

# 동네예보체계 진단 및 발전방향에 관한 정책 연구

(A Study on the Diagnosis and Development Direction of  
the Forecasting System)

2019년도

기 상 청

# 정책연구 최종보고서

과 제 명	국 문	동네예보체계 진단 및 발전방향에 관한 정책 연구		
	영 문	A Study on the Diagnosis and Development Direction of the Forecasting System		
주관연구기관 (공동연구기관)	기 관 명	소 재 지	대 표	
	(주)환경예측연구소	서울	김 중 군	
주관연구책임자 (공동연구책임자)	성 명	소 속	전 공	
	김 중 군	(주)환경예측연구소	대기과학	
총 연구기간 (당해년도)	2019. 4. 26. ~ 10. 26. ( 6 개월 )			
총 연구비 (당해년도)	일금 58,500,000 원 (₩ 58,500,000)			
총 참여연구원 (당해년도)	총 8 명	책임연구원	1 명	
		연구원	4 명	
		연구보조원	3 명	
		보조원	0 명	
연구 주요내용	<p>2019년도 정책연구의 최종보고서를 붙임과 같이 제출합니다.</p> <p style="text-align: right;">붙임 : 최종보고서 30 부.</p> <p style="text-align: center;">2019 년 10 월 26 일</p> <p style="text-align: right;">주관연구책임자      김 중 군    인 주관연구기관장      김 중 군 직인</p> <p style="text-align: center;">기 상 청 장 귀 하</p>			

동네예보체계 진단 및 발전방향에 관한 정책 연구의

최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

2019 년 10 월 26 일

주관연구책임자

김 종 군 인

주관연구기관장

김 종 군 직인

## 제 출 문

본 보고서를 “동네예보체계 진단 및 발전방향에 관한 정책 연구”  
최종보고서로 제출합니다.

- 주관연구기관명 : (주)환경예측연구소
- 연 구 기 간 : 2019.4.26. ~ 10.26.
- 주관연구책임자 : 김 중 군
- 참 여 연 구 원
  - 김지연, 오유리, 이기웅, 장혜영,  
최지희, 김동규, 소지현

**※ 주관연구기관 및 주관연구책임자, 연구원은 실제 연구에 참여한  
기관 및 자의 명의로 함**

2019년 10 월 26 일

기상청장 귀중

# 목 차

제1장 과제의 개요 .....	1
제1절 배경 및 필요성 .....	1
제2절 사업 목적 .....	2
제3절 사업 개요 .....	2
제4절 기대 효과 .....	2
제2장 사업 수행 내용 .....	3
제1절 대내외 동네예보 현황 및 환경 변화 조사 .....	3
제1항 국내·국외 동네예보 현황 및 향후 정책방향 조사 .....	3
가. 기상청의 동네예보 현황 .....	3
나. 국외 주요국의 동네예보 현황 .....	4
다. 국외 민간사업자의 동네예보 현황 .....	11
라. 국외 주요국의 향후 정책방향 .....	20
제2항 기상청 내·외부 기술적·사회적 환경 변화 분석 및 예측 .....	28
가. 수치예보 모델링 기술의 발전 .....	28
나. 수요자의 동네예보 서비스에 대한 인식 변화 .....	29
다. 4차 산업혁명과 새로운 패러다임의 일기예보 .....	36
라. 예보 전달 수단의 변화 .....	52
마. 위험기상에 대한 예보 수요 .....	54
바. 예보관 역할 변화 .....	56
제2절 동네예보 진단 및 개선사항 분석 .....	61
제1항 지난 10년간 동네예보 시행 성과 분석 .....	61
가. 동네예보 초기 계획에 대한 성과 분석 .....	61
나. 동네예보 발전을 위한 기상청의 노력 .....	64
다. 지난 10년간의 예보 정확도 변화 분석 .....	66
제2항 동네예보체계의 구조적·사회적·미래지향적 측면 한계 분석 .....	68
가. 동네예보체계의 구조적 한계 분석 .....	68
나. 동네예보체계의 사회적 한계 분석 .....	77
다. 동네예보체계의 미래지향적 한계 분석 .....	79

제3항 미래 예보체계로의 전환을 위한 현 동네예보체계의 종합적인 개선사항 분석 .....	82
가. 조직/예보관 .....	82
나. 모델/가이던스 .....	82
다. 서비스 .....	83
제3절 전략적인 동네예보 발전 방향 제시 .....	85
제1항 대내외 다양한 환경 변화에 따른 동네예보체계 개선을 위한 전략 .....	85
제2항 4차 산업혁명, 인공지능 연계 등 새로운 패러다임의 동네예보 발전방향 제시 및 새로운 정책 발굴 .....	87
가. 수치예보모델의 해상도 및 예측성 향상 .....	87
나. 인공지능 기반 예보 가이드선 개발 .....	87
다. 수요자 맞춤형 예보전달 서비스 .....	88
라. 동네예보와 특보체계의 유기적 연계 및 효율적 운영방안 .....	90
마. 예보관의 역할 변화 .....	91
제3항 단계적인 발전 로드맵 제시 .....	93
가. 예보 운영체계 발전 방향 .....	93
나. 예보 전달체계 개선 .....	96
다. 예보관 역할 .....	98
<b>제3장 결론 .....</b>	<b>101</b>
<b>제4장 참고문헌 .....</b>	<b>104</b>
<b>첨부. 설문 조사 결과 .....</b>	<b>107</b>

# 제1장 과제의 개요

## 제1절 배경 및 필요성

2008년 10월에 처음 동네예보가 시행된 이후 10년이 지나오면서 내·외부 환경이 다양하게 변화하였다. 이에 따라 이를 반영한 새로운 패러다임의 예보체계를 설계하고 개발해야하는 필요성이 증대되고 있다.

주요 선진국들은 다양한 예보 서비스를 발굴하고 제공하여 수요자의 만족도를 높여왔다. 해외 기관 및 민간기상업체들이 제공하는 예측정보를 인터넷, 어플리케이션 등을 통해 국민들이 접할 수 있게 되었으며, 많은 국민이 미국의 weather underground나 유럽의 windy 등의 날씨 어플리케이션을 활용하고 있다. 이러한 날씨 어플리케이션은 많은 사용자 친화적인 서비스를 제공하고 있고 사용자들은 이에 만족하고 있다.

4차 산업혁명 및 인공지능 기술로 예보 패러다임 또한 변화하고 있다. 디지털 예보를 도입한 주요 선진국은 이미 4차 산업혁명시대 이전부터 예보의 패러다임을 전환하고, 1시간 간격의 객관예보를 24시간에서 3일까지 제공하고 있다. 미국 IBM 등 세계적인 기업들에서 기상예측 및 서비스 분야에 대해 인공지능 기술의 도입을 시도하고 있으며 성과를 보이고 있다.

기상청의 전산능력과 수치예보모델의 예측성능이 향상되고, 조밀해진 관측망 등을 활용하여 상세한 예보를 생산하여 제공할 수 있는 기반이 마련되어 있으나, 동네예보체계와 서비스는 초기 도입단계의 구성에서 크게 달라지지 않았다.

고품질의 예·특보 서비스를 국민과 유관기관에 제공하기 위하여 현 동네예보를 상세하게 분석 및 진단하고 향후 추진 전략과 목표, 로드맵 등 발전방안에 대한 내실 있는 정책 수립을 통해 동네예보 체계 개선에 대한 예보정책 추진의 동력을 확보할 필요가 있다.

## 제2절 사업 목적

현 동네예보에 대하여 상세히 분석 및 진단하고 향후 추진전략과 목표, 로드맵 등 발전방안에 대한 정책을 수립한다.

## 제3절 사업 개요

- 사업명 : 동네예보체계 진단 및 발전방향에 관한 정책 연구
- 사업기간 : 2019.4.26. ~ 10.26.
- 사업범위
  - 대내외 동네예보 현황 및 환경 변화 조사
  - 동네예보 진단 및 개선사항 분석
  - 전략적인 동네예보 발전 방향 제시

## 제4절 기대 효과

국내외 동네예보 현황조사를 통해 현재 동네예보에 대하여 상세히 분석 및 진단하고, 10년 전과 비교하여 향상된 과학기술과 대내외적인 환경변화에 따라 동네예보의 개선사항을 도출한다. 또한 이러한 개선사항을 반영한 동네예보의 발전 방향과 단계별 로드맵 등을 제시하여 내실 있는 정책수립과 예보정책의 추진 동력을 확보하기 위한 기초자료를 제공한다.

# 제2장 사업 수행 내용

## 제1절 대내외 동네예보 현황 및 환경 변화 조사

### 제1항 국내·국외 동네예보 현황 및 향후 정책방향 조사

#### 가. 기상청의 동네예보 현황

현재 기상청 동네예보는 관측 자료 및 수치예보모델의 예측 결과를 기반으로 전국을 5km 공간해상도의 격자로 나눈 뒤 남한 육지 영역을 4,438개의 격자, 3,584개 읍·면·동의 날씨예측정보에 대해 예보관이 편집한 후 동네예보로써 제공하고 있다.

시간별 예보에서 읍·면·동을 선택하거나 도로명을 조회하여 동네를 선택할 수 있고, 3시간 간격으로 최대 72시간의 날씨, 강수확률, 강수량, 최저·최고 기온, 기온, 풍향, 풍속, 습도 정보 등 9개의 요소가 문자와 아이콘으로 표시된다. 위치별 예보에서는 12개의 요소를 지도로 나타내고 있고, 지도에 선택한 위·경도의 동네예보를 보여준다. 기상청 날씨누리 홈페이지의 서비스 화면과 내용은 그림 2.1.1과 같다.

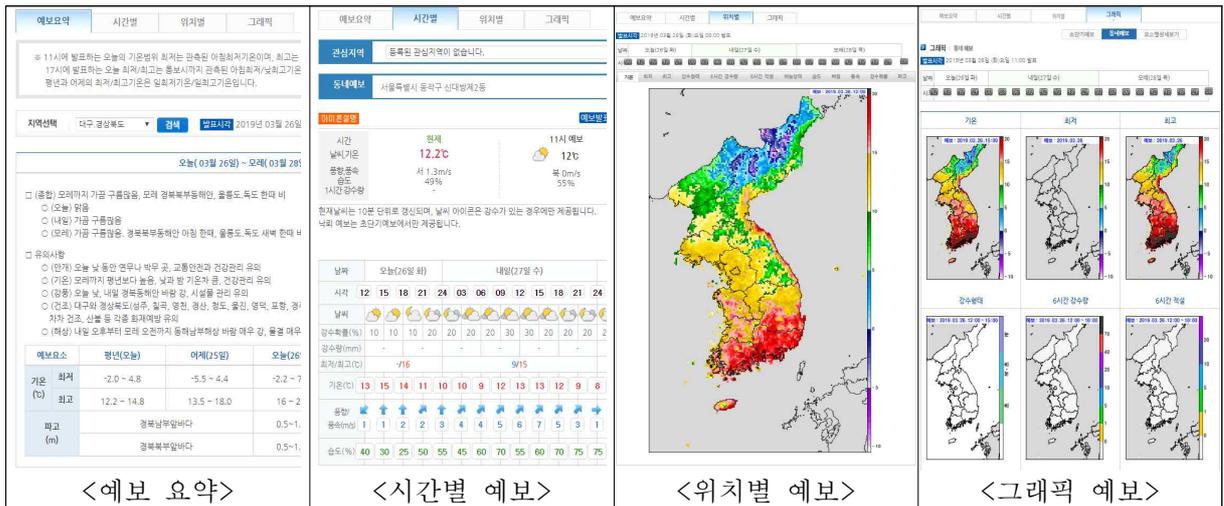


그림 2.1.1 기상청 날씨누리 홈페이지 동네예보

## 나. 국외 주요국의 동네예보 현황

### 1) 미국

미국 기상청(NWS)에서는 NDFD(National Digital Forecast Database) 자료를 이용하여 해양과 알래스카 등 일부지역을 제외한 미국 대륙에 대해 2.5km 격자로 최고기온, 최저기온, 강수확률, 날씨형태, 위험기상, 기온, 이슬점온도, 풍향/풍속, 돌풍, 하늘상태, 강수량, 적설량, 파고, 상대습도 등의 요소를 그래픽 예보로 제공한다(표 2.1.1).

미국 전역 지도에서 지역 및 특정 도시를 선택하면 주요 기상요소와 위치정보, 7일 예보 요약(Day by Day), 시간별 예보(Hourly Graph, Tabular Graph), Forecast Discussion 등을 제공한다(그림 2.1.2). 7일 예보 요약은 7일간의 예보를 간단한 이미지와 함께 텍스트 형식으로 제공하고, 시간별 예보는 1시간 간격의 7일 예보를 시계열 그래프와 표 형식으로 제공한다.

표 2.1.1 미국의 그래픽 예보 요약 (NWS, 2019)

구분	설명
예보요소	기온(최고/최저 포함)이슬점온도, 강수확률, 하늘덮임, 적설량, 이슬점온도, 풍향/풍속, 날씨상태, 돌풍, 상대습도(최고/최저 포함) 등
공간해상도	2.5 x 2.5 km (알래스카 6km, 해양 10km)
예보간격	3시간(~72시간), 6시간(~168시간)
예보기간	168시간
업데이트 간격	1일 2회

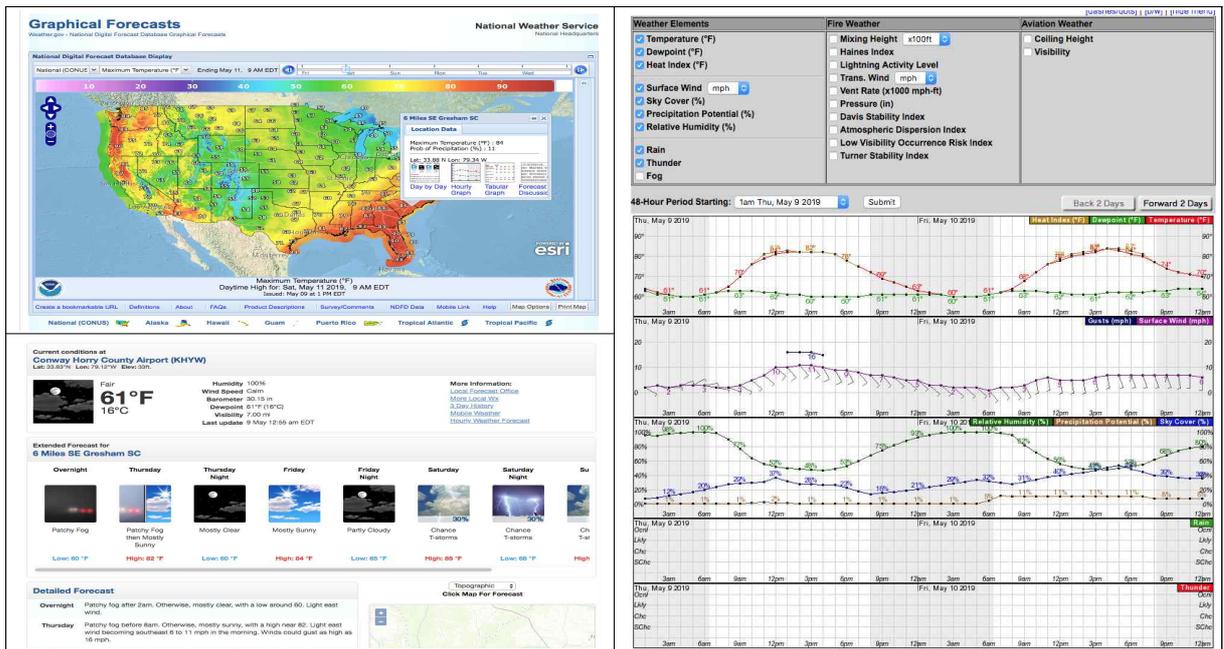


그림 2.1.2 미국 기상청 단기예보 서비스 화면(좌상:그래픽 예보, 좌하:7일 예보, 우:시간별 예보)

## 2) 일본

일본 기상청(JMA)에서는 GSM(The Global Spectral Model)자료를 이용하며, 20km 격자로 날씨, 바람, 최고/최저 기온, 강수 확률, 강수 및 강설량 등의 요소를 24시간까지 3시간 간격의 그래픽과 텍스트 예보 형태로 제공한다.

일본 전역 지도에서 지역 및 특정 도시를 선택하면 해당 도시에 대한 일일예보(Daily Forecasts), 3시간 예보(Distribution/Three-hourly Forecasts), 1주 예보(One-Week Forecasts)를 제공한다. 일일예보는 향후 2일간의 예보를 간단한 이미지 및 텍스트 형식으로 제공하고, 3시간 예보는 3시간 간격의 24시간 예보를 시계열 그래프와 표 형식으로 제공한다(표 2.1.2). 1주 예보는 1일 간격의 7일 예보를 표 형식으로 제공하며, 강수의 경우 15분 간격 공간해상도 250m의 초고해상도 강수 나우캐스트와 6시간까지 1시간 간격의 1km 공간해상도인 강수 단시간 예보 서비스를 제공하고 있다(그림 2.1.3).

표 2.1.2 일본 JMA 3시간 예보 요약

구분	설명
예보요소	날씨, 바람, 최고/최저 기온, 강수 확률, 강수 및 강설량 등의 요소
공간해상도	20 × 20 km
예보간격	3시간 간격
예보기간	24시간
업데이트 간격	1일 3회(05, 11, 17 JST)

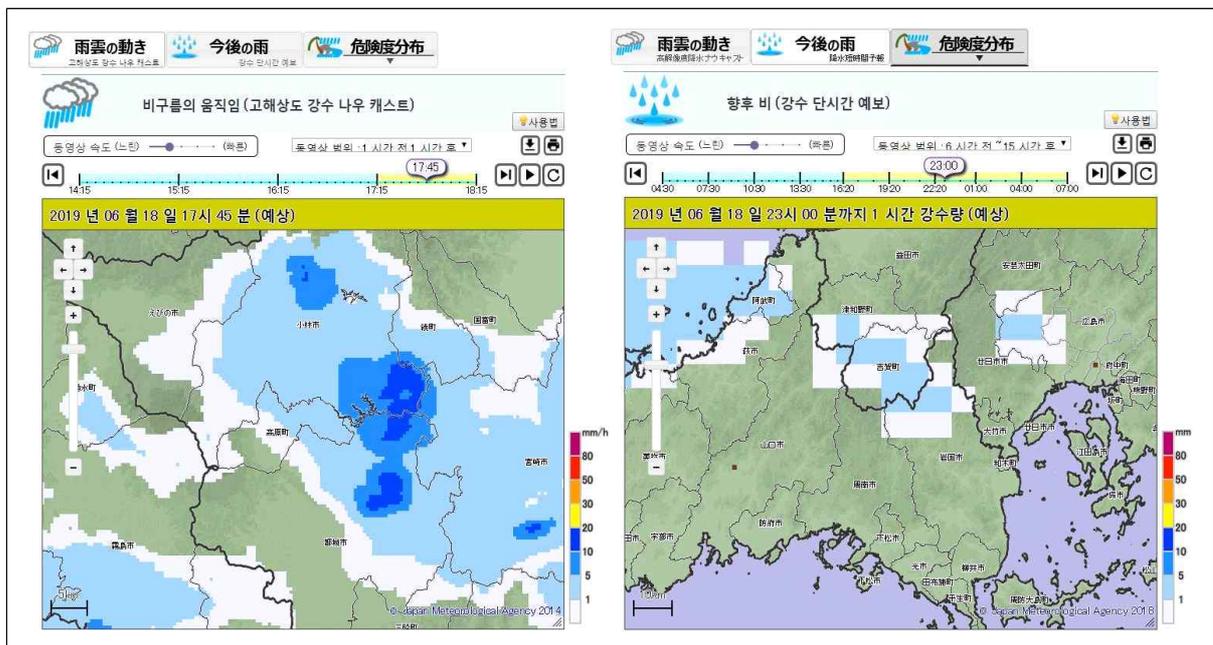


그림 2.1.3 일본 기상청 단기 강수예보 서비스 화면

### 3) 호주

호주 기상청(The Bureau of Meteorology)에서는 ADFD(Australian Digital Forecast Database)의 자료를 이용하여 3 × 3 km(면적이 넓은 주는 6 x 6 km) 격자로 강수, 바람, 파고, 기온, 날씨형태, 습도, UV 인덱스 등의 요소를 그래픽 및 텍스트 예보 형태로 제공한다(표 2.1.3).

호주 전역 지도에서 지역 및 특정 도시를 선택하면 해당 도시에 대한 상세 3시간 예보(Detailed 3-hourly Forecast), 7일 예보(Extended Forecast (7-day)) 등을 제공한다(그림 2.1.4). 상세 3시간 예보는 향후 7일 동안의 예보를 간단한 이미지 및 표 형식으로 제공하고, 15일 예보는 1일 간격의 15일 예보를 시계열 그래프 형식으로 제공하며, 40일 예보는 1일 간격의 40일 예보를 표 형식으로 제공한다.

표 2.1.3 호주의 그래픽 예보(MetEye, 온라인 그래픽 예보 가시화 시스템) 요약

구분	설명
예보요소	강수확률, 풍향, 풍속, 파고, 기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 이슬점온도, uv index, 날씨형태(thunderstorms, snow, rain, fog, frost)
공간해상도	3 x 3 km (면적이 넓은 주는 6 x 6 km)
예보간격	3시간 간격
예보기간	7일
업데이트 간격	1일 2회(현지 시간으로 오전 6시와 오후 6시)

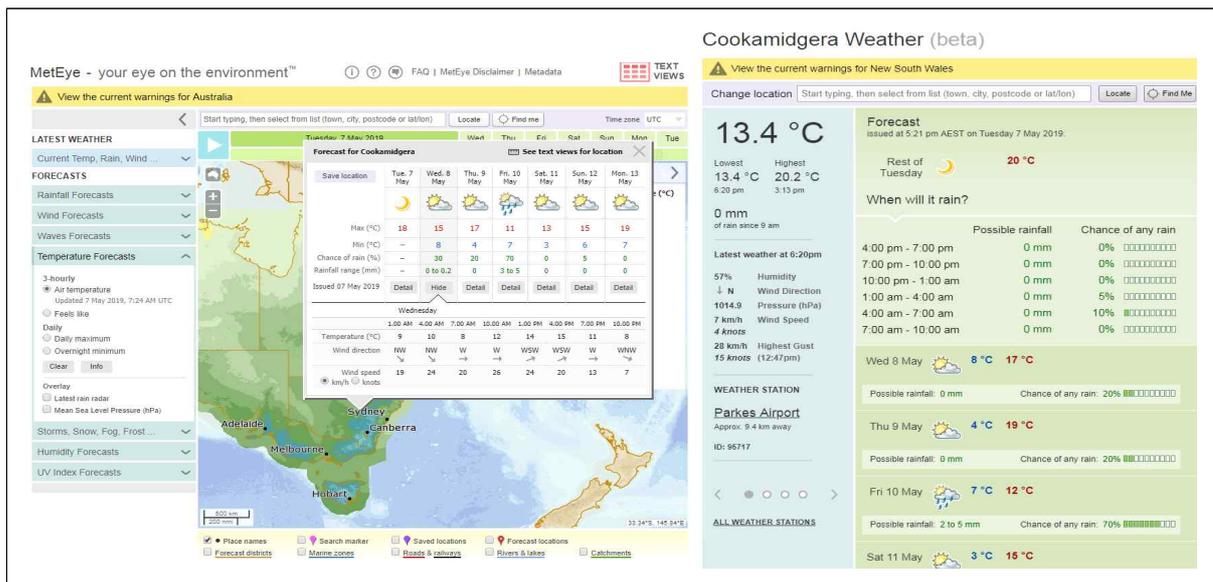


그림 2.1.4 호주 기상청 단기예보 서비스 화면

#### 4) 영국

영국 기상청(Met Office)에서는 UM(Unified Model)의 자료를 이용하여, 영국 지역에 1.5 km 격자로 날씨, 기온, 풍향, 풍속, 습도, UV 지수, 체감온도 등의 요소를 48시간까지 1시간 간격, 이후 5일까지 3시간 간격으로 그래픽과 텍스트 예보 형태로 제공한다.

지역, 마을이름 또는 우편번호 등으로 검색을 하면 주요 기상요소와 7일 예보, 지난 24시간 예보(Last 24 Hours), 날씨 지도(Weather Map)등을 제공한다(그림 2.1.5). 48시간까지 1시간 간격으로 단기예보와 동일한 기상 요소를 제공하고, 7일 예보는 향후 7일간의 예보를 간단한 이미지와 함께 텍스트 형식으로 제공하며, 날씨 지도는 영역을 확대 또는 축소할 수 있고, 기상 요소 선택이 가능하다(표 2.1.4).

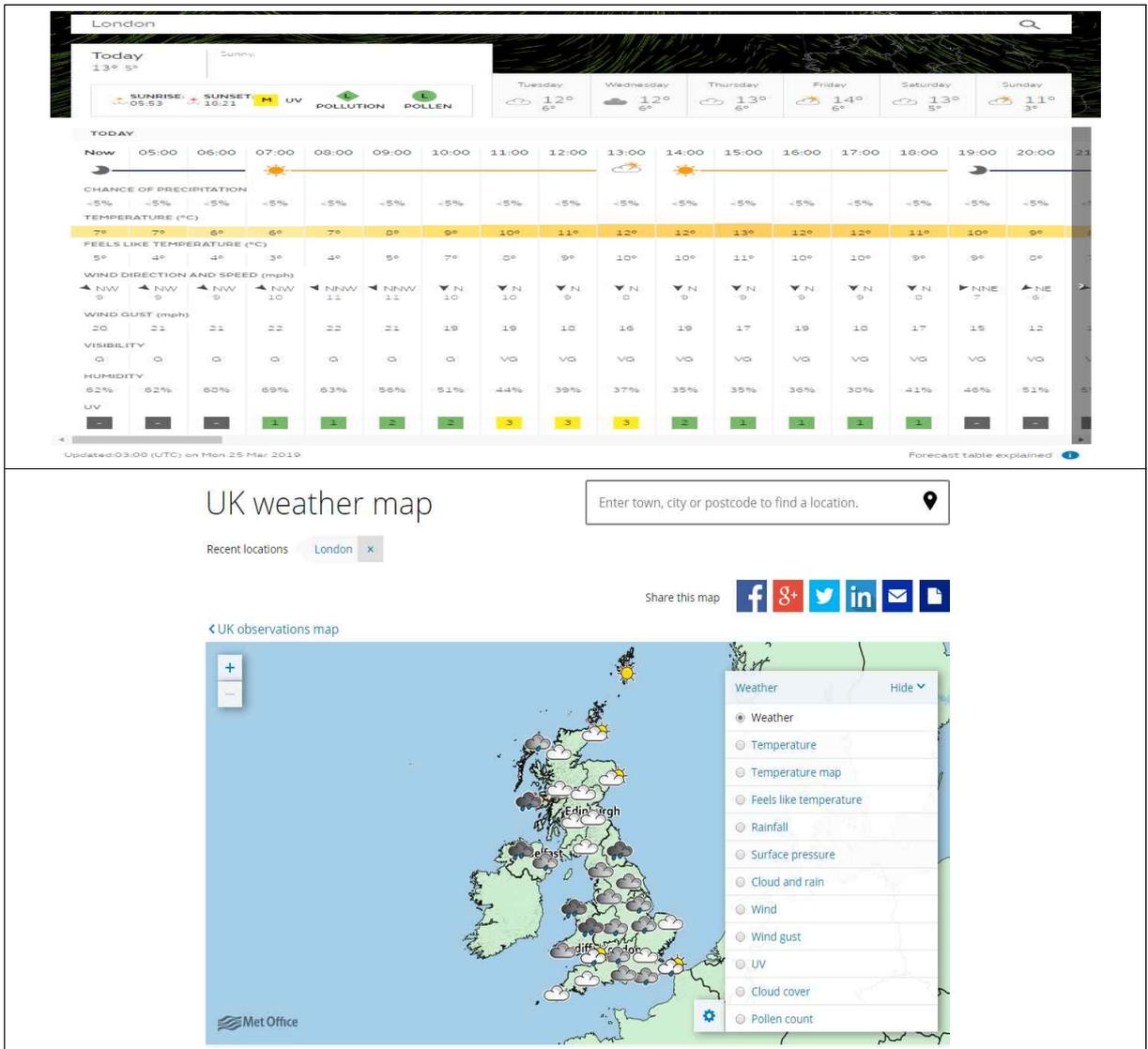


그림 2.1.5 영국 기상청 7일 예보(상)와 날씨 지도(하) 서비스 화면

표 2.1.4 영국 Met Office의 날씨 지도(Weather Map) 정보

구분	예보간격	예보시간
weather	3h	6day
temperature	3h	6day
temperature map	1h(6hour)/3h(~24hour)	30hour
feels like temperature	3h	6day
rainfall	1h(6hour)/3h(~24hour)	30hour
surface pressure	12h	3day
cloud and rain	1h(6hour)/3h(~24hour)	30hour
wind	3h	6day
wind gust	3h	6day
UV	3h	6day
cloud cover	1h(6hour)/3h(~24hour)	30hour
pollen count	1day	5day

## 5) 스위스

스위스 기상청 (MeteoSwiss)에서는 ECMWF의 자료를 이용하여, 그림 2.1.6과 같이 스위스 지역에 기온, 강수, 바람, 구름 요소를 30시간까지 10분 간격으로 애니메이션 형태로 제공한다. 또한 지역, 마을이름 또는 우편번호 등으로 검색을 하면 주요 기상요소와 7일 예보 (산악지역 고도별 기상예보 포함), 지난 12시간 예보 (Last 12 Hours) 및 3시간 간격의 5일 예보, 날씨 지도(Weather Map)등을 제공한다.

재해에 관련하여 행정 구역별로 위험 기상, 호수·항공, 지진, 홍수, 눈사태, 산불을 포함하여 제공하며, Level을 제시함으로써 위험 정도를 제공하고, 각 위험 요소들에 맞는 주요 정보들을 텍스트로 제공한다.

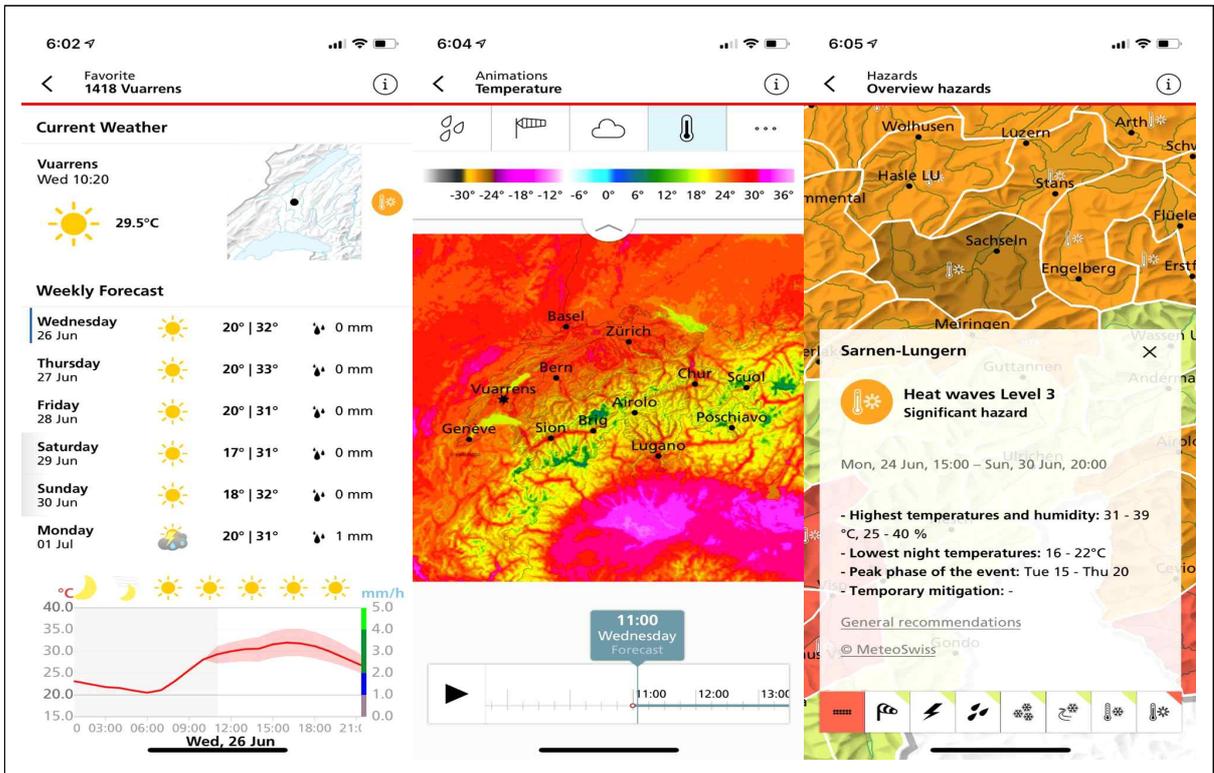


그림 2.1.6 스위스 기상청 단기예보 서비스 화면

## 6) 중국

중국 기상청(CMA)에서는 날씨, 최고/최저기온, 현재기온, 풍속/풍향, 상대습도, 강수량, 생활지수 등의 요소를 24시간까지 1시간 간격의 그래픽과 텍스트 예보로 제공한다.

