정하고 이해관계자와의 소통 및 S2D 전망과 연계 작업을 수행하였다. 3차년도에는 수요자가 S2D 전망 정보를 어떻게 활용하고, 불확실성을 어떻게 평가할지 등에 대한 연구를 수행하고 이를 다시 S2D 전망 작업에 반영하였다. 마지막으로 4차년도에는 개발된 모형을 과거데이터에 적용해 분석하고, 향후 전망치에 대한 분석과 평가를 수행하였으며, 프로젝트 성과를 심포지엄 등을 통해 공유하고 확산하였다.

<표 3-10> EUPORIAS의 연차별 활동 요약

연차	활동	주요 추진기구	개요
1	이해관계자 위원회 구축	Met office	EIPORIAS의 추진 및 성과에 이해관계자들의 의견 반영
	제1회 이해관계자 및 프로젝트 파트너 미팅	Met office	관련 과학 및 프로토타입 개발을 위한 기초정보 제공
	이해관계자 인터뷰	University of Leeds	사용자들의 수요, 취약성, 작업방식, 의사결정시스템, 관례 To clarify users' needs, vulnerabilities, modus operandi, decision systems and practices
2	프로토타입 선정	Met office	개발되어야하는 프로토타입 기후서비스의 인지
	이해관계자 참여	Met office	이해관계자들에게 프로토타입 개발의 근거와 편익 소개
	이해관계자로부터 정보 수집	Met office	S2D 예측에 해당정보 적용
3	디씨전(Decisions) 랩 설립	University of Leeds	불확실한 S2D 정보가 의사결정자들에게 어떻게 활용되는지 평가
	S2D 결정지원시스템 통합	IC3	이해관계자 결정 지원 시스템에 S2D 통합
4	프로토타입 이행 (과거 데이터에 기반한 일기 예측)	Met office	과거데이터에 프로토타입 적용하여 분석
	프로토타입 이행(예측)	Met office	특정 이해관계자들을 위해 프로토타입 적용한 분석 및 평가
	심포지움	FutureEverything	프로젝트 성과물 확산 및 공유

자료: Met Office. Progress in the EUPORIAS project.

EUPORIAS 프로젝트는 여러 개의 작업패키지(Work Package, WP)로 구분되어 있는데, 주요 WP와 그 목표 및 과제는 아래와 같다.

〈표 3-11〉 EUPORIAS WP

작업패키지	목표 및 과제
WP 11. 섹터 민감도 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2013년 1월, 1차 EUPORIAS 관계자 회의 개최</li> <li>· 섹터 민감도 평가 방법론 개발</li> <li>· GFCS(the Global Framework for Climate Services) 기후 사용자 인터페이스 플랫폼(CUIP) 개발에 기여</li> </ul>
WP 12. 사용자의 수요 평가	
WP 21. 보정 및 다운스케일링(Calibration and downscaling)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유럽에 대한 GCM(General Circulation Model) 예측의 통계적 다운스케일링과 오차 보정</li> <li>· 동아프리카 지역에 대한 통계적 및 동태적 다운스케일링 결합</li> </ul>
WP 22. 영향 관련 기후정보지수(Climate Information Indices)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 영향 관련 기후정보인덱스(Climate Information Indices, CIIs) 컬렉션 생성 및 현재 및 단기 기후전망에 대한 CII의 추정치 제공</li> </ul>
WP 23. 영향 예측을 위한 모델	<p>사용자의 수요를 충족하고, 사례연구와 프로토타입에 정보를 제공할 복잡한 영향 모델을 추가적으로 개발하기 위해</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· S2D 예측모드에서 이러한 모델을 사용하기 위한 프로토타입 운영 워크플로우 개발</li> <li>· 저비용 및 고비용의 이벤트에 대한 과거데이터 기반의 예측 및 분석을 통해 예측 능력 평가 및 개선</li> <li>· 최적의 지리적 예측 단위 개발</li> </ul>
WP31. 영향 모델에서의 불확실성의 정량화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다중 모델, 다중 요인, 교란된 물리적 매개변수 앙상블 등을 사용한 특정 충격모델들과 연계할 수 있는 신뢰도의 특성화</li> </ul>
WP 32. 불확실성 분석 체계	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기후 예측의 평가와 결합</li> <li>· 계절 영향예측에 대한 불확실성 체계</li> </ul>
WP 33. 신뢰수준에 대한 소통	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 사용자의 수요 및 과제 파악</li> <li>· 기존 방식 리뷰</li> <li>· 신뢰수준 소통을 위한 전략 개발</li> <li>· 소통 전략 테스트</li> <li>· 핵심 시사점 및 제언 도출</li> </ul>
WP 41. 기후정보 및 의사결정 과정	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 디시전 맵(Decision Maps) / 토지관리 도구 모형(land management tool prototype)</li> <li>· 날씨 룰렛(The weather roulette) / 회복력 모형(resilience prototype)</li> <li>· 플라시보 개념(The placebo concept) / RIFF 모형(RIFF prototype)</li> <li>· 비용효과 분석(Cost Benefit Analysis) / LEAP 모형(LEAP prototype)</li> <li>· 회피비용(Avoided cost) / 클라이마웨어 사례연구(Climaware case study)</li> </ul>



<p>WP 42. 기후서비스 모형</p>	<p>&lt;선정기준&gt;            ①기후정보가 의사결정에 있어서 명확하게 필요한 것으로 인식된 수요자가 존재하는가?            ②영향을 미치는 기후요인과 기후요인의 예측가능성과의 관계가 어느 정도로 강한가?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· LMTool(by Met Office, 영국 농업분야) : 영국 남서 지역의 농부들에게 계절예측에 관한 가이드 제공</li> <li>· Resilience(by BSC in Spain, 세계 풍력발전) : 계절별 에너지 분야에 풍력 예측정보 제공</li> <li>· RIFF(by Meteo France, 파리지역의 수자원) : 여름 기간동안 상수원 관리 지원</li> <li>· LEAP(by ENEA in Italy and WFP, 에티오피아의 식량안보) : 계절예측정보를 포함하여 에티오피아의 기존 식량안보 조기경보 플랫폼을 개선</li> <li>· SPRINT(by Met Office, 영국 수송분야에 대한 기후자문): 다가오는 겨울 기후조건에 따라 수송분야 운영에 관한 의사결정 지원</li> </ul> <p>· 위 5개 모형 이외에 추가적으로 스웨덴의 수력발전에 관한 모형, 다수의 사례연구 존재</p>
<p>WP 43. 이해당사자의 참여</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이해당사자의 참여</li> <li>· 기술적 수단</li> <li>· 기후서비스 개발을 위한 가이드라인</li> </ul>
<p>WP 44. 전달 수단</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기존 기후데이터 포털과 수단들에 대한 조사</li> <li>· 기후서비스 아키텍처 개발 및 개선</li> <li>· 서비스 전달 및 운영</li> <li>· 사용자를 위한 웹인터페이스</li> <li>· 접근용이한 서비스 생산과 확산</li> </ul>
<p>WP 45. 비즈니스 기회로서의 기후서비스</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유럽 기후서비스 시장의 존재여부 및 중소기업과 그 외 이해관계자들의 효과적, 효율적 기후서비스 시장 활용 여부 평가</li> </ul>

자료: Met Office. Progress in the EUPORIAS project

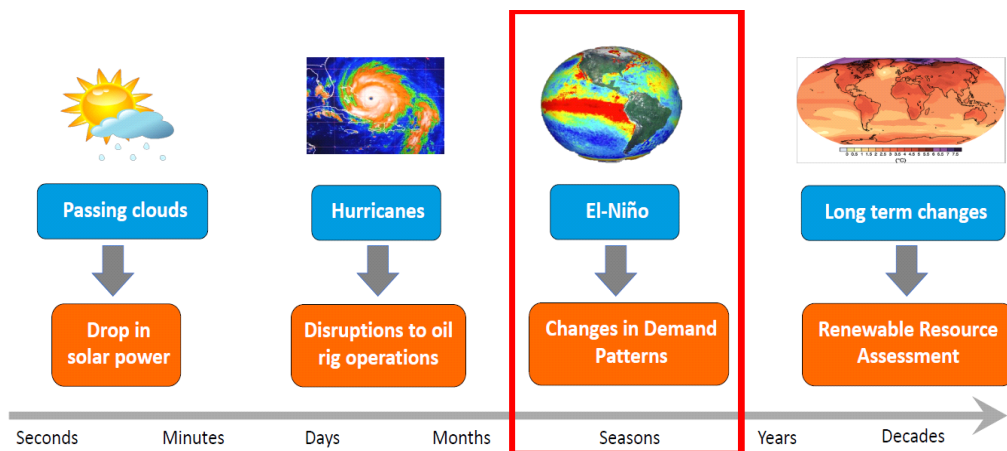
이러한 과정들을 통해 본 프로젝트가 거둔 성과는 크게 다섯가지로 정리할 수 있다. 첫째, 6개의 기후서비스 모형을 제시하였다. 이 중 5개는 본 프로젝트의 펀드를, 1개는 외부 펀드를 활용하여 구축되었는데, 이를 통해 주요 산업군의 최종 사용자와 긴밀한 교류를 통해 사회적 효용 증진에 기여했다. 둘째, 유럽의 기후예측 사용자 지형(landscape)에 대한 광범위한 조사 및 분석을 시행했다. 이로써 기후변화 전망보다 짧은 기간을 대상으로 한 예측에 대해 사용자와 사용 현황을 연구할 수 있었다. 셋째, ‘유럽의 기후서비스 향상을 위한 계절에서 다년간에 걸친 기후예측(SPECS)’ 프로젝트와 연계하여 프로젝트를 수행하여 다양한 R 소프트웨어 패키지를 개발하고 보급하였다. 넷째, 계절 예측 데이터를 사용자 친화적 정보로 전환하는 방법을 연구하여 통계적 후처리, 영향 모델링, 지역 기후모형 등을 사용해 기초자료를 전환하였다. 다섯째, 다양한 주체 사이의 참여를 장려하여 기후서비스의 공급자와 수요자 사이의 소통과 이해, 공동개발 등을 구축하였다. 추가적으로 본 프로젝트는 이후 수행된 EU 기후서비스 로드

맵, ERA4CS 등 계획과 협력체계 수립 기반이 되었고 C3S<sup>18)</sup> 사업의 CLARA와 연계되는 성과를 기록했다. 하지만 농업, 에너지, 상수원 관리 등과 연계된 의사결정을 필요로 하는 기후서비스를 개발했으나, 프로젝트 수준에 머물렀으며 제한적 활용에 그쳤다는 한계가 있기도 하다.

## 2. SECLI-FIRM

SECLI-FIRM 프로젝트는 The Added Value of **Seasonal Climate Forecasts** for Integrated **Risk Management**의 약자로서, FP7의 일환으로 진행되었던 EUPORIAS 프로젝트의 후속 작업으로 볼 수 있다. 수개월 후 장기예보를 에너지(주 분야) 및 수자원 분야(부 분야)의 의사결정에 활용함으로써 실용적·경제적 효용을 확보하는 것을 목표로 하고 있다. 특히 개별 산업 분야의 적용 특성을 감안한 효과적인 장기예보 연구를 통해 해당 산업분야의 활용도를 높여 최종적으로 기후서비스시장의 확대를 도모하는 것을 목적으로 하고 있다.

[그림 3-12] SECLI-FIRM 프로젝트의 범위



자료: SECLI-FIRM stakeholder workshop 발표자료

FP7의 지원으로 시작된 EUPORIAS는 EU 내 그간 활용이 저조했던 장기예보 서비스의 산업적 활용 가치를 확인한 새로운 시도를 한 의미있는 프로젝트였다면, SECLI-FIRM은 EUPORIAS의 뒤를 이어 H2020 체계 하에서, 본격적으로 장기예보의 산업적 활용, 특히 재생에너지 및 수자원 분야에 대한 산업계 의사결정 지원과 그에 따른 경제적 가치 제고에 기여하고 있는 프로젝트로 요약된다.

구체적으로 EU의 H2020<sup>19)</sup> 프로젝트의 일환으로서 기후변화 대응 분야(EU.3.5.1. - Fighting and adapting to climate change) 내 기후서비스 부가가치 탐색 영역(SC5-01-2016-2017 - Exploiting the added value of climate services)에 속해 있으며, 에너지 분야 향상된 수요-공급 밸런스 확보에 따른 보다 효율적 에너지 시스템, 특히 기후변화 대응 효과가 높은 재생에너지

18) Copernicus Climate Change Service

19) 1984년부터 범유럽 차원의 R&D 발전을 위해 추진되어 왔던 프레임워크 프로그램(Framework Program, FP)을 이어받아 우수성, 산업리더십, 사회적 도전 등 3개 필러 구조로 개편되어 2014년부터 2020년까지 약 816억 유로를 투자





분야를 연구 대상으로 하고 있다. 총 45개월(2018년 2월 ~ 2021년 10월)의 프로젝트 수행기간, 4.6백만 유로의 예산, 5개국 10개 참여기관으로 구성되어 있다.

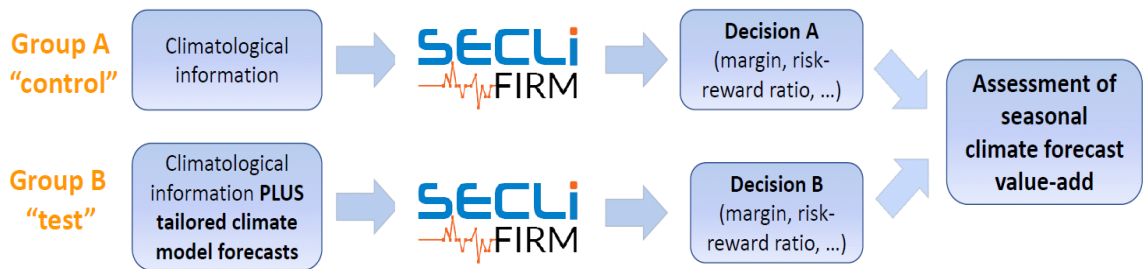
<표 3-12> SECLI-FIRM 프로젝트 참여기관 및 배분예산

국가	기관명	배분예산	기관유형 (EU 기준)
영국	UNIVERSITY OF EAST ANGLIA	€ 1,036,273.29	대학
	MET OFFICE	€ 688,423.75	공공기관
	WORLD ENERGY & METEOROLOGY COUNCIL	€ 399,116.40	기타
이탈리아	ENEL GLOBAL TRADING SPA	€ 913,215	민간회사
	ACCADEMIA EUROPEA DI BOLZANO	€ 265 491.25	연구기관
	AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE	€ 238,325	연구기관
	ALPERIA SpA	€ 76,560	민간회사
네덜란드	KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT-KNMI(KNMI)	€ 522,546.25	연구기관
프랑스	METEO-FRANCE	€ 112,801.01	연구기관
스페인	UL SERVICES SPAIN SL	€ 385,748.05	민간회사

자료: SECLI-FIRM 홈페이지

SECLI-FIRM은 과거 기후관측정보를 대조군으로 하여 기후정보와 확률 예측정보를 종합하여 테스트 후 평가하는 체계로 구성되어 있다. 또한, 총괄과제, 예측모델 개선, 사례 연구, 이해관계자 참여 및 결과물 활용·확산 등 총 6개의 Work Package로 구성되어 있다.

[그림 3-13] SECLI-FIRM 프로젝트 검증 체계



료: SECLI-FIRM stakeholder workshop 발표자료

〈표 3-13〉 SECLI-FIRM WP

Work Package	패키지 내용	패키지 리더
WP1	Case study refinement, value of seasonal forecasts and inter-sectoral interactions	University of East Anglia (UEA)
WP2	Optimization of climate prediction performance	The Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)
WP3	Quantification of value-add of seasonal climate forecast for case studies	ENEL
WP4	Proof of concept/co-design of pilot applications	Met Office (MO)
WP5	Stakeholder engagement, communications and exploitation of results	World Energy & Meteorology Council (WEMC)
WP6	Project management	University of East Anglia (UEA)

자료: SECLI-FIRM 홈페이지

프로젝트는 유럽 및 남미(콜롬비아) 대상 총 9개의 사례 연구로 구성되어 있다. 이들 사례연구를 통해 산업분야 의사결정과 연관된 기후관련 요소들을 파악하여 다양한 이해관계자들의 의사결정 사례 및 최종사용자의 요구사항 특성을 파악함으로써 기후예측 성능 최적화 및 예보 기술 제약요인 해결을 도모하고, Multi-model 계절예보 데이터 개발을 통해 신뢰도, 활용도, 경제적 가치 제고를 하고 있다.

구체적으로 SECLI-FIRM 프로젝트 내에서 진행되는 사례 연구에서는 현재 산업현장에서 장기예보 관련 의사결정이 어떻게 이루어지는지를 확인하고, 이러한 의사결정을 돕기 위해 어떠한 경제분석(Economic Assessment) 방법이 사용되고 있는지 혹은 사용될 수 있는지를 살펴보고 있다. 또한, 장기예보 활용의 잠재적 이익을 정량적으로 분석하는데 활용하는 방법을 모색하고, 사례 연구별, 지역별, 산업별 비교 분석을 수행하고 있다.

각 사례 연구별로 연구 대상으로 하고 있는 기후이벤트, 대상위치, 산업별 영향, 참여기관, 주요 기후인자, 필수 해상도 등 내용은 아래 표에 설명되어 있다.



<표 3-14> SECLI-FIRM 내 산업 적용 사례연구

사례 연구	기후이벤트	대상위치	산업별 영향	참여기관	Priority Climatic Variables	Mandatory Time Resolution (desirable)
사례1	2015년 히트웨이브 및 타 유사 사례	남유럽	(에너지) 열전기 플랜트 쿨링 및 수요모델 불확실성	ENEL, ENEA, EURAC, KNMI	Tmp2m	Monthly (Weekly)
사례2	2015~16년 건조한 겨울과 타 유사 사례	북부 이태리	(에너지) 수전력 생산	ENEL, KNMI, ENEA, EURAC, Alperia	Tmp2m, total precipitation, snow fall, snow depth, snow density, water balance	Monthly
사례3	2016년 3월 강풍 및 유사 사례	남부 이태리	(에너지) 풍력발전	ENEL, ENEA, KNMI, UEA	Wind speed at 10 meters	Weekly
사례4	2014~15년 강풍과 유사 사례	스페인	(에너지) 풍력발전 및 균형	AWS, MO, ENEL	Wind speed at 10 meters	Weekly
사례5	강한 엘니뇨	남미(콜롬비아)	(에너지) 수전력 생산 및 기타 재생에너지	AWS, UEA, AES Chivor, Celsia, ENEL	Tmp2m, total precipitation	Monthly
사례6	약한 바람	북해	(에너지) 해상 운송 및 리 계획	TenneT, KNMI	Significant wave height, windspeed	Weekly (To be decided)
사례7	Shoulder month*에 심한 기후 현상	북해	(에너지) 해상 운송 및 리 계획	Shell, MO	Significant wave height, mean wave period, 10m wind speed	Daily
사례8	겨울이상기 후	영국	(에너지) 겨울철 전기수요	National Grid, MO	tmp2m, w10m, irradiance, weather typing	Hourly
사례9	건조한 봄 여름	영국	(수자원) 수자원 사용 제한	Thames Water, MO	Maximum temperature, minimum temperature, rainfall, sunshine, regimes	Daily

\* 여행 성수기가 아닌 기간을 일컫는 용어로 일반적으로 봄과 가을이 이에 해당하며, 지역에 따라 달라지나 북반구의 경우 5-6월, 9-10월에 해당.

자료: SECLI-FIRM 홈페이지 및 stakeholder workshop 발표자료를 종합하여 저자 작성

사례 연구별로 SECLI-FIRM 프로젝트 결과물의 활용을 위해 아래 그림과 같이 시범자료, 시각화, 설명자료, 텔레컨퍼런스/웨비나, 후처리 데이터, 교육 등 다양한 방법으로 산업계 사용자들에게 연구결과를 전달하여 활용도를 제고할 것이다.

[그림 3-14] 사례 연구별 SECLI-FIRM 연구결과의 전달 방법

Delivery methods						
	Demonstrator	Visualisation	Briefing document	Teleconference / webinar	Post-processed data (relevant indicators)	Training (with WP5)
CS1	✓	✓			✓	✓
CS2	✓	✓			✓	✓
CS3	✓	✓			✓	✓
CS4	✓	✓			✓	✓
CS5	✓	✓			✓	✓
CS6		✓			✓	✓
CS7		✓			✓	✓
CS8			✓	✓	✓	✓
CS9		✓		✓	✓	✓

자료: SECLI-FIRM stakeholder workshop 발표자료

### 3. Red Cross 사례<sup>20)</sup>

태평양 도서 국가들은 홍수, 가뭄과 같이 강우량 변화로 인한 피해를 크게 받기 때문에 강우량 관련 3개월 계절예보(seasonal forecast)가 매우 중요하다. 호주 기상국과 국제적십자사연맹(International Federation of Red Cross And Red Crescent Societies)은 태평양 지역 국가의 재난 담당자가 보다 쉽게 계절예보를 활용할 수 있도록 강우경보시스템(Seasonal Rainfall Watch)을 구축했다.

과거에도 태평양 적십자사의 재난 담당자들에게 매달 3개월 계절예보를 제공했지만 기상학을 전공하지 않은 일반인들이 이해하기 어려운 용어들이 다수 포함되어 있고 3분위 확률 기준 으로서만 정보를 제공하기 때문에 활용도가 낮았다. 이에, 호주 기상국과 국제적십자사연맹은 계절예보의 활용도를 제고하기 위한 강우경보시스템을 구축하고 3분위 확률에 더해 ‘low, low to medium, medium, medium to high, high, very high’ 로 구분되는 신뢰수준 축을 추가하였다. 한 축은 평년보다 높거나 낮을 경우를 설명하는 확률, 또 다른 한 축은 전망에 대한 신뢰수준을 다른 색깔로 구분하여 설명함으로써 강우량 전망을 이해하기 쉽게 재해석하여 정보를 제공하는 것이다.

20) 호주 정부에서 2015년에 발간한 “Linking seasonal forecasts with disaster preparedness in the Pacific” 자료와 전문가 자문을 통해 본 내용을 작성함



[그림 3-15] 강우량 예측 기준에 따른 구분 (위: 평년이상, 아래: 평년이하)

Forecast Confidence	Tercile Forecast Probabilities (%)				
	39-44	45-50	51-54	55-59	60+
Low					
Low to medium					
Medium					
Medium to high					
High					
Very High					


Forecast Confidence	Tercile Forecast Probabilities (%)				
	39-44	45-50	51-54	55-59	60+
Low					
Low to medium					
Medium					
Medium to high					
High					
Very High					

출처: Commonwealth of Australia(2015). Linking seasonal forecasts with disaster preparedness in the pacific

푸른색은 옅은색에서 짙은색 순으로 향후 3개월 간 평년 이상의 강우 수준을, 붉은색은 옅은 색에서 짙은색 순으로 향후 3개월 간 평년 이하의 강우 수준을 의미한다. 아래 그림과 같이 도서 국가별(지역 표시도 포함)로 3개월 강우수준에 따라 구분하며, 해당 수준별로 국제적 십자사연맹의 조치 권고사항(recommended actions)이 마련되어 있다.

[그림 3-16] 3개월 강우예측에 따른 경보레벨의 구분

**Alert Level**



◀ Increasing chance of drier 3 months      Increasing chance of wetter 3 months ▶

Alert Level	Divisions with <u>Below</u> Normal Rainfall favoured in the coming 3 months	Alert Level	Divisions with <u>Above</u> Normal Rainfall favoured in the coming 3 months
	Samoa		Solomon Is. (Western Region)
	Cook Islands (Southern) Vanuatu (Southern)		Cook Islands (Northern), Solomon Is. (Central and Eastern Regions)
			Tuvalu

출처: Commonwealth of Australia(2015). Linking seasonal forecasts with disaster preparedness in the pacific

[그림 3-17] 경보레벨별 조치 권고사항의 예시 (사모아)

ACTION Level	Divisions/ Regions	Recommended actions (predetermined by IFRC office)
LOW ACTION	Samoa	<p>** Ensure normal preparedness activities are done, and also:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Use IFRC low rainfall/drought check list for preparedness activities or use your own adapted one</li> <li>- Check that you have sufficient emergency response stocks; for example, do you have enough water storage containers like jerry cans and buckets, and are these available to all areas that you are committed to serve</li> <li>- Check that your reverse osmosis/ desalination plants are functional, that you have spare parts (refer to comment in footnote)<sup>2</sup> and that there are enough qualified staff/volunteers to operate</li> <li>- Regularly monitor climate and weather updates from Met Service</li> </ul>

출처: Commonwealth of Australia(2015). Linking seasonal forecasts with disaster preparedness in the pacific





#### 4. 일본의 활용 사례: 기상청 기후리스크 관리에 관한 조사

일본 기상청은 기업들이 경영상 위험관리 현장에서 날씨정보 활용도가 높지 않다는 의견을 받아 왔다. 2012년 2월 교통정책심의회 기상분과회에서 「기후 변화와 기상 이변에 대응하기 위한 기후 정보와 그 활용의 본연의 자세」를 제안함에 따라 날씨에 민감하게 영향을 받는 산업 분야를 대상으로 ‘기후리스크 관리에 관한 조사’가 시작되었다<sup>21)</sup>.

조사가 시작된 2012년부터 2018년에 걸쳐 총 6개 분야(청량음료, 가전유통, 슈퍼마켓/편의점, 약국, 의류, 농업)에 대해 조사가 진행되었다<sup>22)</sup>. 주요 조사 내용은 ① 품목별, 지역별 판매치와 기상실측치간 상관관계 분석, ② 기상예보치를 활용한 수요예측, ③ 활용가능성 검토 및 활용영역 발굴 등이다. 관련하여 활용된 기상예보는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 강수량, 평균 습도, 일조시간 등 일일 기상 관측 데이터, 2주 기온 예보 데이터, 1개월 기온 예보 데이터, 계절별 예보 데이터 등이다.

이러한 조사 및 분석결과를 바탕으로 분야별로 기상정보에 민감한 품목 도출, 품목 및 기상 정보 간 상관관계, 기후예보(대부분 2주예보) 활용 수요예측 가능성을 확인하였다. 다음 단계로 산업 현장 종사자들을 대상으로 하여 각 산업별로 활용현황 및 시사점을 도출하였다. 각 산업별로 공통으로 해당되는 시사점들은 아래와 같다.

- ① 2주예보 기반 분야별 수요예측 활용도를 확인
- ② 판매 관련 재고관리, 인력운영 등에 즉시 활용 가능
- ③ 물류×배송×홍보×제조 영역은 리드타임 문제로 기상정보를 사용하지 않거나, 과거 관측치를 주로 활용
- ④ 정확도 제고와 함께 수치 형태로 제공될 경우 물류×배송 제조 영역으로 확대 가능

<표 3-15> 기상청 기후리스크 관리에 관한 조사 개요

산업	분야	활용 정보	협력기관	조사년도
청량 음료	자판기내 음료 판매 수와 기온의 관계	2주 예측 정보	전국청량음료연합회	‘16~’ 18년
가전 유통	에어컨과 석유 기기 가전 판매 데이터와 기상 관측 데이터의 관계를 분석	2주 & 1개월 예측 정보	대형가전유통협회	‘16~’17년
슈퍼마켓/편의점	판매 수와 기온의 관계가 명료한 품목, 관계 도출(아이스크림, 음료 등), 판매증가 온도 확인	2주 예측 정보	단독	‘16년
약국	판매 수와 기온의 관계가 명료한 품목 및 상관관계 도출	2주 예측 정보	일본체인드럭스토어협회	‘14년
의류	판매 수와 기온의 관계가	2주 예측 정보		’ 12~’ 13년

21) Weather Business Consortium, <https://www.wxbc.jp/bizcasestudies/web/00070/>, (접속일: 2021.06.08.)

22) 일본 기상청, <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/index.html>, (접속일: 2021.06.08.)

	명료한 품목, 상관관계 도출, 판매증가 온도 확인		일본어패럴패션산업협회	
농업	벼의 냉해·고온 장해 대책 밀 빨강 곰팡이 병 대책 벼의 수확 적기의 예측 등	2주 및 1개월 예측 정보	국립농업식품산업기술종합연구소 지역별 농업연구센터(야마기타농업종합연구센터, 홋카이도 농업 연구 센터, 동북 농업 연구 센터, 중앙 농업 종합 연구 센터, 킨키 중국 시코쿠 농업 연구 센터, 규슈 오키나와 농업 연구 센터)	'16년

출처: 연구진이 일본 기상청 홈페이지 내용을 정리 작성

일본 기상청의 동 조사와 관련하여 제조, 물류, 배송, 판매 등의 공급망을 거치는 과정에서 연관되는 경영활동 및 그에 따른 각종 활용가능한 기상 예측 정보의 관계는 시사하는 바가 크다. 2018년 (사)전국청량음료연합회 회원기업과 함께 조사하는 과정에서 청량 음료 분야에 해당되는 일반적인 공급망에 대해 단계별로 기업활동 및 업무 내용과 각 단계별로 활용가능한 기상정보를 아래 그림에서 제시하고 있다.

현 조사에서 장기에보가 지닌 불확실성으로 인해 장기에보를 단독으로 활용하여 기업 경영활동의 리드타임과 일치되는 제조계획 수립 및 제조, 물류, 배송 등의 영역에 대한 결정을 하는 것은 리스크가 높다. 이에 따라 일본 기상청에서는 앙상블 예보라는 기법을 사용하여 예측 온도의 최대 값을 확인하여 이를 위험관리에 활용할 수 있다고 조언하고 있다. 비록 일본 사례의 경우 청량음료 산업 분야 조사에서만 직접적으로 제시되었으나, 이러한 리드타임과 기업 경영활동, 활용되는 기상정보의 관계는 타 산업에서도 충분히 적용될 수 있을 것으로 보인다.

[그림 3-18] 리드타임 기준 청량음료 기업활동 및 관련 기후정보

공급망	제조	물류배송홍보		판매
	생산공장	물류센터	영업소	자판기
연관업무	증산/감산 속도조절	출하량/센터간 재고 조정 마케팅 및 판촉활동, 인력운용		재고보충/ 판매품 변경
리드타임	2~수개월	1~수개월		수일 ~ 2주
활용가능 기후정보	3개월 장기에보	1개월 및 3개월 장기에보		주간예보 2주예보

출처: 연구진이 일본 기상청 홈페이지 그림<sup>23)</sup>을 일부 수정

23) 일본 기상청 홈페이지, [https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/taio\\_drink.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/taio_drink.html), (접속일: 2021.06.08.)



## 5. 디지털기술을 활용한 장기예보 서비스 기업

장기예보는 기후과학에 근거하여 생산되고 전달된다. 최근 디지털기술이 발전하면서 기후과학 분야에서 활용되는 사례가 증가하고 있다. 특히 장기예보를 수요자에게 전달하고 서비스하는 과정에서 빅데이터, 인공지능, 딥러닝, IoT 등 디지털기술들을 활용하여 새로운 비즈니스와 부가가치를 창출하고 있다. 해외에서 활동하고 있는 디지털기술 기반의 장기예보 서비스 기업들의 전략과 핵심기술을 살펴보고자 한다.

기업 규모를 기준으로 글로벌 시장의 주요 플레이어는 아래 표와 같다.

[그림 3-19] 디지털기술 활용한 장기예보 서비스기업

기업	전략	핵심 기술	항공	신재생 에너지	보험	농업	해운
The Weather Company(미국)	산업별 날씨 솔루션서비스	빅데이터 처리 및 분석, 플랫폼		★		★	
AccuWeather(미국)	맞춤형 기상정보 기반 의사결정 지원	모바일 App, 사용자 위치 기반 서비스		★			
ENAV S.p.A.(이탈리아)	항공 분야 항법 전문 서비스	항법, 내비게이션	★				
DTN(미국)	에너지, 농업 의사결정 지원	연료 공급망 관리, 산업 및 시장 분석		★		★	
StormGeo(노르웨이)	해운업 의사결정 솔루션 서비스	수문 예측, 클라우드 기반 플랫폼					★
ClimaCell(미국)	무선통신 네트워크 활용 서비스	무선통신 인프라, IoT		★			★
Understory(미국)	보험 분야 위험모델 통한 상품 제공	인공지능			★		
Terra Weather Pte Ltd(싱가포르)	에너지, 해운 특화 기상예보, 위험평가	인공지능					★
AerisWeather(미국)	통합 솔루션 제공	API 플랫폼, 지리정보, IoT	★	★	★		

주: ★는 주력 분야를 의미

자료: 한국기상산업기술원(2021)

The Weather Company는 IBM이 2016년도에 인수하여 IBM의 빅데이터와 AI 등 최신 기술을 기상 데이터와 결합시켜 기상 예측 정보를 기업에게 제공하고 있다. 산업별 날씨 솔루션서비스를 제공하는 전략을 가지고 있으며 핵심기술은 빅데이터 처리 및 분석, 플랫폼 기술이다. The Weather Company가 진출해 있는 산업군은 항공, 신재생에너지, 보험, 농업 등이며, 이 가운데 신재생에너지와 농업이 주력분야로 볼 수 있다.

IBM Watson®(이하 왓슨)의 AI 및 자동화 기능을 플랫폼에 도입하여 예측 및 분석을 하고 있으며<sup>24)</sup> 2019년에는 왓슨 기술을 기반으로 하여 기업이 날씨에 대한 소비자의 반응을 실시간으로 예측하는데 기여하는 ‘IBM Weather Signals’ 을 개발했다. 해당 시스템은 기업의 운영 데이터와 기상 데이터를 함께 분석하여, 기상 변화에 따른 기업의 비즈니스 실적을 미리 예측할 수 있도록 지원한다.<sup>25)</sup>

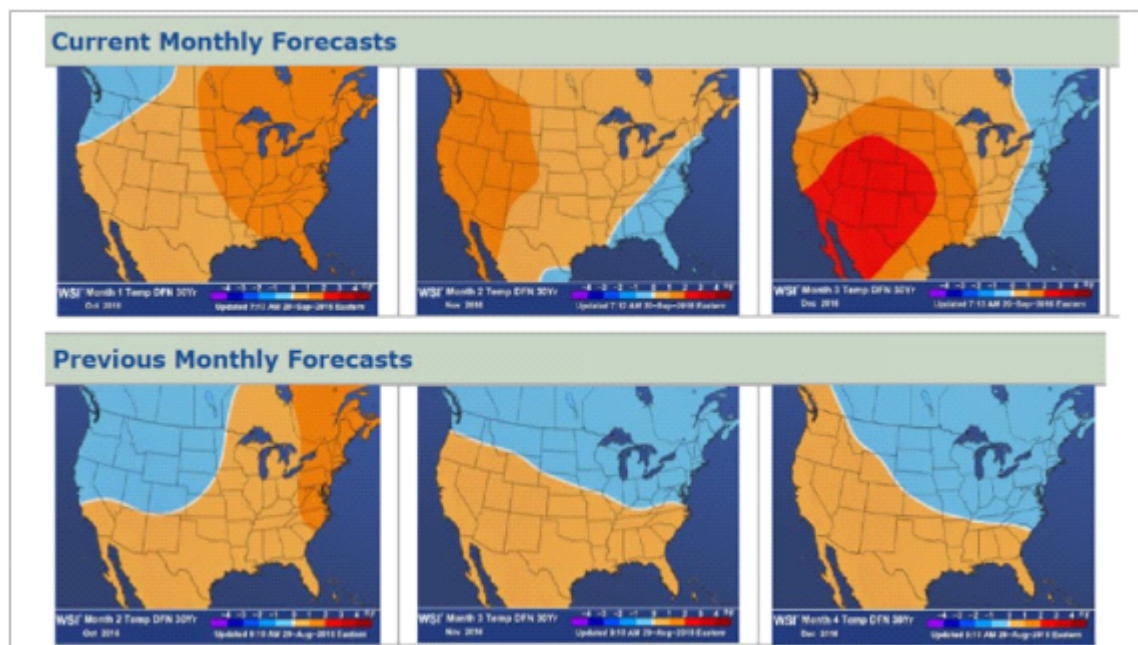
The Weather Company는 농업관련 정보를 위해 ‘농업용 웨더디시전플랫폼’ (Weather Deci

24) IBM, 「The Weather Company, an IBM Business」, <https://www.ibm.com/case-studies/the-weather-company> (검색일: 2021. 4. 20.)

25) IBM Korea, 「기업 비즈니스, Weather Signals로 내일도 맑음!」, [https://m.blog.naver.com/PostView.naver?blogId=ibm\\_korea&logNo=221554363147&proxyReferer=https%2F%2Fwww.google.com%2F](https://m.blog.naver.com/PostView.naver?blogId=ibm_korea&logNo=221554363147&proxyReferer=https%2F%2Fwww.google.com%2F) (검색일: 2021. 6. 3.)

sion Platform For Agriculture) ‘를 출시하였다. 해당 플랫폼은 지역 기상 데이터 및 IoT 데이터 등을 분석해, 농부들에게 파종, 발갈이, 농약 살포, 농작물 수확 시기 등을 알려주며 좀 더 효율적으로 농작물을 경작할 수 있도록 지원한다.