중국 전역 지도에서 지역 및 특정 도시를 선택하면 해당 도시에 대한 일일예보(Daily Forecasts), 지난 24시간 날씨(Past Weather), 15일 예보, 40일 예보를 제공한다(표 2.1.5). 일일예보는 향후 24시간 동안의 예보를 간단한 이미지 및 텍스트 형식으로 제공하고, 지난 24시간 날씨는 시계열 그래프 형식으로 제공한다. 15일 예보는 1일 간격의 15일 예보를 시계열 그래프 형식으로, 40일 예보는 1일 간격의 40일 예보를 표 형식으로 제공하고 있다(그림 2.1.7).

표 2.1.5 중국 CMA의 예보 정보

구분	요소	예보간격	예보시간
일일 예보	날씨, 최고/최저 기온, 기온, 풍속/풍향, 상대습도, 강수량, 생활지수	1시간	24시간
15일 예보	날씨, 최고/최저 기온, 풍속/풍향, 상대습도, 강수량, 생활지수	1일	15일
40일 예보	날씨, 최고/최저 기온, 풍속/풍향, 상대습도, 강수확률, 월별 온도곡선	1일	40일

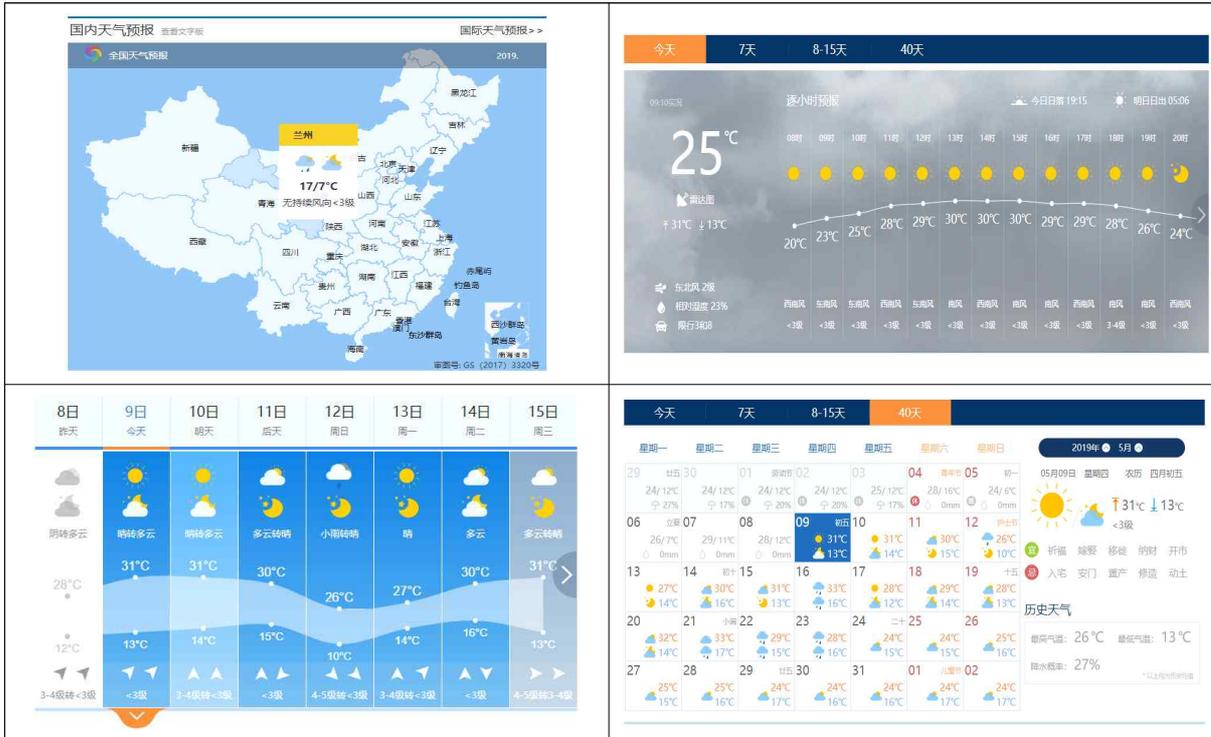


그림 2.1.7 중국 기상청 단기예보 서비스 화면  
(좌상:그래픽 예보, 우상:1일예보, 좌하 15일 예보, 우하: 40일 예보)

### 7) 주요 국가 기상청 단기예보 체계 비교

미국, 일본, 호주, 영국 등 주요 선진국에서는 공간적으로 3km 이하의 고해상도 예보자료를 생산하고, 시간적으로 1시간 이내의 조밀한 단기예보를 서비스하고 있으며, 시공간 해상도는 더욱 상세하게 발전하고 있는 추세이다(표 2.1.6).

표 2.1.6 주요 선진국의 단기예보체계 비교

국가	예보기간		시간해상도	단기예보 공간해상도	발표시각
미국	오늘 ~ +7일	+7일	1시간	2.5km (NAM)	매시간
		+6일 ~ +10일 / +8일 ~ +14일	Outlook		
일본	오늘 ~ +2일	+5분 ~ + 30분 / +35분 ~ +60분	5분	250m/1km	매 5분
		+1시간 ~ +6시간 / +7 ~ +15시간	10분/1시간	1km/5km	매 10분
		+2일	3시간	20km (GSM)	일 3회
		+2일 ~ +7일	1일		
호주	오늘 ~ +7일	+7일	3시간	3km/6km	일 2회
영국	오늘 ~ +7일	+2일	1시간	1.5km (UM)	매시간
		+3일 ~ +7일	3시간		
		+5일 ~ +14일	Outlook		
중국	오늘 ~ +7일	+3일	1시간	10km (지역단위)	일 3회
		+4일 ~ +7일	3시간		
		+8일 ~ +15일	1일		
프랑스	오늘 ~ +4일	+2일	3시간	5km (도시기준)	일정하지 않음 (약 15분)
		+3일 ~ +7일	6시간		
		+8일 ~ +14일	1일		
한국	오늘 ~ +3일	+4시간	1시간	5km (UM)	매시간
		+3일	3시간		일 8회
		+4일 ~ +7일	12시간		일 2회
		+8일 ~ +10일	1일		

#### 다. 국외 민간사업자의 동네예보 현황

##### 1) Windy

Windy는 now-cast 및 forecast에 초점을 맞춰 사용자가 편집 가능한 사용자 친화적 인터페이스를 제공하는 것이 특징이다. 특별한 후처리 없이 수치예보 모델의 예측정보 및 관측 값을 비교형식으로 제공하며, 바람, 강수, 구름, 기온, 기압, 해류, 파도 레이어 등의 정보를 사용할 수 있다. 그림 2.1.8은 windy 화면을 예시로 나타낸 것이다. 메인 화면에서는 요소별 동적 그래픽을 제공하고, 지점을 선택하면 시간별 예보를 확인 할 수 있으며 모델별 비교 기능도 제공하고 있다.

Windy에서 사용하는 전구모델은 그림 2.1.9와 같이 미국의 GFS와 유럽의 ECMWF 모델이다. GFS 모델은 1시간 간격 5일 예보와 3시간 간격 10일 예보를 제공하고, ECMWF 모델은 3시간 간격 6일 예보와 6시간 간격 10일 예보를 제공한다. 유료버전에서 지역모델 정보를 제공하며, 스위스의 NEMS 모델 (~4 km 해상도, 유럽), 독일의 ICON-EU 모델 (~5 km 해상도, 유럽), 미국의 NAM 모델 (3~6 km, 북미, 알래스카, 하와이), AROME 모델 (1.25 km 해상도, 프랑스, 독일 등 유럽 서부) 등을 제공한다. 지도 형식으로는 기온, 강수, 바람, 강우, 낙뢰, 적설, 운량, 파도, 미세먼지, 기압 등을 제공한다.

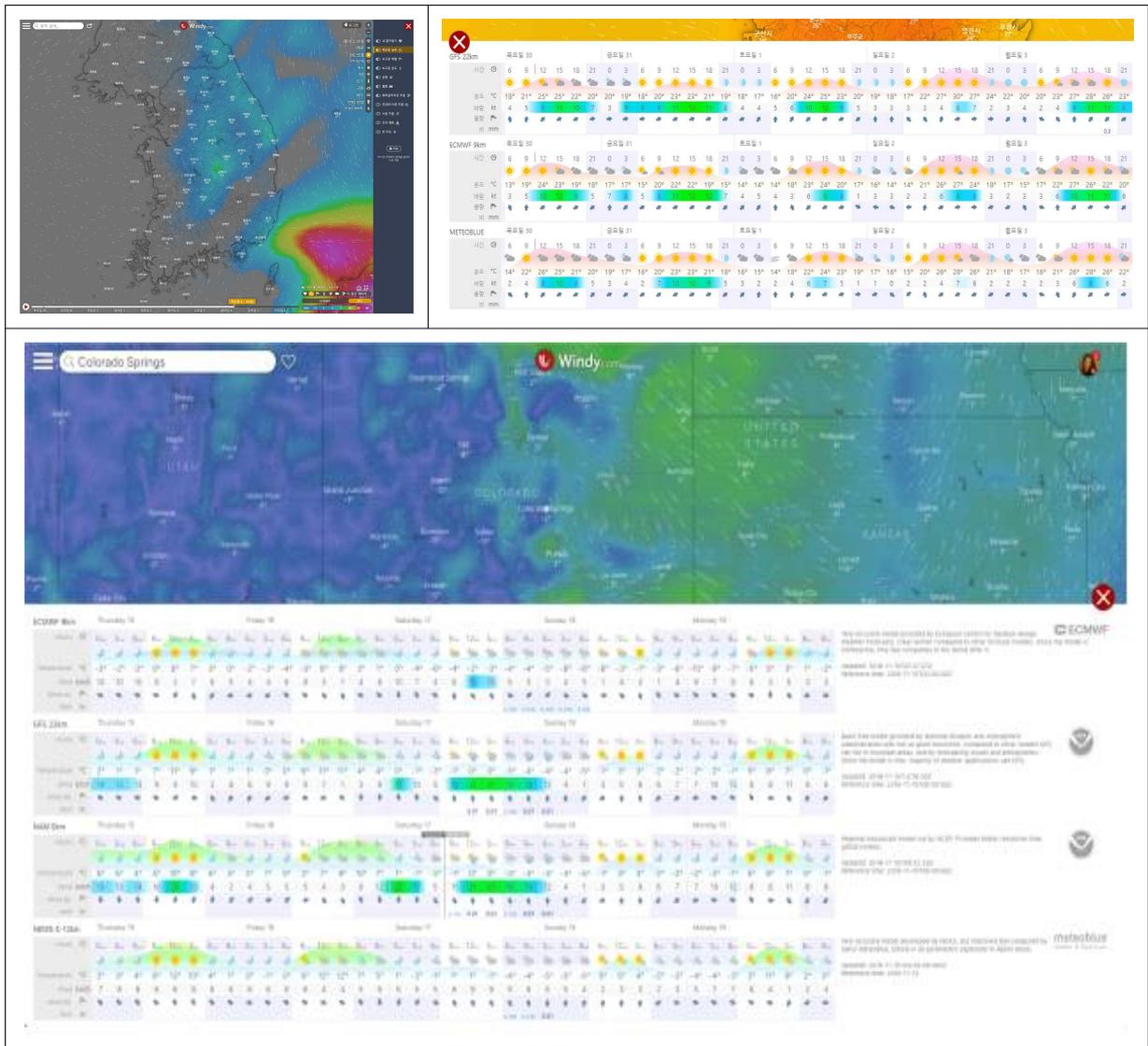


그림 2.1.8 Windy 서비스 화면(좌상: 메인 화면, 우상: 시간별 예보, 하: 모델별 비교)

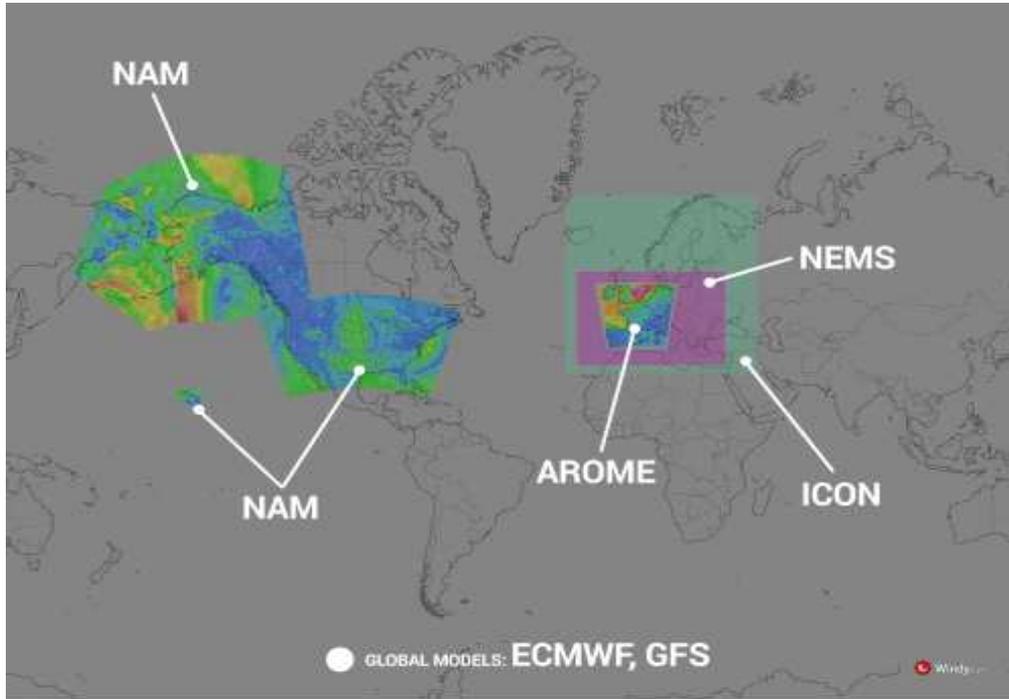


그림 2.1.9 Windy에서 활용하는 예측모델 종류 및 영역

## 2) The Weather Channel

The Weather Channel은 미국 IBM이 인수한 기상서비스로 주요 스마트폰인 아이폰의 기본 날씨어플리케이션으로 활용되고 있다. 예보 자료는 GFS(Global Forecast System), NAM(North American Mesoscale Model)를 이용하며, 기온, 체감온도, 풍향, 풍속, 습도, 이슬점 온도, 자외선 지수, 기압, 시야, 건강 지표(피부 건조 지수, 모기 지수, 열과 지수, UV 지수, 우산 지수 등), 공기 오염 물질(오존, 미세먼지, 일산화탄소, 이산화질소 등) 등의 요소를 72시간까지 1시간 간격의 그래픽과 텍스트 예보로 제공한다.

이외에도 레이더 자료를 이용하여 비, 눈, 우박, 혼합 등의 정보를 제공하며, 위성자료를 이용하여 구름정보도 제공한다. 도시명(읍·면·동 검색 가능)을 검색하면 시간별 주요 기상요소와 5일 예보, 10일 예보, 날씨 지도 등을 제공한다(그림 2.1.10). 5일, 10일 예보는 간단한 이미지와 함께 텍스트 형식으로 제공되며, 날씨 지도는 비, 눈, 우박, 혼합 등의 정보를 2시간 전부터 향후 6시간까지 5분 간격으로 제공된다. 지도 형식에서는 위성자료(가시, 적외선, 수증기 영역) 레이어 등을 추가적으로 선택 가능하고, 폭풍 추적, 번개, 바다, 홍수, 토네이도 등의 표현이 가능하다.

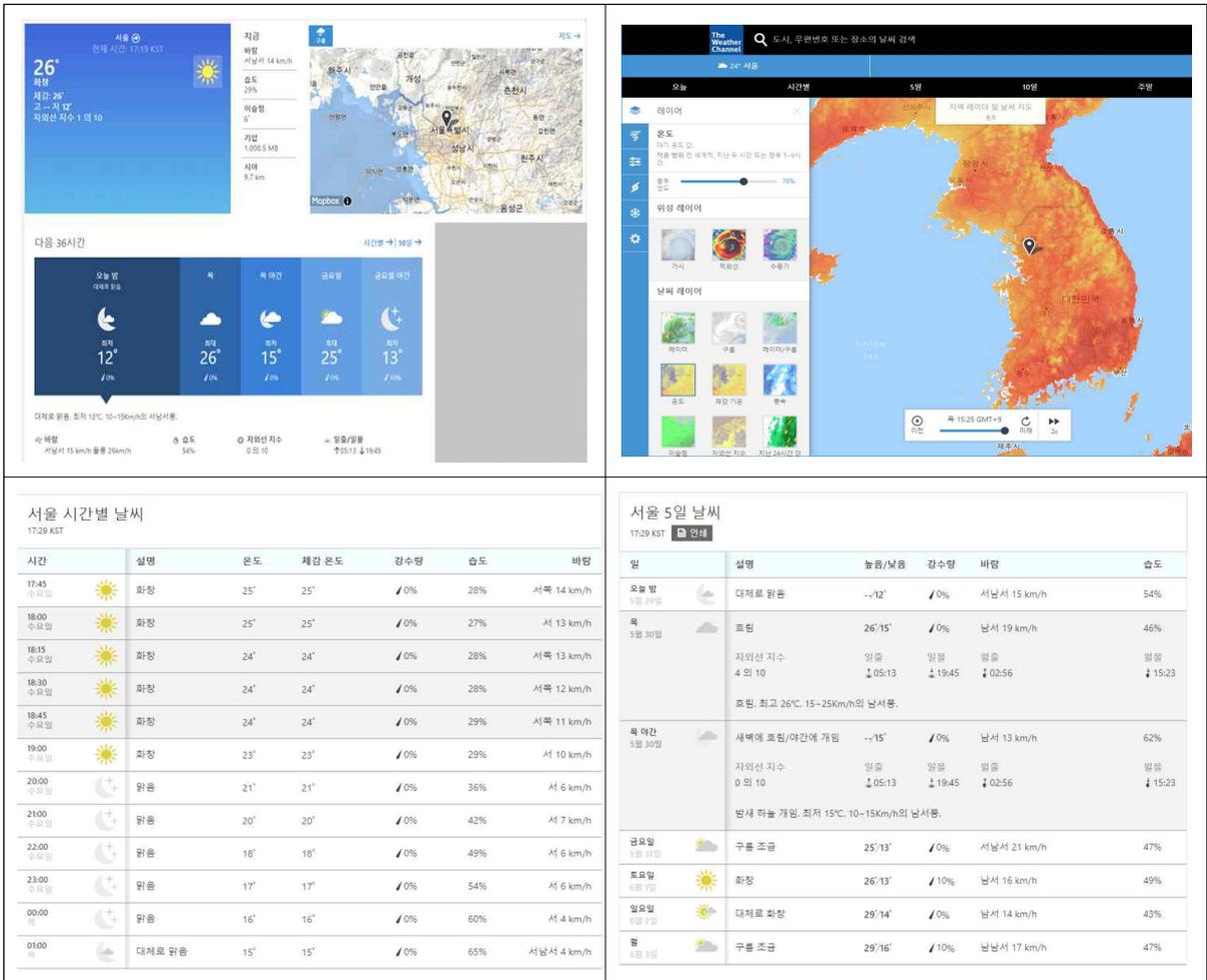


그림 2.1.10 The Weather Channel 서비스 화면  
(좌상: 메인화면, 우상: 날씨 지도, 좌하: 시간별 예보, 우하: 5일 예보)

GRAF(Global High-Resolution Atmosphere Forecasting System)는 2019년 1월 8일 전 지구 일기 예보를 제공하는 새로운 기상 예보 시스템이다. 뇌우만큼 작은 현상까지 예측할 수 있는 최초의 시간별 업데이트 상업용 기상 시스템으로, 미국 NOAA의 GFS 또는 유럽연합의 ECMWF 모델과 비교하여 3~4배 개선된 가변식 벌집 모양의 격자를 이용한 3x3 km(미국, 일본 및 서유럽 중심, 그 외 국가: 12~15 km 해상도)의 해상도를 가진다(그림 2.1.11~12). 또한 시간해상도를 비교하여도 기존의 주요 기상 모델들이 6~12시간마다 예측하는데 반해, GRAF의 경우 1시간 간격의 러닝타임을 가진다. 고급 IBM POWER9 기반 슈퍼컴퓨터를 이용하며, 운영 노드가 84개인 서버가 사용되고 서버 스토리지는 약 3.5 페타바이트(1 페타바이트=1024 테라바이트) 정도의 용량을 제공한다. 정보 공유를 통한 일기 예보 개선 기능을 제공하고, 다양한 예측 모델을 결합하여 최근 예측 정확도를 기반으

로 가중치가 적용된 기여도를 혼합하여 최상의 정확성을 제공하는 단일 합성 예측 자료를 생성하며 인공지능을 활용한다.

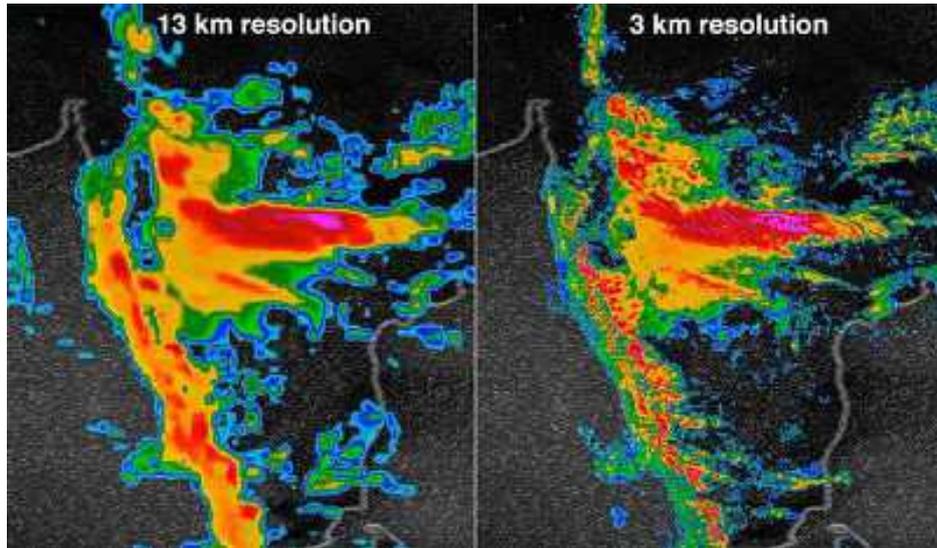


그림 2.1.11. 기존 해상도 13 km의 전지구 예보 모델 영상 VS 해상도 3km인 GRAF의 영상

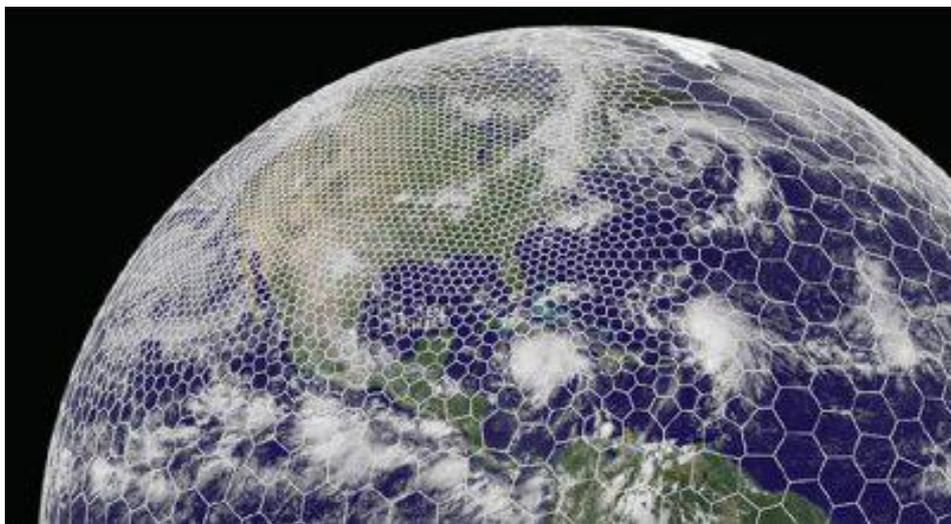


그림 2.1.12 GRAF의 가변식 벌집 모양의 격자 예시 (모델 MPAS 제공)

### 3) AccuWeather

AccuWeather는 기온, RealFeel 기온, 날씨정보, 최고·최저기온, 습도, 이슬점 온도, 풍향, 풍속, 기압, 자외선 지수, 구름량, 돌풍, 가시거리, 건강 지표 (꽃가루 농도, 감기지수, 식중독 지수 등) 등의 요소를 72시간까지 1시간 간격의 그래픽 및 텍스트 예보로 제공하고, 15일 예보 및 90일 예보, 향후 3년 최고·최저기온, 기온 예보를 제공한다(그림 2.1.13).

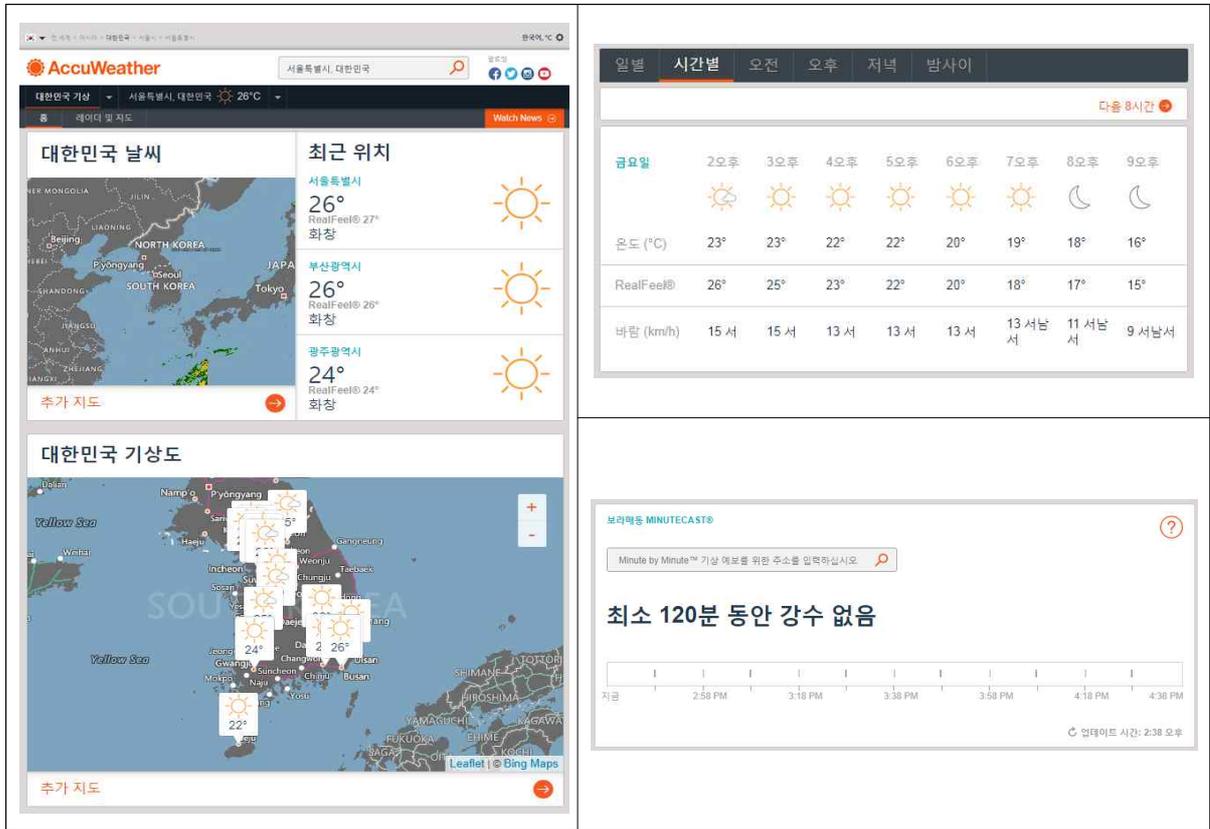


그림 2.1.13 Accuweather 서비스 화면(좌: 메인 화면, 우상: 시간별 예보, 우하: MinuteCast)

활용 모델자료로는 전구모델로 GFS(Global Forecast System)를 이용하며, 지역모델로는 NAM(North American Mesoscale Model), RUC(Rapid Update Cycle), DGEX(Downscaled GFS by NAM Extension), NDFD(National Digital Forecast Database) 모델을 이용한다. 관측자료로는 수 분마다 육지, 선박, 항공기에서 실시간 기상 관측자료를 이용하며, 위성 관측 정보 및 글로벌 레이더 자료를 활용한다. MinuteCast를 통해 비, 눈, 우박, 혼합 등의 정보를 최대 2시간 동안 분 단위로 제공하며, 사용자의 위치를 기반으로 강수 유형과 강도, 시작 및 종료 시간을 표시한다. 레이더 지도는 비, 눈, 우박, 혼합 등의 정보를 1시간 전부터 현재까지 5분 간격으로 제공한다. 사용자가 지정한 위치에 관련한 기상 데이터 출력 시스템에 대한 특허를 보유하고 있으며, 독점 인공지능 알고리즘을 사용한다. 유료 버전에서는 독점적인 HazWRF 모델, AccuWeather 양상블 정보를 제공한다.

#### 4) Weather Underground

Weather Underground는 현재 온도, 체감 온도, 최고·최저 기온, 주간/야간 날씨 정보, 내일 날씨 정보, 강수량, 강수확률, 풍향, 풍속, 꽃가루, 대기질, 자외선 지수 등의 요소를 10일 동안 1시간 간격의 그래픽 및 텍스트 예보로 제공한다(그림 2.1.14). 웹페이지에 해당년도의 캘린더 형식으로 날씨 정보를 표출하며, 지도 형식으로 기온, 바람, 습도, 강수, 레이더 영상 등의 정보를 1시간 전부터 현재까지 5분 간격으로 제공한다. 기상 상태 제보 기능을 포함하고 있다.