[그림 3-20] 이번 달 기상예보와 지난 달 기상예보 비교



자료: Weather Company<sup>26)</sup>

<표 3-16> IBM 기상서비스의 국내적용 사례

#### 아시아나 항공

■ The Weather Company의 기상정보를 활용하고 있는 다양한 분야 중 항공업계도 해당되는데, 그 중 아시아나항공에서 활발히 활용중임. 2014년 6월에 기상업무 전담부서인 기상그룹을 출범시켜 기상정보를 운항승무원에게 제공하고 있음. 2015년부터 The Weather Company의 Pilot Brief Service를 활용해, 항공기 운영에 영향을 미치는 안개, 태풍 및 난기류와 같은 위험기상을 예측하고 있으며, The Weather Company의 전문 항공예보팀과 협업하여 맞춤형 기상예보를 제공받고 있음<sup>27)</sup>

미국의 Accuweather는 맞춤형 기상정보에 기반한 의사결정 지원 서비스를 주요 전략으로 하고 있으며 모바일 앱, 사용자 위치기반 서비스 기술이 핵심적으로 활용하는 기술이다. 신재생에너지, 보험 분야에서 주로 서비스를 하고 있다.

장기적인 기상예측은 개인 및 사업의사결정에 기여하는데 있어서 필수적이라고 인지했지만, 1960-70년대까지는 일주일 이상의 예측이 불가능하다고 인식했었다<sup>28)</sup>. 또한 1990년대까지 활

26) Weather Comapny, 「Weather Company Data Packages in action」, <https://www.ibm.com/products/weather-company-data-packages> (검색일: 2021. 4. 29.)

27) IBM Korea, 「기업 비즈니스, Weather Signals로 내일도 맑음!」, [https://m.blog.naver.com/PostView.naver?blogId=ibm\\_korea&logNo=221554363147&proxyReferer=https:%2F%2Fwww.google.com%2F](https://m.blog.naver.com/PostView.naver?blogId=ibm_korea&logNo=221554363147&proxyReferer=https:%2F%2Fwww.google.com%2F) (검색일: 2021. 6. 3.)

28) AccuWeather(2019. 7. 2.), 「Long-range weather forecasts you can rely on again and again and . . .」, <https://www.accuweather.com/en/weather-blogs/realimpactofweatherwithdrjoelmyers/long-range-weather-forecasts-you-can-re>





용할 수 있는 기술이 많지 않았기 때문에, 1962년도에 Accuweather가 설립된 후 수십년동안 장기예보 서비스를 제공하지 않았다. 하지만 디지털기술의 발달로 장기예보를 포함한 기상컨설팅 서비스를 다양한 산업군에 제공할 수 있게 되었으며 Accuweather의 장기예보 시스템은 90일 예측기준이며, 소비자용으로 특별히 개발되었다. 기업, 정부, 미디어 및 기관을 지원하고 광범위한 과거 데이터베이스, 현재 데이터, 인공 지능, 해양 및 기상 데이터의 혼합데이터를 사용하여 장기예보를 정보를 제공한다.

DTN은 미국에 본사를 둔 민간기상업체이며, 세계에서 가장 큰 규모의 기상사업을 목표로 하면서 2019년에 유럽에 거점을 두고 터키, 영국, 미국 등에 지사를 보유하고 있던 Meteogroup을 인수하였다.<sup>29)</sup> 에너지, 농업 분야 관련하여 기상정보를 활용하여 비즈니스 의사 결정을 할 수 있도록 지원하는 것을 주력 사업으로 하고 있다. 구체적으로는 에너지 분야 중에서도 석유와 가스 운영을 하는 기업들 중심으로 연료 공급망 관리 해결방안 제공에 중점을 두고 있고, 날씨에 영향을 받는 산업의 시장정보등을 지원하고 있다.<sup>30)</sup>

DTN은 기상정보 정확도 향상과 기상정보의 활용도를 높이기 위해 여러 방면의 시도를 하였다. 첫째, 2020년 5월에 ClearAg라는 기상학 전문 지식을 활용해 토지&농업 모델링을 하는 회사를 인수하여 농업분야의 기상정보 활용 및 관련 데이터 처리 모델링을 강화하였다.<sup>31)</sup> ClearAg의 예측 농업 솔루션과 DTN 자체 기상 관측소 네트워크를 활용하여 고객들에게 정확한 통찰력을 제공할 것을 목표로 하고 있다. 두 번째로는 타 기업과의 협력을 통해 기상 데이터를 활용해 National Grid Gas사의 가스 및 전기 수요 예측성을 강화하는데 기여를 하고 있다.<sup>32)</sup> 에너지 관련 회사는 전력 수요 예측이 재정적 손실로 바로 이어질 수 있기 때문에 기상 예보에 민감하다. 예를 들어서 COVID-19 팬데믹으로 집에서 보내는 시간이 많아졌기 때문에 전력 수요 패턴이 기존과는 다를 것이라고 예상하는 가운데, 정확한 데이터를 기반으로 하는 통찰력은 무엇보다도 중요하다고 강조하고 있다.

ClimaCell은 데이터 모델링을 기반으로 한 일기예보 기술을 개발하였고, 뿐만 아니라 머신러닝과 인공지능을 활용하여 기상정보를 제공하고 있다. 기상예측의 정확성을 강화시키기 위해 2019년도에는 HyperCast 2.0라는 플랫폼을 개발하여 출시하였다.<sup>33)</sup> HyperCast는 사물인터넷 데이터를 비롯해 기지국 신호에서 연결된 자동차, 비행기 및 드론데이터를 결합한 ClimaCell의 기상운영체제(Weather OS)를 기반으로 하며, 이는 이들 데이터에 이르기까지의 모든 정보를 기상 데이터와 결합하여 분석하는 AI 기반 운영 체제이다. 데이터 수집이 광범위하기 때문에 특정 지역내의 날씨 예측이 가능하고, 매일 고객의 결정을 지원할 때에 분 단위의 거리별 예

ly-on-again-and-again-and/329429 (검색일: 2021. 4. 7.)

29) DTN(2019. 11. 25.), 「MeteoGroup and DTN Join to Build Largest Private Weather Company」, <https://www.dtn.com/meteogroup-and-dtn-join-to-build-largest-private-weather-company/> (검색일: 2021. 4. 13.)

30) 한국기상산업기술원(2021), 『해위 기상서비스 기업현황 조사 보고서』, p. 7.

31) DTN(2020. 5. 4.), 「DTN Acquires ClearAg®, Boosts Agronomic Offerings」, <https://www.dtn.com/dtn-acquires-clear-ag-boosts-agronomic-offerings/#:~:text=The%20acquisition%20further%20enhances%20DTN's%20capabilities%20and%20solutions%20for%20agribusinesses%20and%20producers.&text=The%20acquisition%20enables%20DTN%20to,to%20producers%20and%20agribusinesses%20worldwide.> (검색일: 2021. 5. 3.)

32) DTN(2020. 5. 4.) 「National Grid Gas Selects DTN to Provide Critical Weather Data」, <https://www.dtn.com/national-grid-gas-selects-dtn-to-provide-critical-weather-data/> (검색일: 2021. 5. 3.)

33) ClimaCell(2019. 7. 15.), 「Tomorrow.io Launches HyperCast 2.0: A Revolutionary Weather Forecasting Platform Businesses Can Actually Rely On」, <https://www.tomorrow.io/blog/climacell-launches-hypercast-2/> (검색일: 2021. 5. 10.)

측이 가능하다. 항공, 건설, 야외 이벤트, 드론, 에너지 및 운송과 같은 날씨에 민감한 산업분야 기업들이 이미 HyperCast를 사용하고 있으며, 이 플랫폼은 맞춤형으로 고객에게 특정 날씨 질문에 대한 답변을 제공하여 사업과정에서의 손실을 줄이는데 기여하고 있다.

미국의 Understory는 기상정보를 기반으로 모델링을 하여 보험 상품을 제공하는 기업이다. Understory는 날씨를 예측하고 기상을 감지할 수 있는 하드웨어 그리드를 사용하여 기상데이터를 수집한다. Understory측은 기존 보험사들은 전례 없는 자연재해의 위험성을 정확하게 평가하여 손해액을 측정할 수 있는 도구가 부족하다고 주장하고 있는데, Understory의 독보적인 기상 위험 모델 기반으로 구축한 보험 상품을 통해 전 세계의 심각한 기상 위험을 정밀하게 평가하고 가격을 매길 수 있다. 날씨 변동성으로 인한 현금 흐름 및 수익의 불확실성을 반영한 정보로 구축된 보험 상품으로 기후 커버리지 격차를 좁히고 있어 회사가 전 세계의 악천후 위험을 정확하게 평가하고 가격을 책정할 수 있다.<sup>34)</sup>

AerisWeather은 글로벌 날씨 API 시스템을 통해 소비자에게 기상 데이터와 지리정보 등을 제공하는 미국의 민간기상업체이다. 전 세계 기업이 환경과 상호 작용하는 방식을 연구한다는 목표로 설립된 AerisWeather는 소비자가 제품, 서비스 및 비즈니스 지능 도구에서 날씨 데이터를 활용할 수 있도록 지원한다. “개발자의, 개발자를 위한” 를 모토로 삼은 개발자 중심의 사고방식으로 선도하는 AerisWeather의 API 및 매핑 플랫폼(AMP)은 광범위한 문서 라이브러리를 통해 고객의 애플리케이션에 쉽게 통합될 수 있도록 만들어졌고, 이러한 기술과 실무 엔지니어링 및 비즈니스 지원을 결합한 전략이 AerisWeather의 강점이라고 볼 수 있다.<sup>35)</sup>

AerisWeather의 주력 사업 분야로는 신재생에너지, 항공 등이며 효과적인 비즈니스 의사결정을 위해 기상정보를 기반으로 한 통합 해결방안을 제공한다. 사업전략으로는 사물인터넷에 기상 데이터를 활용한 Smart Hub Automation (SHA, 스마트 허브 자동화) 서비스를 제공하는 것이다. 스마트 홈 허브 제조업체가 스마트 관개 스프링클러 컨트롤러, WiFi가 지원되는 수영장 센서 및 로봇식 공기 정화 시스템과 같은 IoT 관련된 제품들에 집중하면서 경쟁이 치열해지고 있다. 물리적 및 모바일 기반 소프트웨어 시스템이 가정 내 생태계를 연결하고 제어하려고 시도함에 따라 현지화 된 날씨 데이터는 필수가 되었다. 환경과 데이터의 통합은 스마트 스피커, 온도 조절기 및 조명에 관련해서 주택 소유자에게 편리함과 안심을 제공한다. AerisWeather는 모든 연결되는 도구와 효과적인 자동화 시스템 통합을 위해 과거, 현재 및 미래 예측 데이터 세트를 혼합하여 운영하고 있다.<sup>36)</sup>

Ente Nazionale Assistenza al Volo S.p.A (ENAV)는 이탈리아 민간 항공 당국인 ENAC를 통해 시설교통부(Ministry of Economy and Finances)가 관리하는 기업이다. 이탈리아 공군과 함께 이탈리아에서 항공 교통 서비스 (AIR Traffic Services, ATS) 및 기타 항공 내비게이션 서비스를 제공한다. 항공 항법 서비스 제공자 (Air Navigation Service Provider, ANSP)로서 항공 교통 관제 서비스 (Air Traffic Control Service, ATCS), 비행 정보 서비스 (Flight Information Service, FIS), 항공 정보 서비스 (Aeronautical Information Service, AIS)를 제공하고 공항 및

34) Understory(2020), 「Our mission is to protect vulnerable business from the financial impact of climate change」, <https://understoryweather.com/about> (검색일: 2021. 5. 14.)

35) AerisWeather(2021), 「About Us」, <https://www.aerisweather.com/about/> (검색일: 2021. 5. 11.)

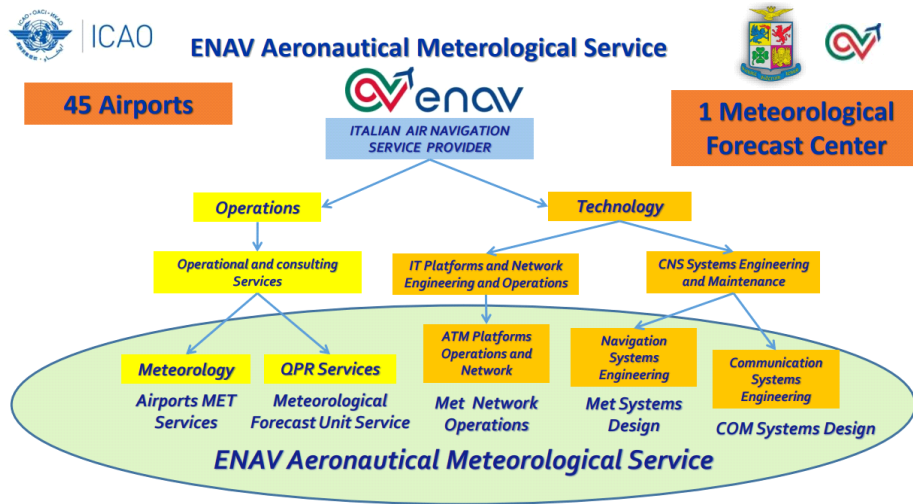
36) AerisWeather(2021), 「Smart Hub Automation」, <https://www.aerisweather.com/industries/smart-home/> (검색일: 2021. 5. 11.)





영공에 대한 일기 예보를 제공한다.<sup>37)</sup>

[그림 3-21] ENAV의 Aeronautical Meteorological Service (AMS, 항공 비행 서비스) 정보 제공 체계



Paris, November 6, 2019

6

자료: ICAO & ENAV<sup>38)</sup>

StormGeo는 1997년에 설립되었으며 전 세계에서 가장 큰 민간 기상 서비스 제공 업체 중 하나이다. 특히 해양, 신재생에너지, 해운, 기업 및 미디어 산업에 기상정보를 제공한다. StormGeo는 노르웨이 베르겐에 본사를 두고 있으며 전 세계에 27개의 지사를 두고 있는 글로벌 기업이다. 7개의 글로벌 기상지원센터는 연중 무휴 24 시간 운영되며, 2018년 8월에는 지속가능한 해양 비즈니스를 위한 액션 플랫폼인 유엔 글로벌 콤팩트 (UN Global Compact Action Platform for Sustainable Ocean Business)에 참여했다. 유엔 글로벌 콤팩트에 참여함으로써 고객이 환경적으로 책임 있는 비즈니스 결정을 내리는데 도움을 주고자 하는 목표가 있다.<sup>39)</sup> StormGeo는 2020년 4월에 ‘River Monitoring and Alerting Solution’ 을 출시했으며, 본 시스템은 미국 고등수문예측국(US Advanced Hydrologic Prediction Service)의 강 계이지 지점의 5일 예측 수위, 강 계이지 관측, 5일 강수량 예측, 레이더 추정 및 최근 관측된 강 계이지 수위의 최적화된 혼합 등 여러 출처의 데이터를 결합하는 것이 가능하다<sup>40)</sup>.

StormGeo는 새로운 기상서비스 플랫폼인 GridWatch를 개발했다. GridWatch 서비스는 최신 날씨정보 및 10일동안의 위협 식별 전망을 포함하는 기상예측 데이터를 제공한다.<sup>41)</sup> GridWatch는 전기 및 통신 운영자가 기상관련 이벤트를 계획하고 사전에 대응할 수 있도록 지원하여 가동 중지 시간을 줄이고 비용절감을 실현 할 수 있다. GridWatch는 정교한 모델을

37) ENAV S.p.A.(2020), *Corporate Brochure*, pp. 4-8.

38) ICAO & ENAV(2019. 11. 6.), 「ITALIAN PLANNING FOR IMPLEMENTATION OF IWXXM FORMAT」, p. 6.

39) StormGeo, 「Who We Are」, <https://www.stormgeo.com/company/who-we-are/> (검색일: 2021. 5. 13.)

40) StormGeo, 「StormGeo Launches River Monitoring and Alerting Solution」, <https://www.stormgeo.com/newsroom/stormgeo-launches-river-monitoring-and-alerting-solution/#:~:text=StormGeo%20Launches%20River%20Monitoring%20and%20Alerting%20Solution%20%2D%20StormGeo&text=Digital%20publications%20and%20ENCs%20available,easy%2Dto%2Duse%20workflow.&text=Empower%20your%20crew%20with%20on,and%20joint%20onshore%20Fonboard%20decisions.> (검색일: 2021. 5. 13.)

41) StormGeo(2016. 5. 19.), 「StormGeo Announces GridWatch Service」, <https://www.stormgeo.com/newsroom/stormgeo-announces-gridwatch-service/> (검색일: 2021. 5. 14.)

기반으로 정확한 날씨 정보를 제공하여 의사 결정자가 전력 시스템을 운영할 때 차질 없이 활용하는데 공헌한다.

마지막으로 싱가포르에 위치한 Terra Weather Pte Ltd 사 (이하 Terra)는 인공지능을 기반으로 날씨컨설팅을 하는 기업이다. 석유와 가스 관련된 에너지 공급업체들에게 집중적으로 솔루션을 제공하고 있으며, 해양 분야에 특화된 기상예보와 장기 위험평가 정보를 제공한다(한국기상산업기술원, 2021). 안전은 해양, 석유 및 가스 관련 프로젝트 성공의 가장 핵심적인 이슈이다. 스콜, 열대성 저기압 같은 악천후에 대비하기 위하여 Terra측에서는 현장별 기상 예보 및 시추 및 생산시 연안 설비에 대한 장기 위험 평가 도구를 제공한다.<sup>42)</sup>

또한 정확한 기상정보는 해양 건설 작업에 중요한 영향을 미치는데, 해양 산업 관련 프로젝트는 사소한 기상 장애로 인해 장비 지연, 사고 또는 구조적인 손상이 발생하여 시간, 비용 및 심지어 인명까지 손실 될 수 있을 만큼, 시간과 정밀도에 민감하다. Terra에서는 TerraWaves API 시스템을 통해 사이클론 경고 알람을 제공하고 있고, 해양산업 프로젝트에서 시공계획을 세울 때, 다양한 모델을 제공함으로써 효율적인 계획 수립을 위하여 기여하고 있다.<sup>43)</sup>

## 6. 국내 기상서비스기업 사례

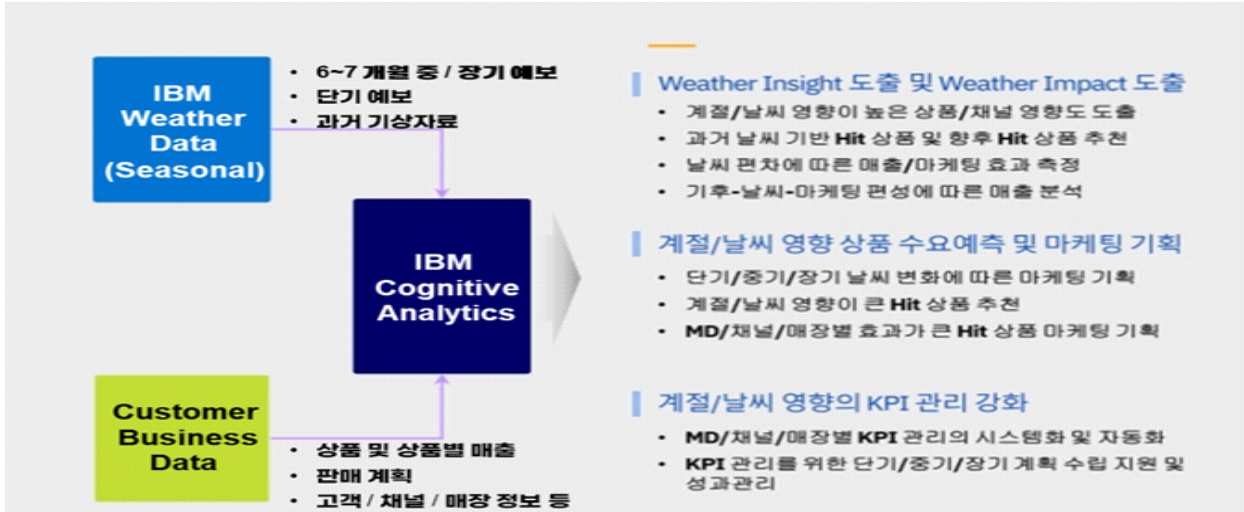
위에서 설명한 바와 같이 디지털기술을 활용한 글로벌 서비스 기업들이 성장하고 있다. 국내에서도 유사한 비즈니스 사례로써 The Weather Company, S Fractum, 그리고 ST Logic의 모델을 제시한다. The Weather Company의 경우는 IBM Watson을 활용하여 일기예보, 장기예보 자료, 날씨기반 상품분석데이터 등을 분석하고, 수요예측 및 비즈니스에 활용하고 있다. S Fractum은 날씨 민감도 및 영향력을 분석하고, 다양한 기상분석 결과와 컨설팅을 제공하고 있다. 마지막으로 ST Logic은 시공간 데이터를 수집, 가공, 적재하고 비즈니스 영향도 분석모델을 적용한 결과를 시각화하여 기상 관련 인사이트를 도출한다.

42) TerraWeather(2016), 「Oil and Gas」, <http://terra-weather.com/what-we-do.html#OilandGas> (검색일: 2021. 5. 31.)

43) TerraWeather(2016), 「Offshore Construction」, <http://terra-weather.com/what-we-do.html#OffshoreConstruction> (검색일: 2021. 5. 31.)



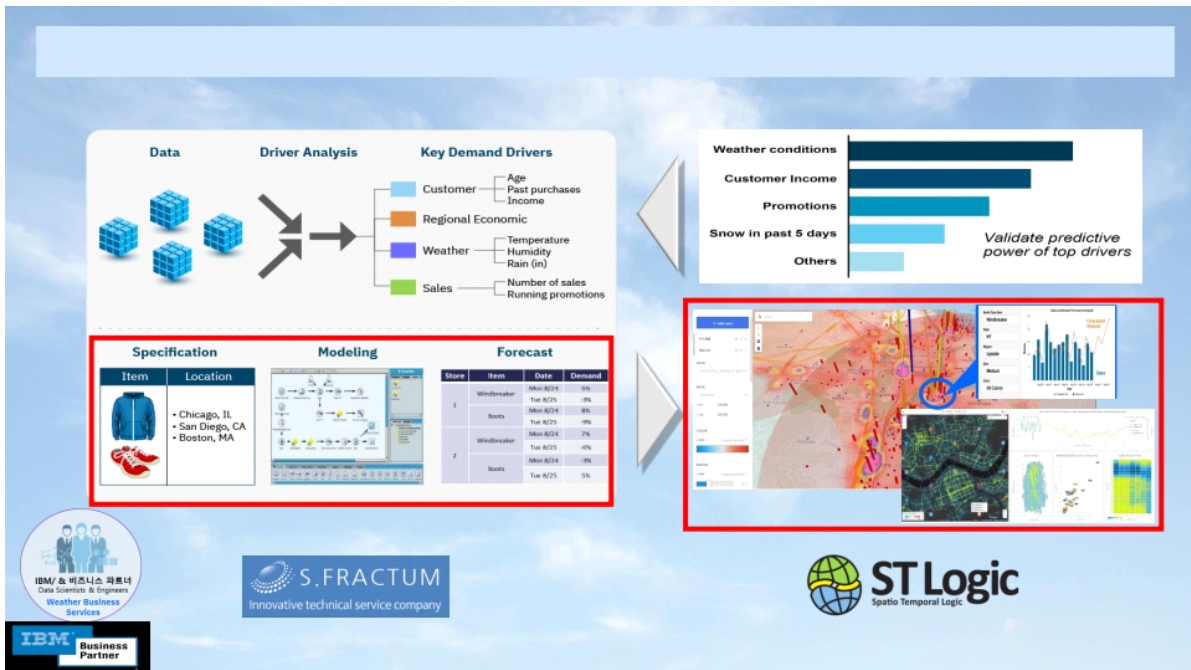
[그림 3-22] IBM의 국내 기상서비스 비즈니스 모델



자료: The Weather Company(2020)

본 비즈니스 모델에서는 날씨 정보를 활용한 수요예측 프로토콜을 아래 그림과 같이 구축한다. 우선 상품 수요에 영향을 미치는 주요 동인(고객정보, 지역경제, 날씨, 영업역량 등)을 분석하고, 해당 지역의 과거 날씨에 따른 수요 데이터를 분석하여 온도 또는 강수량 변화에 따른 상품별 판매 민감도를 도출한다. 그리고 향후 날씨 전망자료를 활용하여 수요를 예측하고 지역별 온도변화, 체감기온 등 전망자료에 따라 세분화된 전략을 제시한다.

[그림 3-23] 날씨 정보를 활용한 수요예측 기상모델



자료: The Weather Company(2020)

## 7. 시사점

3장 2절에서 조사·분석한 해외 장기예보 활용사례(EUPORIAS, SECLI-FIRM, Red Cross, 일본 기상청)는 다음과 같은 특징을 보인다. 우선 수요자의 의사결정, 위험관리 목적으로 프로젝트가 기획되었고 이에 해당하는 결과물들이 도출되었다. 사용자의 편의성을 고려한 설계, 장기예보에 대한 이해도를 높이기 위한 구성이 강조되었으며 데이터에 기반한 분석 툴을 개발하고 활용하고자 시도되었다. 주요 활용사례를 통해 세 가지 시사점을 제시한다. 첫째, 기업, 유관기관 등 수요자는 생산, 투자 등 의사결정을 위해 장기예보 기반 서비스를 활용한다. 둘째, 정책집행자, 지자체, 국민 등 수요자는 장기예보 서비스에 따라 위험관리 대응방안을 수립하기 위한 수요가 높다. 셋째, 서비스의 지속가능성을 확보하기 위해 자원마련, 데이터 및 사례 DB 구축관리, 성과 공유 및 확산 등의 노력이 필요하다.

국내외 디지털기술을 활용한 기상서비스 사례에서 대부분 기업들이 인공지능, 빅데이터, 플랫폼, IoT, 클라우드 등 디지털기술을 활용하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 기술간 융합, 학제간 연계가 활발하게 이루어지고 있으며, 현재는 장기예보 생산보다는 활용분야를 개발하고 확대하는데 초점이 맞추어져 있다. 디지털기술을 활용한 비즈니스는 향후 성장가능성이 충분하지만 아직 모델에 대한 검증이 완벽하게 이루어지지 않았다. 장기예보 생산분야에서 디지털기술을 활용하기 위해서는 오랜 기간의 데이터가 축적될 필요가 있다. 현재에도 자료동화, 모델링, 후처리 등 단계별로 머신러닝 기술이 적용되는 사례들이 있지만 충분한 데이터가 확보되어야 그 성능과 효과가 증명될 것이다.



## 제4장

장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구

# 장기예보 예측 기술 현황 및 전망

제1절 글로벌 기후예측 기술 동향

제2절 기후예측 기술 수준 진단

제3절 슈퍼컴퓨팅 기술

제4절 인공지능/빅데이터 기술







## 제 4 장 장기예보 예측 기술 현황 및 전망<sup>44)</sup>

### 제 1 절 글로벌 기후예측 기술 동향

#### 1. 북미 SubX (Subseasonal Experiment) 프로젝트

미국 NOAA는 2주 이상 1개월 이내의 예측을 위한 다중모델(multi-model) 비교 프로젝트 SubX (Subseasonal Experiment)를 수행하고 있다. SubX 프로젝트는 미국과 캐나다 기관에서 운용중인 모델들이 주로 참여하고 있다. 실험에 참여하는 모델의 예측성능 비교는 여름철 지상 기온, 강수량 예측성능 확인을 통해 이루어진다. 예측성능을 나타내는 지표는 초기화 이후 예측성능이 1995-2014(20년) 기간 샘플에 대한 95% 신뢰수준이 유지되는 예측시간을 활용한다 (Seo et al., 2020).

예측성능은 모델, 변수에 따라 다양한 분포를 나타내며, 전반적으로 강수에 비하여 지상 기온 예측성능이 더 좋다. 특히, 다중모델을 이용하여 예측한 MME (multi-model ensemble) 실험 결과는 기온 예측은 뛰어난 성능을 나타내지만, 강수 예측의 경우 다중모델 사용을 통한 예측성 향상이 제한적인 것으로 나타난다.

지상 기온의 경우 CESM, RSMAS 모델에 사용되는 초기장의 품질이 다른 모델에 비해 모든 지역에서 현저히 떨어지는 것을 알 수 있으며, 강수의 경우 NCEP, RSMAS 모델의 초기장 품질이 좋지 않은 것을 알 수 있다.

〈표 4-1〉 SubX 프로젝트에 참여하는 모델정보

모델	구성	앙상블 멤버 수		예측 시간	연도	참조
		reforecasts	Forecasts			
NCEP-CFSv2	Atmosphere (A) Land (L) Ocean (O) Sea ice (SI)	4	4	45	1999-2016	Saha et al., (2014)
EMC-GEFS	A, L	11	21	35	1999-2016	Zhou et al., (2016, 2017) Zhu et al., (2018)
ECCC-GEM	A, L	4	20	32	1999-2014	Lin et al., (2016)
GMAO-GEOS	A, L, O, SI	4	4	45	1999-2015	Koster et al., (2000) Molod et al., (2012) Reichle and Liu, (2014) Rienecher et al., (2008)
NAVY-ESPC	A, L, O, SI	4	4	45	1999-2016	Hogan et al., (2014) Metzger et al., (2014)
RSMAS-CCSM4	A, L, O, SI	3	9	45	1999-2016	Infanti and Kirtman, (2016)
ESRL-FIM	A, L, O, SI	4	4	32	1999-2016	Sun et al., (2018a,b)

출처: Pegion et al., 2019

44) 본 장은 2020년에 기상청에서 발간한 “차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사” 보고서 내용 가운데 일부를 재정리한 것임. 내용, 표, 그림 등은 동 보고서에서 인용한 것임을 밝힘.



## 2. WMO 프로젝트: S2S (Subseasonal-to-seasonal)

현재 WMO는 예측 시점으로부터 2주 이상 2개월 이내의 계절내(subseasonal) 시간 규모의 기후모델 예측성능 비교 평가를 위한 S2S(Subseasonal-to-seasonal) 프로젝트를 수행하고 있으며, 전 세계 11개국의 기관에서 참여하고 있다.

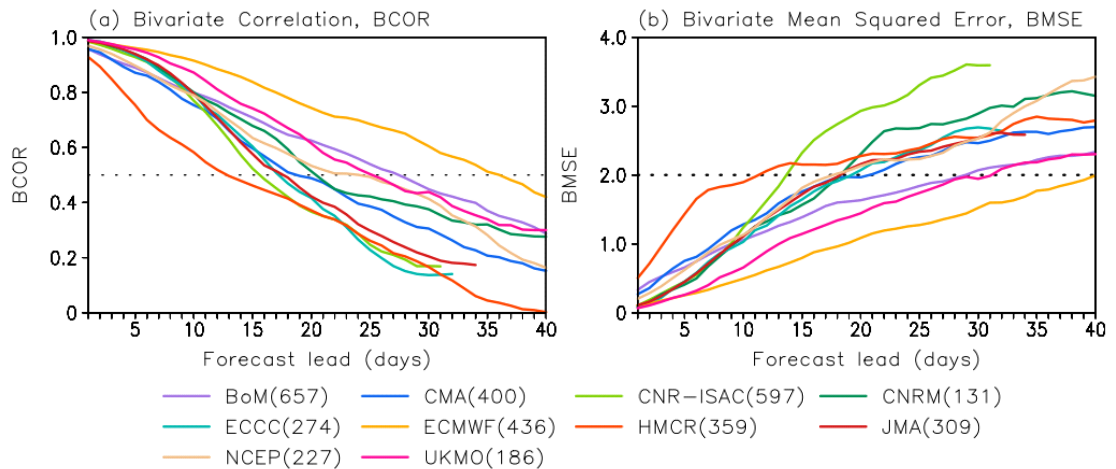
〈표 4-2〉 계절내 예측시스템 참여 모델정보(Subseasonal-to-seasonal 1~2개월)

국가	기관	모델	양상불 멤버수		횟수		예측 시간	연도
			reforecasts	Forecasts	reforecasts	Forecasts		
Australia	BoM	POAMA	3 * 11	3 * 11	6/month	2/week	62	1981-2013
China	CMA	BCC-CPS-S2Sv1	4	4	2/week	2/week	60	past 15 years
Italy	CNR-ISAC	ISAC-CNR	5	41	every 5 days	weekly	32	1981-2010
France	CNRM	CNRM-CM6.1	10	25	every 7 days	weekly	47	1993-2017
Canada	ECCC	GEPS	4	21	weekly	weekly	32	1998-2017
EU	ECMWF	ECMWF	11	51	2/week	2/week	46	past 20 years
Russia	HMCR	RUMS	10	20	weekly	weekly	61	1985-2010
Japan	JMA	JMA-GEPS2003	13	50	2/month	weekly	33	1981-2010
South Korea	KMA	GloSea5-GC2	3	4	4/month	daily	60	1991-2016
U.S.	NCEP	CFSv2	4	16	daily	daily	44	1999-2010
U.K.	UKMO	GloSea5-GC2	7	4	4/month	daily	60	1993-2016

S2S 프로젝트에 참여하는 모델들을 이용한 다중모델의 지상 기온, 강수 예측성능을 확인한다. 주로 예측성능이 여름철보다 겨울철에 높은 것을 확인 할 수 있으며, 높은 예측성능은 주로 열적도 지역에 집중되며, 특히 엘니뇨현상이 발생하는 열대 태평양에서 예측성능 향상이 뚜렷하게 나타난다.

S2S 프로젝트는 모델의 성능을 진단하기 위하여 계절내 열대변동 현상인 MJO 모의성능을 비교하였다. ECMWF 모델은 약 35일 이상의 MJO 예측성능으로 가장 좋은 MJO 모의성능을 보이고, UKMO 모델과 이 모델의 family model 중 하나인 BoM 모델이 약 25일 이상의 모의성능으로 우수한 것으로 나타났다.

[그림 4-1] S2S 모델의 MJO 모의성능(Lim et al., 2018)



### 3. 계절 규모 예측 기술

계절 규모에서의 평균 기온 및 강수량에 대한 기후예측 모델들의 확률예보 성능을 비교 평가한 연구는 Hyun et al. (2020)에 의해 수행되었다. 여름철과 겨울철의 3개월 평균 지상 기온 및 강수량에 대한 예측 성능을 평가하였으며, 각 모델들의 예측 시점은 여름철의 경우 5월, 겨울철은 11월에 시작된다.

기후예측 모델들의 확률 예측 신뢰수준은 양상불 예측에서 나타난 3분위 이벤트(Below Normal, Normal, Above Normal)가 관측에서 발생하는 빈도와 비교하여 얼마나 일치하였는지 분석하였으며, 신뢰성 다이어그램(Reliability Diagram)을 이용하여 각 기관들의 모형예측자료의 신뢰성을 5가지로 분류한 결과를 비교하였다.

예측값에 대한 신뢰도를 1등급(Perfect), 2등급(Still very Useful), 3등급(Marginally useful), 4등급(Not useful), 5등급(Dangerously useless)으로 나누어 기온과 강수 예측을 평가한다. 예를 들어, 관측값과 예측값 사이의 선형관계가 뚜렷할 때는 1등급, 기후값 예측에 비해 조금 나은 수준일 때는 3등급, 음의 관계가 나타날 때는 5등급으로 표시한다.

<표 4-3> 신뢰성의 5가지 분류(Hyun et al., 2020)

Category	Reliability	Description
1	Perfect	The uncertainty range of the reliability slope includes the perfect slop and falls into the skillful BSS area
2	Still very useful	The uncertainty range of the reliability line at minimum slope $\geq 0.5$
3	Marginally useful	The slope of the reliability line $\geq 0$ and not includes the perfect line



4	Not useful	The slope of the reliability line cannot be distinguished within its uncertainties from 0
5	Dangerously useless	The reliability line $< 0$

#### 4. 기후예측모델 성능 평가 요약

주요 국가에서는 0~48시간(단기), 3~7일(중기), 1주~1개월(장기) 예보기간에 따른 기온, 강수 전망을 주로 하고 있다. 여기에는 날씨에 영향을 미치는 ENSO, MJO, 월격상관 지수, 블로킹, 폭풍우 경로 등 기후 현상과 기상 간의 연관성을 감시·예측·평가하고 있으며, 기후예측을 위한 수치모델의 예측성능 비교분석을 위한 국제공동 연구가 진행 중이다. 시간규모별 예측모델의 성능을 확인해보면 기온 예측에 비하여 강수 예측에 어려움과 한계가 있는 것으로 나타났다. 특히, 동아시아 지역의 경우 다양한 기후인자에 의해 영향을 받기 때문에 다른 지역과 비교하여 예측성능이 떨어지는 경향을 보인다.