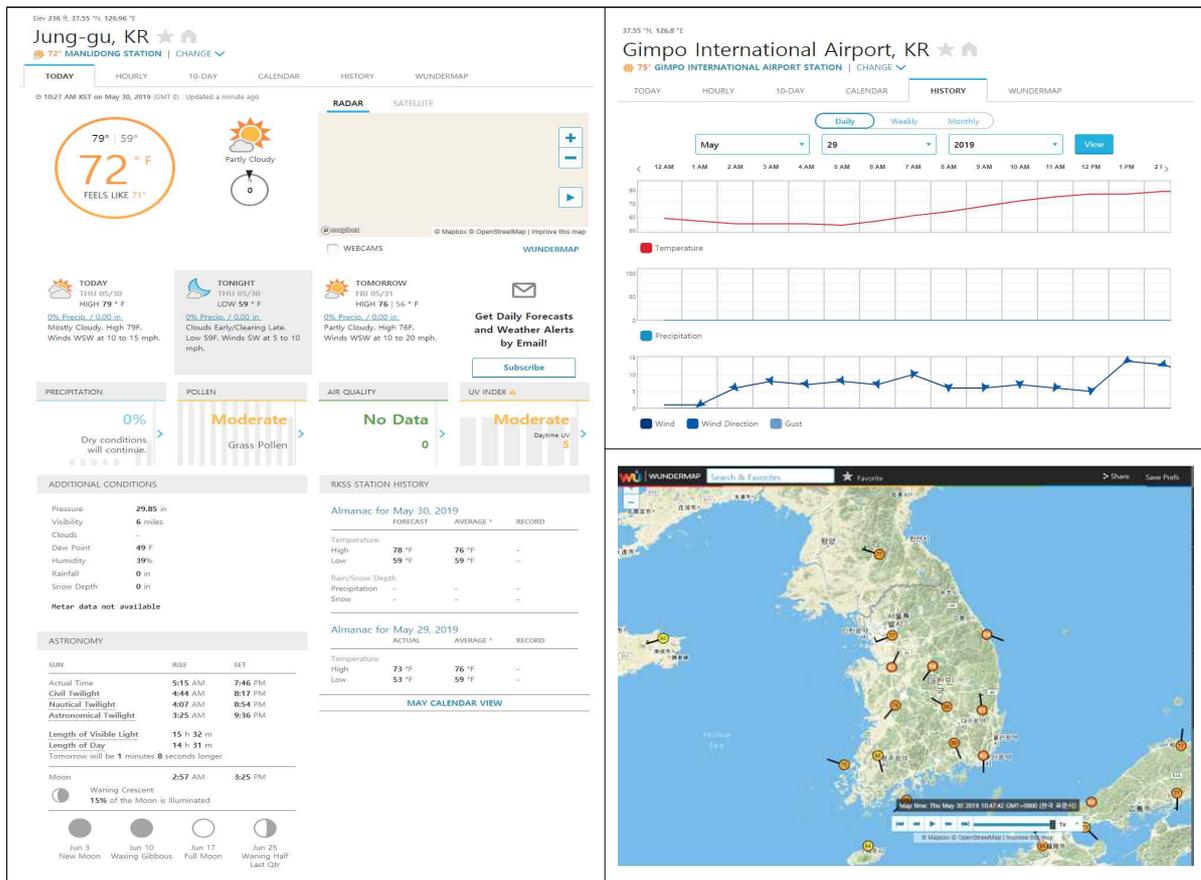


그림 2.1.14 Weather Underground 서비스 화면  
(좌: 메인화면, 우상: 시간별 예보, 우하: 날씨 지도)

#### 5) WillyWeather (호주)

호주 WillyWeather은 홈페이지 첫 화면에서 원하는 지역명 및 우편번호를 입력 하면 되고, 주요 지역들은 지도상에서 한 눈에 확인이 가능하다(그림 2.1.15). 지역명 클릭 시 상세예보 페이지로 이동한다. 3시간 간격의 날씨상태, 강수확률과 함께 일별 날씨상태 및 최고/최저기온, 강수확률 및 예상 강수량을 7일간 제공한다. 1일,

3일, 5일 간의 기상예보별 시계열 그래프에 실시간 관측 결과를 함께 제공한다. 호주 기상청의 자료를 바탕으로 정보를 제공한다.

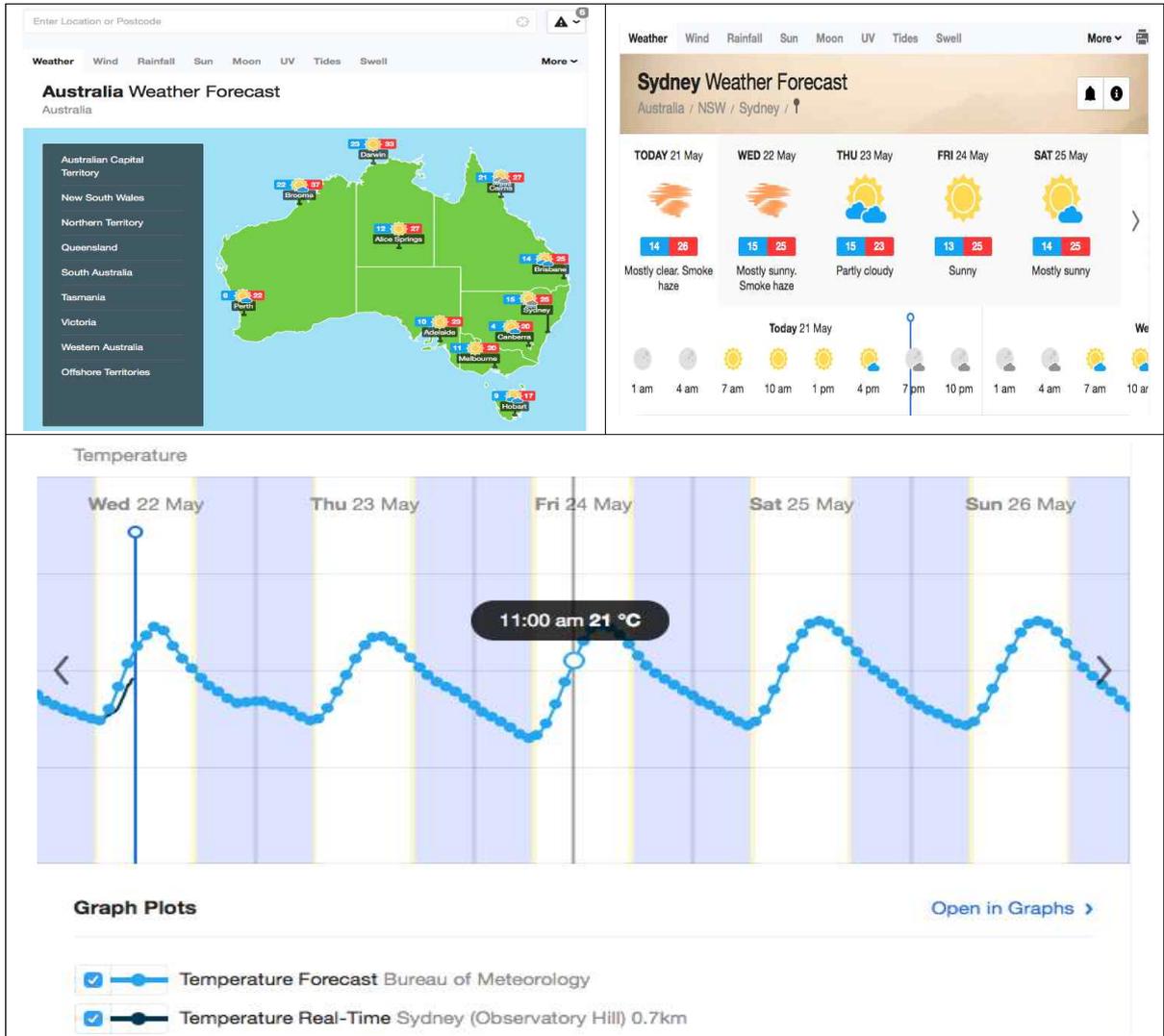


그림 2.1.15 Weather Underground 서비스 화면  
(좌상: 메인화면, 우상: 일별/3시간 예보, 하: 시간별 예보)

## 6) Weather Online (영국)

영국의 Weather Online은 홈페이지에 지역명을 입력하거나, 원하는 지역을 지도상에서 선택하면 상세예보 페이지로 이동한다. 일별 최고/최저기온, 강수량 및 강수확률에 대한 예보를 14일까지 제공한다. 3시간 간격의 기온, 강수량 및 강수확률을 48시간까지 제공한다(그림 2.1.16). US weather service model data(GFS)를 바탕으로, 사내에서 자체 개발한 MOS 시스템을 이용해 예보 자료를 생성하며, 전

세계 국가들에 대해 도시 단위까지 해당 예보를 제공한다.

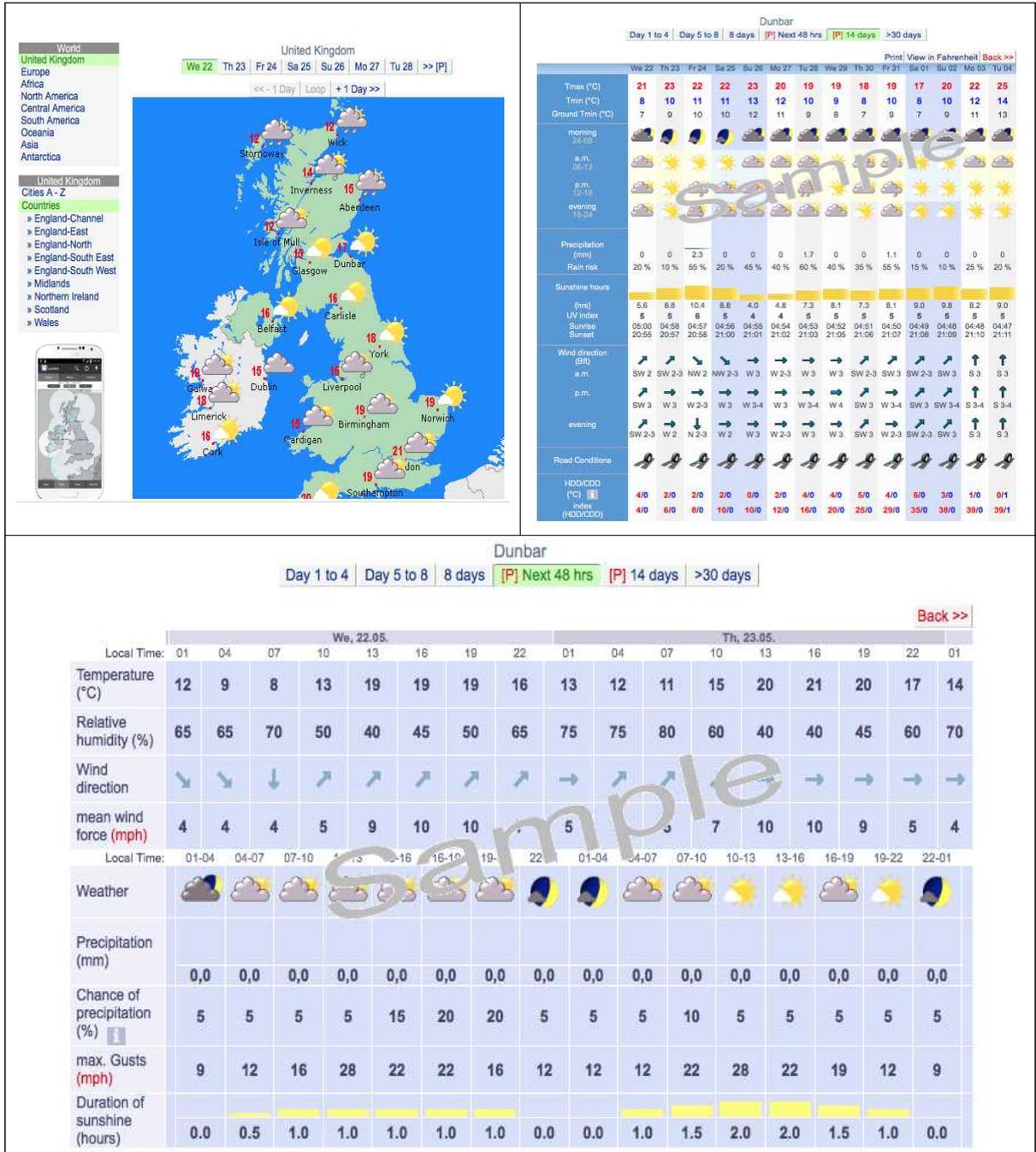


그림 2.1.16 Weather Online 서비스 화면(좌상: 메인화면, 우상: 14일 예보, 하: 3시간 예보)

## 7) 주요 민간 기상예보 서비스

주요 민간 기상예보 서비스는 1시간 간격으로 최대 10일까지 최고 3km 공간해상도의 예보자료를 생산하여 사용자가 원하는 다양한 형태의 예보서비스를 웹페이지와 어플리케이션 형태로 제공하고 있다.

표 2.1.7 주요 민간 기상예보 서비스체계 비교

국가	회사	예보기간	시간해상도		공간해상도	발표시각
미국	Weather Underground (IBM)	오늘 ~ +10일	+10일	1시간	3km (GRAF)	매시간
미국	The Weather Channel (IBM)	오늘 ~ +3일	+3일	1시간	- (GFS, NAM)	-
미국	AccuWeather	오늘 ~ +3일	+3일	1시간	- (GFS, NAM)	4시간
유럽 (체코)	Windy	오늘 ~ +10일	+6일	3시간	9km (ECMWF)	-
			+7일 ~ +10일	6시간		
			+5일	1시간	22km(GFS)	
			+6일 ~ +10일	3시간		

- UM: Unified Model	- GRAF: Global High-Resolution Atmospheric Forecasting System
- GFS: Global Forecast System	- ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
- NAM: North American Mesoscale Model	
- GSM: Global Spectral Model	

라. 국외 주요국의 향후 정책방향

1) 미국 (NOAA' s NWS strategic Plan[2019-2021])

미국 기상청(NWS)에서는 표 2.1.8과 같이 2019~2021년까지 크게 세 가지 목표를 제시하였다. 첫 번째 목표는 사람들이 정보를 수신하고 이해하고, 행동하는 방식을 변화시킴으로써 날씨, 수문 및 기후 이벤트의 영향을 줄이는 것이다. 두 번째 목표는 최상의 관측, 예측 및 특보를 제공하기 위해 첨단 과학, 기술 및 엔지니어링을 활용하는 것이며, 세 번째 목표는 직원, 파트너십 및 조직성과에 대한 투자를 통해 변화에 직면하여 NWS를 발전시키는 것이다.

표 2.1.8 NOAA's NWS strategic Plan (2019-2021) 요약

구분	내용
목표1	사람들이 정보를 받아들이고 이해하고 행동하는 방식을 변화시킴으로써 날씨, 수문, 기후 사건의 영향 감소 - NWS는 국가의 준비 및 대응능력을 향상시키는 영향기반 의사결정 지원 서비스(IDSS)를 통해 목표를 달성하고, 정부 의사결정권자와의 파트너십을 강화하고 날씨, 수자원 및 기후 기업을 참여시킴으로써 극단적인 사건에 대응
목표2	Harness 최첨단 과학, 기술 및 엔지니어링으로 최고의 관측과 예측 및 특보 제공
목표3	변화에 직면하여 국민, 파트너십, 조직성 투자를 통해 NWS를 우수하게 발전

2) 영국 (MetOffice Our Plan[2016-2021])

영국 기상청(Met Office)에서는 2016~2021년까지 “보호 및 번영과 복지를 위해 기상과 기후과학의 최전선에서 일한다.” 라는 존재의의를 내세우며 4가지 우선과제와 18가지 세부주제로 계획을 발표하였다(표 2.1.9). 서비스 측면에서는 정부, 방위 및 보안기관, 일반 대중에게 관련성 높은 날씨 및 기후서비스를 제공하고 예측 정확도를 향상시키기 위해 계획하고 있으며, 인프라 측면에서는 기후변화 및 기후변화로 인한 리스크 평가를 가능하게 하는 전지구시스템모델과 관측 및 모니터링 기능의 향상 및 유지 등을 계획하고 있다.

표 2.1.9 Met office Our Plan(2016-2021) 요약

구분	내용
Deliver world-class services (서비스 측면)	* 날씨, 기후의 영향으로 인한 의사결정 지원 서비스 제공 - 정부, 방위 및 보안기관, 일반 대중에게 관련성 높은 날씨 및 기후서비스 제공 - 예측 정확도를 전년도 대비 향상 노력 - 날씨 및 기후 정보의 가장 높은 권위 및 선호도 확보 - 차세대 환경리스크 서비스 제공 역량 확보를 위한 파트너십 강화 - 전 세계적 서비스 제공을 위한 커미셔닝 역량 구축
Maintain our world-leading science and capability (인프라 측면)	- 고품질의 연구성과 발표와 국제연구기관과의 파트너십 구축 - 기후변화 및 기후변화로 인한 리스크 평가를 가능케 하는 전지구시스템모델 - 일기예보 및 기후 예측의 기초가 되는 관측 및 모니터링 기능 향상 및 유지

구분	내용
Transform how we work (조직 및 구조 측면)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 간소화되고 민첩하고, 집중된 조직구조를 구축하여, 협업이 쉽도록 개편</li> <li>- <b>절차 간소화</b>를 통해 매년 유사한 이유로 소비되는 비용을 절약 (2020년까지 15m파운드)</li> <li>- 표준화된 데이터 체계를 통해 검색 및 접근 가능</li> <li>- 글로벌 협업이 가능케 하는 통합 조직 모델 설계</li> <li>- 고급 인력 유지 및 보상을 위한 임금 모델 혁신</li> </ul>
Deliver social and economic benefits (일자리/사회/경제적 이익 창출 측면)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 영국 산업전략 지원, 2025년까지 향후 10년간 300억 파운드의 사회/경제적 이익창출</li> <li>- <b>새로운 고성능 컴퓨팅(HPC)시설</b>을 통해 사회/경제적 이익 창출 및 다음 세대 HPC 업그레이드 준비</li> </ul>

### 3) 유럽 (ECMWF strategy [2016-2025])

ECMWF의 두 가지 주요 목표는 예측 모델의 개선에 도움이 되는 연구를 제공하는 것과 회원국 및 협력 국가에 현업 기상 예보를 제공하는 것이다(표 2.1.10). 중 규모 예측기술 향상을 위해 지구시스템 모델링 및 예측기술 향상을 목표로 하여 2025년까지 최대 2주 전부터 영향이 큰 날씨를 정확히 예측, Large-scale 기상현상과 기후 변동성을 최대 4주 전에 예측, 전구 규모의 아노말리를 최대 1년 전에 예측하고자 한다. 또한 향후 10년 동안 컴퓨팅 리소스를 고려하여 확장성 및 지속성을 고려한 고성능 컴퓨팅 시설을 제공하기 위해 노력하고 있으며, 세계적 수준의 중기 및 장기 기상 예측을 제공하고 커뮤니티를 위한 지원을 목표로 하고 있다.

표 2.1.10 ECMWF strategy (2016-2025) 요약

분야	전략	세부내용
기상과학발전	지구시스템 모델링	점증하는 물리·화학적 과정의 복잡성 레벨과 지표면 간의 상호작용을 모델로 통합
	예보역량 향상	초기상태에 대한 정확한 평가 및 관측 모델의 불확실성에 대한 일관된 고려로 예보 역량 향상
전세계 예측전달	통합적 앙상블 시스템 구축	고위험 기상 예측력 향상을 위하여 <b>2주 전까지 고해상도 앙상블 시스템 운영 및 2025년까지 5km 수평해상도 목표</b>
	예보정확도 평가	2주전 극심한 풍속 및 강수량에 대한 경제적, 사회적으로 가치 있는 예측 제공

분야	전략	세부내용
지속적인 고성능 컴퓨터	확장성	모델 코드 등을 개발/개선 시 증가하는 전산자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 확장성을 고려
	장비 개선	에너지 효율적이고 환경 친화적인 방법과 과학적 혁신의 이점을 실현할 수 있는 고성능 컴퓨터 시설 제공
ECMWF 지원	자금조달 및 인력	ECMWF의 다양한 자금 흐름 관리 및 ECMWF의 목표 달성을 위한 전문 지식 확보 및 유지
	ECMWF의 시설	진화하는 직원 및 고성능 컴퓨터 요구 사항에 대한 적합한 작업 환경 제공
회원국 서비스 강화	협력 강화	회원국 및 협력국가가 제공하는 인력 및 전문성 확보
	신뢰도 높은 환경 정보 제공	적시에 신뢰할 수 있는 환경정보 제공

#### 4) 호주 (Bureau of Meteorology Strategy [2017-2022])

호주는 신뢰할 수 있고 안정적이며 반응이 빠른 날씨, 수질, 기후 및 해양 서비스를 호주 전역에 제공하고자 기업 전체의 전략적 목표와 관련 활동을 통해 주어진 4 가지 분야에 중점을 두고 있다(표 2.1.11).

표 2.1.11 Bureau of Meteorology Strategy (2017-2022) 요약

구분	내용
영향과 가치	<ul style="list-style-type: none"> <li>호주 공동체에 이익이 되는 제품 및 서비스로 기업 및 산업 분야에서 경쟁 우위를 확보</li> <li>고객에 초점을 맞추고, 요구와 기대 사항을 이해하고, 관계를 심화 및 확대</li> <li>시장 포지셔닝, 비즈니스 모델, 제품 및 서비스 제공을 우선순위로 설정</li> <li>호주에서 날씨, 수문, 기후 및 해양 정보의 가장 권위 있고 신뢰할 수 있는 출처로서의 의회, 공공부문, 산업 및 지역사회에 대한 지원을 확대</li> <li>기업전반에 걸쳐 기술, 시스템 및 문화를 구축한 사업 방식으로 운영하여 뛰어난 고객 경험을 제공</li> <li>제품 및 서비스의 품질, 영향 및 가치를 측정하고 모니터링하여 지속적인 개선 문화를 조성</li> </ul>
운영 효율성	<ul style="list-style-type: none"> <li>인력, 과학, 시스템이 함께 작동하여 효율성, 생산성 및 민첩성을 제공</li> <li>고객의 요구를 충족시킬 수 있는 능력과 지식을 갖춘 능력 있고 우수한 팀 활성화</li> <li>고객 요구사항에 보다 신속하게 대응하고 비용 대비 가치를 제공할 수 있는 표준화된 기업 시스템 및 프로세스 사용</li> <li>확장성을 보장하고 end to end 제품 및 서비스 수명주기 관리를 가능하게 하는 일련의 기업 정보, 기술 표준 및 플랫폼 채택</li> <li>팀과 개인이 책임감 있고 개방적, 협력적으로 신속하게 대응할 수 있는 관리체계 마련</li> <li>지속적인 제품 및 서비스 제공을 지원하는 탄력적인 시스템 및 프로세스 개발</li> </ul>

구분	내용
통찰력과 혁신	<p>고객과 조직을 위한 새로운 솔루션을 창출하는 깊은 이해, 독창적 사고 및 지속적인 파트너십</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미래의 투자, 문화 및 실천을 지원하기 위한 전사적 혁신 프레임 워크를 만들고 실행</li> <li>- 지속적으로 외부환경을 스캔 및 평가하여 새로운 트렌드, 경쟁업체 활동 및 시장 중단에 대한 지식을 구축하고 적용</li> <li>- 공동설계 및 신속한 변화를 위한 방법론으로 조직의 역량 강화</li> <li>- 국내외 파트너십 및 협력을 위한 전사적 접근 방식 보장</li> <li>- 과학기술, 공학 및 수학(STEM) 인재의 정부 부처로 강화</li> <li>- 고객에게 혁신적인 영향과 가치를 제공하는 고위험/고수익 포트폴리오에 투자</li> </ul>
공직자의 길	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정신 건강 및 육체적 건강에 중점을 두고 높은 수준의 안전 및 환경 지속 가능한 성과를 추구</li> <li>- 건전한 가치를 위해 전략, 구조, 역량, 문화 및 투자를 조정하여 조직을 투명하게 관리</li> <li>- 체계적 성과 관리를 통해 전 직원이 각자의 역할의 기여를 확인시킴</li> <li>- 조직의 모든 수준에서 성 평등과 다양성을 인정하는 전사적 다양성 및 포용계획 구현</li> </ul>

### 5) 독일 (DWD strategy [2014-2020])

독일은 대외적 활동으로 관측 네트워크의 자동화, 예보 및 경보 서비스의 중앙 집중화, Single European Sky (SES)에 관한 항공 서비스, 더 나은 NWP 모델을 통한 단거리 예측 개선, 기후 예측까지 모든 시간 규모에 대한 서비스 예측 (끊김없는 예측), 기후 데이터 센터, Global Framework for Climate Services (GFCS)에 대한 기여, 정치적 의사 결정자와 이해 관계자들을 위한 기후 전문 지식, 컨설팅 서비스 (운송, 에너지 네트워크, 농업, 건강, 수문학) 등을 계획하고 있다.

특보 서비스 측면에서는 특보 시스템을 지원할 수 있는 의사결정 시스템의 개발, 특보 서비스 및 수요자별 맞춤 서비스를 위한 자동화 시스템 개발, 지역 센터 별 특보 서비스를 단계적으로 중앙 집중화, 수치모델(DWD-models GME and COSMO-DE-EPS, ECMWF-model IFS), 수치모델의 통계적 후처리 과정 (ModelMIX, Hirsch et al., WWOSC 2014), 관측자료(station data, radar observations)를 이용한 특보생산을 계획하고 있으며(그림 2.1.19), 1시간 간격의 빠른 모델 업데이트 주기와 5~15분 주기의 나우캐스팅 및 12시간 앙상블 예측을 위한 SINFONY Project(2019-2022, Seamless INtegrated FOrecastiNg sYstem)를 진행 중이다(그림 2.1.17~18).



그림 2.1.17 독일기상청의 2020년까지의 전략



그림 2.1.18 독일 기상청 전략(2014-2020)의 구성

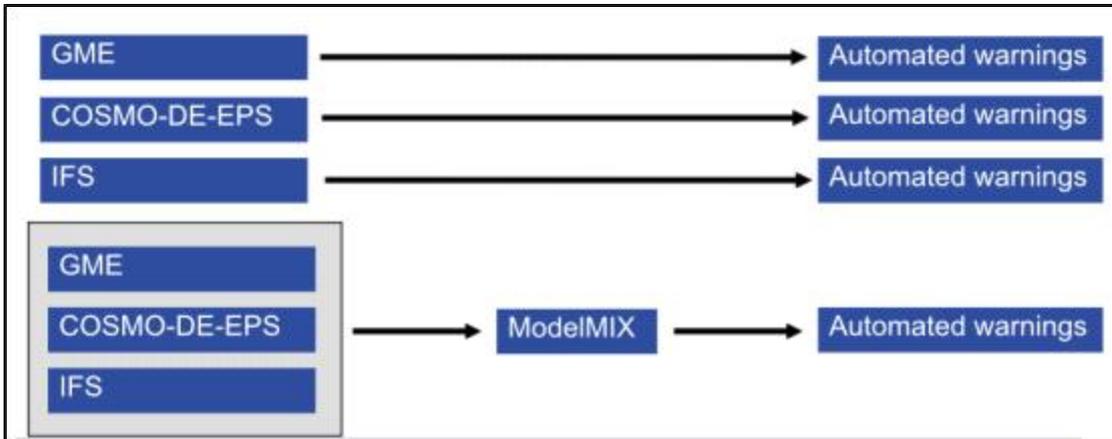


그림 2.1.19 독일 기상청의 특보 생산에 필요한 요소

## 6) 캐나다 (ECCC' s Departmental Plan [2019-2020])

캐나다 기상청(MSC: The Meteorological Service of Canada)은 캐나다 연방 환경 및 기후변화부(Environmental and Climate Change Canada; ECCC) 산하로 운영되고 있다. ECCC의 2019-20년 부서별 계획 중 ‘날씨 및 환경 조건 예측’에 대한 계획으로 표 2.1.12와 같이 5가지를 제시하였다. 최첨단 슈퍼컴퓨터를 포함한 새로운 기술을 지속적으로 활용하고, 기상 레이더 및 기상 관측소 업그레이드, 캐나다 전역의 여러 파트너 및 다른 국가의 기상 서비스와의 협업, 물 이용 가능성 변화의 지속적 모니터링 및 정보 제공, 다른 연방 부처 및 기관에 지속적 서비스 제공 등을 계획하고 있다.

표 2.1.12 ECCC's Departmental Plan (2019-2020) 요약

구분	내용
신기술 도입	최첨단 슈퍼컴퓨터를 포함한 새로운 기술을 지속적으로 활용하여 보다 시기 적절하고 정확한 일기 예보 제공하고 국민 안전 보장 기여
주요 인프라 업그레이드	기상 레이더 및 기상 관측소 업그레이드를 통한 안정적 기상정보 제공 기여
협업	캐나다 전역의 여러 파트너와 협력 모니터링 협약 수립으로 캐나다 날씨, 수자원 및 기후 자료의 교환을 촉진하고 전반적인 양, 품질, 상호 운용성 및 접근 가능성 개선. 미국, 중국, 프랑스 및 영국을 포함한 다른 국가의 기상 서비스와의 양자 및 다자간 협약을 통해 세계 기상기구(WMO)를 지원하고 새로운 실용적인 응용 프로그램 개발을 위해 국제 대응 기관과 협력
수자원 모니터링	물 이용 가능성 변화의 지속적 모니터링 및 정보 제공을 통한 빈번하게 발생하는 홍수와 가뭄의 피해로부터 캐나다인의 건강과 안전을 보호
날씨 관련 결정 지원	운영 및 비즈니스 의사 결정을 위해 날씨, 물, 얼음 등과 같은 ECCC 자료를 활용하는 국방부, 캐나다 해안 경비대 등의 공익 분야에서 일하는 다른 연방 부처, 기관에 지속적으로 서비스를 제공

## 7) 중국 (CMA' s Development Strategies [by 2020])

중국의 기상 개발의 목표는 향후 5년간 중국 특성을 고려한 기상 서비스를 개발하고, 궁극적으로는 2020년까지 전반적으로 현대화 된 기상 서비스 시스템 구축을 위한 기반을 마련하는 것이다(표 2.1.13). 6가지 요구 사항은 복지 사회 건설을 위한 기상 서비스 역량 강화, 기상 재해 대비 및 완화, 기후 변화 대응 강화, 기상 서비스의 전반적인 발전을 조율, 더 나은 개혁과 개방, CPC(Cost Per Click, 마케팅 방법의 일종) 구축 및 기상 문화 증진 등이다.

표 2.1.13 CMA's Development Strategies (by 2020) 요약

구분	내용	
목표	향후 5년간 중국 특성을 고려한 기상 서비스를 개발하고, 궁극적으로는 2020년까지 전반적으로 현대화 된 기상 서비스 시스템 구축을 위한 기반을 마련 2020년까지 그 성능이 일부 지역에서는 세계 수준으로 도달할 수 있을 것으로 예상됨	
6가지 요구 사항	복지 사회 건설을 위한 기상 서비스 역량 강화, 기상 재해 대비 및 완화, 기후 변화 대응 강화 기상 서비스의 전반적인 발전을 조율, 더 나은 개혁과 개방, CPC(Cost Per Click, 마케팅 방법의 일종) 구축 및 기상 문화 증진	
중국 기상 서비스 발전 가속화에 관한 의견(comment)	기상서비스는 관련 과학과 기술을 기반으로 하고 사회 전체를 대상으로 하는 공공재로 분류해야함 긴급 상황에 대처하고 사람들의 생명과 재산을 확보하기 위해 기상 서비스의 개발을 가속화해야함 지구 기후 변화에 대응하고 국가 안보를 보장하기 위해 기상 서비스 개발을 가속화해야함 천연 자원에 대한 대응과 지속 가능한 발전을 보장하기 위해 기상 서비스의 개발을 가속화해야함	
기상 서비스 개발 가속화를 위한 가이드라인	기상 서비스는 항상 대중을 대상으로 하며, 일기예보 및 기후 예측 기술을 향상시키려면 최고 수준의 장비, 기술 인력을 갖추는 등 관측을 위한 기본 작업을 강화할 필요가 있음 경제적 사회적 발전, 국가 안보 및 지속 가능성을 지원하는 기상학의 역할을 강화하고 최고의 기상 서비스를 제공하기 위해 발전된 현대 기상 시스템을 구축하기 위한 노력이 이루어져야함	
기상 재해 예방 강화를 위한 일반 요구 사항	사람이 우선되고, 예방을 지향하며, 예방/통제의 결합을 추구해야함 과학 기술, 규칙 및 규정, 대중을 의식하여, 전반적인 계획과 구체적인 가이드라인이 마련되고 제공되어야 함 기상재해 예방 및 대비계획을 수립하고 시행해야하며, 예방 및 완화 시스템은 국가 및 지역수준에서 보다 빠른 속도로 설정되어야 함 이 모든 것들은 전 사회의 재난 관리를 개선하고 조화롭고 지속 가능한 사회 경제 개발을 촉진하는 것을 목표로 함	
	기상 재난 모니터링 및 경고 시스템 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 통합적인 기상 재난 모니터링 시스템 강화</li> <li>- 재난 예보 및 예방 강화</li> <li>- 기상 재난 경고 알람 강화</li> </ul>
	기상 재난에 대한 긴급 대응의 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개선된 비상 대응 프로그램 개발</li> <li>- 적극적인 날씨 변조(weather modification, 최신 기상 기술) 작업</li> <li>- 긴급 구조팀 조직</li> <li>- 재난 구호 능력 강화</li> </ul>
	재난 예방 및 관리 시스템의 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 과학 기술의 지원 역할 강화</li> <li>- 관련 규정 및 표준사항 개발</li> <li>- 재정 투입 증가</li> </ul>
	리더십 및 공공 봉사활동 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재난 예방 및 완화를 위한 완전한 책임 이행</li> <li>- 관련 부서와 협조 강화</li> <li>- 대중의 인식 제고를 위한 과학 교육 강화</li> </ul>

## 제2항 기상청 내·외부 기술적·사회적 환경 변화 분석 및 예측

### 가. 수치예보 모델링 기술의 발전

#### □ 슈퍼컴퓨터의 발전

2000년 일본 NEC사의 SX-5 벡터시스템으로 시작한 슈퍼컴퓨터 1호기에서 현재 운영 중인 슈퍼컴퓨터 4호기 미국 크레이사의 CRAY XC40 시스템에 이르기까지 우리나라 슈퍼컴퓨터의 발달은 지속적으로 이루어지고 있다(표 2.1.14). 증가한 연산능력에 따라 고해상도의 예측결과를 수집, 저장 할 수 있도록 메모리 및 저장장치의 용량도 지속적으로 증가하고 있다.

표 2.1.14 기상청 슈퍼컴퓨터의 발달

구분	슈퍼컴 4호기	슈퍼컴 3호기	슈퍼컴 2호기	슈퍼컴 1호기
시스템 기종	CRAY XC40	CRAY XE6	CRAY XIE	SX-5
도입완료	2015년	2010년	2005년	2000년
Core 수	139,392개	90,240개	1,024개	28개
이론 성능	5,800TF	758TF	18.5TF	224GF
메모리 용량	744TB	120TB	4TB	224GB
공유저장장치	RAID6(15.8PB)	RAID6(3.9PB)	RAID5(88TB)	RAID3(3.78TB)
백업 용량		4.5PB	1PB	14TB

#### □ 수치모델링 기술 발전

10년 전 동네예보가 처음 시작할 때와 비교하여 수치모델링 기술은 괄목할 만큼의 발전을 이루었다(표 2.1.15). 또한 새로운 동네예보 서비스가 시행될 향후 몇 년 이내에는 슈퍼컴 5호기가 도입되어 전구 및 국지모델과 앙상블 모델의 해상도가 더 높아질 것이다. 모델의 예측 성능도 북반구 500hPa 지위고도 오차가 2018년 41.2m로 세계 3위 수준으로 향상되었다. 이러한 수치모델링 기술의 발전은 10년간 이루어진 현재의 동네예보 서비스보다 시공간적으로 보다 조밀한 서비스를 더욱 정확하게 제공할 수 있는 토대를 마련해주었다.

표 2.1.15 지난 10년간의 기상청 수치예보모델 및 슈퍼컴퓨터의 발전



나. 수요자의 동네예보 서비스에 대한 인식 변화

□ 기상청 예보서비스 만족도 분석

기상청에서는 매년 일반국민 및 전문가를 대상으로 기상업무 국민 만족도를 조사하고 있다. 기상 서비스의 이용행태, 전반적 만족도 및 동네예보 정확도에 대한 설문은 ‘18년도 기상서비스 국민 만족도 조사’ 결과를 이용하였다. 18년도 기상

서비스 국민 만족도 조사는 일반국민 3000명, 전문가 800명을 대상으로 하였다(표 2.1.16~2.1.19).

표 2.1.16 18년도 기상업무 국민 만족도 조사 개요 (일반국민 대상) (기상청, 2018a)

조사대상	전국에 거주하는 만 19세 이상 성인남녀
표본크기	3,000명
표본추출	지역별 균등할당 후 지역·성·연령별 인구비례할당
조사방법	CATI를 활용한 RDD 전화면접조사
표본오차	95% 신뢰수준에서 최대허용오차 $\pm 1.8\%p$
가중치	행정자치부 ‘주민등록인구통계’ 지역·성·연령 분포를 반영한 가중치 부여
응답률	20.0% - 접촉 후 거절 및 중도 이탈 사례수(A) : 11,973명 - 접촉 후 응답완료 사례수(B) : 3,000명 - 응답률 = $B/(A+B) \times 100 = 3,000/14,973 \times 100 = 20.0\%$
조사기간	상반기: 2018년 5월 24일 ~ 5월 27일 하반기: 2018년 10월 12일 ~ 10월 14일
조사기관	(주)리서치랩

표 2.1.17 18년도 기상업무 국민 만족도 조사 개요 (전문가 대상) (기상청, 2018a)

조사대상	기상관련 전문가(하계, 산업계 등), 유관기관 관계자
표본크기	800명
표본추출	기상청으로부터 제공받은 조사 리스트를 활용하여 계통추출
조사방법	CATI를 활용한 전화면접조사
표본오차	95% 신뢰수준에서 최대허용오차 $\pm 3.5\%p$
가중치	행정자치부 ‘주민등록인구통계’ 지역·성·연령 분포를 반영한 가중치 부여
조사기간	상반기: 2018년 5월 25일 ~ 5월 29일 하반기: 2018년 10월 12일 ~ 10월 18일
조사기관	(주)리서치랩

표 2.1.18 18년도 기상업무 국민 만족도 조사의 일반국민 응답자 정보 (기상청, 2018a)

		상반기		하반기	
		사례수(명)	비율(%)	사례수(명)	비율(%)
전체		(1500)	100.0	(1500)	100.0
성별	남자	(746)	49.7	(766)	51.0
	여자	(754)	50.3	(734)	49.0
연령	20대	(215)	14.3	(250)	16.7
	30대	(186)	12.4	(220)	14.7
	40대	(275)	18.4	(294)	19.6
	50대	(340)	22.7	(327)	21.8
	60대 이상	(484)	32.2	(409)	27.2
지역	서울	(224)	19.5	(223)	19.3
	인천/경기	(360)	30.1	(361)	30.3
	대전/충청/세종	(223)	10.5	(223)	10.5
	광주/전라	(188)	10.0	(188)	9.9
	대구/경북	(159)	10.1	(159)	10.1
	부산/울산/경남	(244)	15.5	(244)	15.5
	강원	(60)	3.0	(60)	3.0
제주	(42)	1.3	(42)	1.3	

표 2.1.19 18년도 기상업무 국민 만족도 조사의 전문가 응답자 정보 (기상청, 2018a)

		상반기		하반기	
		사례수(명)	비율(%)	사례수(명)	비율(%)
전체		(400)	100.0	(400)	100.0
성별	남자	(315)	78.8	(342)	85.5
	여자	(85)	21.3	(58)	14.5
연령	20대	(63)	15.8	(66)	16.5
	30대	(134)	33.5	(149)	37.3
	40대	(104)	26.0	(110)	27.5
	50대 이상	(99)	24.8	(75)	18.8
분야	예보/방재	(78)	19.5	(85)	21.3
	기상	(43)	10.8	(61)	15.3
	지진/화산	(42)	10.5	(59)	14.8
	기후/수문	(32)	8.0	(40)	10.0
	장비/관측/정보통신	(41)	10.3	(41)	10.3
	해양	(39)	9.8	(34)	8.5
	행정	(71)	17.8	(67)	16.8
기타	(54)	13.5	(13)	3.3	
전문가구분	기상관련 전문가	(100)	25.0	(113)	28.3
	유관기관	(300)	75.0	(287)	71.8

연도별 기상업무 국민 만족도는 2018년도 기준 전년도 대비 다소 하락하였다 (그림 2.1.20). 폭염, 한파, 집중호우 등 이상기상현상이 다수 발생함에 기인한 것으로 사료된다. 그림 2.1.21의 요소별 만족도 조사 결과, 정확도, 시의성, 정보의 용이성 등 생산정보에 대한 가치 평가는 상승하였고, 특히 동네예보 정확도의 상승폭이 높았다.

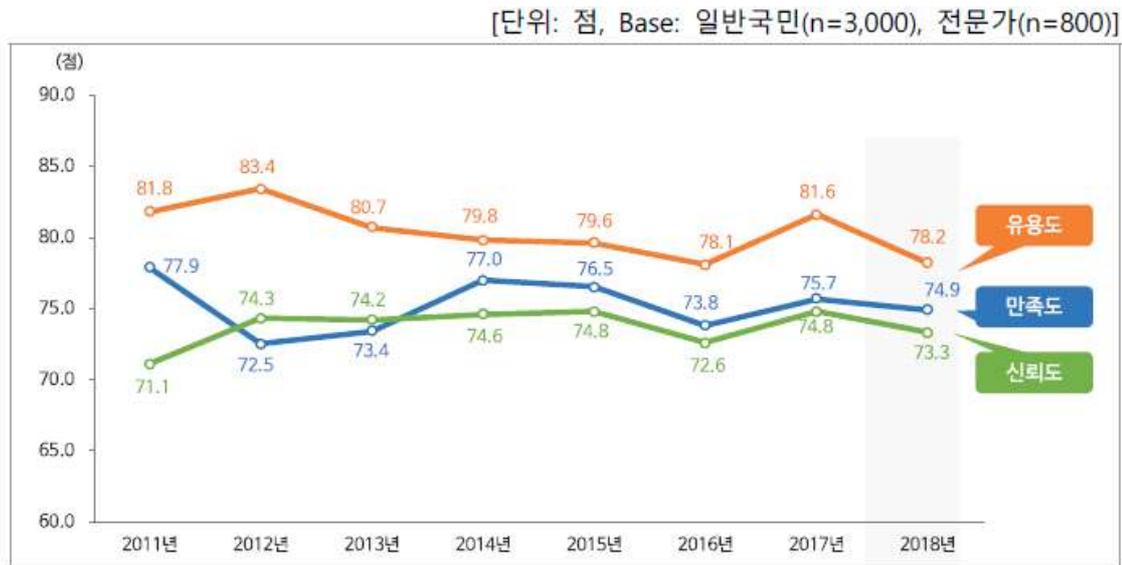


그림 2.1.20 기상업무 국민 만족도 조사 결과 요약

	종합			일반국민			전문가		
	2017년 (A)	2018년 (B)	Gap (B-A)	2017년 (A)	2018년 (B)	Gap (B-A)	2017년 (A)	2018년 (B)	Gap (B-A)
동네예보 정확도	67.3	73.0	▲5.7	63.6	71.4	▲7.8	71.0	74.6	▲3.6
중기예보 정확도	64.1	65.8	▲1.7	61.4	64.3	▲2.9	66.7	67.3	▲0.6
기상특보 시의성	73.2	76.9	▲3.7	67.3	74.2	▲6.9	79.1	79.5	▲0.4
기상특보 정확도	75.1	75.1	-	-	-	-	75.1	75.1	-
정보습득 용이성	88.8	89.9	▲1.1	87.8	90.0	▲2.2	89.8	89.8	-

[단위: 점]

그림 2.1.21 기상서비스 요소 만족도

□ 기상청 동네예보 설문조사

기상서비스의 이용행태, 전반적 만족도 및 동네예보 인식, 민간예보 서비스 인식에 대한 대국민 설문 조사를 실시하여 수요자의 동네예보 서비스에 대한 인식 변화를 분석하였다(표 2.1.20, 그림 2.1.22). 설문 조사는 모바일 어플리케이션(오픈서베이)을 통해 일반국민 506명을 대상으로 실시하였다(표 2.1.21, 그림 2.1.23).

표 2.1.20 설문 조사 조사 내용

구분	내용	조사	
기상서비스 이용행태	기상서비스 이용 목적	'18 기상서비스 국민 만족도 조사	
	기상서비스 이용 빈도		
기상서비스 전반적 만족도	기상서비스 신뢰도		
	기상서비스 만족도		
	기상서비스 유용도		
동네예보 인식	동네예보 정확도		동네예보 인식 조사
	동네예보 인지도		
	동네예보 사용 경험		
	동네예보 이용 이유		
	동네예보 이용에 대한 자유 의견		
	동네예보 개선되어야 할 점		
	동네예보 개선되어야 할 점에 대한 자유 의견		
	현재 예보보다 더 상세한 예보에 대한 사용 의향		
	예보 정확도에 따른 유용도		
	예보 변경에 따른 최소한의 사전 통보 시간		
	예보 전달방식 선호도		
민간예보 서비스 인식	민간예보 서비스 이용 경험		
	민간예보 서비스 이용 빈도		
	민간예보 서비스 신뢰도		
	민간예보 서비스 만족도		
	민간예보 서비스 정확도		
	민간예보 서비스 출처		
	민간예보 서비스 만족스러운 부분		
	시공간적으로 상세한 서비스 주체에 대한 의견		



표 2.1.21 모바일 설문 조사 개요

설문 시작	2019년 7월 3일 오후 5시 27분 58초
설문 종료	2019년 7월 3일 오후 5시 54분 23초
문항 수	18 문항
응답 인원	506 명
표본 오차	±4.36%P (95% 신뢰수준)
조사 방법	오픈서베이 패널(모바일 어플리케이션을 통한 응답 수집)

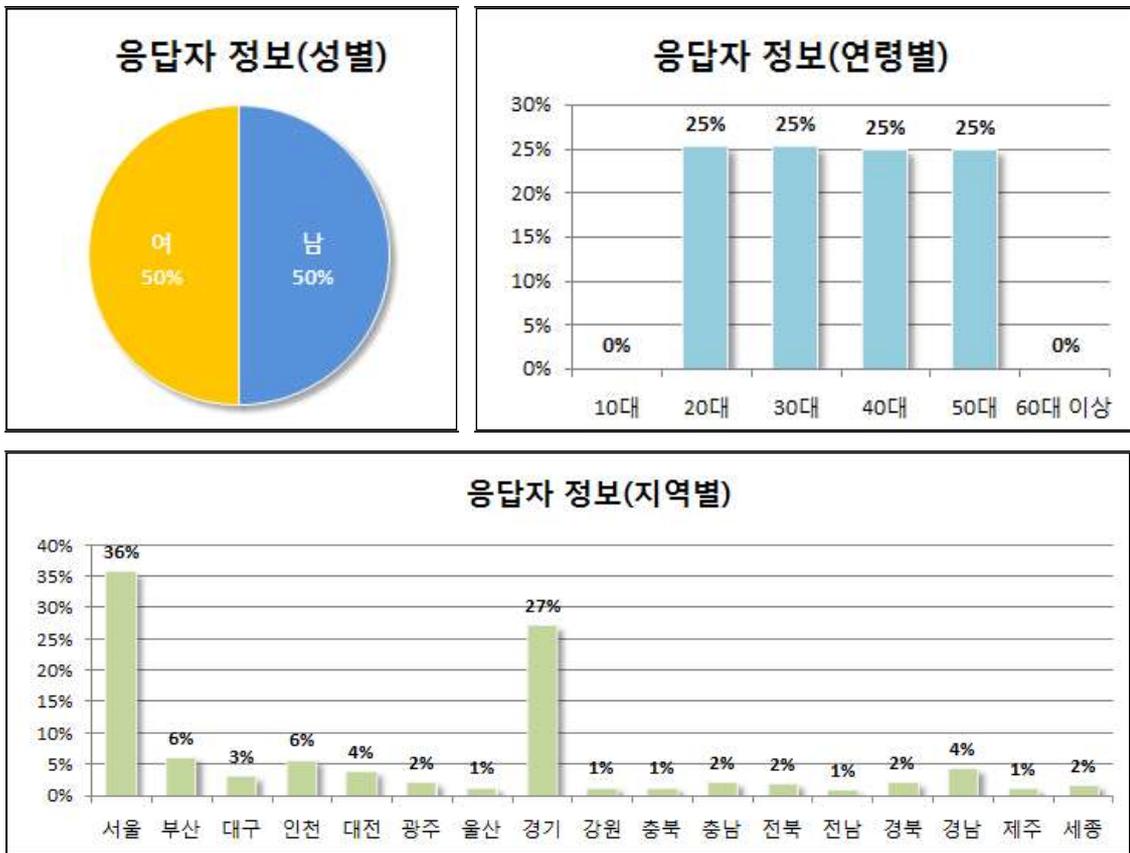


그림 2.1.23 모바일 설문 조사 응답자 정보

○ 설문 조사 결과 분석

기상청 동네예보에 대한 인지도 점수는 50점으로 나타났고, 응답자의 63%가 사용 경험이 없다고 응답하여 동네예보에 대한 인식이 부족한 것으로 나타났다.

가장 많은 응답자가 동네예보를 이용하는 이유로 답한 ‘동네별로 세분화된 예보가 제공되기 때문’ 과 동네예보의 개선점으로 답한 ‘자주 갱신되는 예보’, 예보 정확도가 떨어지더라도 현재의 예보보다 더 상세한 예보를 제공받겠느냐는 질문에

찬성하는 의견이 과반수를 넘게 나타난 점을 종합하여 볼 때, 국민들은 위치에 기반한 신속한 예보를 원하는 것으로 분석된다. 갑작스럽게 예보가 변경되었을 때의 최소 사전 통보 시간은 3시간 전으로 나타났다. 국민들은 동네예보 서비스의 접근성, 콘텐츠 종류, 서비스 제공 방식에 대해 불편함을 느끼는 것으로 분석되는데, 가장 선호하는 서비스 제공 방식은 한반도의 전체적인 날씨(동적이미지)를 보여준 후 클릭하여 상세하게 동네예보를 확인하는 방식이었다.

한편, 민간예보 서비스의 사용자 비율(29.6%)이 동네예보 사용자 비율(37%) 못지않게 나타났고, 민간예보를 사용하는 이유로 ‘필요한 정보를 적시에 얻을 수 있다, 기상청 동네예보에서 제공하지 않는 예보 요소가 있다. 가시화 정보가 이해하기 쉽다’ 라고 답하여 신속성, 콘텐츠, 서비스 제공 방식에 대한 요구를 확인할 수 있었다. 대부분의 국민들은 민간 날씨예보서비스와 관계없이 기상청이 국민에게 최고의 날씨예보서비스를 제공해야 한다고 생각하고 있었다.

2018년도 기상업무 국민 만족도는 만족도, 신뢰도, 유용도 모두 70% 중반 및 후반대에 머무르고 있으며, 해마다 발생하는 폭염, 한파, 집중호우 등 이상기상현상의 발생과 예측 수준에 따라 만족도 수치에 변동이 있다. 동네예보 정확도도 상승폭이 높고, 정보습득의 용이성 또한 거의 90%에 다다르고 있어, 현재의 동네예보 서비스에서 한 단계 높은 수준의 서비스로의 발전을 시도해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

## 다. 4차 산업혁명과 새로운 패러다임의 일기예보

### □ 4차 산업혁명

4차 산업혁명의 미래 디지털 사회는 인터넷과 인공지능이 결합된 초연결지능(hyper connected intelligence)과 사이버와 현실의 융합인 CPS(Cyber Physical System) 시대가 예상된다. 4차 산업 관련 주요기술은 모바일 인터넷, 클라우드 기술, 빅데이터, 사물인터넷(IoT), 인공지능(A.I.) 등(『The Future of Jobs(WEF, 2016)』)이다. 산업/정보사회에서 지능사회로의 패러다임이 전환되어 이전의 산업/정보사회에서의 의사결정의 주체였던 인간의 영역을 기계가 대부분 수행 가능하게 되었다. 단순한 계산능력, 효율성이 강조되고, 사이버공간으로 한정되었던 정보사회

에서 생각하는 능력, 현실세계 전반에 영향을 미치는 지능사회로의 전환은 사회 전반적으로 엄청난 파급력을 미칠 것으로 예상된다(기상청, 2017)(표 2.1.22 참고). 정부는 4차 산업혁명에 대응을 위한 장기계획을 수립하여 이행하고 있다(기상청, 2017). 대표적인 지능정보사회 대응을 위한 정책으로 ‘16년 12월 정보통신전략 위원회가 심의 의결한 ‘지능정보사회 중장기 종합대책’ 이 있다. 글로벌 수준의 지능정보기술 기반 확보, 전 산업의 지능정보화 촉진 등 의 정책방향을 통해 국내 전 산업 대상으로 기술 및 인프라 확보를 강조하고 있다. 특히, 공공서비스 전반에 지능정보기술 도입을 조기 확산하여 생산성향상 및 국가경쟁력 확보를 목표로 하고 있어 공공서비스인 기상서비스에 대한 지능화가 요구되고 있다.

국가전략기술개발 분야 중 ‘ICT 융합 신산업 창출’, ‘깨끗하고 편리한 환경 조성’, ‘걱정 없는 안전사회 구축’ 분야에서 인공지능기술과 기상산업의 융합을 독려하고 있다. ICT융합, 기후변화 대응, 자연재해 대응 등을 강조하였다. 예보정확도 향상 및 기상기후정보 활용 확산과 인공지능을 비롯한 첨단 기상기술 및 전문인력 확보 등 3대 발전목표를 수립하였다. 기상예보 기술과 관측 인프라 고도화, 미래를 준비하는 기상업무 성장기반 조성을 중심으로 발전목표 및 전략을 수립하였다. 국가R&D선진화 방안에 따라 기상 R&D를 효과적으로 추진 관리하기 위한 운영제도 개선 전략을 수립하였다. 미래지향의 기상기술 선진화, 기상기술의 국가성장 동력화 등을 추진하고 있다.

표 2.1.22 정보화와 지능화 비교 (기상청, 2017)

구분	정보화	지능화
핵심능력	계산능력	생각하는 능력
핵심가치	효율적 업무처리 (do things right)	효과적 문제해결 (do the right thing)
적용범위	컴퓨터 (HW+SW)	모든 사물 (HW+SW+지능)
	사이버공간 (아날로그/디지털 분리)	현실세계 전반 (아날로그의 디지털화)
핵심기술	ICT	ICT, 로봇, 알고리즘 등등

## □ 새로운 패러다임의 일기예보 등장

4차 산업혁명과 더불어 인공지능 기술을 접목한 새로운 패러다임의 일기 예보가 등장하고 있다. 미국 IBM은 AI를 학습시킬 자체 빅데이터 부족을 해결하고자 웨더 컴퍼니 인수 및 AI, 드론, 클라우드 플랫폼을 통한 기상정보 수집 예보 기반을 구축하였다. 자체 개발 인공지능 왓슨은 미세먼지 예측모델 결과를 바탕으로 AI의 과거 자료 학습을 통한 최적의 예측(안)을 제시하고 예보관이 검토 및 최종 판단하여 예보한다. 일본 NHK에 따르면 IBM 일본법인이 일본 기상청으로부터 기상예보 업무 허가를 받아 일본에서 기업을 대상으로 기상예보 서비스를 시작하였다(2017.3.23. 일자 기상예측에도 등장한 AI.. ‘오보청’ 불명에 벗을까). SNS 소셜 미디어 채팅 내용을 실시간으로 분석하여 기상 정보와 결합, 고객사에게 분석된 내용 제공하는 클라우드 플랫폼을 운영하고 있다. 드론 운영사업자 및 조종자를 대상으로 비행 지역의 실시간 기상 정보(온도 기압 구름 등)를 드론 내비게이션 어플리케이션에 구현하여 드론의 안전 비행을 지원, 자율비행의 효과를 제고하고 있다. 웨더컴퍼니는 전 세계 기상 데이터, 약 300여 명의 기상 전문가, 뛰어난 빅데이터 알고리즘 보유, 일 평균 스마트폰 약 4천만대, 항공기 5만대로부터 생성되는 30억 건의 데이터 분석이 가능하다(기상청, 2017).

미국 Monsanto는 기계학습을 통해 농업에 특화된 hyper-local 날씨 예보 유상 서비스를 실시하고 있다. 마이크로소프트는 Azure IoT Hub에서 온도 및 습도 데이터를 받아 Azure Machine Learning을 이용하여 강우 확률을 예측하는 일기 예보 모델을 개발하였다(그림 2.1.23). Machine Learning는 신속하게 예측 모델을 만들고 분석 솔루션을 배포할 수 있는 클라우드 예측 분석 서비스이다. 또한, ‘Deep Hybrid Model’ 이라는 기상 예측 모델을 개발하여 주요 기상 변수의 영향과 과거 데이터를 고려하여 미래의 기상 변화를 예측한다(그림 2.1.24). 또한 미국 대륙 60개 고층대기 관측소의 관측자료에 AI기술을 적용하여 24시간 예측모델을 개발하였다. 이는 바람, 이슬점, 지위고도, 기온에 대한 24시간 이내 예보에 있어 미국 해안청(NOAA)의 현업모델보다 우수한 성능을 보인다(기상청, 2017).

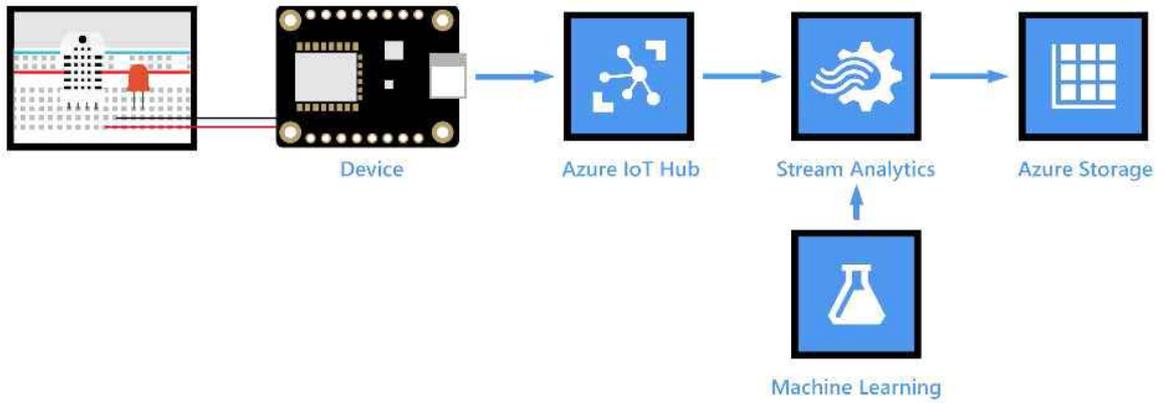
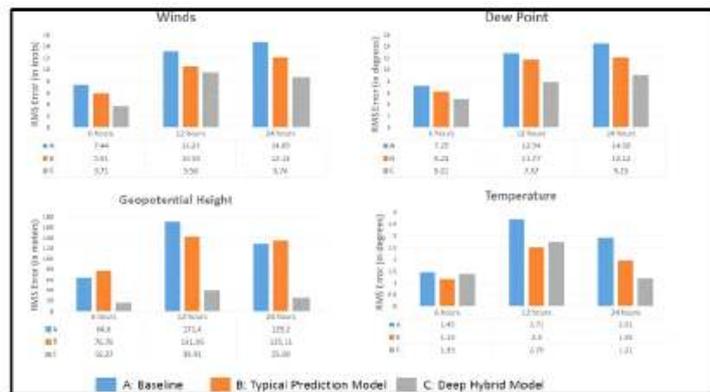


그림 2.1.23 Azure Machine Learning의 프로세스 (기상청, 2017)



Time Step	Model	RMS Error (in knots)		
		X	Y	Overall
6 hours	Deep Hybrid Model	<b>2.29</b>	<b>1.33</b>	<b>1.81</b>
	Kapoor et al. 2014	3.94	2.16	3.05
	NOAA	3.18	3.44	3.31
12 hours	Deep Hybrid Model	<b>4.44</b>	<b>2.59</b>	<b>3.56</b>
	Kapoor et al. 2014	5.03	3.93	4.48
	NOAA	5.13	4.34	4.88
24 hours	Deep Hybrid Model	<b>6.57</b>	<b>3.82</b>	<b>5.19</b>
	Kapoor et al. 2014	8.93	5.24	7.08
	NOAA	8.79	6.37	7.58

그림 2.1.24 미국 마이크로소프트의 Deep Hybrid Model 결과 요약 (기상청, 2017)

□ 기상청, 인공지능 기상예보 보좌관 ‘알파웨더’ 개발

기상청은 2019년부터 2027년까지 3단계 과정을 거쳐 기상 빅데이터와 차세대 인공지능 기술을 융합한 인공지능(AI) 기상예보 보좌관 ‘알파웨더’를 개발할 예정이다(그림 2.1.25). 행정안전부가 주관한 정부혁신행정 아이디어 공모에서 최종 선정된 아이디어로 1단계(2019~2021년)에서는 알파웨더가 예보관의 예보생산과정을 학습

하여 예보관이 기상특보, 기상정보를 신속하고 효과적으로 생산할 수 있도록 지원하는 프로그램을 개발하고, 2단계(2022~2024년)에서는 지역별로 다양하고 특화된 기상 예보가 가능한 ‘우리 동네 스마트 파트너(Smart Partner) 알파웨더’를 개발할 예정이며, 3단계(2025~2027년)에서는 국민 개개인을 위한 일상생활 패턴에 맞는 기상정보를 제공할 수 있는 ‘나만의 스마트 파트너(Smart Partner) 알파웨더’를 구축하여 개인별 맞춤형 기상정보를 제공할 계획을 가지고 있다.



▲ 알파웨더를 통한 기상예보생산 과정 /이미지=기상청

그림 2.1.25 알파웨더를 통한 기상예보생산 과정 (김정아, “빅데이터와 AI로 제공하는 개인맞춤형 기상예보! 기상청 ‘알파웨더’ 개발”)

## □ 인공지능 모델 연구

### ○ 초단기 강수예보 분야

홍콩 과학기술 대학의 Xing Jian Shi 연구팀은 인공지능 기술을 접목한 초단기 강수예보 연구를 다년간 수행하고 있다. Shi et al. (2015)은 Convolutional LSTM (ConvLSTM)를 기반으로 한 효과적인 강우 네트워크를 제안하였다(그림 2.1.26). Convolutional LSTM (ConvLSTM) 네트워크가 Fully Connect LSTM (FC-LSTM) 보다 시공간 상관관계를 잘 포착하고 강수량 예측을 위한 ROVER 알고리즘을 증가하는 것으로 나타났다. 분석자료는 Moving-MNIST Dataset 및 2011년부터 2013년까지 홍콩에서 수집된 Radar Echo Dataset이며, 분석기법은 Fully Connect LSTM (FC-LSTM)에 기반하여 개발된 Convolutional LSTM (ConvLSTM) 네트워크이다.

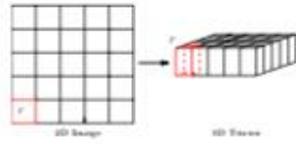


Figure 1: Transforming 2D image into 3D tensor

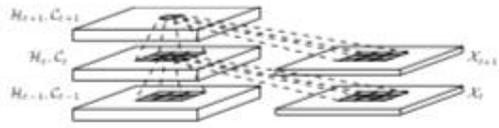


Figure 2: Inner structure of ConvLSTM

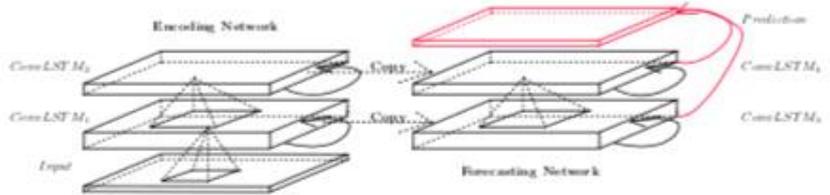


Figure 3: Encoding-forecasting ConvLSTM network for precipitation nowcasting

그림 2.1.26 Convolutional LSTM (ConvLSTM) 모식도

Shi et al. (2016)은 강수 nowcasting에 딥러닝 기법 적용을 소개하였다. 관측된 에코의 경로를 통해 가장 높은 상관성을 갖는 벡터(TREC vector)와 광학적 흐름(Optical Flow)를 통해 강수의 nowcasting이 수행되는데, 여기에 Convolutional long short-term memory(ConvLSTM)model을 구성한다. 이 모델은 Convolutional layer와 RNN(recurrent neural network) 모델의 LSTM cells이 주요 구성요소이며, 기존 nowcasting 기법과 비교하였을 때 좋은 성능을 보인다. 훈련자료는 2011~2013년의 97일간 고해상도 레이더 강도 자료를 사용하였으며, 분석기법은 이미지에 대해 전처리 후 ConvLSTM 기법을 적용하였다.