### 제 2 절 기후예측 기술 수준 진단

#### 1. 기상청 현업 기후예측모델 전지구 예측성능

##### 가. 선진국 현업모델 대비 전지구 온도 및 강수 예측성능

한국 기상청은 미국(NOAA)과 함께 WMO 장기예보 다중모델 앙상블 선도센터(Lead Center for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble, LCLRFMME)를 운영하고 있으며 전 세계 장기예보 센터들과 함께 GPC (Global Producing Center)로부터 예측 자료를 수집하여 표준화된 자료를 제공하고 있다. 기상청의 기온 예측시스템은 영국기상청과 거의 유사한 시스템을 사용하고 있으나 예측 신뢰도에 있어서 약간의 차이를 보인다. 예측 신뢰도의 차이는 지역별, 계절별, 사례별로 차이가 있지만, 전체적으로 영국기상청 예측 시스템의 신뢰도가 상대적으로 높은 것으로 나타나고 있다. 이는 계절 예측에 적용하는 초기화 과정 및 앙상블 개수 등의 차이에 기인한 것으로 유추되며, 이 부분이 개선된다면 기온 예측시스템의 성능 향상도 가능해 보인다.

한편 전체적으로 기상청 예측모델의 기온 예측 신뢰도는 일본이나 미국 기상청과 유사한 수준이며, 세계 최고 수준으로 알려진 ECMWF에 비교하여 기상청의 기온 예측의 신뢰도가 비슷한 수준인 것으로 분석된다. 열대지역의 예측은 ECMWF의 예측이 우월한 경향이 있지만, 동아시아 지역의 예측은 겨울은 비슷하고, 여름은 조금 더 나은 예측성능을 보인다.

## 나. 주요 기후인자 및 원격상관 패턴 예측성능 평가

각 지역의 기후는 그 지역 및 인근 지역의 대기 및 해양 순환에만 결정되지 않고, 원거리의 다양한 기후변동 현상에 의해 영향을 받는다. 기후예측 모델의 예측성능은 각 지역에 영향을 미치는 기후인자의 예측성능과 기후인자와 관련된 원격상관 패턴을 어떻게 모의하느냐에 의해 결정되기 때문에, 각 모델이 모의하는 주요 기후인자의 예측성능을 파악하는 것은 기후예측모형의 신뢰도를 평가하는데 매우 중요하다.

기상청 현업모델(GloSea5)은 주요 기후인자 예측성능을 평가하기 위하여 1996년부터 2009년까지 과거 기후 예측결과(hindcast)를 이용하여 한반도 기후에 영향을 미친다고 알려져 있는 주요 기후인자들과 함께 예측성능을 검증하였다(Jung et al., 2015). 지구온도지수(GSAT)의 경우, 모든 계절에 대해서 5개월까지 예측 가능한 것으로 나타났으며, 기상청의 예측모델은 전지구 규모의 변동(지구온난화, 엘니뇨 등)을 일정 수준 예측 가능하다고 해석할 수 있다. 동아시아온도지수(EASAT)의 경우, 9월을 제외하고는 lead time이 매우 짧은 경우에만 예측 가능한 것으로 나타났다. 9월의 예측성이 큰 이유는 강한 기온 트렌드와 엘니뇨의 영향 등이 반영된 결과로 해석된다. 엘니뇨 지수(Nno3.4 지수)는 모든 월에 대해 5개월까지는 예측 가능한 것으로 나타났으며 엘니뇨의 주기는 상대적으로 길고, 해양이 예측 메모리를 가지고 있기 때문에 대부분의 엘니뇨 예측모델이 6개월까지 매우 높은 예측성능을 가지는 것으로 보고되고 있다. 엘니뇨는 한반도 기후와 밀접한 영향이 있기 때문에, 엘니뇨에 대한 높은 예측성은 모델의 한반도 기후 예측성능 향상에 기여할 수 있다. 인도양 다이폴 지수(IOD)는 인도양의 대표적인 기후변동 모드로서, 기상청 예측 모델은 엘니뇨보다는 전반적으로 예측성능이 낮게 나타난다. 북극진동지수(AO)의 경우, 1-2월은 2개월 정도 예측 가능한 것으로 나타나지만 나머지 계절은 매우 짧은 예측에만 유의미한 예측결과를 나타낸다. 여름 몬순 지수 중, 열대의 순환장에 바탕을 둔 지수(Summer\_MS1)는 예측성이 있는 것으로 나타나지만, 동아시아의 순환을 직접적으로 표현해주는 지수(Summer\_MS2)에 대해서는 예측성이 매우 낮게 나타난다. 겨울몬순지수(Winter\_MS1, Winter\_MS2)는 두 지수 모두 예측성능이 매우 낮은 것으로 나타났다.

## 다. 한반도 기온 및 강수량 예측 성능 평가

기상청은 2020년 4월부터 과거 기후 모의 기간을 1991-2010년(20년)에서 1991-2016년(26년)으로 확대하였으며, 이러한 과거 기후 재현 실험 기간 연장은 최근 빈번한 극한 경향을 반영한 예측 결과를 생산하기 위함이다. 강수 예측성능을 평가한 결과 전반적으로 예측성능이 기온에 비해 매우 떨어지는 것으로 나타났다. 겨울철 1개월 예측에서 어느 정도 상관성을 보이지만, 이 계절의 강수예측정보의 활용성은 떨어진다. 여름철 예측 역시 정보 활용이 매우 제한적임을 알 수 있다. 강수 예측이 우리 사회에 매우 중요한 정보임을 감안할 때, 예측모델의 원격상관패턴 모의능력을 개선하기 전까지 과도기적으로 통계적 후처리를 통하여 기후예측 성능을 개선하는 것이 필요하다.





## 라. 국내 모델링 기술 기반

1990년 후반까지 우리나라는 자체 수치모델링 기술이 부족해서 해외로부터 전지구 예보 시스템을 도입하여 운영하였다. 현재의 GloSea5 모델은 2008년 영국 기상청과 통합모델 라이선스 사용계약을 체결하고, 2010년 5월부터 현업에서 운영하기 시작하였다. GloSea5는 영국기상청 UM(Unified Model) 대기모델, NEMO(Nucleus for European Modeling of the Ocean) 해양모델, CICE(Los Alamos Sea-Ice Mode) 해빙모델, JULES(Joint UK Land Environment Simulator) 지면모델로 구성되며, 앙상블 예측시스템으로 OASIS라는 커플러를 활용하여 모델이 구성되고 있다.

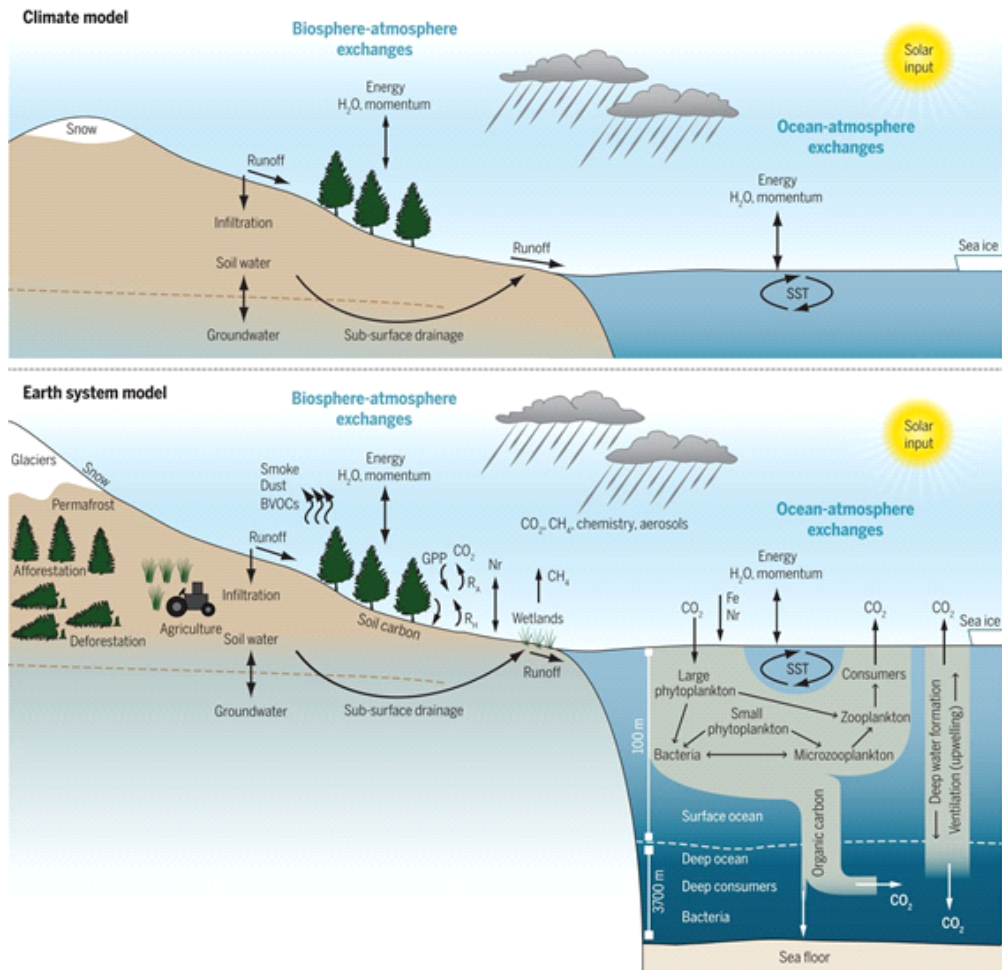
우리나라는 2010년 초까지 모델 운영기술의 축적에 노력을 기울이다가, 2011년 이후 자체적인 노력으로 예보 기술을 해결하고자 하는 사업들이 시작되었다. 수치모델과 연관된 기술의 독립적 개발을 위하여 2011년부터 2019년까지 대규모 예산을 투입하여 한국형 수치예보 모델(Korean Integrated Model, KIM)을 개발하였다. 한국형 수치예보 모델(KIM)은 2020년 4월부터 운영중에 있으며, 독자적으로 개발된 역학모델 물리과정에 기반하여 모델이 구축되었다. 자료동화시스템 또한, 자체 개발된 하이브리드 자료동화시스템을 기반으로 구축되었다.

## 2. 글로벌 기술환경 변화

### 가. 지구시스템모델

기후예측에 있어서 지구시스템 모델은 그 근간이 되는 핵심기술로 대기권, 수권, 지권, 빙권, 생물권의 부문별 기술이 총체적으로 결합된 모델이다. 기후예측시스템은 계절예측이 시작된 1980년대부터 약 10일에서 3개월 시간단위에 대한 대기, 해양, 지면, 그리고 해빙 과정을 주로 재현하였으나, 최근에는 기후 예측 근원에 대한 과학 진보가 이루어짐에 따라 지구시스템모델로 통합하여 수년부터 수백년 시간규모의 기후변화 재현 수치모델로 확대되었다. 특히 모든 시공간에 적용할 수 있는 이음새없는 지구시스템 모델 구축이 선진국 모델개발 전략의 주요 방향이다.

[그림 4-2] 기후예측모델과 지구시스템 모델 비교 모식도

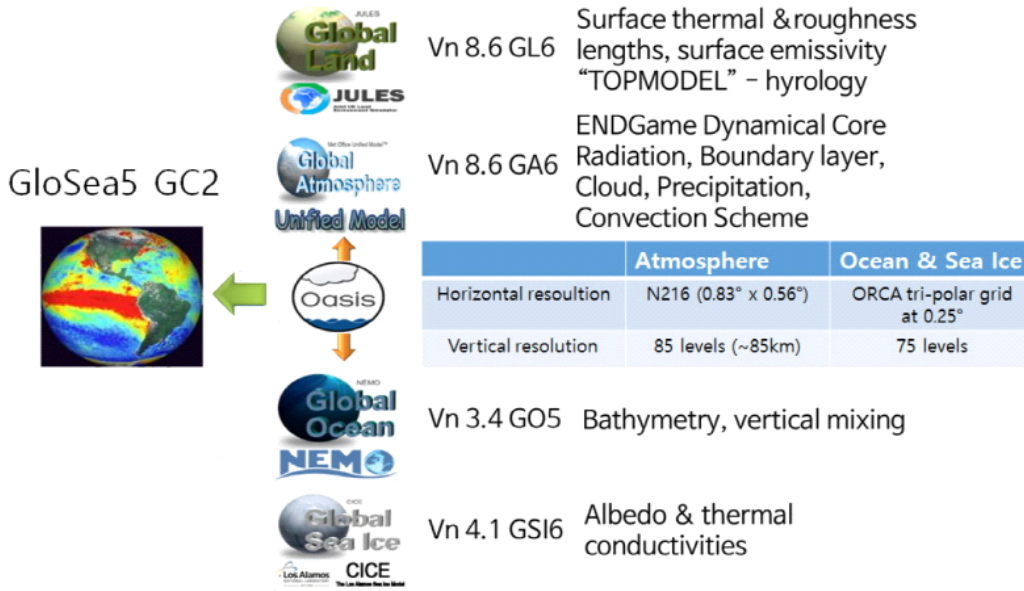


#### 나. 국내 지구시스템 모델 기반 및 발전 전망

국내 기후예측 시스템 모델은 GloSea5를 기반으로 운영하고 있다. GloSea5는 대기, 해양, 해빙, 지면 등 지구시스템 관련 모듈이 커플러를 통해 접합되어 있으며 통합모델(Unified Model)에 다양한 에어로졸, 대기화학 등 지구시스템 모듈이 포함되어 있다. 한편, 국내 모델링 연구수준은 아직 세계적 수준에는 미흡한 수준이다. 향후 현업을 위한 연구 (Research to Operation, R2O)와 연구를 위한 현업 (Operation to Research, O2R)이 유기적으로 작동할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 중요하다. 그리고 우리나라 현실에 적합하고 진입 장벽이 낮은 지구시스템 모델 개발 전략이 필요하다.



[그림 4-3] 기상청 장기예보시스템 지구시스템 과정 컴포넌트 모식도



#### 다. 해외 지구시스템 모델 기반 및 발전 전망

##### (1) 미국 기상청 기술 수준 및 발전 전망

미국은 향후 5~10년 간 접합모델 앙상블(coupled ensemble), 재분석(reanalysis), 재예측(re-forecast)이 포함되는 통합 예측시스템(unified forecast system) 프레임워크로 계절예측시스템 개발을 계획하고 있다. 현업 모델인 CFS는 대기, 해양, 지면, 해빙모델이 접합된 지구시스템 모델, 향후 파고, 에어로졸, 우주기상 모듈의 접합을 고려하고 있다.

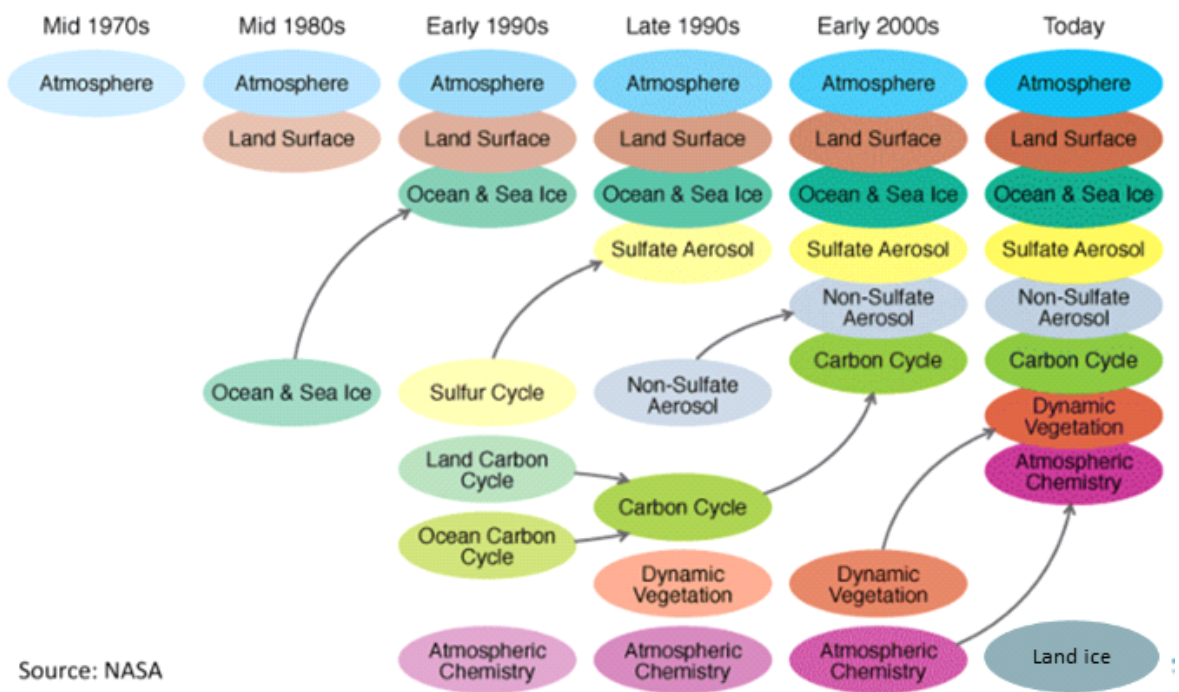
##### (2) ECMWF 기술 수준 및 발전 전망

최근 전지구 수평해상도 1.4km 초고해상도 IFS 모델을 현업 버전으로 구동하여 구름 물리 과정이 매우 사실적으로 구현된 4개월 장기예측 결과를 산출하여 출간한 바 있다(Wedi et al. 2020). 여기에는 중기예보 성능의 향상을 위한 지구시스템 모델링과 예측기술의 개선을 목표로 장기예보 시스템 구축 관련 해상도 및 성능을 버전별로 기술하였다. 그리고 이음새 없는 예측(seamless prediction)을 목표로 구름분해(cloud-resolving) 지구시스템 모델 기반 초고해상도 기후예측시스템 구축에 대한 향후 주요 로드맵을 포함하였다.

### 3. 기술수준 및 발전 전망 요약

최신 슈퍼컴퓨팅과 결합한 초고해상도 현업 기후예측 모델, 다양한 지구시스템 모듈을 고려하는 S2S 및 계절예측, 진보된 초기화 기법과 앙상블 생성 및 확률예보 등 기후예측성 제고를 위한 보다 혁신적인 방향의 실험이 진행 중이다. 국가별 각 기관마다 과학적으로 중요하게 생각하는 지구시스템 구성요소에 대해 체계적으로 계절 예측 성능 기여도를 평가한 후 현업 시스템으로 개발하는 계획을 포함하고 있다. 이들 연구는 이음새없는 지구시스템 모델 기반 기후예측시스템 구축이 최종 목표이다. 모든 시공간규모에 활용될 수 있는 이음새 없는 지구시스템 모델 구축을 위해서는 지구시스템 과정들이 모두 각각의 모듈로 장착된 모델을 목적에 따라 원하는 해상도 및 구성요소를 on/off 하여 활용하는 방향으로 진화가 필요하다. 그리고 이러한 모델에는 모듈 확장성을 담보하는 유연한 모델 프레임워크, 커플러, 다양한 해상도에의 범용성 및 병렬확장성 등이 요구된다.