고해상도의 강수량을 예측하기 위해서는 강수의 실시간예측 기법을 개발하는 것이 매우 중요하다. 최근 Convolutional Long Short-Term Memory(ConvLSTM) 모델이 기존의 optical flow 기반 모델보다 우수한 결과를 나타내었다(Shi X. et al. 2015). 하지만, 이 모델은 학습 위치가 고정되어 구름의 회전과 같은 자연적 이동과 변형을 고려하지 못하는 한계가 있다. Shi et al. (2017)은 이러한 ConvLSTM 모델의 문제점을 보완하고자 Trajectory Gated Recurrent Unit(TrajGRU)라는 새로운 모델을 제안하였다. 이 모델은 현재 입력과 이전 상태를 이용해 각 시간에 따른 위치의 인접한 세트를 구성하여 위치 인덱스를 구함으로써, 위치가 변하더라도 능동적으로 학습이 가능하다. 또한 B-MSE(Balanced Mean Squared Error), B-MAE(Balanced Mean Absolute Error)를 이용하여 훈련하고 평가하여, 폭우일 때 더 높은 가중치를 줌으로써 다양한 강수 임계값을 수행할 수 있다. 분석자료

는 HKO(Hong Kong Observatory) -7 레이더 자료를 사용하였고, 분석기법은 TrajGRU 기법을 사용하였다(그림 2.1.28~29).

Prediction accuracy vs prediction horizon

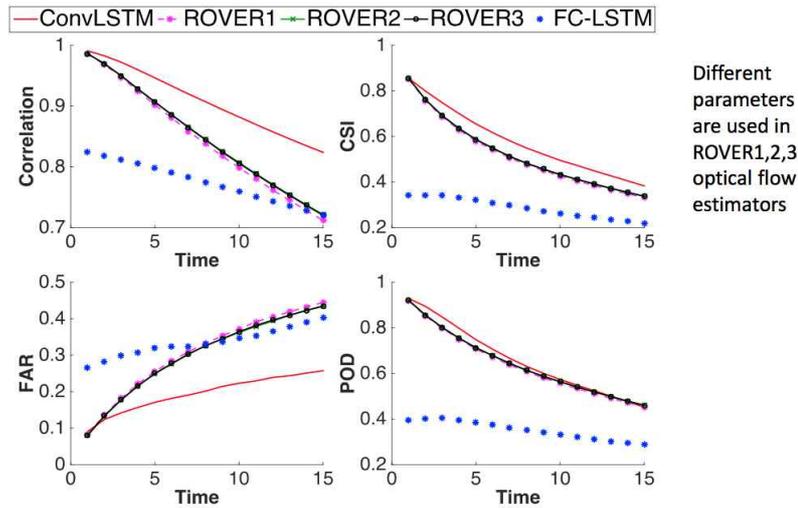
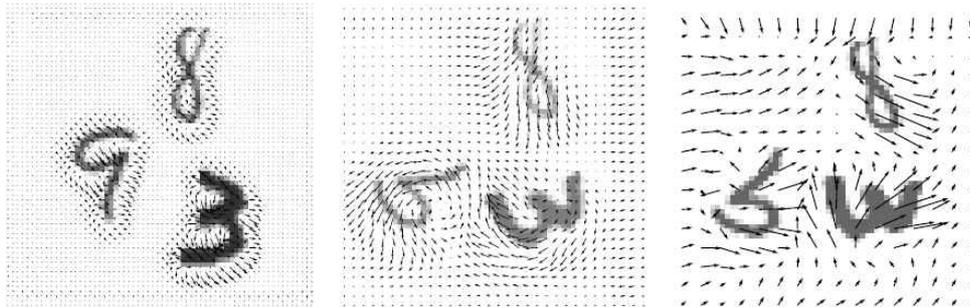


그림 2.1.27 ConvLSTM과 다른 기법들의 강수예측성능 비교



**Figure 3:** Selected links of TrajGRU-L13 at different frames and layers. We choose one of the 13 links and plot an arrow starting from each pixel to the pixel that is referenced by the link. From left to right we display the learned structure at the first, second and third layer of the encoder. The links displayed here have learned behaviour for rotations. We sub-sample the displayed links for the first layer for better readability. We include animations for all layers and links in the supplementary material. (Best viewed when zoomed in.)

그림 2.1.28 TrajGRU 의 학습구조

**Table 4:** Confidence intervals of selected deep models in the HKO-7 benchmark. We train 2D CNN, 3D CNN, ConvGRU and TrajGRU using three different random seeds and report the standard deviation of the test scores.

Algorithms	CSI					HSS					B-MSE	B-MAE
	$r \geq 0.5$	$r \geq 2$	$r \geq 5$	$r \geq 10$	$r \geq 30$	$r \geq 0.5$	$r \geq 2$	$r \geq 5$	$r \geq 10$	$r \geq 30$		
	Offline Setting											
2D CNN	0.0032	0.0023	0.0015	0.0001	0.0025	0.0032	0.0025	0.0018	0.0003	0.0043	90	95
3D CNN	0.0043	0.0027	0.0016	0.0024	0.0024	0.0042	0.0028	0.0018	0.0031	0.0041	44	26
ConvGRU	0.0022	0.0018	0.0031	0.0008	0.0022	0.0022	0.0021	0.0040	0.0010	0.0038	52	81
TrajGRU	0.0020	0.0024	0.0025	0.0031	0.0031	0.0019	0.0024	0.0028	0.0039	0.0045	18	32
	Online Setting											
2D CNN	0.0002	0.0005	0.0002	0.0002	0.0012	0.0002	0.0005	0.0002	0.0003	0.0019	12	12
3D CNN	0.0004	0.0003	0.0002	0.0003	0.0008	0.0004	0.0004	0.0003	0.0004	0.0001	23	27
ConvGRU	0.0006	0.0012	0.0017	0.0019	0.0024	0.0006	0.0012	0.0019	0.0023	0.0031	30	69
TrajGRU	0.0008	0.0004	0.0002	0.0002	0.0002	0.0007	0.0004	0.0002	0.0002	0.0003	10	20

그림 2.1.29 2D CNN, 3D CNN, ConvGRU과 TrajGRU의 CSI , HSS 비교결과

Ayzel G. et al.(2018)의 연구 핵심은 추적에 적합한 레이더 이미지의 고유한 기능을 식별하는 것으로 레이더 기반 강수량에 대한 공개 벤치마크의 광학 흐름 모델을 제안하였다. 형상의 강도가 일정하게 유지된다고 가정하고, 그 운동을 바탕으로 강우장을 가까운 미래(분에서 시간까지)로 대체하여 추적 단계에 대한 서로 다른 광학적 흐름 알고리즘과 이미지 뒤틀림 및 준수에 기초한 외삽 절차를 기반으로 한 일련의 모델을 개발하고 광범위하게 벤치마킹하였다. 이 연구에서는 확률적 강수량을 제공하는 라그랑지안 지속 모델 그룹에 모델 개발을 집중하였다. 라그랑지안 방법은 추적과 예측(외삽법)의 두 가지 계산 단계로 구성되고(Austin and Bellon, 1974) 추적 단계에서 가장 눈에 띄는 기술 중 하나는 "광학 흐름"이라고 하며 추적 단계에서 일련의 연속적인 레이더 이미지로부터 속도 필드를 계산하고, 두 번째 단계에서 그 속도 장을 이용하여 가장 최근의 강우장을 전이 시키며, 관측된 운동에 기초하여 미래의 강우 필드로 옮겨 놓는다. 이 단계는 세미 라그랑주 계획(Germann and Zawadzki, 2002), 보간법(Liu et al., 2015) 또는 메쉬 기반 모델(Bellerby, 2006; Zahraei et al., 2012)을 기반으로 구현되었다. 분석자료는 DWD 레이더 자료이고, 분석기법은 벤치마크(benchmark)의 광학흐름모델이다.

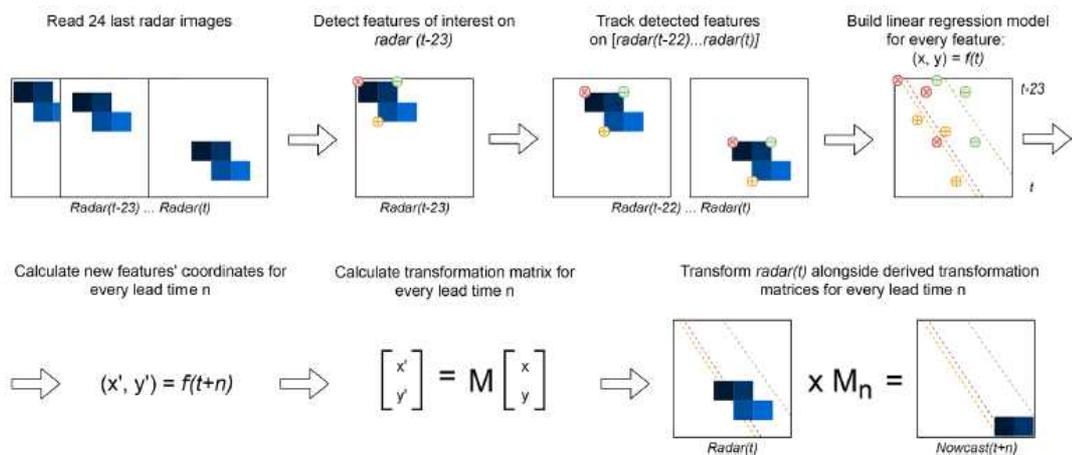


Figure 2. Scheme of the Sparse model.

그림 2.1.30 sparse 모델의 구성

○ 강우 예측 분야

일본에서는 강우예측을 위해 널리 사용되는 기법은 통계적 방법과 수치예보(NWP) 두 가지이다. 그러나 강수의 경우 비선형적인 성격이기 때문에 고정된 시계열과 단기 강수량 예측에만 유용하며, 통계적 접근법은 비선형 패턴과 불규칙한 추

세를 식별하기 어려운 단점이 있어, 인공 신경망(ANN) 기반의 지역 강수량 예측 시스템을 개발하고 테스트하였다. 인터넷에서 강우 예측에 사용되는 기상데이터를 자동으로 얻을 수 있도록 시스템이 구성되어있다. 이 연구의 최종 목표는 정확한 강수량예측을 위한 사용자간의 자료공유 뿐만 아니라 빅데이터를 실제로 이용하는 것이다. 따라서 일본 기상청의 데이터를 사용하여 일본지역의 강우량을 예측한다(그림 2.1.31). 시스템의 인공 신경망 모델(radial basis function network;RBFN)과 Multi-layer perceptron(MPL) 두 기법의 예측성능을 최소제곱법을 이용하여 비교하여 MPL모델의 성능이 RBFN보다 성능이 좋았다. 2000~2010년 자료를 사용하여, 2011년과 2012년에 도쿄에서 폭우(10mm/h)를 예측하여 이러한 시스템이 강수량이 정확하게 예측 가능하며, 국지적 폭우를 예측 가능할 것을 시사하였다 (Tomoaki et al.,2017). 분석자료는 일본기상청 강수량 자료이고, 분석기법은 MPL, RBFN 기법이다.

**Table 11**  
Total prediction results in 2012.

Obs. point	Model	Result	Evaluation index (%)					A number of events				
			THR	HRP	HRN	CR	OR	SMR	A	B	C	D
Sapporo	3LP	Result 1	76.8	61.7	88.7	81.3	6.3	16.9	100	23	62	181
		Result 2	80.1	74.0	82.4	62.6	12.6	7.4	77	46	27	216
	RBFN	Result 1	62.6	46.1	78.2	66.7	11.2	26.2	82	41	96	147
		Result 2	68.3	55.4	71.1	29.3	23.8	7.9	36	87	29	214
	JMA	-	80.0	55.0	92.0	76.0	5.0	15.0	-	-	-	-
	Matsuyama	3LP	Result 1	83.2	62.6	90.1	67.9	7.4	9.3	57	27	34
Result 2			82.4	70.0	84.4	41.7	13.5	4.1	35	49	15	265
RBFN		Result 1	68.4	38.3	85.7	60.7	9.1	22.5	51	33	82	198
		Result 2	77.7	53.1	81.6	31.0	15.9	6.3	26	58	23	257
JMA		-	90.0	65.0	94.0	69.0	5.0	6.0	-	-	-	-
Naha		3LP	Result 1	73.8	55.6	84.1	66.7	10.1	16.1	74	37	59
	Result 2		77.3	70.6	78.9	43.2	17.2	5.5	48	63	20	235
	RBFN	Result 1	74.3	57.9	81.1	55.9	13.4	12.3	62	49	45	210
		Result 2	74.3	66.7	75.6	30.6	21.0	4.6	34	77	17	238
	JMA	-	86.0	57.0	95.0	80.0	4.0	11.0	-	-	-	-

그림 2.1.31 2012년도 예측된 지역별, 모델별 강수량 결과

Du et al. (2018)은 Deep belief network를 기반으로 한 효과적인 강우 예측 모델을 제안하였다(그림 2.1.32). Deep belief network는 예측 성능을 향상시키기 위한 기능을 가지고 원래 공간에 있는 데이터의 형상 표현을 새로운 형상으로 변환한다. 분석자료는 1년 간의 난징지역의 지상 기반 데이터이고, 분석기법은 PSO-SVM 모델 (support vector machine with particle swarm optimization, 다층 제약 볼츠만 기계 (multi-layer restricted Boltzmann machines, RBMs)에 기반하여 개발된 deep belief network(DBN)이다.

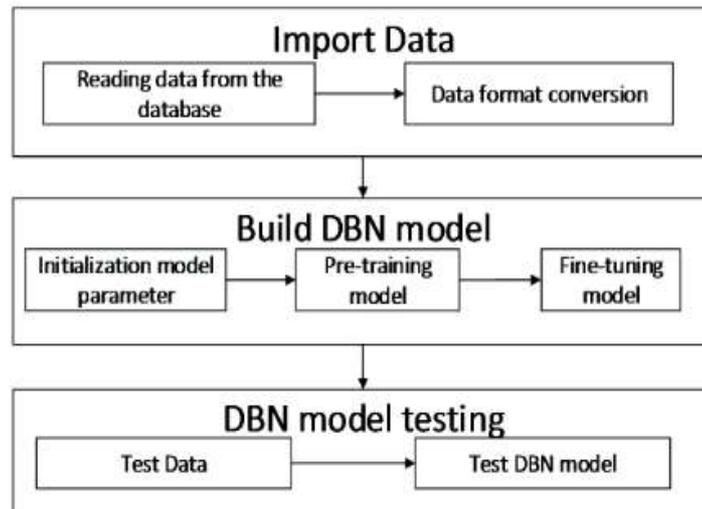


Figure 3. The flow chart of the deep belief networks model.

그림 2.1.32 Deep belief network 모델의 흐름도

○ 모델링 분야

Karpatne et al. (2018)은 물리 모델의 과학 지식과 신경 네트워크를 결합한 새로운 프레임 워크인 physics-guided neural network(PGNN)를 소개하고, 신경 네트워크의 구성과 학습에 과학 지식을 사용함으로써 제안된 프레임 워크가 결과의 과학적 일관성뿐만 아니라 더 나은 일반화 가능성을 보장한다는 것을 보여주었다(그림 2.1.33). PGNN은 물리 기반 모델과 신경 네트워크의 하이브리드 조합 자료를 생산하는 hybrid-physics-data(HPD) 과정과 물리 기반 손실 함수를 사용함으로써 과학 지식을 사용하여 신경 네트워크를 학습하는 과정의 2개의 주요 과정이 존재한다. PGNN을 이용하여 미국 미네소타의 밀레락스(Mille Lacs)와 위스콘신 멘도타(Mendota) 호수의 수온 모델링을 실시한 결과, 오차가 줄었을 뿐만 아니라 물리과정 지식과 일관성이 있는 결과가 나타났다(그림 2.1.34). 수온, 밀도, 수심의 관계를 고려한 물리기반 손실 함수가 사용되었다. 분석 및 훈련자료는 밀레락스(81/06/17~16/01/01 7,072개 자료)와 멘도타(80/04/30~15/11/02 13,543개 자료) 호수의 수심, 단과복사, 장과복사, 기온, 상대습도, 바람, 비, Growing Degree Days, 결빙, 강설 자료. 훈련에 3,000개 자료이며, 분석기법은 General Lake Model (GLM), Neural Network (Keras package using Tensorflow backend)이다.

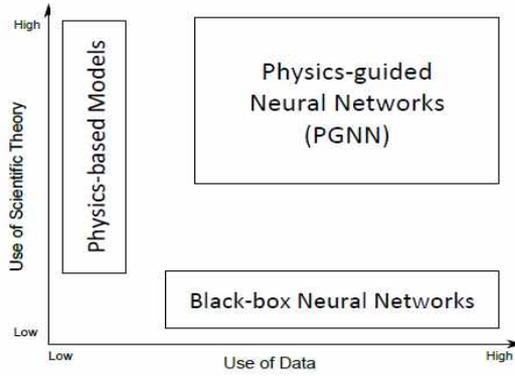


Figure 1: A schematic representation of physics-guided neural networks in the context of other knowledge discovery approaches that either use physics or data. The X-axis measures the use of data while the Y-axis measures the use of scientific knowledge.

그림 2.1.33 physics-guided neural network(PGNN) 도식도

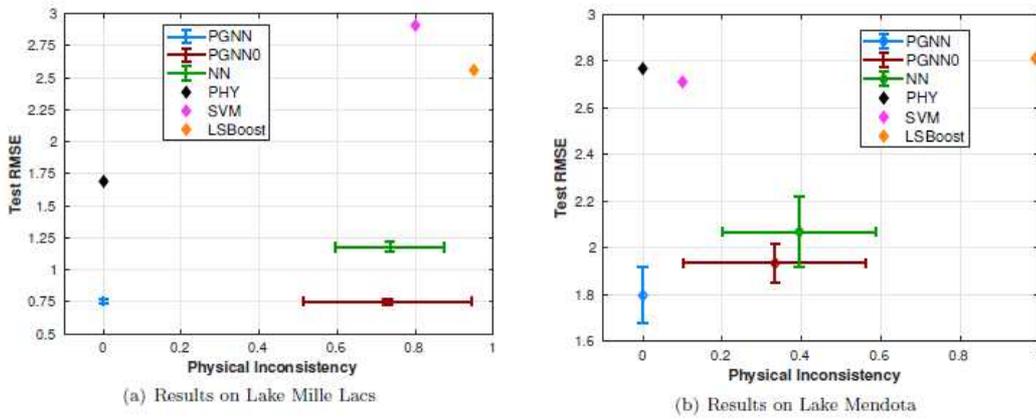


그림 2.1.34 RMSE와 물리적 불일치 비교 결과, PGNN (파란색)과 다른 비교 모델 결과

Rasp et al.(2018)은 기후모델의 비선형성 sub-grid 과정을 표현하기 위해 시도하고 있는 Cloud-resolving Models(CRM)이 갖는 많은 계산량에 의한 한계를 지적하며 이를 대체 할 수 있는 Deep-learning 기반 물리모수화 기법을 소개하였다. 기후모델이 구현하는 모든 sub-grid 과정을 Deep learning의 신경망에 훈련시키고, 이는 기후모델의 전통적인 매개변수를 대체한다. 다년간의 시뮬레이션은 안정적이었고, 구름-해상의 평균적인 기후와 강수량 등 기후 변동성의 주요 측면을 잘 재현해냈다(그림 2.1.35). 또한 훈련된 신경망은 특별한 처리를 하지 않음에도 대체로 에너지 보존이 잘 이루어졌다. 향후 기후예측의 불확실성을 줄이기 위해 데이터 기반의 지구 시스템 모델 개발이 핵심적인 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 분석 및 훈련자료는

superparametrized Community Atmosphere Model v3.0(SPCAM)이고, 분석기법은 Neural Network이다.

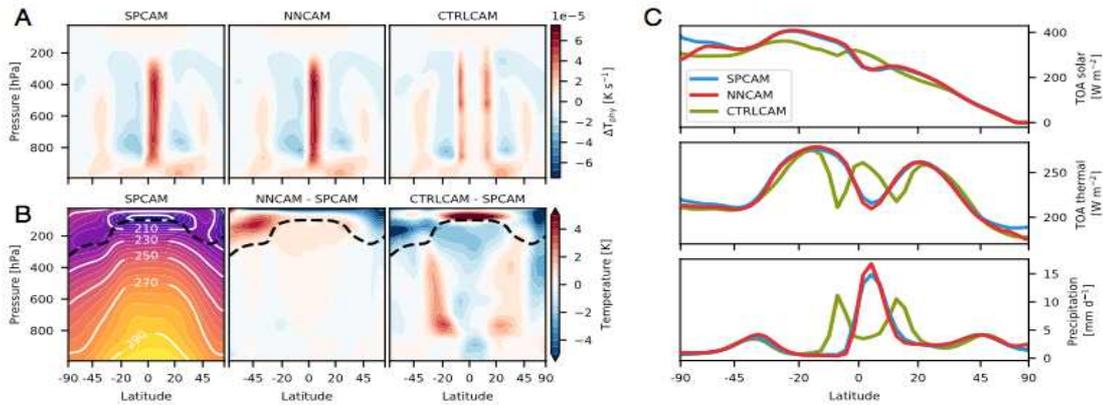


그림 2.1.35 SPCAM(청색, 기준모델)과 NNCAM(적색, 딥러닝기법), CTRLCAM(녹색, 전통적모델)의 평균 기후장 모의 결과 비교.

David et al (2019)은 자료동화, 역학, 물리과정 모수화, 진단, 후처리로 이어지는 일련의 NWP 모델의 모든 부분에 적용되는 기계 학습 모델이 예측정확도 또는 계산 속도를 개선하는데 도움이 될 수 있다고 하였다. 일련의 신경망 네트워크는 bulk 미세물리과정에 보다 bin 미세물리과정의 분포를 더 밀접하게 모방할 수 있다. 랜덤 포레스트와 신경망 네트워크는 현재의 Monin-Obukhov Similarity 이론 보다 표면층 플럭스를 더 잘 추정할 수 있다. 여기서 Monin-Obukhov Similarity 이론은 표면 유동 및 응력을 결정하는데 사용된다. 분석자료는 KNMI-mast at Cabauw (네덜란드, 203m 타워, 2003~2017), FDR 타워 (아이다호주 스코빌 인근, 2015~2017)의 온도, 풍속, 기압, 상대습도, 지표면 온도 등이고, 분석기법은 랜덤 포레스트, Monin-Obukhov Similarity 이론, 신경망 네트워크 비교 등이다(그림 2.1.36).

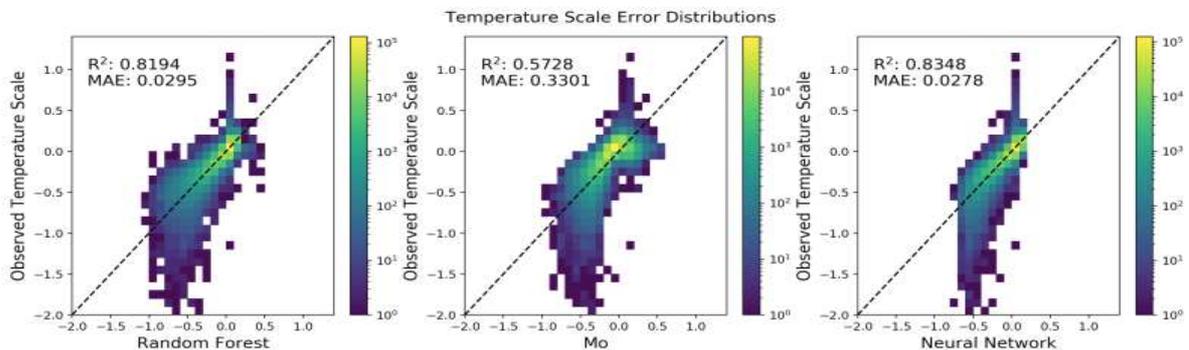


그림 2.1.36 랜덤 포레스트, Monin-Obukhov Similarity 이론, 신경망 네트워크의 Friction Velocity 결과 비교

○ 태풍 예측 분야

태풍 모델을 평가하는 중요한 요소는 태풍 추적 및 강도에 대한 예측 정확도로 태풍 궤도의 24시간 예보 오차는 50km로 꾸준히 향상되었지만, 태풍 강도 예측은 지난 10년 동안 주요 난제 중 하나로 남아 있다. 이에 Jiang et al. (2018)는 대기 전용 태풍예측모델을 위한 딥러닝 신경 네트워크 기반의 매개 변수화 기법을 개발하였다. 태풍 강도 예측 개선을 위한 태풍 유도 해수면 온도 냉각(SSTC)을 제공하기 위해 대기 전용 태풍 예측 모델에 잠재적으로 사용할 수 있는 기계 학습 신경 네트워크에 기초한 두 가지 알고리즘인 얇은 학습(S-L)과 심층 학습(D-L) 알고리즘을 제안하였다. 태풍예측을 향상시키기 위한 태풍 유도 해수면 온도 냉각(Sea surface temperature cooling-SSTC)을 제공하여 예측모델에서 다가오는 태풍에 의해 유발되는 SSTC를 정확히 예측하였다. 분석자료는 1992년부터 현재까지의 세계 해양 재분석 자료이고, 분석기법은 얇은 학습(S-L)과 심층 학습(D-L) 알고리즘이다(그림 2.1.37).

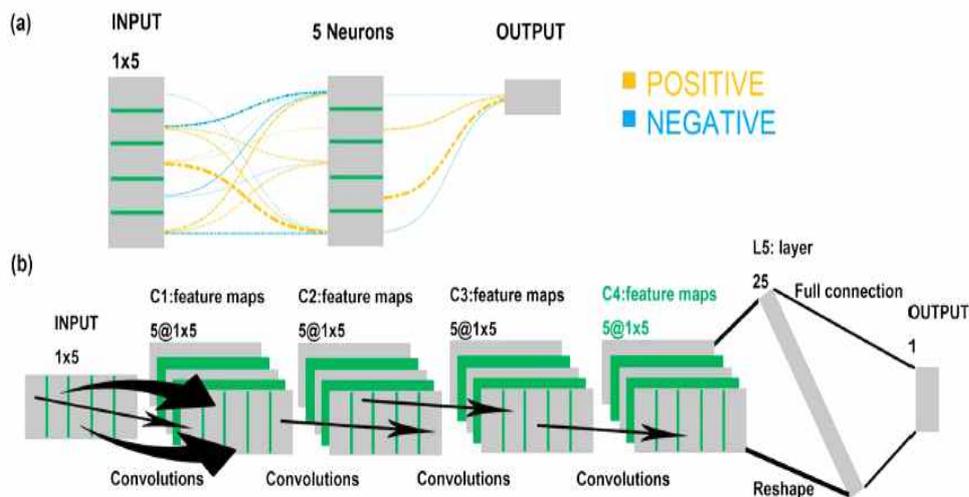


Figure 1. Schematic representations of the neural networks: (a) three-layer structure of the S-L neural network; (b) multilayer structure of the D-L neural network. The blue/yellow dashed lines in the S-L algorithm represent negative/positive weighting coefficients, with the width of each line indicating its weight.

그림 2.1.37 (a) S-L 신경망의 3층 구조, (b) D-L 신경망의 다층 구조

중국에서는 evolutionary genetic algorithm(GA)와 Artificial neural network(ANN)를 기반으로 한 새로운 비선형 인공지능 앙상블 예측(GNNEP) 모델을 개발하여 태풍 강도 예측의 성능을 향상시켰다(그림 2.1.38). GNNEP 모델은 남중국해의 태풍강도의 단기예측으로 사용하며, 기존 Climatology and

persistence (CLPER) 모델보다 동일한 예측인자와 표본사례를 사용하여 비교하였을 때, 24시간 예측에서 우수한 결과를 보였다. 이 모델은 실용적인 날씨예측에 대한 전통적인 신경 네트워크 접근방식에 존재하는 오류인 over fitting 문제를 보다 효과적으로 해결하였다(Jin et al., 2008). 분석자료는 CMA의 1960년부터 2005년까지의 South China Sea typhoon이고, 분석기법은 GA와 ANN에 기반한 NAIEP 모델(GNNEP)이다.

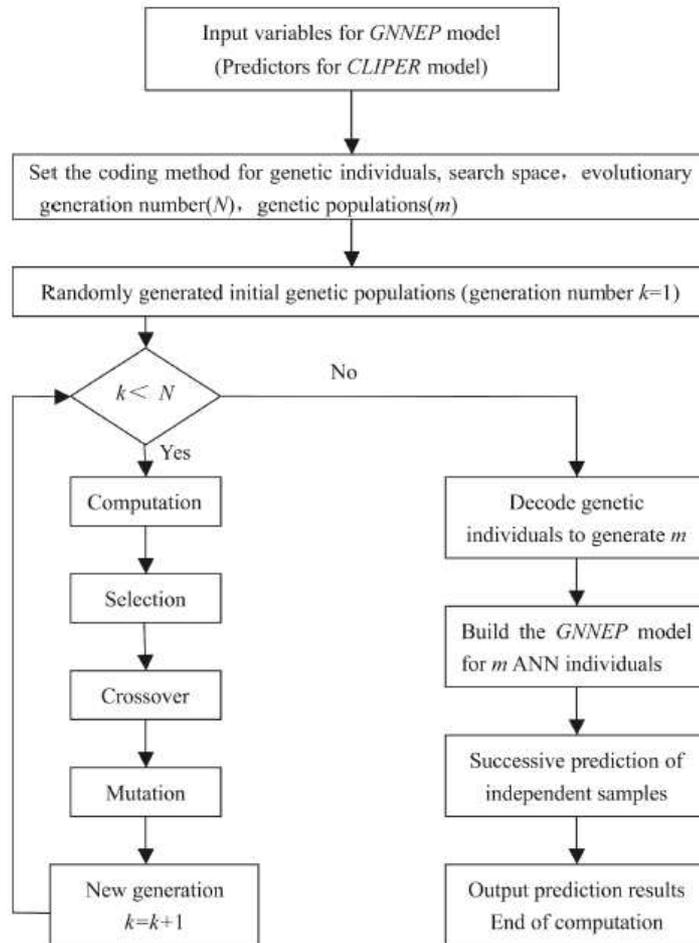


FIG. 2. Flowchart for GNNEP prediction modeling.

그림 2.1.38 GNNEP 예측모델의 흐름도

○ 우박 예측 분야

미국 NCAR에서는 딥러닝 기법을 이용하여 우박성장 과정을 재현하는 연구를 수행하였다. 딥러닝 기법을 통해 우박 예측 기술을 향상시키는 공간적인 기상 데이터를 만드는 것을 목표로 시작되었다. 그림 2.1.39와 같이 지위고도, 기온, 바람 등과 같은 NCAR NMM 모델 자료를 이용하여 공간적인 평균 분포를 파악하며,

Principal Component Analysis transform 분석을 통해 주요 인자를 분석하여 우박의 사이즈가 25mm 이상일 확률을 예측하였다. 반복적으로 기상관련 변수 자료를 이용한 훈련과 테스트를 수행하고 딥 뉴럴 네트워크 방식을 이용하여 오차를 최소화하는 최적화 과정을 수행하였다(John, 2018). 분석자료는 NCAR MMM Convnetion Allowing Ensemble 이고, 분석기법은 Convolution Neural Network 이다.

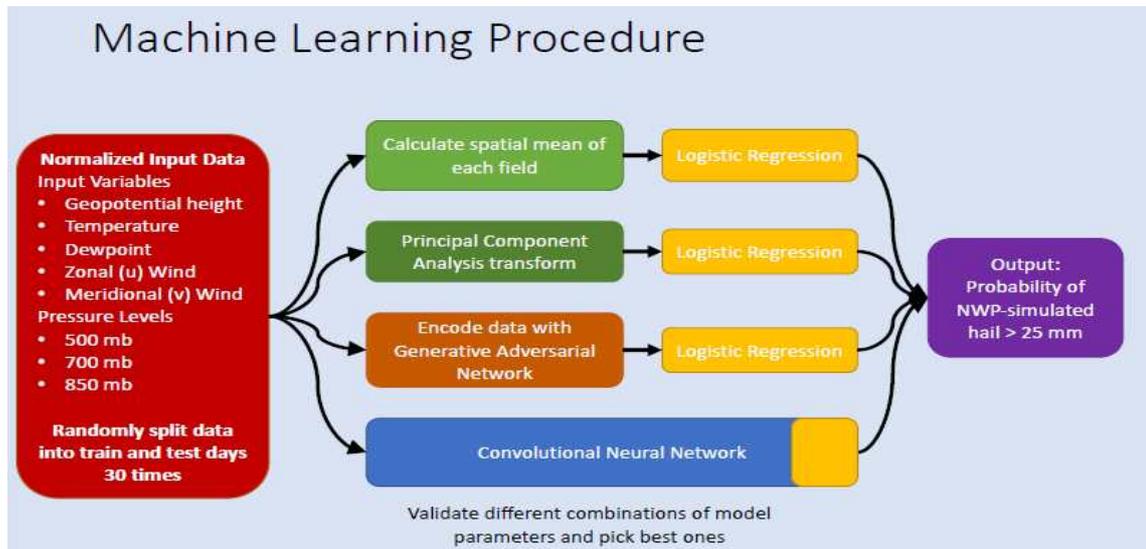


그림 2.1.39 우박 예측을 위한 기계학습 기법 과정

○ 위험기상 예보 분야

미국 NOAA에서는 천둥, 토네이도, 허리케인과 같은 위험기상에 대한 예보 스킬을 향상시키기 위해 미국 대륙 전역의 Multi-Radar Multi-Sensor (MRMS; Smith et al., 2016) 시스템의 자료를 사용하여 실시간으로 폭풍을 식별하고 추적하였다. 해당 레이더 자료를 사용하여 분석을 위한 훈련자료를 생산하여, Random Forests, Gradient Boosted regression trees(GBRT), elastic nets 세 가지 기계학습 기법을 테스트 후 유효성검사를 수행하여, 그림 2.1.40과 같이 GBRT 기법이 가장 우수한 방법으로 선정하였다(McGoven et al, 2017). 분석자료는 MRMS 자료를 기반으로 감지된 폭풍우의 다년 재분석자료(Multi-Year Reanalysis of Remotely Sensed Storms; MYRORSS)이고, 분석기법은 GBRT기법이다.

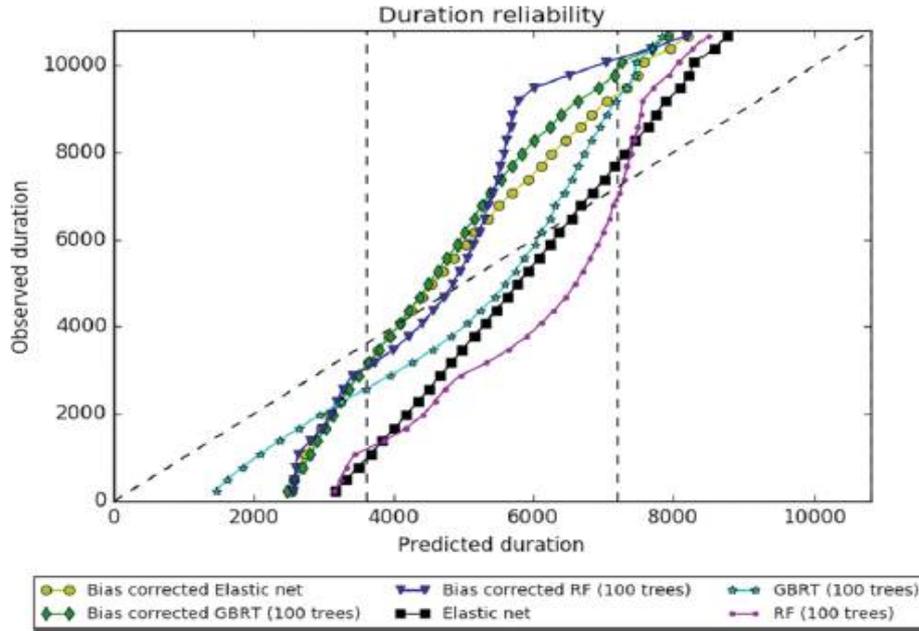


Fig. 2. Reliability diagram for predicting a storm's lifetime.

그림 2.1.40 storm의 lifetime 예측의 신뢰도 그림. 대각선(점선)에 가까울수록 신뢰도가 좋은 결과임. GBRT가 가장 가까운 것을 알 수 있음.

○ 극한기상패턴예측 및 기후감시 분야

Chattopadhyay. et al.(2019)은 아날로그 예측 (과거 유사 패턴을 사용한 예측)을 기반으로하고 새로운 딥러닝 패턴 인식 기술 (캡슐 신경 네트워크, CapsNets) 및 영향 기반 자동 라벨링 전략을 사용하는 데이터 기반 프레임 워크를 제안하였다(그림 2.1.41). k-means 기법을 이용하여 대류권 대규모 순환 패턴 (Z500)을 북아메리카의 표면 온도 극한값의 존재여부 및 지리적 영역에 따라 0~4로 분류하여 라벨을 붙여주었다. Z500패턴과 해당 라벨을 CapsNets 기법에 적용하여 수 일동안 훈련하고 T2m 클러스터 지수를 예측하여, 예측된 T2m에 따라 추위 또는 폭염 발생 여부 및 발생 영역을 예측하였다. 분석자료는 북아메리카 영역의 40개의 앙상블로 구성된 LENS자료이고, 분석기법은 k-means, CapsNets기법 이다.

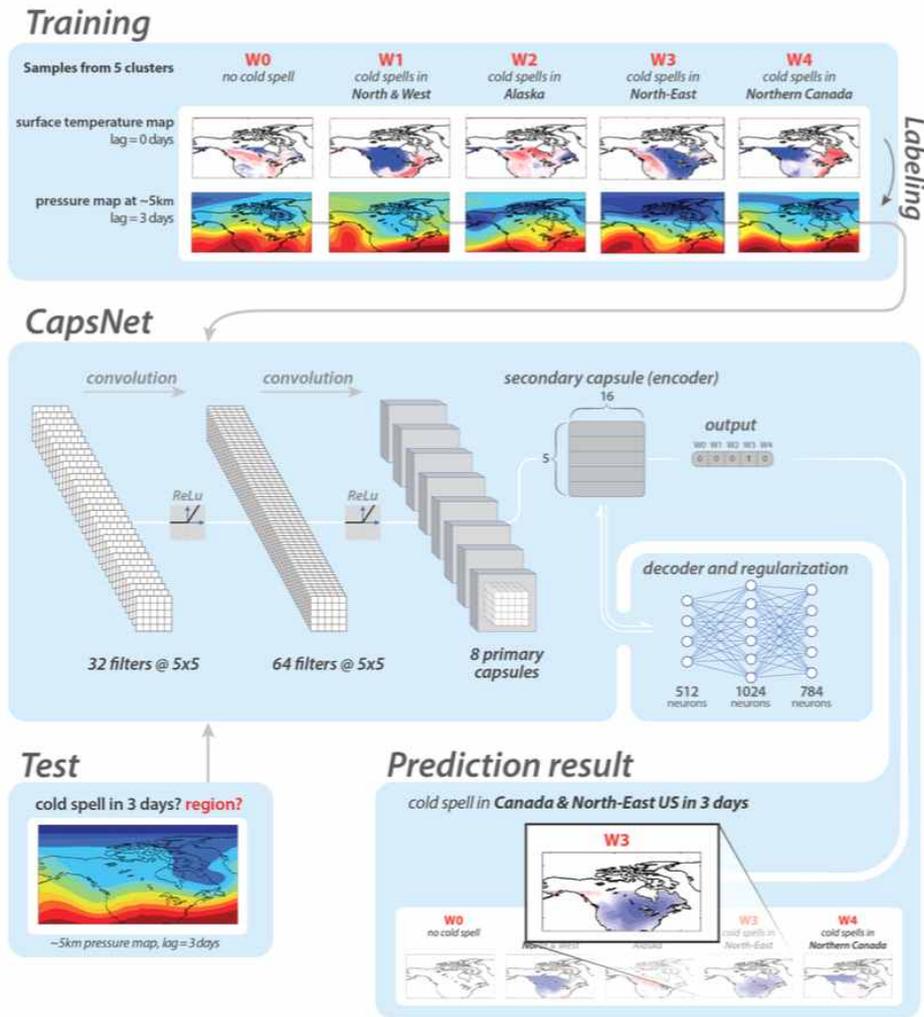


그림 2.1.41 CapsNet기반 한파 예측 모델의 흐름도

라. 예보 전달 수단의 변화

□ 모바일 날씨 어플리케이션의 증가

이탈리아, 미국, 영국에서 인기 있는 날씨 어플리케이션 17개(표 2.1.23)를 분석한 결과 절반 이상이 10~15일 예측을 제공하고, 시간별 예보는 62%가 제공하였다(Zabini, 2016). 분석된 어플리케이션은 다음과 같은 3 가지 주요 화면 표시 스타일을 보이며, 첫 페이지는 GPS에 의해 자동으로 선정되거나 수동으로 선택한 위치의 정보를 제공한다. 그림 2.1.42는 모바일 날씨 어플리케이션의 화면을 예시로 나타낸 것이다.

- Essential/Nowcast : 기호를 통한 현재 날씨(현재 기온, 최고/최저, 하늘상태) 정보를 제

공하며, 경우에 따라 다가올 며칠에 대한 예보도 함께 제공

- Table shaped : 예보일별 날씨를 기호를 포함한 기온 정보와 함께 목록 형태로 제공
- Map-centered : 몇 가지 레이어를 통해 현재 상태를 지도로 제공

표 2.1.23 이탈리아, 미국, 영국의 인기 날씨앱 목록 (17개) (Zabini, 2016)

1	3B Meteo - Previsioni Meteo
2	Accuweather
3	Beautiful Weather
4	Clear Day
5	FOX4
6	Intellicast HD - Weather Radar, Storm Tracking, Precision Forecasts, and Maps
7	Meteo...WOW
8	Meteo in diretta
9	Meteo Life
10	NOAA Weather Radar - Severe Weather Forecast and HD Maps for US
11	Radar Meteo Mondiale Gratuito
12	Sky Meteo24
13	Weather On
14	WeatherBug - Weather Forecasts & Alerts
15	WeatherCaster - Weather radar, forecast, alerts, and hurricane tracker
16	WunderMap
17	Yahoo Meteo

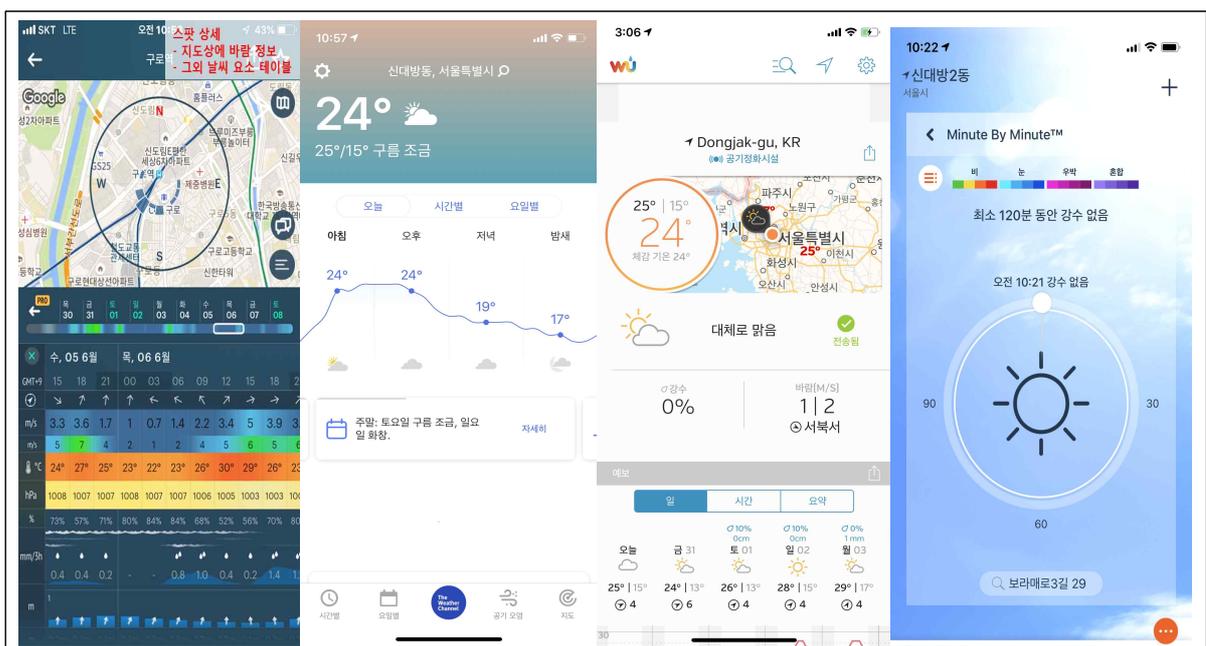


그림 2.1.42 모바일 날씨어플리케이션 화면 예시

## 마. 위험기상에 대한 예보 수요

### □ 기후변화에 따른 이상기상 현상 증가

최근 기상기술의 발전과 함께 일기 예보의 단기 예측이 향상되었음에도 불구하고 복합·대형화되는 기상재해(폭설, 강풍, 집중호우, 홍수, 산사태, 농작물 피해 등)에 기인한 인명 및 재산 등 사회적·경제적 피해는 지속적으로 증가하고 있다. 그림 2.1.43과 같이 통계연보(2015)에 의하면 2011~2014년간 우리나라에서 기상재해로 인한 연평균재산 피해액은 약 5조 5천억원으로 추정되며, 이는 2001~2010년(약 2조 7천억원) 대비 약 2배, 1991~2000년(약 7천억원) 대비 약 7배 이상 증가하였다(한국기상학회, 2016).

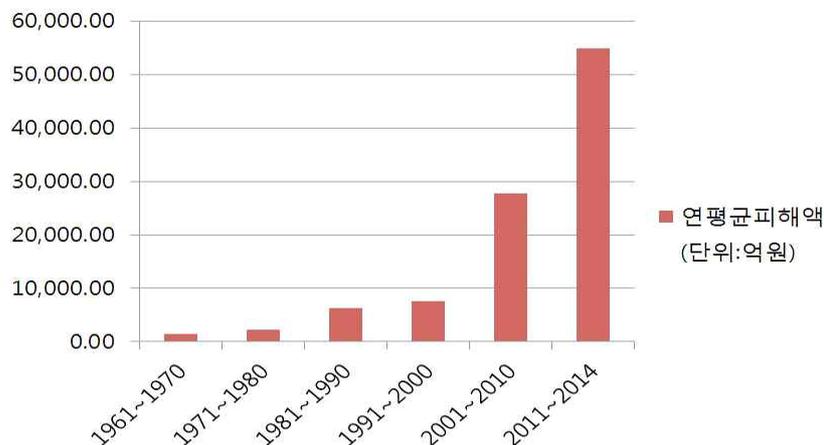


그림 2.1.43 한국의 기상재해로 인한 연평균 재산 피해액 추이(통계연보 2015) (한국기상학회, 2016)

전 세계적으로도 악기상 및 재해 기상의 증가로 인한 인명피해는 크게 증가하고 있는 것으로 보고되고 있다. 2013년 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO) 보고서에 의하면 극한 기상을 크게 다섯 가지의 범주(열파(Heat), 한파(Cold), 가뭄(Drought), 폭풍(Storm), 홍수(Floods))로 구분하였고, 2001-2010년 기간 동안 극한 기상에 의한 사상자 수는 1991-2000년 기간 동안의 사상자 수보다 약 20% 증가한 것으로 나타났다(한국기상학회, 2016)(그림 2.1.44). 이상기상 현상의 증가는 국민들의 기상서비스에 대한 관심을 증대시키지만 정확하고 신속한 예보가 이루어지지 않을 경우 많은 비난을 초래할 수 있다. 따라서 보다 선진화된 예보시스템을 구축하여 신속하고 정확한 기상예보 서비스를 제

공해야한다. 그림 2.1.45는 2018년 주요 이상기상 현상이다.

- 2018년 관측역사상 가장 더운 여름(8월 전국평균기온 27.3℃, 폭염일수 31.4일)
- 2018년 연초 강한 한파 (전국 최고기온이 `73년 이후 최저 1위)
- 집중호우 : 좁은 띠 형태의 강한 강수로 지역별 강수강도 및 강수량이 매우 큰 편차를 가짐
- 태풍 (2018년 19호 “솔릭”) : 매우 강한 풍속 및 기록적인 강수량, 급격한 이동경로의 변동

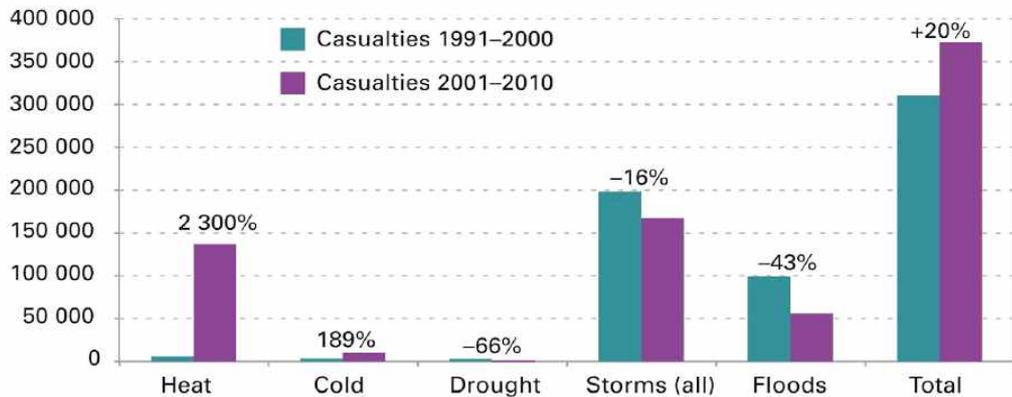


그림 2.1.44 1991-2000년 기간 동안 극한 기상에 의한 사상자 수와 2001-2010년 기간 동안 사상자 수의 비교 (WMO(2013)) (한국기상학회, 2016)

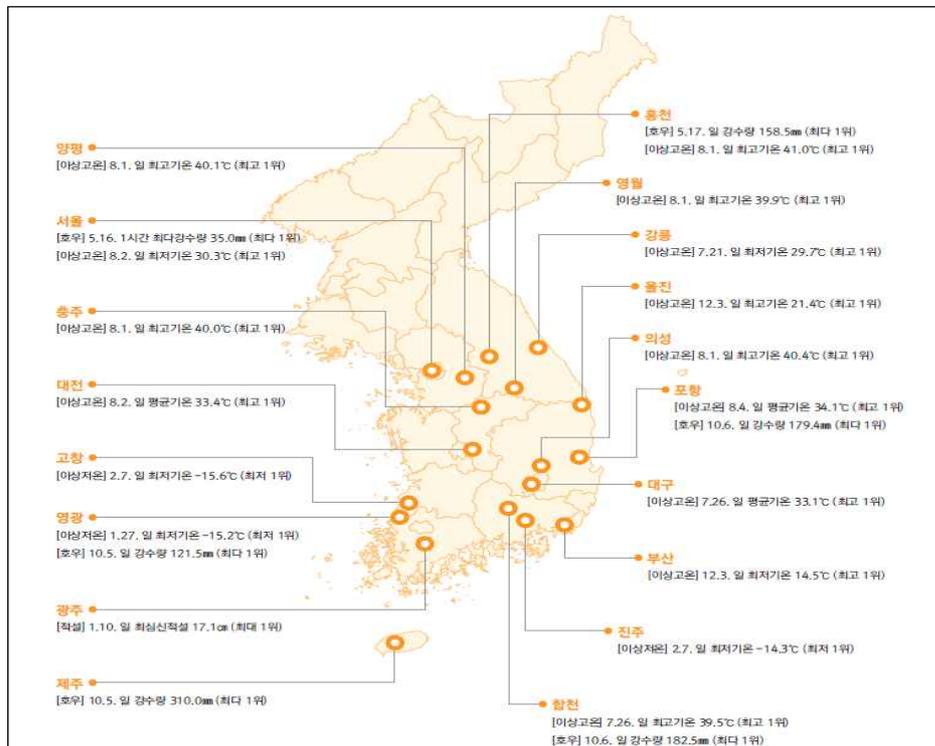


그림 2.1.45 2018년 우리나라 주요 극값 현황

## 바. 예보관 역할 변화

- 수치모델 해석, 모델의 품질개선 및 후처리 구성 모니터링 역할(Gillet-Chaulet Bruno. et al., 2019)

NWP 모델이 개발되면서 예보관들의 역할은 수치 모델 해석 임무가 기본이 되며, NWP 모델의 품질 개선 및 후처리와 같은 예측 데이터 구성방법의 진행사항을 모니터링하고, 제공된 정보를 시각화 할 수 있는 업무가 추가되었다. 예보관의 분석/예측 및 검증 단계의 경험을 통해 습득한 모델에 관한 지식은 모델에서 반복적인 결함을 식별할 수 있게 할 수 있다. 국가, 시민, 교통, 에너지 및 통신 관계자에게 기상 위험 가능성에 대한 경고 또한 예보관의 임무 중 하나다. 잠재적으로 위험한 기상 현상을 가능한 빨리 노출시켜 피해를 줄일 수 있다. 위험기상에 대해서 경계 감시맵을 수행하여 경계 수준은 등급별로 구분하여 경고시 조치를 취할 수 있도록 해야 한다. 기상 조건에 의존하는 다양한 활동 분야의 의사결정에 지원 및 조언하는 임무가 있다. 고객에게 필요한 맞춤형 서비스를 제공하여 사용자가 편리하게 자료를 이용할 수 있도록 한다.

- 소통과 경험적 예측을 통한 협업의 역할 (NWS, 2016)

예보관들은 단기, 장기 예측 데이터 모니터링을 통한 예보 업무뿐만 아니라 대중과의 커뮤니케이션 활동과 전화, 기상 라디오 작업, 강수 게이지 네트워크 수리, 악천후 시 경고, 비상관리자와의 연락 등의 일을 하는 공공서비스 업무 등 다양한 일을 수행한다. 예보관들이 업무를 할 때 가장 중요한 것은 예보의 정확성과 명확성으로 최선의 예측결과를 제공하기 위해 노력하고, 이 정보를 누구라도 쉽게 이해하도록 설명할 수 있어야 한다. 모델자료를 사용하기에 어려움이 있는 복잡한 지형의 경우 그 지역에 대해 잘 알고 있는 예보관의 경험적 예측은 예보를 할 때 중요하게 작용하며, 각 예보관들은 팀으로 협력해 여러 예측 정보를 분석, 통합하여 대중들이 이해하기 쉽도록 전달하는 역할을 한다.

- 예측모델 관리자 및 의사결정에 기여하는 예보관의 역할 전환 (David Novak et al., 2011)

NOAA 및 NWS의 예보관의 역할이 예보의 불확실성을 고려한 분석을 수행하는 예측모델의 관리자와 주요 기관의 의사 결정을 지원하는 역할로 전환되고 있다. 그리고 시간이 지날수록 예보관 역할에 대한 추세가 의사 결정을 지원하는 역할이 더 증가할 것이라고 예측하고 있다. 최근에는 앙상블 가이던스의 시각화 및 예보의 불확실성에 대한 효과적인 전달 방법에 초점을 두고 있다.

□ high-impact weather에 중점을 둔 역할 (Herbert Gmoser, 2009)

MSC(Meteorological Service of Canada)는 효율적인 수치모델 운영을 위하여 중앙화 된 예측 접근 방식을 추구하며 양질의 서비스를 지속적으로 제공하고, 수치예보모델(NWP)을 통해 자동화를 향상시켰다. 더 효율적인 수치모델 운영을 위해 새로운 방법론을 도입하였다. 새로운 방법론은 일상적인 일기예보는 자동화하고, 예보관들은 high-impact weather(HIW)에 중점을 두는 방법론이다. 수치예보모델은 중요한 지침을 제공하는 도구로만 여기며, 예측 프로세스는 자동화된 수치예보모델 시스템이 아니라 예보관에 의해 추진된다는 것이 기상 예측의 핵심이 되어야 한다. 또한 예보를 개선하기 위해 앙상블 예측 시스템을 사용하며, 전문적인 개념에 대한 지속적인 교육이 필요하다. 인간-기계의 최적의 조합으로 설계된 도구가 지원될 경우, HIW 예측은 상당히 개선되고 수치예보모델과 함께 지역 기반 객체 지향 분석/예측 시스템에 사용될 수 있다. 예보관의 작업은 주로 단기적 예보를 담당하며 장기적으로는 HIW에 초점을 맞출 것이다.

□ 모델과 예보관의 예측을 결합한 일기예보를 생성하는 역할 (Harvey Stern., 2007)

컴퓨터로 만들어진 예측은 예보관들의 의사결정 과정을 완전히 재현할 수 없다. 동일한 미래 사건에 대한 예측은 같은 예측을 산출하는데 합쳐져서 둘 중 어느 한쪽보다 정확하다. 따라서 인간과 컴퓨터를 결합하는 전략을 수행한다. 자동화된 예측과 인간 예측을 결합하여 백분율로 정확도를 높이고 인간의 예측과 컴퓨터 예측을 기계적으로 결합하는 시스템을 개발하는 역할을 수행한다.

□ 예보관의 임무는 예측자에서 의사소통자 또는 통역자로의 전환 (Stuart, Neil A., et al., 2006)

과거의 사건에서 배우는 예보관은 궁극적으로 예측 기술, 다중 작업 능력 및 상황 인식을 향상시킬 것이며, 더 나은 의사 결정을 위해 특별히 적응된 날씨 정보를 집중적으로 적용하여야 한다. 데이터에 공개적으로 접근이 가능한 사회에서 신뢰성을 유지하기 위해서는 내부 커뮤니케이션과 협업이 점차 중요해진다. 효과적인 내부적 의사소통과 조직 내 협업이 포함되어야 하며, 특히 책임 영역이 인접하거나 겹치는 예보관의 경우 의사소통의 전환이 잘 적용되어야 한다. 결과적으로 예측 가치를 향상시키는 방법은 효과적 의사소통을 통해 사용자의 의사결정이 효과적으로 이루어지게 하고 예측에 대한 인식이 향상되는 것이다. 사용자의 의사결정이 효과적으로 이루어지게 하기 위해서 다양한 그래픽 또는 텍스트를 통해 예보를 제공해야한다.

□ 휴리스틱(Heuristics)을 이용한 예보관의 의사결정 (Charles A. Doswell III et al., 2004)

이 논문은 휴리스틱이 일기 예보에 어떻게 적용되는지에 관해 내용이다. 휴리스틱이란 인간이 불확실성 앞에서 판단을 내릴 때 사용하는 주관적인 방법의 총칭이다. 예보관이 유한한 운영 조건 하에서 의사결정을 하기 위해 무제한의 양적 정보를 사용하는 것이 비현실적이다. 예보관은 이러한 모든 정보 복잡성에 직면하여 의사결정에 도달하는 과정을 단순화하기 위해 휴리스틱스를 적용한다. 휴리스틱을 사용하여 정확한 평가를 수행 할 수 있지만 경우에 따라 휴리스틱이 예측 품질을 저하시키는 편향의 원인이 될 수도 있다. 인간이 데이터의 모든 측면(객관적인 예측 지침 포함)을 한 번에 고려할 수는 없기 때문에, 예측에 대한 편파적인 평가의 가능성이 제기된다. 특히 단순한 선형 모델의 경우 항상 판단이 일관성이 있는 것이 아니기 때문에 성과가 낮아질 수 있다. 하지만 강수확률 등 불확실성을 평가하기 위해서 휴리스틱은 훌륭한 성과를 가지고 있다. 의사결정에 대한 매일의 경험이 운영 기상 예보관들로 하여금 불확실성을 추정하는데 능숙하게 할 수 있다.

예보관들은 분석과 직감을 적절히 사용할 수 있어야 한다. 어떤 업무는 주로 분석적으로 수행될 수 있는 반면, 다른 업무는 주로 직관적인 모드에서 수행될 수 있

기 때문이다. NWP의 발달과 객관적 예측 방법론으로 인간의 직관적 판단을 배제되는 것으로 보이나 비선형 역학 등 예상치 못한 돌발 사태에는 NWP 모델과 관측 기술로 해결할 수 없으며 직관적인 추론을 요한다. 객관적인 방법은 예측을 실패하는 경우가 있지만 직관은 비록 결과가 정확하지 않더라도 항상 예측을 제공할 수 있다.

예측성도가 좋은 예보관의 인지 스타일을 특별히 주의를 기울이면서 인간의 예측성에 대한 전반적인 성능 수준을 높이는 방법을 강구해야한다. 또한 기상학자, 인지심리학자, 판단 및 의사결정에 관련된 다른 사람들 간의 일관된 협력은 인간의 기상 예측을 향상 시킬 것이다.

#### □ 극한기상에 대한 예측 기술 강화 (Chuck Doswell, 2003)

예보관은 가능한 한 많은 교육과 훈련이 필요하고 검증 시스템이 필요하다. 검증 시스템은 그들이 잘하고 있는 것과 어떤 측면에 어떤 노력이 필요한지에 대한 의미 있는 피드백을 제공한다. 또한 예보관은 예보 업무 외 20~30%정도 훈련 및 교육, 연구 및 세미나 참석, 지방 기상청에서의 예측 도구 개발 등에 시간을 투자하여야 하며, 부족한 인력 자원을 보충해야한다.

NWP(National Weather Prediction)는 이를 개선하기 위해 지속적인 노력을 하고 있으며, 새로운 방식의 작업환경을 개발하고 있다. 새로운 많은 방법들은 작은 부분만 보고 해석할 수 있는 인간의 능력을 요구하고 있다. 대부분 상황에서 일반적으로 높은 품질의 자동 예측을 고려할 때 인간이 더 이상 필요하지 않다고 주장하지만, NWS(National Weather service)는 향후 24시간의 예측이며, 예보관은 24시간 미만의 단기 예측에 능숙한 중규모 전문가가 되어야 한다.

자동화된 예측과 인간의 예측을 비교해보면 많은 관점에서 자동화를 하는 것이 좋다. 기계는 일상적으로 계산할 수 있는 해답을 제공하지만, 예보관은 과학적 통찰과 경험에 의지해서만 해결할 수 있는 문제에 집중할 수 있다. 수치모델은 대부분의 정상범주의 형상에 대해 좋은 예측성을 갖지만 여전히 특이 기상, 극한 현상에 대한 예측성이 떨어지며 이 부분에 대해 예보관들은 예측 기술을 갖춰야 한다. 자동화된 예측은 여전히 때때로 큰 실수를 저지른다. 예보관들은 지속적인 모델 개선 시대에 효과적이기 위해 훈련되고 교육되어야 할 것이다. 자동화된 시스템을 생산하는 것보다 실질적인 가치를 더 할 수 있는 예보관을 위해 더 많은 교육, 의미 있는 훈련, 더

나은 직원 배치 상황, 적절한 작업환경 및 기타 분석, 진단 및 탐색 도구를 필요로 한다.