[그림 4-4] 기후예측모델에서 지구시스템 모델로 진화 과정





### 제 3 절 슈퍼컴퓨팅 기술

세계 각국은 기존 아키텍처의 확장성 문제를 해결하기 위한 엑사스케일 시스템 연구에 많은 노력을 기울이고 있다. 현재 TOP500내의 대부분의 슈퍼컴퓨터는 인텔(Intel)의 x86 멀티코어/매니코어 CPU를 장착하였으나 IBM POWER, AMD x86 등으로 확대되고 있으며, 엑사스케일 경쟁이 본격화되면서 GPU, FPGA 등의 가속기가 결합된 CPU 등으로 더욱 다변화가 진행 중이다. 2020년에는 UM User Workshop NGMS(Next Generation Modelling Systems) 세션에서 FPGA를 이용한 슈퍼컴퓨터 개발 현황을 발표한바 있다.

엑사스케일 슈퍼컴퓨팅 기술을 살펴보면, 저전력, 상호 연결성, 대규모 병렬성의 3가지 기술적 도전 과제가 존재하며 이를 해결하는 방향으로 슈퍼컴퓨팅 기술 발전이 이루어지고 있다. 먼저, 저전력 측면에서 전력소비 절감기술이 이슈로 부상하면서 저전력 이종시스템의 아키텍처가 등장하였으며, 코어당 성능은 높이면서 소비전력을 낮추는 방향으로 기술개발이 전환되는 추세이다. 상호 연결성 측면에서는 CPU, 메모리, 스토리지, 네트워크 등 유닛들을 상호 연결하는 인터커넥션 측면에서 높은 성능과 안정성을 보장하기 위한 인터커넥션 기술의 개선이 크게 요구되고 있다. 대규모 병렬성 측면에서는 슈퍼컴퓨터를 구성하는 계산 요소 간의 병렬성을 극대화하여 고성능을 달성하기 위해 확장성 있는 계산 알고리즘, 프로그래밍 모델, 프로그래밍 도구의 필요성을 강조하고 있다.

#### 가. 엑사스케일 슈퍼컴퓨터 기술 개발 현황

저전력 및 병렬처리 효율성의 한계를 극복하면서 엑사스케일 컴퓨팅에 도달하기 위해 미국, 중국, EU, 일본 등은 2020-2024년을 목표로 엑사스케일 슈퍼컴퓨터 개발을 적극 추진하고 있다. 특히 미국, 중국, EU는 시스템당 3억-6억달러의 대규모 투자를 진행 중이며 일본은 개발·구축에 조단위 예산을 투입 중이다.

<표 4-4> 해외 엑사스케일 슈퍼컴퓨터 개발 계획

구분	미국	EU	중국	일본
구축 시기	2021-2023	2023-2024	2020	2020
프로세서 제조사 (국적)	Intel, AMD (미국)	ARM & RISC-V (미국, 일본)	SW-26010 (중국)	ARM (일본)
구축 비용	\$500M-\$600M + 대규모 R&D 투자	\$300M 이상, + 대규모 R&D 투자	\$350-\$500M + 대규모 R&D 투자	\$1B (구축 + R&D 포함)

미국의 경우 모두 가속기를 장착한 이종시스템으로 Intel/AMD 등의 차세대 CPU 프로세서와 차세대 가속기 구성을 다양한 방식으로 조합하였다. 대표적으로 오크리지 국립연구소



(Oak Ridge National Laboratory, ORNL)의 Frontier 시스템은 차세대 AMD EPYC CPU와 AMD의 차세대 GPU 카드인 Radeon Instinct를 기반으로 구축을 진행중이며, 아르곤 국립연구소(Argonne National Laboratory, ANL)의 Aurora 시스템도 Intel GPU가 처음으로 적용되는 슈퍼컴퓨터로 예상되고 있다.

일본 엑사스케일 시스템 Post-K Computer (2019년 Fugaku로 명명) 개발 추진현황을 살펴보면, K-computer 후속으로 진행된 프로젝트(FLAGSHIP2020)로 2014-2020년까지 1,100억 엔(한화 약 1조원)을 투입하여, 시스템 설계, 개발, 구축을 일본이화학연구소(RIKEN) 산하 계산과학고등 연구소(R-CCS)와 Fujitsu가 추진 중이다. 칩당 이론 성능은 2.7 TFLOPS정도이고, HPL efficiency는 90%를 보이며, 0.4 Byte/flops 정도로 메모리대역폭/flops 성능 비율이 우수한 편이다. Fujitsu는 Fugaku 외에도 Tofu 인터커넥트 기술을 활용하여 대규모 신경망 처리를 가능하게 하는 고성능 딥러닝 전용 칩인 DLU (Deep Learning Unit)를 개발 중에 있다. Master와 다수의 DPU (Deep learning Processing Unit)로 역할이 다른 이기종 코어로 구성되어 기존 시스템에 비해 와트당 10배 성능을 낼 수 있는 저전력 칩으로 개발중이다.

중국은 Sunway TaihuLight 슈퍼컴퓨터로 2016년 6월 TOP500 1위를 달성한 후 2020-2021년 후속 모델을 자체 개발하여 엑사스케일 시스템 구축을 추진 중에 있다. 독자 개발한 CPU/GPU를 활용하여 프로토타입을 개발하고 이론 성능 1EFLOPS, 메모리 10 PetaBytes, 스토리지 1 ExaByte, 내부연결망 대역폭 400 GB/s 사양의 시스템을 개발하고 있다.

EU의 엑사스케일 시스템 개발은 EPI (Europe Processor Initiative)를 주축으로 ARM 및 RISC-V를 기반으로 한 CPU와 다양한 가속기를 자체 개발 추진 중이다. 2022년에 출시 예정인 2세대 범용 프로세서(코드명 Cronos)와 가속기(코드명 TITAN)를 기반으로 엑사스케일 슈퍼컴퓨터 기술개발이 지속적으로 진행 중이다. EPI 프로젝트는 하드웨어, 소프트웨어, 보안의 Co-design을 지향하며 특히, 보안을 컴퓨팅 산업에서 가장 중요한 부분으로 인식하고 단순히 하드웨어뿐만 아니라 OS, 개발 툴, 컴파일러 및 라이브러리 등 전체 소프트웨어 스택을 수직 통합하여 제공할 예정이다.

국내 슈퍼컴퓨터 시스템 중 TOP500 슈퍼컴퓨터로 등재('19.6.)된 시스템은 공공 분야 3대(KISTI 슈퍼컴퓨터 5호기 1대, 기상청 4호기 2대)와 민간 2대로 열악한 편이다. 최근 IBS (1.4 PFLOPS/'18년), 핵융합연구소(1.5 PFLOPS/'19), 기상청 5호기 (40-50 PFLOPS/'20), AI 집적단지(안) (45 PFLOPS/'22) 등에서 HPC 및 AI 용 슈퍼컴 시스템 도입이 급증하고 있으나 모두 외산 장비를 도입 구축하는 형태이다.

## 제 4 절 인공지능/빅데이터 기술

### 가. 해외사례

미국의 NOAA는 해양, 기상, 환경 등 모든 프로젝트들에 인공지능 기술을 접목하여 연구 성과 향상 및 효율성을 극대화하기 위한 체계적인 NCAI 조직(NOAA Center for AI)을 설립하고 관련 프로세스를 구축하였다. 기존의 연구 프로젝트들을 인공지능 활용 연구로 전환하





여, 2020년 7월 시점 약 37%가 전환 중이며, 그중 25%는 운영단계에 도달하였다. 이를 위하여 Google, 아마존웹서비스, IBM, 마이크로소프트 등 대형 클라우드 기업들과의 협력을 강화하고 있으며 그 결과로 NOAA는 머신러닝(machine learning) 분석을 다양한 환경데이터에 적용하였고 활용 가능성을 입증하였다

영국의 기상청에서는 2019년 공식적으로 머신러닝 전략 운영그룹이 설립되었고, Met Office Informatics Lab에서 Data Science와 관련된 인프라 및 파일럿 프로젝트들이 구축되었다. 이후 2020년 6월에 관측, 수치예보 모델링, 후처리 및 예보 부분에 대한 머신러닝 기반의 파일럿 프로젝트 2단계 연구들을 시작하였다. 관측 부분에서는 머신러닝 기법을 이용하여 XBT 해양 온도 자료를 분류하고 이를 통해 기존의 접근법을 통해 알려지지 않은 자료의 특성을 이해함으로써, 궁극적으로 머신러닝의 작업 흐름을 이해하기 위한 목표로 연구가 진행 중이다. 수치예보 모델링 분야에서는 머신러닝에 기반한 SOCRATES 복사 모수화 에뮬레이션(radiation parameterization emulation)을 활용하고, 알고리즘에서 산출한 지표플럭스가 영국의 통합모델 대기모듈 GA7(Global Atmosphere 7)에 비해 향상된 성능을 보인다.

ECMWF는 4DVar 자료동화를 수행하는 과정에서 머신러닝을 통해 모델이 가지는 편향(bias)을 학습하고 이를 보정해 줌으로써 기상예보의 초기조건을 개선하였다. 여기서는 수치예보 모델 내에서 딥러닝 기법이 복사전달, 중력과 항력 등을 모수화하는 기존의 방안을 대체할 수 있는지에 대한 가능성을 평가하였으며 테스트 결과 복사전달방안의 입/출력자료를 학습하여 수치예보모델에 적용한 결과 기존의 방안을 이용하는 것 보다 약 10배의 계산속도 향상을 보였다.

## 나. 국내사례

기상청/국립기상과학원은 기상 빅데이터와 차세대 인공지능 기술을 결합한 인공지능 기상예보 보좌관 ‘알파웨더’ 개발을 추진하였다. 알파웨더는 시간 당 약 15만개의 데이터를 활용·분석하여 예보관이 신속·정확한 예보정보를 생산할 수 있도록 지원한다. 머신러닝과 관련된 연구로써 서울대학교는 다중 머신러닝 알고리즘을 사용하여 남한의 해안지역에 대한 홍수 위험을 평가하고, 다양한 기후변화 시나리오에 따른 해안 홍수 위험 변화를 전망한 바 있다(Park and Lee, 2020)). 인하대학교에서도 머신러닝 기법들(SVM, Decision tree, Random forest)을 이용하여 수도권 지역의 호우피해 예측 모형 개발 연구를 수행한바 있으며(Choi et al., 2018), (주) 에코브레인과 강원대학교에서도 강수예보의 예측 정확도를 향상시키기 위해 머신러닝(예: XGBoost) 기법을 이용하였고(Choi et al. (2018), 많은 부분 예측의 정확도를 향상시키는 것으로 나타났다.

## 제5장

장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구

# 장기예보 개선방향

제1절 정확도 향상을 위한 제언

제2절 활용도 제고 방안





## 제 5 장 장기예보 개선방향

본 연구에서는 지금까지 국내외 장기예보의 생산 및 공급현황, 장기예보 수요 현황에 대한 분석과 함께 장기예보 예측기술 현황 및 진단을 수행하고 그에 따른 시사점을 도출하였다. 본 장에서는 이러한 분석내용을 바탕으로, 장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위해 과학수준 발전에 따른 장기예보 정확도 향상 방안, 장기예보의 기대 사항을 반영한 활용도 제고 방안을 제시하고자 한다.

### 제 1 절 정확도 향상을 위한 제언

#### 1. 장기예보 정확도 향상 관련 국내외 기술환경의 변화

장기예보 정확도 향상에 영향을 미치는 글로벌 기술환경 변화와 관련하여, 해외 선진국의 지구시스템 모델 개발 계획, 지구시스템 모델 구현을 위한 슈퍼컴퓨팅 기술 현황, 모델 기반의 기술개발을 통한 정확도 향상, 장기예보 정확도 향상 가능성을 요약정리하면 아래와 같다.

##### ① 지구시스템 모델 개발 계획

해외 선진국의 지구시스템 모델 개발 계획을 살펴보면, 미국, 유럽 등 선진국을 중심으로 모든 시공간규모에 활용할 수 있는 지구시스템 모델 구축을 주요 목표로 기술개발을 적극 추진하고 있다. 미국의 경우 향후 5~10년 간 접합모델 앙상블(coupled ensemble), 재분석(re-analysis), 재예측(re-forecast)이 포함되는 통합 예측시스템(unified forecast system) 프레임워크로 계절예측시스템 개발을 계획하고 있다. 또한, ECMWF에서는 최근에 전지구 수평해상도 1.4km 초고해상도 IFS 모델을 현업 버전으로 구동해, 구름물리 과정이 매우 사실적으로 구현된 4개월 장기예측 결과를 산출하고 있다. 또한, 이음새 없는 예측(seamless prediction)을 목표로 구름분해 지구시스템 모델에 기반한 초고해상도 기후예측시스템 구축이 향후 주요 기술 개발 로드맵의 방향이 될 것으로 예상된다.

##### ② 지구시스템 모델 구현을 위한 슈퍼컴퓨팅 기술 현황

현재 지구시스템 모델 구현을 위한 슈퍼컴퓨팅 기술의 경우, 슈퍼컴퓨터는 기후예측 모델 성능과 밀접한 연관이 있으며, 국제적으로 슈퍼 컴퓨팅 개발을 위해 기존의 문제를 개선하기 위한 엑사스케일 시스템 연구를 진행하고 있다. 주요 기술적 도전과제로는 저전력, 상호연결성, 대규모 병렬성이 있으며, 이를 개선하기 위한 차원에서의 기술 발전 중 국내에서는 최근 IBS(1.4 PFLOPS/'18년), 핵융합연구소(1.5 PFLOPS/'19), 기상청 5호기(40-50 PFLOPS/'20), AI 집적단지(안) (45 PFLOPS/'22) 등 HPC 및 AI 용 슈퍼컴 시스템 도입이 급증하고 있으나 모두 외산 장비를 도입하는 형태로 진행되고 있다.



### ③ 모델 기반의 기술개발을 통한 정확도 향상

모델 기반의 기술개발을 통한 정확도 향상의 경우 모델링 기술, 초기화 기술, 후처리 기술 별로 각각 진행되고 있다. 모델링 기술의 경우 대기, 해양, 지면, 빙하, 화학, 에어로졸 등 지구시스템 모델 내의 각 성분 모형들에 대하여 불확실성을 줄이고 현실적 구현을 위해 개발되고 있다. 초기화 기술의 경우 최신 위성 자료 및 결합 초기화 등을 활용하여 모형의 예측 성능이 향상되고 있으며, 후처리 기술 분야에서는 머신러닝 기법과 결합된 앙상블 기후예측 기반의 MOS(Model Output Statistics, 통계적 후처리 기법)를 활용하여 예측 성능 향상이 진행되고 있다.

### ④ 장기예보 정확도 향상 가능성

향후 장기예보 정확도 향상 가능성을 살펴보면, 현재의 정확도(50% 내외) 기준 70% 정도의 정확도 확보가 가능할 것으로 기대된다. 기상예측의 역사에 비해 장기예보는 30년 이내로 역사가 매우 짧은 편이기 때문에, 보다 많은 예측 경험과 역량이 지속적으로 구축되어야 하며 장기적으로 과학기술의 발전과 함께 정확도는 꾸준히 향상될 것으로 기대된다.

## 2. 장기예보 정확도 향상을 위한 전략

장기예보 정확도 향상을 위해 아래와 같이 4가지 전략과 세부과제를 제안한다.

### ① 기후감시·분석 능력 강화

장기예보 정확도에 영향을 미치는 핵심역량 중 ‘기후감시·분석’ 역량 강화를 위해 이상기후 현상을 일으키는 핵심 요인 분석 감시 능력 제고와 함께 각종 기후감시요소의 정확도 분석을 통한 객관화를 도모한다.

이를 위해 이상기후 발생과 연관성이 높은 블로킹 현상 관련 한반도 모니터링에 최적화된 블로킹 인덱스를 활용하고, 파수 분석과의 연계성 강화, 모델별 예측장을 통한 블로킹 지속 정도 비교 분석을 통해 블로킹 패턴감지 능력을 향상시킨다. 이와 함께 장기예보 선행 예측인자 정리 및 보완, 선행 예측인자별 정확도 검증 체계화 및 현업 장기예보 활용 객관화를 통해 장기예보 선행 예측인자의 예측성 분석을 강화하도록 한다.

### ② 기후예측모델 특성 분석 강화

장기예보 정확도에 영향을 미치는 핵심역량 중 ‘기후예측시스템’ 역량 강화를 위해 기후예측시스템 모델특성 분석, 모델 관련 부서간 환류 체계를 강화한다.

GloSea5 모델 오차 특성을 고려하여 GloSea5 예측장의 문제점을 분석하여 오차 분석을 체계화 한다. 또한, 13개월 전망 생산 관련 부서간 환류 체계 정비를 위해 모델 관련 부서간 역할 분담과 함께 주기적/비정기적 회의를 통한 환류를 추진한다. 업그레이드된 영국기상청 기후예측시스템(GloSea6-UKMO)을 시스템에 반영하여 모델 예측성 검증결과 분석 및 장기예보 생산에 활용한다.

## ③기후예측 기술 개발

역학모델과 통계모델의 한계를 극복하기 위해 오차 보정 및 기계학습모델 개선·적용을 확대한다. 이를 위해 기후예측모델 지역별 가이드선스 및 기압계 유형별 가이드선스를 개발하고, 기후예측모델 결과와 기후감시요소 영향이 객관적으로 고려된 가이드선스를 개발하도록 한다. 마지막으로 인공지능 활용 기후예측기술 관련 1개월 전망 기계학습 기술개발과 함께 새로운 감시요소와 오차 보정된 역학모델 결과를 활용한 기계학습모델로 3개월 전망 생산을 추진한다.

## ④장기예보관 역량 및 인력 강화

장기예보 정확도에 영향을 미치는 핵심역량 중 ‘장기예보관’ 역량 강화를 위해 장기예보 사후분석 체계화 및 장기예보관 인력을 강화한다. 장기예보 사후분석 업무 현황의 문제점을 파악 후 사후분석 기준 설정 및 예보분석(예보칙, 개선점 도출) 강화를 통해 사후분석을 강화한다. 또한, 과업무 재배치와 인력 보강을 통한 장기예보관 인력풀을 확대하고, 과학원, APCC 지원 검토를 통해 관련 인력을 강화한다.