□ 교육과 훈련을 통한 예보의 인간적 가치를 더하는 역할 (Harold Brooks, 2009)

인간이 일기 예보 과정의 중요한 부분으로 남아있기 위해서는 첫 번째, 더 나은 교육과 훈련을 받는다. 두 번째로 예측 검증의 설계 및 사용에 대한 지능적인 접근 방식이 필요하다.(예측 검증의 경우, 예보관이 의견(값)을 추가할 수 있는 날과 추가할 수 없는 날을 얼마나 잘 구별할 수 있는지를 결정하는 것을 포함한다). 세 번째로 일기예보가 실제로 얼마나 잘 예측하는지 이해하기 위한 종합적인 노력이 필요하다.

## 제2절 동네예보 진단 및 개선사항 분석

### 제1항 지난 10년간 동네예보 시행 성과 분석

#### 가. 동네예보 초기 계획에 대한 성과 분석

기상청은 동네예보의 시행 직후인 2010년에 동네예보와 관련한 수치모델 생산, 초기자료 생산, MOS 적용, 예보관 보정, 대국민 웹서비스 제공, 동네예보 기술 확산 분야에 대한 기술을 진단하고 동네예보 발전 방안을 제시하였다. 이를 바탕으로 시행한 지난 10년간의 동네예보 주요 성과는 다음과 같다(표 2.2.1). 수치모델 생산 분야에서는 동네예보 시행 초기에 전구모델기준 30km 해상도의 자료로 5km 해상도의 동네예보자료를 생산했으나, 현재는 10km 해상도의 전구모델자료를 사용하여 보다 신뢰성 높은 예측결과를 제공하고 있다. 초기자료 생산 분야에서는 관측 자료 분해능을 꾸준히 향상시킨 결과, 지상 관측 13km, 고층 관측 235km(원격, 연직 바람 77km), 위성 가시/적외 채널 1km/4km 의 평균 해상도를 확보하게 되었고, 기상레이더의 경우 9,100 km<sup>2</sup> 의 탐지 범위를 확보하게 되었다. 나아가 천리안 위성 2A, 소형 기상레이더망 등 다양한 첨단장비의 확보로 위험기상 탐지 능력이 대폭 개선되었다. 고급 통계 기법을 구축을 통한 예측정확도 향상을 목표로 하여 기계학습기법 등을 적용한 각종 예보 지원용 가이드언스를 개발하여 예보에 활용하고 있으며 발전된 가이드언스를 활용한 자동예보 생산 기능이 확대되었다. 예보관들의 분석 편의를 위해서 가이드언스 및 수치일기도의 개선이 이뤄졌으며 다양한 편의성을 고려한 웹 기반 예보 편집기 구축이 진행되었다. 대국민 웹서비스 제공을 위해 기존 홈페이지(www.kma.go.kr)에서 날씨정보만 따로 떼어내 날씨누리(www.weather.go.kr) 라는 이름의 독립된 웹페이지를 통한 위치기반의 날씨 정보 서비스를 실시하고 있으며, 인터넷 기상방송 ‘날씨 ON’ 을 통해 예보의 원인과 날씨 변화 과정을 상세하게 해설하는 서비스(날씨터치Q) 및 기존 예보가 긴급히 변경되는 경우에 예보분석관이 출연하여 예보 변경부분과 변경사유를 간결하게 설명하는 서비스(날씨터치S)도 제공하고 있다. 또한, 날씨 위젯(adobe air 중단 관계로 현재는 중지), RSS, 블로그, SNS (페이스북, 트위터), 유튜브 등의 다양한 매체를 통한 신속하고 원활한 예·특보 전달을 실시하고 있다(표 2.2.2). 동네예보 기술의 확

산을 위해, 모바일 웹이 아닌 기상청 공식 ‘날씨 어플리케이션’을 2011년 3월에 출시하여 2015년까지 7월까지 운영한 바 있고, 현재는 2019년 12월을 완료로 하여 일기예보 사용 패턴을 반영하여 위험기상, 변동성이 높은 기상정보를 국민에게 신속하게 전파하기 위한 알림(push) 앱 개발을 진행하고 있다(그림 2.2.1). 인터넷의 한계에서 벗어나 기상청이 주도적으로 지진 긴급재난문자(CBS)를 송출할 수 있는 제도 기반을 마련하였고, 직접 발송체제로 전환(‘18.6.24)하여 신속성과 안정성을 확보하였으며, '안전디딤돌' 어플리케이션을 통해 기상악화, 자연재해, 폭염, 폭우, 폭설 등을 알려주는 서비스를 제공하고 있다.

표 2.2.1 분야별 동네예보 초기 발전 방안 및 성과 분석

구분	초기 발전 방안(기상청, 2010)	성과
수치모델 생산	<ul style="list-style-type: none"> <li>수치모델의 분해능이 MOS 분해능보다 높아져야만 상세정보 제공 가능</li> <li>향후 동네예보와 같은 해상도인 5km 분해능을 가지는 모델의 개발이 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10km 해상도 전구 모델 개발</li> <li>현재 전국을 5km×5km 간격으로 나누어 남한 육지 영역의 4,438개의 격자를 3,584개의 읍·면·동 자료로 생산하여 육상 동네예보를 제공</li> </ul>
초기자료 생산	<ul style="list-style-type: none"> <li>관측자료의 지형적 영향을 고려한 객관분석 기법을 개발하여 지리정보가 반영된 5km 분해능을 가지는 관측자료 생산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>관측 자료 평균 해상도 (또는 탐지 범위): 지상 13km, 고층 235 km(원격, 연직바람 77km), 위성 가시/적외 1km/4km, 기상레이더 9,100 km<sup>2</sup></li> <li>첨단관측장비(천리안위성 2A호, 소형 기상 레이더망 등) 확보로 위험기상 탐지능력을 대폭 개선</li> </ul>
MOS 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>모든 예보 격자점(257지점)에 대한 예보 가이드언스의 확충과 고급 통계기법 구축을 통한 예측정확도 향상</li> <li>예보가이드언스를 직접 활용한 자동예보 생산 기능 확대 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>예보기술과: 선진예보시스템 구축 사업과 자체 개발을 통해 기계학습기법 등을 적용한 예보 지원용 각종 가이드언스 개발</li> <li>수치자료응용과: GDAPS MOS, ECMWF MOS, BEST 가이드언스 등 개발</li> </ul>
예보관 보정	<ul style="list-style-type: none"> <li>주기적인 예보관 교육 및 의견 수렴을 통한 GEM의 기능 확장 및 예보관이 선택적으로 취할 수 있는 복수의 편집 틀 구성하여 그래픽 편집과정 최소화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>동네예보 가이드언스 및 수치일기도 개선</li> <li>예보편집기는 웹기반 전환을 통하여 공간편집 편의성을 고려한 UI 및 세부메뉴 등 개선·강수형태 요소 및 하늘상태 표현 개선 및 교육용 예보 편집기 구축</li> </ul>

구분	초기 발전 방안(기상청, 2010)	성과
대국민 웹서비스 제공	<ul style="list-style-type: none"> <li>인터넷의 한계를 벗어나 TV, 핸드폰 등 국민 다수가 원하는 전달 체계를 활용한 콘텐츠 마련 및 생활지수 등의 정보를 활용한 이벤트성 예보자료 생산하고 GIS, GPS 등을 활용하여 언제, 어디서, 누구나 동네예보를 이용할 수 있도록 유비쿼터스 전달체계 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>날씨누리 웹페이지를 통한 위치기반 날씨 정보 제공</li> <li>인터넷 기상방송(날씨 ON)을 통한 예보 해설 및 예·특보 변경 사유 설명</li> <li>날씨 위젯, RSS, 블로그, SNS (페이스북, 트위터), 유튜브를 통한 예보 전달</li> </ul>
동네예보 기술의 확산	<ul style="list-style-type: none"> <li>모바일 기상청 웹으로 바로 연결하는 방안 이외에 소비자가 이용하기 편리한 어플리케이션 개발 및 보급방안</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기상청 공식 어플 '날씨 어플리케이션' 이 2011년 3월 출시 된 이후로 2015년 7월 중단, 2019년 완료로 알림(push) 앱 개발(진행 중)</li> <li>기상청이 주도적으로 지진 긴급재난문자(CBS)를 송출할 수 있는 제도 기반을 마련하였고, 직접 발송체계로 전환('18.6.24) 하여 신속성과 안정성을 확보</li> <li>'안전디딤돌' 어플리케이션을 통해 기상악화, 자연재해, 폭염, 폭우, 폭설 등을 알려주는 서비스 제공</li> </ul>

표 2.2.2 기상청 예·특보 전달 매체

예·특보 전달 매체	
대국민	<ul style="list-style-type: none"> <li>웹 - 날씨누리(위치기반), 날씨 위젯(adobe air 중단 관계로 현재 중지), RSS(XML 기반 데이터 포맷, 자동 갱신), 블로그, SNS (페이스북, 트위터), 유튜브, 인터넷 기상방송(날씨 ON), 날씨터치Q(예보 해설) 날씨터치S(예특보의 긴급수정시 변경사유 설명)</li> <li>모바일 - 모바일 전용 웹페이지, 날씨 앱(개발 중), 스마트기기 푸시 알림(스마트폰, 위치, 차량 등)</li> <li>언론 - 신문, 방송</li> </ul>
방재관련 유관기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>FAX, 이메일, SMS, 스마트 통보, 핫라인</li> <li>지방청들은 대부분 SNS 활용(BAND: 방재기관 및 언론사, 기상캐스터 등 관계자, 카카오톡 등)</li> </ul>

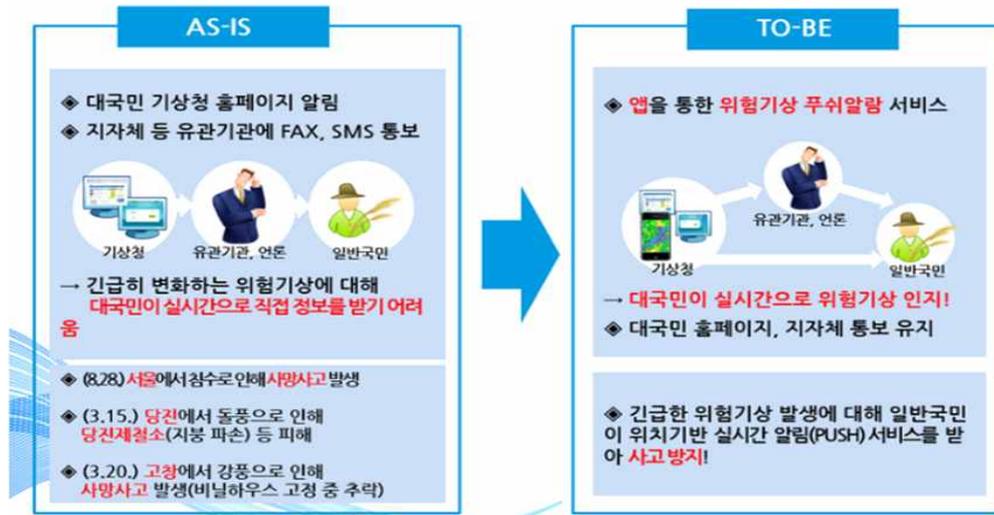


그림 2.2.1 기상청 위험기상 알림(push) 앱 개념도

#### 나. 동네예보 발전을 위한 기상청의 노력

기상청은 동네예보 발전 및 단기예보 개선을 위해 다수의 정책 연구를 수행하였다(표 2.2.3). 기상청(2010)에서는 동네예보 현황 분석 및 진단을 실시하고 동네예보 중장기 정책수립 마련을 위한 발전 방향을 제시하였고, 기상청(2011)에서는 새로운 미래를 향한 지속가능한 선진화 추진계획을 수립하였으며, 기상청(2013)을 통해 초단기 및 단기예보 연장 계획을 수립하였다. 기상청(2017)에서는 기상청 예보체계의 제도개선, 평가체계, 운영체계, 교육지원, 정보소통 등에 대한 발전방안을 제시하였다. 동네예보 개선을 위해 주로 언급된 내용으로 본청과 지방청 중심으로 예보담당구역의 광역화 실시, 노동집약적 동네예보 편집과정 개선 및 효율화 실시가 있었다.

표 2.2.3 동네예보 발전 및 단기예보 개선을 위한 정책 연구 목록

시기(년)	제목
2010	동네예보 중장기 발전방안 마련을 위한 정책연구
	<input type="checkbox"/> 목표 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동네예보 현황을 분석·진단</li> <li>○ 동네예보의 발전을 위한 중장기 정책수립 마련을 위한 방향을 제시</li> </ul> <input type="checkbox"/> 주요 결론 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수치모델, 초기장, 관측자료 해상도 향상 필요               <ul style="list-style-type: none"> <li>* 수치모델 40km, 관측자료 20km → 각각 5km</li> </ul> </li> <li>○ 초단기, 단기 이음새 없는 동네예보 필요</li> <li>○ 고급 통계 기법으로 예보가이드스 성능 향상</li> <li>○ 예보관 동네예보 편집과정 최소화</li> </ul>

시기(년)	제목
2012	새로운 미래를 향한 지속가능의 기상선진화 추진계획
	<input type="checkbox"/> 예보관의 위험기상 대응능력 향상 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 한국형 스마트 선진예보시스템 구축</li> </ul> <input type="checkbox"/> 미래 예보관의 역할 재정립 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 예보관 업무 패러다임 전환 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 위험기상 및 초단기 업무 중점 수행</li> <li>- 지역 특화 기상정보 제공을 위한 지역기상담당관 운영</li> </ul> </li> <li>○ 동네예보 생산 광역화 및 생산체계 간소화 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동 생산 가능 기상요소 편집 생략 및 편집지점 축소</li> <li>- 시계열 편집 자동화 요소를 단계적으로 확대</li> <li>- 본청 중심의 기술집약적 방식(top-down)으로 전환</li> </ul> </li> <li>○ 예보조직 개편 및 근무제도 개선 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1도 1 예·특보 생산기관 운영</li> <li>- 현업 예보관 4개소에서 5개조로 확대</li> </ul> </li> </ul> <input type="checkbox"/> 한국형 예·특보 동시생산체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초단기 기상분석 및 예측시스템 고도화 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실시간 보정 초단기예측시스템 개발</li> </ul> </li> <li>○ 국지 위험기상 예측 시스템 및 스템규모 예측시스템 개발</li> <li>○ 한국형 수치모델 개발</li> </ul>
2013	예보기간연장 및 예보체계개선
	<input type="checkbox"/> 초단기 및 단기예보 연장 계획 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 단기예보 2일 -&gt; 3일</li> <li>○ 초단기예보 3시간 -&gt; 6시간</li> </ul>
2014 ~ 15	예보시스템 개선 TF
	<input type="checkbox"/> TF팀 역할 및 목표 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초단기, 단기, 중기예보 생산체계 개편 및 효율화 방안 수립</li> <li>○ 조직개편 등에 따른 시스템 지원 방안 협의 및 역할 정리</li> <li>○ 예보 생산 효율화 및 객관화 가능성 분석을 위한 예보결과 검증</li> <li>○ 초단기, 단기, 중기예보의 단기 및 중장기 발전 방안 수립</li> </ul>
2015	예·특보 서비스 발전방안 수립 보고서
	<input type="checkbox"/> 분야별 Best Practice <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 예·특보요소, 예·특보운영에 대한 중장기 목표 서비스 모델 수립</li> <li>○ Best Practice와 우리나라의 Gap을 분석하고 추진전략 수립</li> </ul> <input type="checkbox"/> 육상 예보 서비스 고도화 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초단기 예보요소 확대 및 예보구역 상세화 <ul style="list-style-type: none"> <li>* 1km 공간 해상도 및 12시간 예보시간범위로 상세화</li> </ul> </li> <li>○ 단기·중기 예보요소 확대 및 시간범위 확대</li> </ul> <input type="checkbox"/> 추진 과제 종합 및 우선순위 선정
2016	예보 생산 개편
	<input type="checkbox"/> 단기예보 생산주기 개편 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 23시 통보문 발표 중단</li> </ul> <input type="checkbox"/> 단기예보 통보문 개황양식 및 특보통보문 개편 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 빠른 특보 발표를 위하여 기상특보문에서 ‘내용’ 부분 삭제</li> </ul>

시기(년)	제목
2017	기상예보체계 발전방안 연구
	<input type="checkbox"/> 목표 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 5개 부문의 주요 분석을 통해 개선방안 제시 * 제도개선, 평가체계, 운영체계, 교육지원, 정보소통</li> </ul> <input type="checkbox"/> 제도개선 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사회경제적 환경변화에 따른 예보 정의 및 특보기준 재정립</li> <li>○ 예보 법령 제·개정 필요 사항 발굴</li> <li>○ 예·특보 생산 부서 및 조직 간 효율적 역할 분담 체계</li> </ul> <input type="checkbox"/> 정보소통 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상정보 전달체계 분석 및 예·특보 전달체계 개선</li> <li>○ 영향예보 등 확대에 따른 기상정보의 대국민 이해도 증진 및 의사소통 방안 마련</li> <li>○ 대국민 접점 서비스 개선 방안 마련</li> </ul>
2019	동네예보 및 특보대응 강화
	<input type="checkbox"/> 동네예보에 관한 사항 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 총괄예보관 중심의 Top-down 방식으로 전환</li> <li>○ 총괄예보관이 편집한 강수형태, 하늘상태에서 관할구역 지형 특이성 반영, 조정 가능</li> </ul> <input type="checkbox"/> 특보발표에 관한 사항 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특보 발표는 소속기관 중심 운영</li> <li>○ 총괄예보관은 특보 가이드스 제공과 단순 오류 검토 및 수정</li> </ul>

#### 다. 지난 10년간의 예보 정확도 변화 분석

예보정확도는 예측이 어려운 이상기상의 발생 정도에 따라 해마다 차이를 보일 수 있다. 지난 10년간의 예보 정확도 자료를 보면, 강수유무 정확도는 증가하고, 최고 및 최저기온의 오차는 줄어들어 정확도가 향상된 결과를 보이고 있다(표 2.2.4 와 그림 2.2.2).

표 2.2.4 예보 종류 및 요소별 예측정확도 변화

기상예보 종류		`08년	`09년	`10년	`11년	`12년	`13년	`14년	`15년	`16년	`17년	`18년	증감
단기예보 정확도 (오늘~모레)	강수유무 정확도(%)	88.3	91.9	89.0	90.7	92.1	92.8	91.5	92.2	92.0	91.8	92.8	▲4.5
	강수유무 정확도(%)	77.0	80.4	75.6	79.7	81.3	85.3	83.1	84.8	84.4	83.9	86.0	▲9.0
중기예보 정확도 (+3~+7일)	낮 최고기온 (MAE, °C)	2.8	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	1.9	2.0	▼0.8
	아침 최저기온 (MAE, °C)	2.5	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.8	1.8	1.8	1.6	1.7	▼0.8

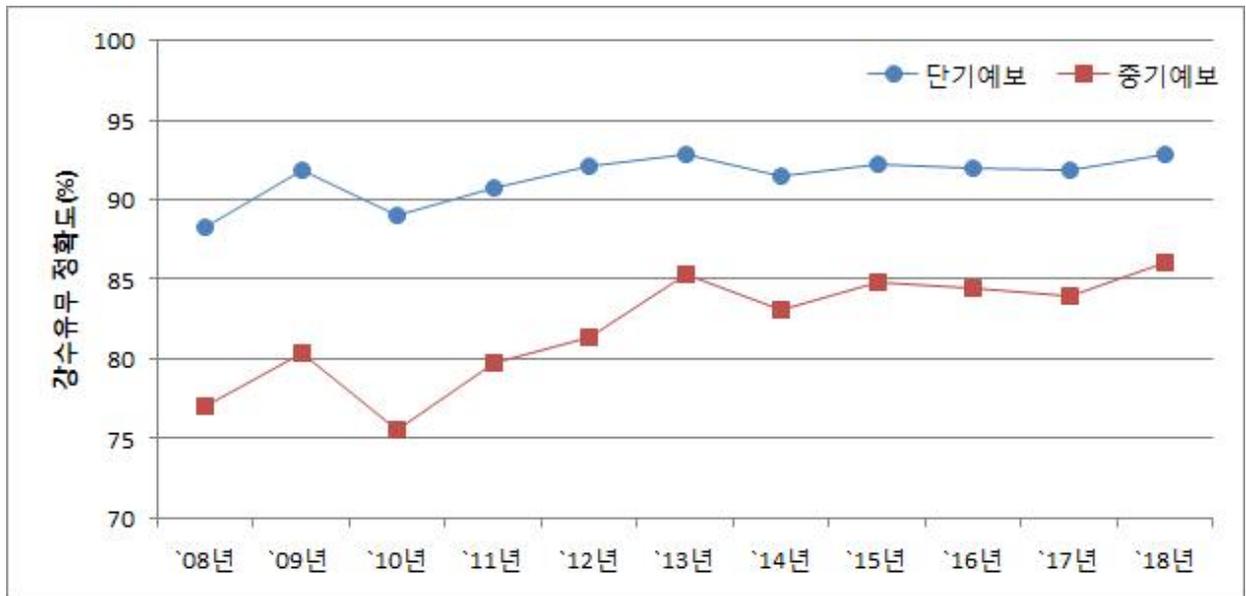


그림 2.2.2 단기 및 중기예보의 강수유무 정확도 변화

## 제2항 동네예보체계의 구조적·사회적·미래지향적 측면 한계 분석

### 가. 동네예보체계의 구조적 한계 분석

#### 1) 동네예보 생산 체계와 예보관의 역할

기상예보는 수치모델을 통해 산출된 예측값에 예보관의 주관적인 판단에 의한 보정을 거쳐 생산한다. 예보관의 보정을 거칠 경우 예보 정확도가 1.2%p 증가(최근 5년 평균) 하는 것으로 보고되고 있다. 예보관의 예보 업무는 ‘실황 감시’, ‘수치모델 분석’, ‘예보 생산’, ‘기상정보 통보’ 순으로 진행된다. 지상(596개소/매분), 고층(3종/16개소/10분), 해상(8종/123개소/1시간~매분), 레이더(11개소/7요소/5분), 천리안 위성 등 3차원 기상관측자료 및 전세계 180여 국가에서 수집된 관측정보를 실시간으로 모니터링하여 기상 실황 감시를 실시한다. 수치모델에서 얻어지는 일기도(일 평균 14만장)를 분석하고 의사결정 및 예보 판단을 수행하는 수치모델 분석 업무를 수행한다. 이후, 수치예보 결과와 기상관측 실황정보에 예보관의 지식, 경험, 노하우를 반영한 주관적 판단을 거친 기상예보, 특보, 정보, 속보 등을 생산하는 예보 생산 업무를 수행한다. 생산된 기상예보, 특보, 정보, 속보 등을 다양한 채널을 통해 실시간으로 통보하는 기상정보 통보 업무를 수행한다(표 2.2.5).

#### □ 한계 분석

예보관은 방대한 관측 자료와 수치모델 예측자료를 단시간 내에 종합적으로 분석해내야 한다(표 2.2.5). 예보관이 많은 자료를 효과적으로 검토할 수 있도록 지속적인 시스템 개선이 필요하다. 예보관이 많은 자료를 검토할수록 위험기상에 대해 더욱 세밀히 감시하게 되고 이는 국민 안전 확보로 연결 될 수 있다.

예보 생산 업무의 경우 현재하고 있는 전반적인 날씨 감시보다 더욱 위험가능성이 큰 날씨에 좀더 예보관의 역량을 집중해야 하며, 사용자 별로 다양한 정보를 제공하여 쉽게 기상정보를 생활과 의사결정에 활용할 수 있도록 해야 한다.

표 2.2.5 동네예보 생산과정 (예보국 예보정책과, 예보통보 업무)





## 2) 수치모델 운영체계와 동네예보

현재 기상청의 수치예보시스템은 전지구예보시스템(GDAPS), 전지구양상블예측시스템(EPSPG), 국지예보시스템(LDAPS), 국지확률예측시스템(LENS), 초단기 분석 및 예측 시스템(KLAPS), 초단기예보시스템(VDPS)과 해양기상, 황사, 통계 등 각종 응용시스템으로 구성되어 있다(그림 2.2.3). 응용시스템에는 파랑예보모델, 폭풍해일예보모델, 황사/연무예보모델, 통계예보모델 등이 있다. 파랑예보모델(WaveWatch-III)은 전지구파랑모델(GWW3), 지역파랑모델(RWW3), 국지연안 파랑모델(CWW3), 양상블지역파랑모델(EWW3)이 있으며, 폭풍해일예보모델은 지역폭풍해일모델(RTSM)과 국지연안폭풍해일모델(CTSM)이 운영되고 있다. 황사/연무예보 모델에는 황사 발원 지역을 포함하는 동아시아 영역에 대하여 황사 수송 예측을 위한 황사단기예측모델(ADAM2)과 황사연무통합예측모델(ADAM3)이 있으며, 통계예보모델에는 MOS가 있다. 이러한 모델들은 예측대상에 따라 일 2회에서 4회(초단기 최대 144회)까지 운영되고 있으며, 생산된 예측 결과는 즉각적으로 예보관에게 제공되어 대국민 일기예보 서비스에 활용된다. 동네예보에서 사용하는 모델은 전지구(GDAPS)모델, 전지구 파랑모델(GWWW3), 지역 파랑모델(RWW3), 국지연안 파랑모델(CWW3), 양상블 지역파랑모델(EWW3) 및 초단기 모델 등이며 주로 전지구 예보시스템, 초단기 예보시스템이 사용된다.

2018년 6월 전지구 예보시스템은 ENDGAME 역학체계 하에서 UM N768L70에서 N1280L70으로 수평해상도가 17km에서 10km로 크게 증가하였다. 2017년 대비 주요변화는 통합 모델의 버전 업데이트(UM10.2→UM10.8)를 포함한 영국기상청의 최신버전을 적용하고 그 외 전지구모델 위성자료동화 시 배경오차 공분산 최적화하는 등이 개선된 것이다. 모델의 해상도가 개선됨에 따라 한반도를 표현하는 모델격자점의 수가 약 3배 정도 증가, 모델이 표현하는 지형 굴곡도 현실화되었다. 격자점의 간격이 좁을수록 기상현상을 더 정밀하게 계산하고 모델의 예측정확도도 향상되며, 해상도 증가에 따른 적분시간간격의 변화로 전산자원 소요도 증가하게 되었다. 모델예측성능 개선으로 인하여 여름철 북반구 500hPa 지위고도 5일 예측성이 최대 7.8%(아시아 3.7%), 겨울철 500hPa 지위고도 5일 예측성이 0.4%(아시아 4.4%) 정도 향상되었다. 기상청의 전지구 수치예보시스템은 일 4회 운영되고 최대 12일까지 예측하며, 생산된 예측결과는 국지 및 응용시스템으로 연계됨과 동시

에 예보관에게 제공되어 대국민 일기예보서비스에 활용되고 있다. 10km 해상도 전지구예보시스템은 9km의 해상도를 사용하고 있는 유럽중기예보센터 모델을 제외하면 전지구모델로서는 영국의 모델과 함께 가장 고해상도의 모델이라고 할 수 있다.

통합모델기반 초단기예보시스템(VDAPS)은 짧은 시간에 빠르게 발달하는 위험기상에 대한 신속하고 정확한 수치모델 예측정보 생산 및 제공을 목적으로 개발되어, 2017년 6월부터 현업으로 운영 중이다. 2018년 개선을 통해 수평해상도 1.5km의 고해상도 예보시스템으로 매시간 마다(24회/일) 분석장 및 12시간의 예측정보를 생산하고 있으며 3차원 변분자료동화과정이 포함되어 있다. 초단기예보시스템은 전지구모델의 분석시각보다 빠르게 모델의 분석과 예측을 수행하는 분석체제로 구성되어 일관성 있는 3차원의 고해상도 예측정보를 신속하게 생산·제공할 수 있다. 하지만, 급변하는 기상현상에 대한 예보 정확도 향상이 지속적으로 요구되고 있는 상황이다. 기상실황과 분석에 대한 예측 정확도와 더불어 예측 초기의 강수예측성능 개선을 위해 모델의 관측자료 활용, 자료동화 및 물리과정 등에 대한 개선연구가 진행되고 있으며, 입전되는 관측자료 활용을 확대하고 국내 지상 수증기 관측자료(GNSS)를 새롭게 추가하여 가용 관측자료의 활용성이 개선되었다. 토양 수분 초기화 과정을 추가하여 모델의 지면과정 개선 및 기초 입력자료의 상세화를 통하여 서해안에 대한 모델의 지표물리과정이 개선되었다.

기상청에서 운영 중인 동네예보 지원용 예보 가이드نس로 수치자료응용과에서 개발한 동네예보 요소별 베스트 가이드نس와 예보기술과에서 선진예보시스템의 구축사업(2010년~)과 자체적으로 개발한 다수의 예보 가이드نس가 있다(표 2.2.5). 베스트 가이드نس는 전지구(GDAPS)모델과 유럽중기예보센터(ECMWF)의 전지구 예측모델 자료를 기반으로 하여 기상청 단기 및 중기예보가이드نس(지점)를 모델 간 병합한 가이드نس로 요소별, 지점별, 생산시간별, 예보시간별, 월별 병합 가중값을 이용하여 병합된 동네예보 요소값을 제공한다. 선진예보시스템의 주요 가이드نس로는 과거 ECMWF 앙상블 모델 결과와 과거 최고/최저 기온 관측자료를 이용하여 기계학습(Random Forest)을 통해 관계식을 산출하고 이를 적용하여 최고/최저 기온, 폭염·한파 특보(주위보·경보) 발생확률을 제공하는 ‘앙상블 통계 최고/최저기온 가이드نس’와 ECMWF 앙상블 모델 결과와 관측 강수량을 이용하여 강수 계급별 최적 임계구간을 선정식을 개발하고 이를 통해 강수유무, 6시간 강수량, 12시간 강

수량 정보를 제공하는 ‘양상블 통계 강수 가이드نس’ 가 있다. 선진예보시스템의 기상청 자체 개발 가이드نس로 ECMWF 양상블 모델 결과를 이용하여 5km 격자 해상도로 공간 해상도를 내삽하고, 강수, 강설, 하늘상태, 풍속에 대해 계급별 확률 분포 표출을 위한 자료를 생산하는 ‘양상블 계급’ 가이드نس와 UM 및 ECMWF 양상블 평균에 대한 30일간 편차를 계산하여 편차를 보정한 기온 가이드نس를 생산하는 ‘양상블 기온 편차보정’ 가이드نس가 있다.