〈표 5-1〉 장기예보 정확도 향상을 위한 전략 및 세부 추진과제

1. 기후감시·분석 능력 강화	2. 기후예측모델 특성 분석 강화
① 블로킹 패턴 감지 능력 향상 ② 장기예보 선행 예측인자의 예측성 분석 강화	① GloSea5의 오차 분석 체계화 마련 ② 1-3개월 전망 생산 관련 부서간 환류 체계 정비 ③ GloSea6-UKMO 장기예보생산 활용계획
3. 기후예측 기술 개발	4. 장기예보관 역량 및 인력 강화
① 기후예측모델 가이드선스 개발 ② 모델과 기후인자를 반영한 객관화 가이드선스 개발 ③ 인공지능을 활용한 기후예측 기술 개발	① 장기예보 사후분석 강화 ② 장기예보관 인력 강화

출처: 기상청 내부자료(2021)를 토대로 연구진 정리

기후과학 기술 측면에서 구체적인 개선방향은 다음과 같이 제시할 수 있다.

## ① 기상선진국 기관의 전략적 기술발전전략 모니터링을 통한 한국 실정에 맞는 발전전략 수립

WMO 및 기상선진국 기관의 전략적 목표의 주요 공통 키워드\*를 기반으로 선진기술 발전 방향 파악과 함께 우리나라 현실에 맞고 진입장벽이 낮은 분야를 발굴하여 기술개발을 추진할 필요가 있다. 공통 키워드는 “예측성 향상을 위한 이음새없는 예측 기술, 지구시스템모델링 및 기반 기술, 의사 결정 지원 등 정보 서비스 강화, 관측자료 생산과정 개선, 차세대슈퍼컴퓨





팅 적용 환경 구현 및 적용가능 모델링 개발, 관련 전문인력 양성 등, 앙상블 예측시스템, 자료동화 개선, 수 km 규모 지구 고해상도 예측, 인공지능 등 데이터 과학 등” 이다.<sup>45)</sup>(이명인, 2021)

② 최신 기술환경 변화에 요구되는 연구환경 인프라 구축 지원

지구시스템모델링, 앙상블예측, 이음새없는 예측 기술, 빅데이터 기반 기계학습 등 최신 모델링, 시뮬레이션 적용에 필요한 차세대 슈퍼컴퓨팅 환경 구축, 모델링 시스템 도입, 관련 인력양성 등에 대한 지속적 지원이 요구된다.

③ 기후예측 관련 기술 변화 모니터링 및 정확도 제고에 필요한 요소기술 파악

선진연구기관 및 민간기업에서 계절예측모형의 효율화, 물리모수화, 다양한 전/후처리 등에 기계학습 방법론을 적극적으로 활용하는 방안을 마련하고, 지구시스템모델링 관련 최신 모델링기술, 최신 초기화기술, 최신 후처리기술 등 정확도 향상에 필요한 세부기술을 향상, 개발한다.

④ 지구시스템 예측체계 수립

동아시아 지역의 장기예보 모델링 시스템을 개발하고, 동아시아 지역의 장기예보 관련 다양한 지수를 생산하고 모니터링하면서 주변 수요자에게 서비스할 수 있는 기후 정보 서비스 시스템을 개발한다.

[그림 5-1] 세계 현업 예측 수행 기관들의 중장기 전략상의 공통 기후예측시스템 개발 전략의 모식도



자료: 이명인(2021, p.262)

45) 이명인 세미나 자료(2021년)

## 제 2 절 활용도 제고 방안

### 1. 장기예보 활용현황 및 생산기관별 역할

장기예보의 기대 사항을 반영한 활용도 제고 방안 도출에 앞서 먼저 장기예보 수요 관련 이해관계자(국민, 기업, 유관기관)별 활용현황(목적, 예보기간, 전달방식)을 파악하고, 향후 기대사항 및 요구 예측정보, 그에 따른 장기예보 생산기관별(기상청, 전문기관, 민간기상업) 역할을 분석하였다.

#### ① 장기예보 활용목적, 제공 기간 및 전달방식에 대한 비교

기존 문헌, 인터뷰, 국내외 사례조사 등을 종합적으로 분석하여 도출된 장기예보 활용현황의 내용을 살펴보면, 국민, 기업, 유관기관별 장기예보 활용 목적, 관심 예측기간에 차이가 존재함을 확인할 수 있다. 일반 국민들은 장기예보를 통해 일상생활에 대한 이해와 준비에 활용하고자 하며, 기업과 유관기관은 의사결정을 위한 지원 또는 참고자료로 주로 활용하고 있는 것으로 나타났다.

[그림 5-2] 이해관계자별 장기예보의 활용목적, 관심 정보 및 전달방식 비교

	국민	기업	유관기관
장기예보 활용 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 일상생활 관련 제품 구매 의사 결정</li> <li>② 여행레저 관련 의사결정</li> <li>③ 농업 관련 의사 결정</li> <li>④ 재해 대비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 원자재 및 제품, 서비스 관련 투자, 판매 의사결정</li> <li>② 재무 관련 리스크 관리</li> <li>③ 재해 리스크 관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 농림수산 관련 자원관리 의사결정</li> <li>② 에너지 수급 및 서비스 의사결정</li> <li>③ 신재생에너지 투자 의사결정</li> <li>④ 재해 리스크 관리</li> </ul>
관심 예측 기간	월, 계절 중심	2주, 월, 계절, 연 중심	월, 계절, 연 중심
서비스 형태	스토리텔링	기본정보 및 근거자료 제공 의사결정 지원	

자료: 저자 작성

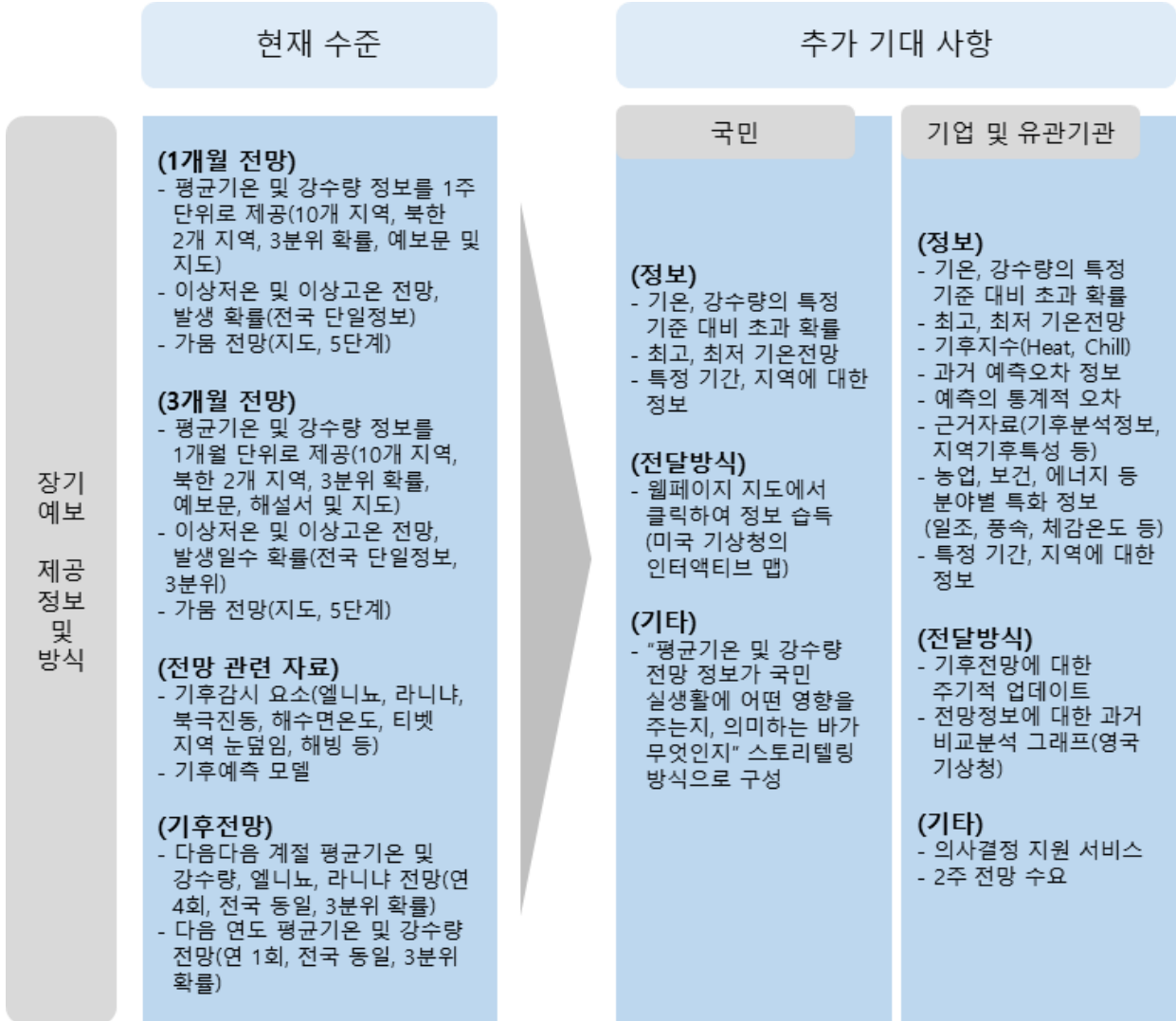
#### ② 장기예보에 대한 기대 사항

현재 제공되는 장기예보 정보(1개월, 3개월 전망, 전망 관련 자료, 기후전망 등), 서비스 방식과 비교하여 국민, 기업 및 유관기관이 향후 추가적으로 기대하는 사항을 정리하여 아래 그림에 제시했다. 국민의 경우 현재 수준 대비 항목별, 지역별로 보다 세분화된 정보를 기대하고 있으며, 전망 정보가 실생활에 어떤 의미를 지니는지 보다 명확하게 파악할 수 있도록 스토리텔링 방식의 예보 전달을 기대하고 있다. 또한, 기업 및 유관기관의 경우 세분화된 추가정보와



함께 전망정보에 대한 과거 비교분석 그래프 등을 기대하고 있다.

[그림 5-3] 장기예보에 대한 이해관계자별 기대사항 전망



자료: 저자 작성

### ③ 장기예보 정보의 특성 및 생산 영역

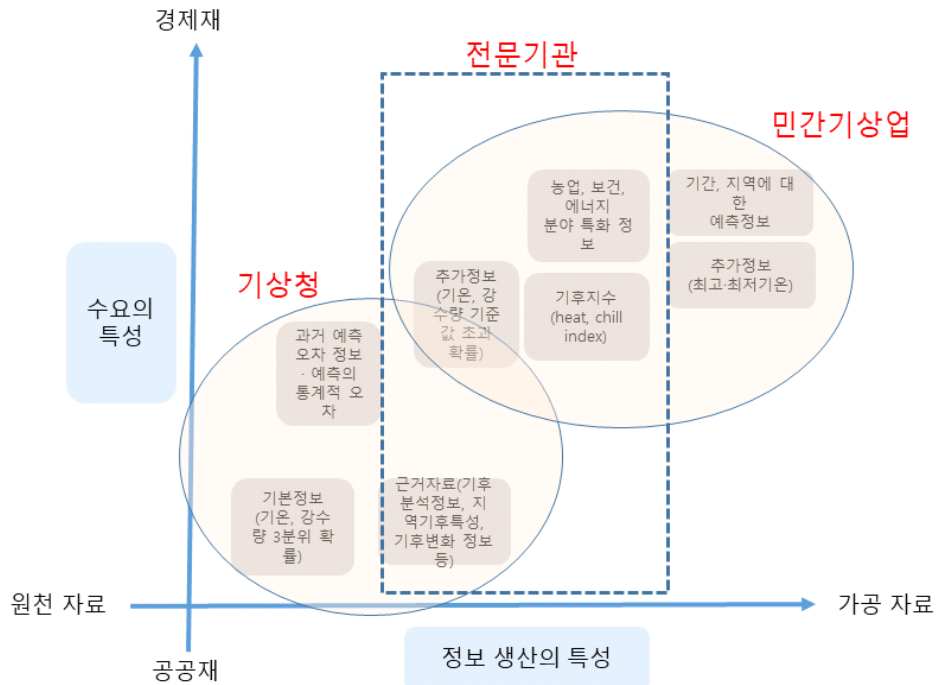
장기예보 정보의 생산, 가공, 서비스 측면에서 기상청, 전문기관, 민간기상업의 역할을 구분하기 위해 [그림 5-4]와 같이 수요의 특성 및 정보 생산의 특성 2가지 측면에서 고려하여 나타내었다. 2가지 측면에 대한 구분 및 상세 내용은 아래와 같다.

- 수요의 특성: 정보가 지니는 가치의 성격에 따라 공공재적 특성인지, 경제재적 특성인지로 구분된다. 공공재 정보라 함은 공공의 목적, 공익에 필요한 정보이며, 경제재 정보는 공공성 보다는 경제적 가치를 지닌 정보로 추가 작업을 통해 부가가치 창출이 가능한 정보를 일컫는다.
- 생산의 특성: 활용하는 자료의 성격, 즉, 원천 자료를 중심으로 활용하는지, 가공 자료를

중점적으로 활용하는 지에 따라 구분된다. 기본적으로 장기예보를 위해 사용되는 모든 자료는 과학적 근거에 기반하여 생산되지만, 추가적인 가공과 기술적 분석을 통해 2차, 3차 자료가 생산되고 있다. 따라서, 원천 자료는 기후과학 지식, 모델 등 과학적 활동을 통해 1차적으로 생산되는 정보이며, 가공 자료는 별도의 모형, 도구 등을 활용하여 2차적으로 재해석, 특정 목적 및 특정 분야에 활용될 수 있도록 가공된 정보를 포함한다.

이를 바탕으로 기상청, 전문기관, 민간기상업 간 고유 역할을 구분하여 보면, 공공재이면서 원천 자료에 기반한 정보는 국가기관인 기상청에서 생산·공급하고, 경제재이면서 가공 자료에 근거한 정보는 민간기상업 분야에서 담당하는 것이 타당한 것으로 사료된다. 또한, 기상청과 민간기상업 사이에서 APCC와 같은 전문기관이 공공재와 경제재의 중간 매개역할을 수행하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

[그림 5-4] 수요 및 정보 생산의 특성에 따른 기관별 역할 구분



자료: 저자 작성

## 2. 장기예보 활용도를 제고하기 위한 추진 과제

위 분석결과를 바탕으로 장기예보 활용도를 제고하기 위한 추진 과제로서, 아래와 같이 4개 핵심 과제를 제안하고자 한다.

### ① 객관적 예측 생산 및 이원화된 전달방식

대 국민 서비스는 예보문에 향후 기온과 강수량 전망을 하되, 과거와 어떻게 다른지, 국민



삶에 어떤 영향을 미치고, 무엇을 준비해야 하는지, 어떤 방법을 통해 전망치가 도출되었는지 등을 일반인의 언어로 이해하기 쉽게 기술함으로써, 스토리텔링 방식으로 전달한다. 또한, 수요자가 의사결정 과정에 활용할 수 있도록 기업 및 유관기관 대상으로는 근거자료와 과거 예측오차 정보를 함께 제공한다. 장기예보는 예보관의 경험이 축적되는 과정이 오래 걸리는 한계점이 존재하므로, 모델, 시스템을 통해 도출된 결과를 객관적으로 전달하는 방식을 활용한다.<sup>46)</sup> 또한, 예보관의 주관적 견해가 배제된 객관적 분석결과를 기반으로 예측에 대한 근거와 논리 제공이 필요하며, 이를 바탕으로 예보문 및 해설문을 작성할 필요가 있다.

### ② Co-production 체계 마련

공공과 민간의 협력을 통한 다양한 장기예보 정보 생산을 목표로 협력체계를 수립하여야 한다. 민간 기상업의 역할을 확대하고 연구개발 투자를 지원함으로써, 새로운 장기예보 정보 생산 과정을 지원한다. 또한, 전문기관을 활용하여 기술개발 성과를 민간으로 이전, 활성화하며, 수요자 맞춤형 정보 제공 및 다양한 지수 개발을 추진하여야 한다. 특히, 미국 유타대학 기후센터의 역전현상 예측 사례와 같이 지방 기상청, 해당 지역 대학, 기업 간 파트너십(Public-Private Partnership, PPP)을 구축하여 특정지역에 특화된 정보를 제공하여야 할 것이다.

### ③ 성공사례 확산

장기예보 정보의 생산과 수요를 연계하는 PPP 협력을 통한 성공사례를 창출, 공유, 확산(IRI의 Map Room<sup>47)</sup>)할 필요가 있다. 관련 정보를 지속적으로 구축하고 성과 관리체계를 마련하되, 수요를 발굴하고 투자가 확대되는 선순환구조를 만들어야 한다. 또한, 사용자 피드백 체계를 활용하여 생산자 및 수요자간 이해를 증진하고, 수요자의 경험, 데이터, 특성 등 고려한 기존 사례 연구, 공유를 통해 불확실성을 감안한 활용도 제고에 기여가 가능할 것이다.

### ④ 전문기관 활용 활성화

장기예보 정확도 향상을 위한 노력으로써 APCC와 같은 전문기관이 R20 과정에서의 검증과정 수행하도록 함으로써, 연구개발 투자 성과를 현업으로 연결하여 활성화하도록 하여야 한다. 또한, 각 분야별 요구되는 시/공간 해상도에 맞게 장기예보 정보를 생산할 수 있는 예측체계 구축 연구개발을 수행할 필요가 있다. 적절한 전문기관을 지정하여 장기예보 생산, 전달 및 활용 등 단계별로 관련된 연구자, 조직, 기관 등 역량 강화 프로그램의 개발 및 시행 또한 요구된다.

46) WMO(2020). Guidances on operational practices for objective seasonal forecasting

47) <https://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/index.html?Set-Language=es>

## 제6장

장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구

### 결론







## 제6장 결론

본 연구는 장기예보의 정확도와 서비스체계의 개선방향을 설정하는 것을 주요 목적으로 한다. 주요 국가들이 향후 1개월에서 3개월 범위에 해당하는 평균기온, 강수량 등을 전망하여 발표하고 있지만, 현실적으로 정확도는 높지 않은 편이다. 보통 2주 이상 기간에 대한 전망은 정확도를 높이는데 있어서 과학적 한계를 지니고 있기 때문에 장기예보의 정확도를 높이는 것은 매우 어려운 일이다. 이와 같이 장기예보의 정확도가 수요자의 기대 수준에 미치지 못하기 때문에 장기예보를 실제로 활용하는 경우도 제한적인 것으로 보인다. 국민들은 장기예보에 관심을 가지고 있긴 하지만, 그 보다는 기상정보, 이상기후 등 단기예보에 더 큰 관심을 표출하곤 한다. 기업이나 유관기관도 주요 의사결정 과정에서 장기예보를 활용하고 있지만 아직은 광범위한 활용 단계에까지 이르지 못하는 것으로 판단된다.

장기예보가 지니고 있는 과학적 의미와 사회·경제적 가치가 매우 큼에도 불구하고 장기예보에 대한 사회적 인식은 높지 않은 상황이다. 장기예보의 존재여부, 의미, 활용방식 등에 대해 지식이 부족하고 관련된 전문인력도 많지 않다보니, 자연스럽게 장기예보를 활용하는 것도 어려워지고 있다.

따라서 본 연구에서는 장기예보의 정확도를 향상하고 활용도를 제고하기 위해 어떤 방향으로 개선해야 하는지를 제안했다. 우선 장기예보를 공급과 수요 측면으로 구분하여 주요 국가, 기관 및 기구, 기업 등에서의 장기예보 관련 현황을 조사 분석했다. 우선 장기예보의 공급 측면에서 보면, 한국, 미국, 영국, 일본, 중국, ECMWF 등 주요 국가에서 장기예보 관련 조직, 정책, 전략 등을 조사하여 비교분석한 결과, 예측역량을 강화하고 장기예보 정확도를 향상하기 위한 연구개발을 수행하고 정보품질 개선, 서비스 선진화, 민간과의 파트너십 강화 등을 제시하고 있다. 그리고 위 국가들은 1개월, 3개월 장기예보를 통해 평균기온, 강수량, 가뭄 등에 대한 정보를 제공하고 있으며, 추가적으로 전망 관련 자료와 기후전망 서비스를 전달하고 있다. 각 국가마다 차이는 있지만 지도, 예보문, 설명문 등 자료를 활용하며 미국은 인터랙티브 맵을 통해 보다 효과적인 방식으로 정보를 전달하고 있다. 한국은 선진국과 비슷한 수준의 정보를 전달하고 있는데, 사용자 입장에서 보았을 때, 다소 이해하기 어려운 예보문과 해설서를 제공하고 있으며 미국처럼 상호작용이 가능한 지도를 제공하지는 않고 있다. 또한 미국은 장기예보와 함께 과거 전망자료와 실제 관측치 정보를 함께 제공하여 사용자가 참고하여 사용할 수 있게 서비스 하고 있다.

장기예보의 수요 측면에서 보면, 다음과 같은 활용특징을 도출할 수 있다. 장기예보의 주요 수요자는 기업, 유관기관이다. 이들은 확률방식으로 제공되는 장기예보를 직접 활용하기 보다는 미래의 기후가 기업의 매출, 이익, 원료수급에 어떤 영향을 미치는지, 에너지 생산과 수요가 어떻게 변화할지, 파종을 언제 할지, 가뭄이나 홍수에 대한 위험 관리 등 다양한 의사결정 과정에서 활용하고 있다. 즉 장기예보를 기본으로 하여 추가적인 가공과 분석을 통해 의사결정에 도움이 되는 정보를 창출하는 것이다. 대표적인 사례로서 유럽의 EUPORIAS, SECLI-FIRM, 태평양 지역에서의 Red Cross 등이 있으며, 모두 정보 생산자와 수요자가 함께 고민하여 수요자의 의사결정과 위험감소 과정에 장기예보를 활용하고 있는 것으로 나타났다.

최근에는 장기예보 정보와 디지털기술을 활용하여 산업별로 의사결정에 필요한 정보를 제



공하는 서비스 기업들이 활발하게 활동하고 있다. 미국의 The weather company, Accuweather 등 기업은 산업별로 맞춤형 솔루션 및 상품을 제공하는데, 빅데이터, 플랫폼, 사용자 위치 기반, 클라우드, IoT, 인공지능 등 디지털기술들을 대부분 활용하고 있다. 국내에서는 The weather company, S Fractum, ST Logic 등 기업들이 함께 날씨 정보를 활용한 수요예측 프로토콜을 구성하여 비즈니스 모델을 개발해서 서비스하고 있다. 이와 같이 날씨 정보와 디지털 기술 또는 다른 분야의 기술간 융합을 통한 서비스 모델은 장기예보 정보 생산보다는 활용분야를 개발하고 확대하는 방향으로 이루어지고 있다. 디지털기술 활용 서비스는 향후 성장가능성은 높지만 아직 비즈니스 모델에 대한 검증이 필요하다고 본다. 현재도 자료동화, 모델링, 후처리 등 단계별로 머신러닝 기술을 적용하는 사례들이 있지만 장기예보 생산 분야에서의 활용을 위해서는 오랜 기간의 데이터가 축적이 되어야 할 것이다.

기후과학 분야에서 장기예보의 정확도를 향상하기 위해 연구개발사업을 수행하고 있는 가운데, 장기예보 정확도 향상과 관련있는 국내외 과학기술 환경 변화를 주목해야 한다. 미국, 유럽 등 선진국의 지구시스템 모델 개발계획, 지구시스템 모델 구현을 위한 슈퍼컴퓨팅 기술 현황, 모델 기반의 기술개발을 통한 정확도 향상 노력 등을 고려하여 장기예보 정확도 향상을 위한 전략은 다음과 같이 도출된다. 첫째, 장기예보 정확도에 영향을 미치는 핵심역량 중 기후감시·분석 능력을 강화해야 한다. 둘째, 기후예측시스템 역량을 제고하기 위해 기후예측시스템 모델특성 분석, 모델 관련 부서간 환류체계를 강화한다. 셋째, 역학모델과 통계모델의 한계를 극복하기 위해 오차 보정 및 기계학습모델 개선·적용을 확대한다. 마지막으로 장기예보관의 역량을 강화하고 인력을 확대한다.

장기예보를 활용하는 일반국민, 기업, 유관기관 등 수요자는 장기예보 활용목적이나 제공받고자 하는 정보와 서비스 형태 등에 있어 차이를 보인다. 기존 국내외 문헌, 기업 및 전문가 인터뷰, 국내외 사례조사 등을 통해 도출한 바에 따르면 국민은 장기예보를 통해 일상생활에 대한 이해와 준비에 활용하고자 하며, 기업과 유관기관은 의사결정을 위한 지원 또는 참고자료로 활용하고자 하는 경향이 있다. 또한 국민에게 무미건조한 예보문 형식보다는 일상생활에 대한 영향을 부드럽게 서술하는 스토리텔링 방식의 서비스를 제공한다면 장기예보에 대한 이해와 활용이 높아질 것이다.

현재 기상청이 제공하는 장기예보(1개월 및 3개월의 평균기온, 강수량, 이상저온 및 이상고온, 가뭄, 전망관련 자료, 기후전망 등)와 전달하는 방식(3분위 확률 기반의 예보문, 해설서 및 지도)은 선진국과 비교했을 때, 정보가 부족하거나 활용하는 데 있어서 불편하다고 할 수 없다. 현재의 과학기술 범위에서 제공가능한 정보들로서 충분하다. 하지만 수요자 입장에서는 활용도를 높이기 위해서 추가적으로 다음과 같은 정보들이 제공되기를 바라는 것으로 도출되었다. 기온, 강수량의 특정 기준 대비 초과 확률, 최고·최저 기온 전망, 특정 기간 및 지역에 대한 정보, 기후지수, 과거 예측에 대한 오차 등을 제시할 수 있다. 미국 기상청에서 제공하는 것처럼 웹페이지에서 지도를 클릭하여 정보를 습득하는 방식이 필요한 것으로 나타났다.

하지만 수요자가 원하는 추가정보를 생산하여 제공하기 위해서는 기초·원천 자료를 가지고 고서 별도의 모형, 도구 등을 활용하여 추가적인 분석과 가공작업이 수반되어야 하며, 그 정보의 정확도는 담보하기가 어려운 한계점이 존재한다. 따라서 기상청과 같은 국가기관에서 생산하기 보다는 수요자 요구에 특화된 형태로 민간분야에서 담당하는 것이 효율적이라고 판단한

다. 기상청이 현재 제공하고 있는 장기예보 정보는 공공의 목적, 공익에 필요한 정보로서 공공재적인 성격을 지니고 있다. 반면 수요자가 요구하는 정보는 정확도를 확보하기는 어렵지만 경제적으로 부가가치를 창출할 수 있는 경제재적인 성격을 가지고 있다. 따라서 정보의 특성을 고려하여 기상청과 민간기상업이 역할을 구분하고 기상청은 민간기상업이 경쟁력을 확보할 수 있도록 제도적, 재정적 지원을 마련할 필요가 있다.

마지막으로 장기예보 활용도를 제고하기 위해 4가지 방안을 제안한다. 첫째, 객관적 예측에 기반한 정보생산과 이원화된 전달방식이 필요하다. 둘째, 공공과 민간의 협력을 통해 다양한 정보를 생산·전달할 수 있는 Co-production 체계를 마련해야 한다. 셋째, 민관 협력을 통한 성공사례를 창출하고 공유 및 확산할 수 있는 플랫폼이 필요하다. 넷째, APCC와 같은 전문기관의 활용을 활성화해야 한다.



장기예보 정확도 및 서비스 체계 개선 방향 설정을 위한 정책연구

## 참고문헌







## 참고문헌

### 1. 국내 문헌

- 기상청 기후예측과(2021), 「장기예보 정확도 향상 방안(안)」
- 기상청 기후정책과(2020), 「장기예보 정확도 및 서비스 개선을 위한 TF 운영 결과 보고」
- 기상청(2010), 「기후변화대응 역량 강화를 위한 기후업무 발전 종합계획」
- \_\_\_\_\_ (2015a), 「기후변화대응 역량 강화를 위한 제2차 기후업무 발전 종합계획」
- \_\_\_\_\_ (2015b), 「장기예보 역량진단평가를 통한 정확도 향상방안 연구」 박환일 외(2017)에서 재인용
- \_\_\_\_\_ (2020a), 「제3차 기후업무발전 기본계획(\* 17~' 21) 수정계획」
- \_\_\_\_\_ (2020b), 「차세대 기후예측정보 활용성 강화를 위한 사전조사」
- \_\_\_\_\_ (2020c), 「2021년도 기상청 소관 세입세출 예산안 개요」
- \_\_\_\_\_ (2020d), 「제3차 기후업무발전 기본계획(\* 17~' 21) 수정계획」
- 기상청·와이즈포스트(2020), 「중장기 기상업무 발전방안 연구」
- 삼정KPMG(2021). ESG의 부상, 기업은 무엇을 준비해야 하는가?. Samjong INSIGHT(74)
- The Weather Company(2020), 「날씨 정보를 활용한 수요예측 및 Business 활용」
- 이명인(2021), 「향후 10년내 과학기술 발전에 따른 장기예보 정확도 향상가능성 진단」 ,  
과학기술정책연구원.
- 한국기상산업기술원(2021), 「해외 기상서비스 기업현황 조사 보고서」 .
- 홍현철 외(2013), 「장기예보에 대한 수요특성 분석」 , 기후연구 제8권 제2호, 박환일 외(2017)에서 재인용

### 2. 국외문헌

- ECMWF(2016), “ECWFM Strategy 2016-2025: The Strength of a Common Goal”
- ENAV S.p.A.(2020), “Corporate Brochure” .
- ICAO & ENAV(2019), “ITALIAN PLANNING FOR IMPLEMENTATION OF IWXXM FORMAT”
- WEF(2021), “The Global Risks Report 2021-16th Edition”
- Soares, M. B., & Dessai, S. (2016), “Barriers and enablers to the use of seasonal climate forecasts amongst organisations in Europe.” , Climatic Change, 137(1), 89-103.
- NOAA’ s National Weather Service, “2019-2022 Strategic Plan in brief”
- Met Office(2019), “Annual Report and Accounts”

### 3. 기타(온라인자료)



기상청 기후정보포털 (2019.7.29.), 「카드뉴스 장기예보의 이해」 ,  
<http://www.climate.go.kr/home/bbs/view.php?code=11&bname=notice&vcode=6300&skind=&sword=&category1=&category2=> (검색일: 2021.3.31.)

\_\_\_\_\_, 「기상청 정책」 , <http://www.climate.go.kr/home/policy/policy1.php> (검색일: 2021.4.21.)

기상청 홈페이지, 「3개월 전망 해설서」 ,  
<https://www.weather.go.kr/w/weather/long-term/month3-guide.do> (검색일: 2021.8.9.)

\_\_\_\_\_, 「예보 용어보기(기후전망·장기예보)」 ,  
[http://www.weather.go.kr/HELP/html/help\\_fct004.jsp](http://www.weather.go.kr/HELP/html/help_fct004.jsp) (검색일: 2021.3.31.)

동아사이언스(2020.10.12.), 「기상청장 “기상망명족 등장은 국민 기대 못미친 결과 “」 ,  
<http://dongascience.donga.com/news.php?idx=40545> (검색일: 2021.3.31.)

미국 기상청 홈페이지, <http://www.weather.gov> (검색일: 2021.3.29.)

미국 기후예측센터 홈페이지, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (검색일: 2021.3.29.)

신아일보(2009.10.21.) 「기상청, 장기예보 더 상세해진다」 ,  
<http://www.shinailbo.co.kr/news/articleView.html?idxno=150559>, (검색일: 2021.3.31.)

영국 기상청 홈페이지, <https://www.metoffice.gov.uk> (검색일: 2021.8.9.)

유럽중기기상예보센터 홈페이지, <https://www.ecmwf.int> (검색일: 2021.4.2.)

일본 기상청 홈페이지, 「気候リスク管理技術に関する調査(清涼飲料分野)」 ,  
[https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/taio\\_drink.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/taio_drink.html), (검색일: 2021.06.08.)

\_\_\_\_\_, 「全国の季節予報」 , <https://www.jma.go.jp/bosai/season/>, (검색일: 2021.8.9.)

\_\_\_\_\_, 「全国 3か月予報」 , <https://www.jma.go.jp/bosai/season/#term=3month>,  
 (검색일: 2021.8.9.)

\_\_\_\_\_, 「気象情報を活用して気候の影響を軽減してみませんか?」 ,  
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/index.html>, (검색일: 2021.06.08.)

중국 기상국 홈페이지, 「Development Strategies」 , <http://www.cma.gov.cn/en2014/aboutcma/>, (검색일: 2021.5.20.)

중국 베이징 기후센터 홈페이지, <http://bcc.ncc-cma.net>

AccuWeather(2019. 7. 2.), “Long-range weather forecasts you can rely on again and again and...” ,  
<https://www.accuweather.com/en/weather-blogs/realimpactofweatherwithdrjoelmyers/long-range-weather-forecasts-you-can-rely-on-again-and-again-and/329429>, (검색일: 2021.4.7.)

AerisWeather, “About Us” , <https://www.aerisweather.com/about/>, (검색일:2021.5.11.)

\_\_\_\_\_, “Smart Hub Automation” , <https://www.aerisweather.com/industries/smart-home/> ,  
 (검색일:2021.5.11. )

Buontempo(2015). “EUPORIAS-Status of the project” ,  
[http://specs-fp7.eu/sites/default/files/u1/EUPORIAS\\_SPECS\\_2015.pdf](http://specs-fp7.eu/sites/default/files/u1/EUPORIAS_SPECS_2015.pdf), (검색일:2021.5.7.)

ClimaCell(2019. 7. 15.), “Tomorrow.io Launches HyperCast 2.0: A Revolutionary Weather Forecasting Platform Businesses Can Actually Rely On” ,

- <https://www.tomorrow.io/blog/climacell-launches-hypercast-2/> , (검색일: 2021.5.10.)
- DTN(2019. 11. 25.), “MeteoGroup and DTN Join to Build Largest Private Weather Company” ,  
<https://www.dtn.com/meteogroup-and-dtn-join-to-build-largest-private-weather-company/>, (검색일:  
2021.4.13.)
- IBM Korea, 「기업 비즈니스, Weather Signals로 내일도 맑음」 ,  
[https://m.blog.naver.com/PostView.naver?blogId=ibm\\_korea&logNo=221554363147&proxyReferer=http%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://m.blog.naver.com/PostView.naver?blogId=ibm_korea&logNo=221554363147&proxyReferer=http%3A%2F%2Fwww.google.com%2F), (검색일: 2021.6.3.)
- IBM, “The Weather Company, an IBM Business” ,  
<https://www.ibm.com/case-studies/the-weather-company>, (검색일: 2021.4.20.)
- Met Office Hadley Centre (2020.5.25.), “Climate Science Roadmap 2020-2030” ,  
[https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/climate-science/climate-science-roadmap/mohc\\_climatescienceroadmap\\_2020-2030\\_frozen\\_25\\_may\\_2020v2.pdf](https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/climate-science/climate-science-roadmap/mohc_climatescienceroadmap_2020-2030_frozen_25_may_2020v2.pdf),  
(검색일: 2021.5.6.)
- Met Office(연도미상), “Progress in the EUPORIAS project” ,<https://slideplayer.com/slide/12972458/>,  
(검색일: 2021.5.7.)
- SECLI-FIRM, <https://www.secli-firm.eu/> (검색일: 2021.5.18.)
- StormGeo(2016. 5. 19.), “StormGeo Announces GridWatch Service” ,  
<https://www.stormgeo.com/newsroom/stormgeo-announces-gridwatch-service/>, (검색일: 2021.5.14.)
- StormGeo, “StormGeo Launches River Monitoring and Alerting Solution” ,  
<https://www.stormgeo.com/newsroom/stormgeo-launches-river-monitoring-and-alerting-solution/#:~:text=StormGeo%20Launches%20River%20Monitoring%20and%20Alerting%20Solution%20%2D%20StormGeo&text=Digital%20publications%20and%20ENCs%20available,easy%2Dto%2Duse%20workflow.&text=Empower%20your%20crew%20with%20on,and%20joint%20onshore%2Fonboard%20decisions>, (검색일:  
2021.5.13.)
- StormGeo, “Who We Are” , <https://www.stormgeo.com/company/who-we-are/>, (검색일: 2021.5.13.)
- TerraWeather, “Offshore Construction” ,  
<http://terra-weather.com/what-we-do.html#OffshoreConstruction>, (검색일: 2021.5.31.)
- TerraWeather, “Oil and Gas” , <http://terra-weather.com/what-we-do.html#OilandGas>, (검색일: 2021.5.31.)
- Understory, “Our mission is to protect vulnerable businesses from the financial impact of climate change.” , <https://understoryweather.com/about>, (검색일: 2021.5.14.)
- Weather Business Consortium, 「気象データの利活用事例集」 ,  
<https://www.wxbc.jp/bizcasestudies/web/00070/>, (검색일: 2021.6.8.)
- Weather Comapny, 「Weather Comapny Data Packages in action」 ,  
<https://www.ibm.com/products/weather-company-data-packages>, (검색일: 2021.4.29.)