모델/구분		수평분해능 (연직층수)	운영횟수/일	예측시간	목적
전지구 (GDPS)	전지구예보시스템 (UM N1280 L70)	10km (70층)	4회	12일, 87시간	전지구 날씨 예측 동네예보, 중기예보
국지 (LDPS)	국지예보시스템 (UM 1.5km L70)	1.5km (70층)	4회	48시간	한반도 날씨 예측
파랑	전지구 파랑모델 (GWW3)	약 55km	2회	12일	대상: 전지구 해상파랑 용도: 동네·중기 해상예보
	지역 파랑모델 (RWW3)	약 8km	2회	120시간	대상: 동아시아 해상파랑 용도: 동네 해상예보
	국지연안 파랑모델 (CWW3)	약 1km (5개 지방청 관할 해역)	2회	72시간	대상: 대전청, 광주청, 부산청, 강원청, 제주청 용도: 동네·국지연안 해상예보
	양상블 지역파랑모델 (EWW3)	약 8km	2회	87시간	대상: 아시아 해상파랑 용도: 해상 동네예보
폭풍 해일	지역 폭풍해일모델 (RTSM)	약 8km	2회	120시간	용도: 동아시아 폭풍해일
	국지연안 폭풍해일모델 (CTSM)	약 1km (5개 지방청 관할 해역)	2회	72시간	대상: 대전청, 광주청, 부산청, 강원청, 제주청 용도: 국지연안 폭풍해일
황사 /연무	황사모델 (ADAM2)	25km(47층)	4회	72시간	용도: 황사 수송 예측
	황사연무통합예측모델 (ADAM3)	25km(49층)	4회	72시간	용도: 연무 예측
양상블 (EPSG)	전지구 양상블예측시스템 (EPSG UM N400 L70 M49)	32km (70층)	2회	12일	대상: 전지구 날씨 예측 용도: 주간 예보
국지확률 (LENS)	국지 확률예측시스템 (LENS UM 2.2km L70 M13)	2.2km (70층)	2회	72시간	대상: 한반도 날씨 예측 용도: 위험기상 예측
초단기	초단기 배경예측 (KLBG)	5km(40층)	4회	36시간	대상: 동아시아 영역 용도: 초단기예보모델의 배경장 생성
	초단기 분석 (KL05)	5km(22층)	144회	-	대상: 한반도 영역 용도: 3차원 분석/예측 생산
	초단기 예측 (KLFS)	5km(40층)	144회	12시간	
	초단기예보시스템(VDPS) (UM 1.5km L70)	1.5km(70층)	24회	12시간	용도: 한반도 날씨 예측

그림 2.2.3 기상청 수치예보시스템 운영 현황 (기상청, 2019년 10월 25일 기준)

한편, 2018 평창 동계 올림픽 기상지원을 위해 올림픽 및 패럴림픽 기간(2018.1~3.) 동안 경기장 예보지점(총31개)의 예보가이던스(24시간, 단기, 중기)를 실시간으로 생산하여 예보관의 초기자료로 사용되어 높은 만족도를 나타냈으며, 예보기간 동안 경기장가이던스의 기온예보 정확도(MAE, 절대평균오차)는 기반모델과 대비하여 24시간예보는 32.4%, 그리고 단기에예보는 26.1% 개선되었다. 평창 동계올림픽 지원을 위해 개발되었던 예보가이던스 웹 감시체계를 현업 동네예보 가이던스 웹 감시체계에 적용하여 현업 시스템을 보다 효율적으로 운영되었다.

수치모델 운영체계가 발전과 함께 수치일기도 및 가이던스의 개선이 진행되었다. 2018년 6월 전지구예보모델의 수평해상도가 약 10km 해상도로 개선됨에 따라 모델격자를 5km 해상도의 동네예보 격자로 변환하는 체계를 새롭게 구축하여 2018년 9월 21일부터 예보편집기의 초기자료로 제공하고 개선된 10km 전지구예보모델 체계를 수치일기도 생산 체계에 적용하였으며, 일기도의 가독성과 제공의 적시성을 고려하고 사용자의 의견을 반영하여 한반도영역 일기도의 표출해상도가 개선(40km→20km, 58종)되었다. 가이던스와 관측자료와의 실시간 비교가 가능하도록 동네예보 웹페이지가 개선되었고(그림 2.2.4), 연직시계열도, 단열선도와 같은 지점 일기도의 격자 선택 기준을 실제지형과 모델지형의 고도차가 최소인 육지 격자로 변경하고, 연직 표출 해상도를 13층에서 22층으로 개선하여 실제와 유사한 예측 일변동과 대기 하층의 조밀한 예측정보를 제공한다. 개선된 국지양상블시스템(3km→2.2km)이 일기도에 반영되도록 양상블 일기도 생산 체계가 개선되었다. 전지구모델과 마찬가지로 지점의 일 변동 예측정보 제공을 위해 지점일기도의 격자 선택 기준을 육지 격자를 우선 선택하는 것으로 변경되었다.

표 2.2.5 선진예보시스템의 예·특보 가이던스 목록

가이던스 종류	내용
초단기 가이던스	<ul style="list-style-type: none"> <li>초단기 국지기상감시 시스템 개발. 강수, 기온 등에 대한 초단기 예측 및 알람 제공으로 특보 생산 지원</li> </ul>
양상블 통계 최고/최저기온 가이던스(2017년 사업)	<ul style="list-style-type: none"> <li>과거에 축적된 ECMWF 양상블 모델 결과와 과거 최고/최저 기온 관측자료를 이용하여 기계학습(Random Forest)을 이용한 관계식을 적용하여 최고/최저 기온, 폭염·한파 특보(주위보·경보) 발생확률을 제공하는 가이던스</li> </ul>
RFOG, LFOG (2011~12년 용역)	<ul style="list-style-type: none"> <li>LFOG는 국지(UM1.5km) 모델 결과를 입력하여 사용하는 안개 컬럼모델</li> <li>지역모델(UM12km) 기반의 RFOG도 개발하여 운영하다가, 2019년 3월 운영 중단</li> </ul>

가이드스 종류	내용
연무확률 (2014년 용역)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2014년 연무확률 가이드스의 확장 개념으로 대상 지점 확장과 안개 특보제 (현재는 운영 중단)와 관련된 가이드스 추가 제공을 위해 2015년 앙상블 기반의 안개 예·특보 확률 가이드스가 개발</li> <li>• ECMWF 앙상블 및 UM 앙상블 모델 자료를 과거 일정 기간동안 축적된 자료와 시정/습도 관측자료를 이용하여 시정 거리 구간별 확률을 제공하는 가이드스를 개발하였고, 특보/특이기상의 안개/연무가이드스에서 표출/제공 중</li> </ul>
안개·특보확률 (2015년 용역)	
GFOG (2018년 유지보수 용역, RFOG 개선)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2019년 3월 RFOG 운영 중단에 따라, 전구모델 기반으로 변경(입력 기준 모델 지역→전구 변경) 및 개선(예보시간 확장)하여 GFOG를 2019년 3월 이후부터 현업 운영 및 제공</li> </ul>
중기예보 시나리오(앙상블 기압유형)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ERA-Interim 해면기압 자료와 K-means기법을 사용하여 24개의 날씨유형으로 분류. 분류된 24개의 유형을 기반으로 GDAPS와 ECMWF 앙상블 자료를 사용하여 어떤 날씨유형인지 매칭하여 +11일까지의 강수량, 기온 정보를 제공</li> </ul>
실황기반 초단기 예측	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 매 10분 업데이트 6시간 초단기 강수 예측</li> </ul>
앙상블 통계 강수 가이드스(2016년 용역)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최적 계급 구간 선정 방법은 과거에 축적된 ECMWF 앙상블 모델 결과와 관측 강수량을 이용하여 최적 임계구간을 선정하는 ST2(simple tree2) 방법을 적용하여 구간 선정식을 개발</li> <li>• 강수유무, 6시간 강수량, 12시간 강수량 가이드스 생산</li> </ul>
앙상블 계급 (자체개발)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ECMWF 앙상블 모델 결과를 이용하여 5km 격자 해상도로 공간 해상도를 내삽하고, 강수, 강설, 하늘상태, 풍속에 대해 계급별 확률 분포 표출을 위한 자료 생산</li> </ul>
해구별 예보 가이드스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 파고, 풍속, 풍향, 해상 날씨 등 제공</li> </ul>
중기 기온/강수 SVR (2013년 용역)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3시간 기온, 12시간 강수유무 및 강수형태에 대해 국외 지점에 대한 중기 예보 가이드스</li> <li>• 기온, 강수유무 및 노점온도를 경우는 UM 전구 앙상블 및 ECMWF 앙상블 모델 결과를 기계학습(SVR(Support Vector Regression))를 이용하여 학습한 예보 관계식을 개발</li> <li>• 강수형태는 노점온도와 기온을 이용하여 상대습도와 기온간의 관계식으로부터 판단하는 방식으로 개발</li> <li>• [국외] 중기 기온/강수 SVR은 공무국외여행 서비스 및 국외 지점에 대해 제공하는 유일한 통계가이드스로 현재까지는 운영 및 제공</li> </ul>
앙상블 기온 편차보정 (자체개발)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UM 및 ECMWF 앙상블 평균에 대한 30일간 편차를 계산하여 편차를 보정한 기온 가이드스 생산</li> </ul>

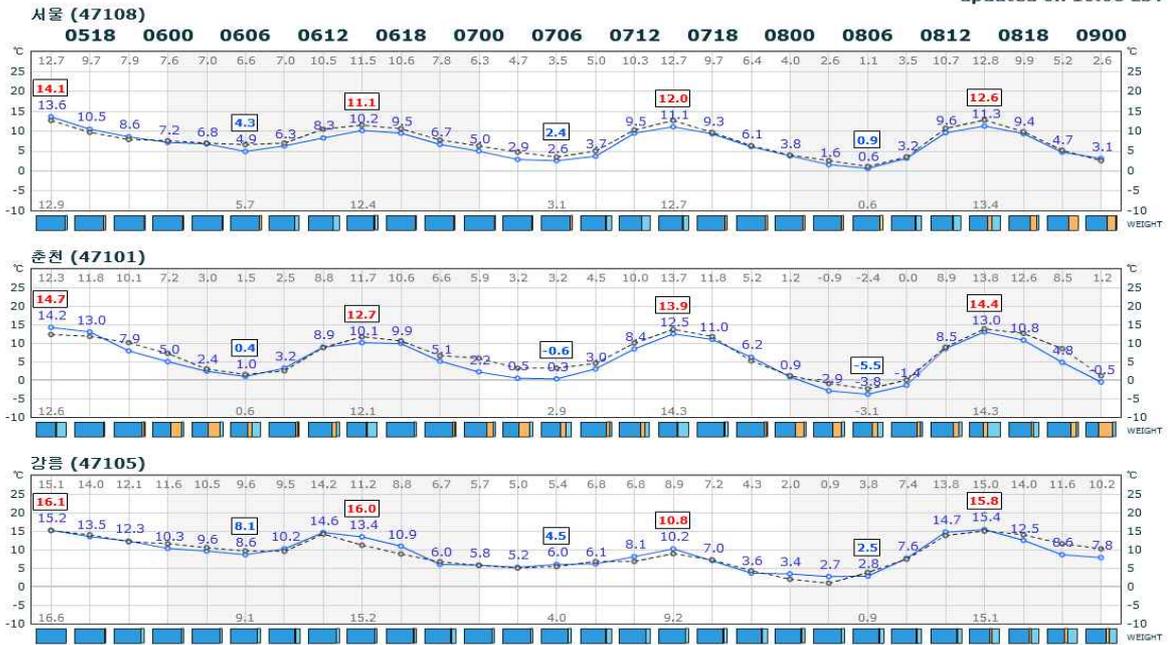


그림 2.2.4 동네예보 가이드선스와 관측자료 실시간 비교 표출 웹페이지

## □ 한계 분석

현행 수치예보 모델의 운영은 주로 1일 4회 운영을 기본으로 하고 있으며, 초단기 영역에서만 12시간 예측까지 매시간 운영하고 있다. 시공간적으로 세분화된 예보(동네예보 개선 사항 설문 응답자 중 48%), 자주 갱신되는 예보(동네예보 개선 사항 설문 응답자 42%)와 같은 예보 서비스에 대한 개선 요구에 맞추어 현행보다 시공간적으로 상세하고 자주 갱신되는 예보를 제공하기 위해서는 이를 뒷받침할 수 있는 수치예보모델의 운영체계 조정이 필수적이다. 초단기예보시스템은 전지구모델의 분석시각보다 빠르게 모델의 분석과 예측을 수행하는 분석체계로 구성되어 일관성 있는 3차원의 고해상도 예측정보를 신속하게 생산·제공하고 있다고 평가받고 있지만, 급변하는 기상현상에 대한 예보 정확도 향상 요구가 존재하여 이를 겨냥한 기술 발전이 필요할 것으로 보인다. 또한 수치예보 모델 운영체계 조정과 더불어 후처리인 가이드선스 시스템의 개선 또는 신규 구축이 필요하다. 이를 위해서는 최소 3년 이상의 과거에 대한 재수행이 가능한 수치모델링 시스템이 유지되어야 한다.

## 나. 동네예보체계의 사회적 한계 분석

### 1) 예보 주기 및 해상도

초단기예보의 경우 일 24회 생산되며 매시 30분에 발표되고, 단기예보는 일 8회 생산되며 02시부터 3시간 간격으로 발표된다. 중기예보는 일 2회 생산되며 06시와 18시에 발표된다. 초단기예보의 공간해상도는 5km×5km이며, 시간해상도는 1시간 간격으로 +4시간까지이고, 단기예보의 공간해상도는 5km×5km이며, 시간해상도는 3시간 간격으로 +72시간까지이다. 중기예보의 공간해상도는 주요 자치단체이며, 시간해상도는 12시간 간격으로 +10일까지이다. 초단기와 단기 및 중기예보 사이에 시간적인 이음새는 없으나 초단기예보와 동네예보는 각기 다른 수치예보모델로부터 초기자료가 생산되어 특정 시간대에 초단기예보와 단기예보의 불연속이 존재한다.

### □ 한계 분석

주요 국가 기상청은 우리나라 기상청에 비하여 시공간적으로 보다 상세한 예보를 제공하고 있다(표 2.2.6 ~ 7). 또한 설문조사 등을 통해 파악된 신속하고 시공간적으로 조밀한 예보에 대한 요구 등을 고려해봤을 때, 동네예보 시공간해상도에 대한 개선이 필요하다. 한편, 모델 차이 때문에 초단기예보와 단기예보가 매끄럽게 연결되지 않는 부분도 개선이 필요한 부분이다.

표 2.2.6 현재 기상청의 초단기/단기/중기예보의 해상도와 생산주기

구분	시간해상도		공간해상도	발표시각
초단기예보	+2~4시간	1시간	5km × 5km	매시 30분
단기예보	+46~67시간	3시간		02시부터 3시간 간격
중기예보	+7일/+10일	12시간/하루	주요 자치단체	06, 18시

표 2.2.7 국외 주요국 기상청의 단기예보의 해상도와 생산주기

구분	시간해상도		단기예보 공간해상도	발표시각
영국	오늘~2일	1시간	1.5km (UM)	매시간
	+3~7일	3시간		
미국	오늘~7일	1시간	2.5km (NAM)	매시간
일본	+5~30분/35~60분	5분	250 m	매 5분
	+1~6시간/7~15시간	10분/1시간	1km/5km	매 10분
	+2일	3시간	20km (GSM)	일 3회

## 2) 예보 전달 방법

기상청은 2017년 12월부터 기상행정 정보와 분리된 날씨전용 누리집인 날씨누리(www.weather.go.kr)를 운영하고 있으며 이를 통해 더욱 빠르고 편리하게 날씨 정보를 확인할 수 되었다(그림 2.2.5). 기상청 홈페이지의 방문자는 2016년까지 해마다 증가하다가 2017년부터 감소하였고, 일평균 접속자 수는 약 55만 명으로 이중 약 33%가 스마트폰 등을 통해 모바일 웹(m.kma.go.kr)을 이용한 것으로 조사되었다(기상청, 2019a). 기상청 모바일 웹 페이지(m.kma.go.kr)는 2010년에 최초로 서비스를 개시하였으며, 스마트폰 등 모바일 디바이스의 웹 브라우저를 통해 접속이 가능하다. 현재 모바일 웹에서는 첫 화면에서 예·특보, 날씨영상을 바로 확인할 수 있고, 전국날씨, 관측자료, 바다/산악날씨, 태풍 및 지진정보 등을 서비스하고 있으며, 날씨ON 홈페이지를 기상청 모바일 웹과 통합하여 운영 중이다. 우리나라를 방문하거나 국내 거주하는 외국인을 대상으로 다국어(영어, 일본어, 중국어) 기상정보 서비스를 실시중이다(기상청, 2019a).

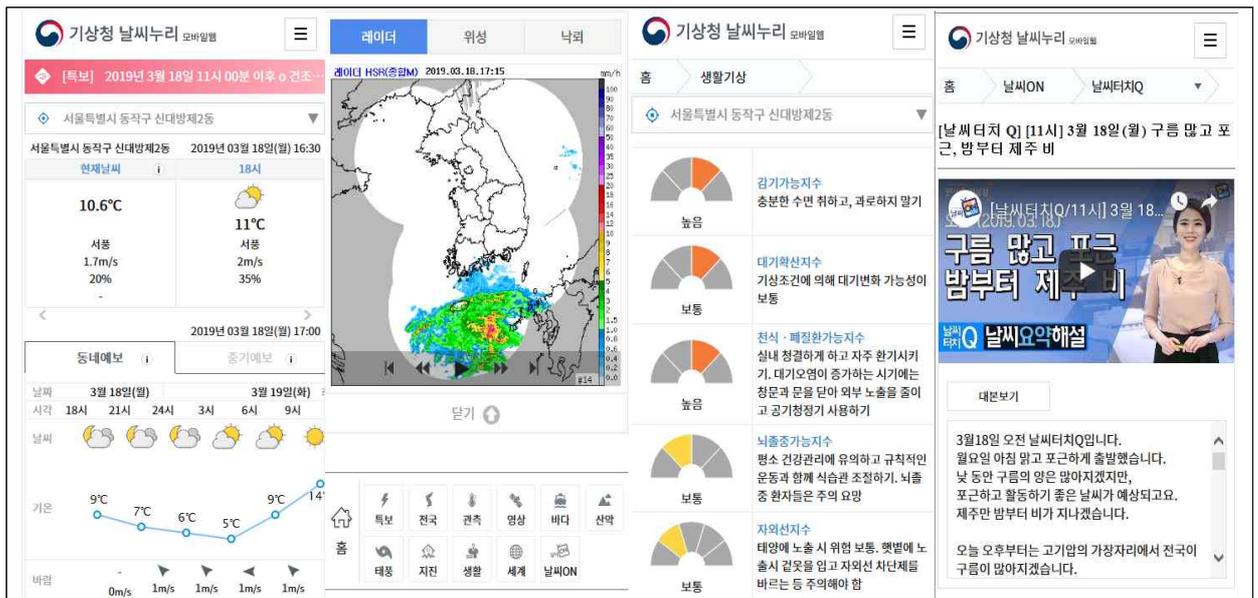


그림 2.2.5 모바일웹 페이지(m.kma.go.kr) 첫 화면, 기상특보, 날씨영상, 생활기상, 날씨ON(기상청, 2019a)

### □ 한계 분석

기상청 웹사이트의 이용자 중 모바일 웹 이용자는 늘어나고 있으나 전체 방문자는 감소하고 있다(그림 2.2.6). 사회적으로 모바일기기 사용자가 늘어나고 있기 때

문으로 보인다. 따라서 이러한 사회적 환경 변화에 맞추어 모바일기기 사용자를 위한 모바일 서비스 개선과 모바일 어플리케이션 환경에서 작동하는 서비스 개발이 필요하다.

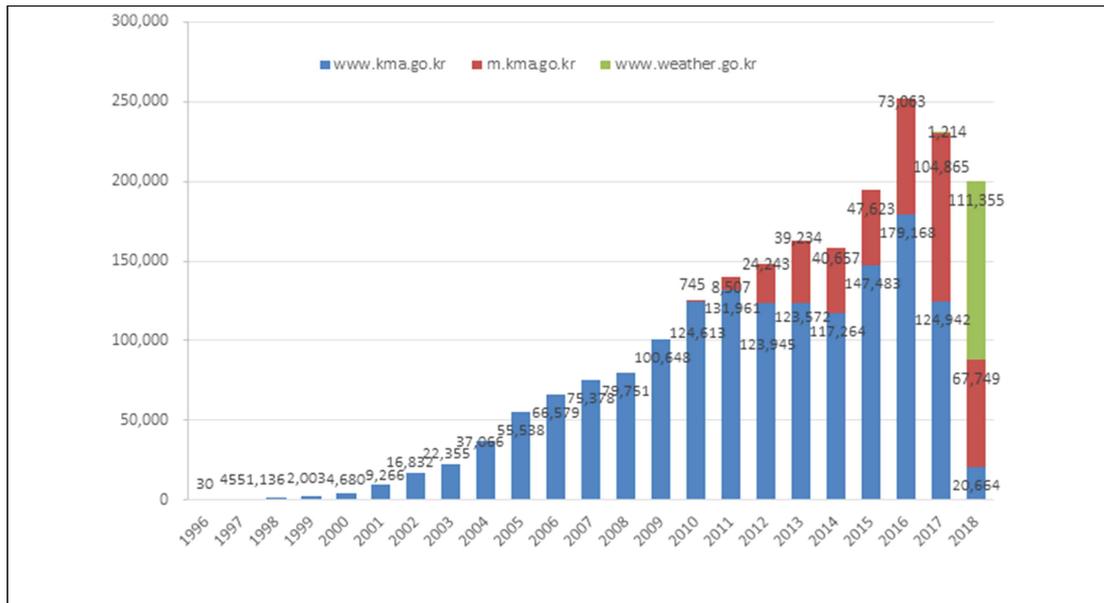


그림 2.2.6 기상청 홈페이지 연간 방문자수 통계(모바일 웹 포함)(기상청, 2019a)

## 다. 동네예보체계의 미래지향적 한계 분석

### 1) 4차 산업혁명과 인공지능

4차 산업혁명과 급속도로 발전한 인공지능 기술을 활용하여 이상기후, 재해기상과 같은 빈발하지만 예측이 어려운 일기 현상의 예보 정확도를 향상시킬 수 있을 거라 기대해 볼 수 있다. 인공지능망 딥러닝은 기상-해양 환경의 여러 분야에서 그 응용 가능성을 찾아 볼 수 있으며, 위험기상의 자동 판별, 위성자료와 같은 원격 관측 자료의 자동 분석, 기후모형 자료의 분석, 시계열 분석, 기후 변화 경향 예측, 날씨 예측, 기상-해양 물리과정 모의, 자료동화의 성능 개선, 불확실한 해양물리변수의 개선, 이종간 모델 예측 자료의 앙상블 예측 등에 활용될 수 있다(기상청, 2018 c, 기상기술정책지). 인공지능 예측 방법이 단기간에 기상-해양 순환모형의 성능을 크게 뛰어 넘지는 않겠지만, 그 동안 정체되어 왔던 기상-해양 환경 예측 성능 개선의 돌파구가 될 가능성이 높아 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 구글과 IBM

등 글로벌 기업들은 빅데이터 기반의 인공지능 기술을 통해 수천년간의 자연변화와 과거 재해 기록을 분석해 대형 자연재해의 전조를 미리 예측하는 연구를 본격화 하고 있다. 구글의 엔지니어링 부분 부사장을 역임했던 Andrew Moore는 “인공지능 기술은 자연재해에 관련된 방대한 양의 정보를 실시간으로 처리할 것으로 예상된다. 실제로 예기치 못한 자연재해 발생 시에 모든 정보를 실시간으로 처리하고 대처해 내는 것이 현실적으로 어려움이 있지만, 향후 5년 내에 인공지능은 이를 해결할 것으로 전망한다.” 라고 말한 바 있다(2015년 12월).

□ 한계 분석

4차 산업혁명은 초지능화, 초연결성, 대융합 등을 기반(그림 2.2.7)으로 산업구조, 경제구조, 사회적 측면에서도 변화를 초래하는 현재 도래한 사회 변화 흐름이며 기상 분야에서도 변화가 나타나고 있다. 성공적으로 인공지능 시스템을 구축하기 위해서는 표준화된 양질의 많은 데이터가 요구되므로 데이터에 대한 관리 및 운영 준비가 필요하다. 또한 네트워크(5G), 빅데이터, 인공지능, 사물인터넷 등 4차 산업혁명을 주도하는 핵심기술을 활용한 기상 기술 개발을 위해서는 관련 원천 기술 확보를 위한 예산, 인력, 조직 등 R&D 투자가 필수적이다.



그림 2.2.7 4차 산업혁명 주요 특성(한국과학기술기획평가원, 2017)

## 2) 자율 평생학습에 의한 AI 예보기술과 예보관의 역할

4차 산업혁명에는 자동화, 로봇화, 인공지능화로 단순 생산 영역은 로봇이 인간의 노동을 대체하여 고속런 노동에 대한 수요 증가를 전망하고 있다. 이에 따라 인간에게는 복합문제 해결능력 및 인지능력 등 인간의 고유한 능력에 해당하는 직무역량이 요구된다. 미래 예보관의 기대되는 역할은 예보 전달과 소통자, 의사결정지원자, 분석자로서의 역할이다. 방대한 수치모델데이터를 AI가 분석한 결과를 예보관이 판단하고 다양한 사람들이 받아들일 수 있도록 가공하여 전달하고 소통하고 설득하는 것은 예보관과 시스템의 시너지를 극대화 할 수 있는 방법이다.(앤드류 맥아피, 에릭 브린올프슨, 2018). 뿐만 아니라 예보관은 AI 바탕 예보기술을 분석하고 AI 예보기술의 단점과 한계를 보완하는 역할 즉, 예보 정확도 향상을 위하여 모델 개발의 조력자로서의 역할 수행할 수 있다(Gillet-Chaulet Bruno.,et al., 2019, Harvey Stern., 2007).

### □ 한계 분석

주요 선진국에서는 디지털 예보로 전환하며 예보관의 역할 또한 전환하였다. 예보관은 위험기상에 대비하고 의사결정 지원을 위해 예보 소통 및 해설하는 업무가 보다 강화되었다. 우리나라 또한 이러한 방향으로 나아가고 있으며 위험기상에 대비하고 의사결정을 지원하는 역할 강화에 박차를 가해야 한다. 또한 앞으로 예보에 본격적으로 AI가 활용되는 경우에 예보의 전달 및 소통, AI 예보기술의 분석과 그 한계를 환류하는 역할이 중요시 됨에 따라 이와 같은 역할을 원활히 수행하기 위한 역량 강화가 필요하다.

### 제3항 미래 예보체계로의 전환을 위한 현 동네예보체계의 종합적인 개선사항 분석

동네예보체계의 구조적, 사회적, 미래지향적 한계 분석 내용을 바탕으로 동네예보체계의 분야별 종합적 개선점을 제시하였다.

#### 가. 조직/예보관

- 예보 업무 개선점 및 예보관 역할 강화

예보 생산 업무의 경우 현재하고 있는 전반적인 날씨 감시보다 더욱 위험가능성이 큰 날씨에 예보관의 역량을 집중해야 하며, 사용자 별로 다양한 정보를 제공하여 쉽게 기상정보를 생활과 의사결정에 활용할 수 있도록 해야 한다. 따라서 현재 서비스 보다 다양한 서비스를 발굴하여야 한다.

다양한 서비스를 효과적으로 제공하기 위하여 위험기상에 대비하고 의사결정 지원을 위해 예보 소통 및 해설하는 업무로 예보관의 역할을 강화해야 한다. 또한 앞으로 예보에 본격적으로 AI가 활용되는 경우에 예보의 전달 및 소통, AI 예보기술의 분석과 그 한계를 환류하는 역할 또한 중요시 되고 있다. 변화하는 예보관의 역할에 맞추어 역할을 원활히 수행을 위한 역량 강화가 필요하다.

- 예보조직 개선점

예보관의 위험기상 대비와 의사결정 지원, 대국민·유관기관 예보 소통과 서비스 역할의 강화된다면 효율적 역할 수행을 위해서 관련 업무를 세분화하고 부서 신설 또는 전담 인력의 배치가 수반되어야 한다.

#### 나. 모델/가이드스

- 수치예보모델 결과 개선

초단기와 단기 및 중기예보 사이에 모델 차이를 극복하고 연속적인 예보를 제공하도록 개선이 필요하다. 고해상도 예보에 대한 세계적 추세와 국민적 요구에 발맞춰 우리나라 기상청에서도 고해상도 예보를 서비스 할 필요가 있으며 이를 위한 수치모델 개선이 필요하다.

- 수치예보모델의 운영체계

현행보다 시공간적으로 상세한 예보자료를 생산 및 제공하기 위해서는 이를 뒷받침할 수 있는 수치예보모델의 운영체계 조정이 필요하다. 또한 후처리 가이드 시스템의 개선과 신규 구축이 필요하며, 가이드 시스템 개발에는 최소 3년 이상의 과거에 대한 재수행이 가능한 수치모델링 시스템의 유지가 필요하다.

#### 다. 서비스

- 동네예보 서비스 인지도 및 접근성

동네예보 서비스에 대한 대국민 인지도 향상이 필요하다. 동네예보 개선점을 묻는 설문에서 자유 의견으로 동네예보를 확인하기 위한 접근성이 개선되었으면 좋겠다는 의견이 4.0%, 그 밖의 별도로 검색해서 찾아보기가 불편하다, 어플이 있으면 좋겠다, 다양한 채널로 소개되었으면 좋겠다 등으로 나타나 동네예보 서비스의 접근성에 대한 개선이 필요한 것으로 분석된다.

- 서비스 신속성과 위치 기반 서비스

동네예보 개선점을 묻는 설문에서 자유 의견으로 예보가 업데이트될 때마다 실시간 알림 기능이 있으면 좋겠다라는 의견이 있었고, 예보가 갑자기 변경된 경우, 전체의 31.0%가 3시간 전, 다음으로 1시간 전(27.0%), 2시간 전(24.0%) 순으로 나타났다. 신속한 서비스에 대한 요구가 존재하는 것으로 파악되는데, 현재 웹 기반의 동네예보 서비스에서는 신속하게 서비스를 제공하는데 원활하지 못할 수 있어 개선이 필요하다.

예보전달 방식에 대한 선호도 조사 결과의 2위로 전체 36.6%가 접속하는 현재 위치의 상세한 동네예보를 확인하고, 다른 탭을 클릭하면 한반도 전체 날씨를 확인하는 것을 선택하였다. 또한, 정확도가 조금 낮아지더라도 현재 예보보다 더 상세한 현 위치의 예보의 이용 여부를 묻는 설문에서 ‘이용할 것 같다’는 의견이 과반수가 넘는 61.2%으로 ‘이용하지 않을 것 같다’는 의견(15.8%)에 비해 압도적으로 높게 나타나 국민 본인 현재 위치에 대한 예보 수요가 높다는 것을 확인할 수 있다.

모바일 어플리케이션을 통한 실시간 알림서비스와 사용자 위치기반의 GIS 서비스 등 서비스 개선이 필요하다.

- 사용자 비친화적인 서비스 제공 방식

지난 10년 동안 동네예보 시각화 방법은 비교적 성공적으로 작동하였다. 여러 사용자 친화적 서비스가 등장하고, 상세예보로의 전환에 따라서 이에 맞는 새로운 서비스 구성이 필요하다. 또한 여러 사용자에게 특화된 서비스를 제공하는 노력이 필요하다. 실제로 동네예보 개선점을 묻는 설문지의 자유 의견으로 현재의 제공방식에서 보다 보기 쉽게 개선이 필요하다는 의견이 존재하였다.

- 서비스 콘텐츠

동네예보 서비스의 콘텐츠에 대한 개선 요구가 동네예보 인식 설문 조사에서 나타났다. 동네예보 개선점을 묻는 설문에서 자유 의견으로 과거 예보도 확인하고 싶다, 예보가 틀린 경우에 상세한 설명을 듣고 싶다 등이 있었다. 이는 동네예보 서비스의 콘텐츠에 개선이 필요하다는 사실을 보여주는 것으로 콘텐츠 발굴을 위한 노력이 필요하다.

### 제3절 전략적인 동네예보 발전 방향 제시

#### 제1항 대내외 다양한 환경 변화에 따른 동네예보체계 개선을 위한 전략

대내외 환경 변화 및 국민의 수요에 부응하도록 대응체계를 강화하기 위한 상세 예보의 정규서비스 및 위험기상 정보 적시 제공이라는 목표 하에 1, 2절의 조사 및 분석내용을 바탕으로 동네예보의 기초가 되는 5가지 분야에 대한 개선전략을 수립하였다(그림 2.3.1).

- (모델) 세밀한 동네예보에 적합한 고해상도의 예측자료 생산
- (가이던스) 인공지능을 활용한 지속적인 발전이 가능한 능동적 가이던스 개발
- (서비스) 웹 중심의 서비스에서 다양한 매체를 통한 GIS 예보서비스로 수요자 만족도 증대
- (조직) 예보생산체계 개선 및 업무 조정에 따른 예보조직 개편
- (예보관) 생산 중심의 업무에서 분석 및 방재담당, 소통 업무로 전환

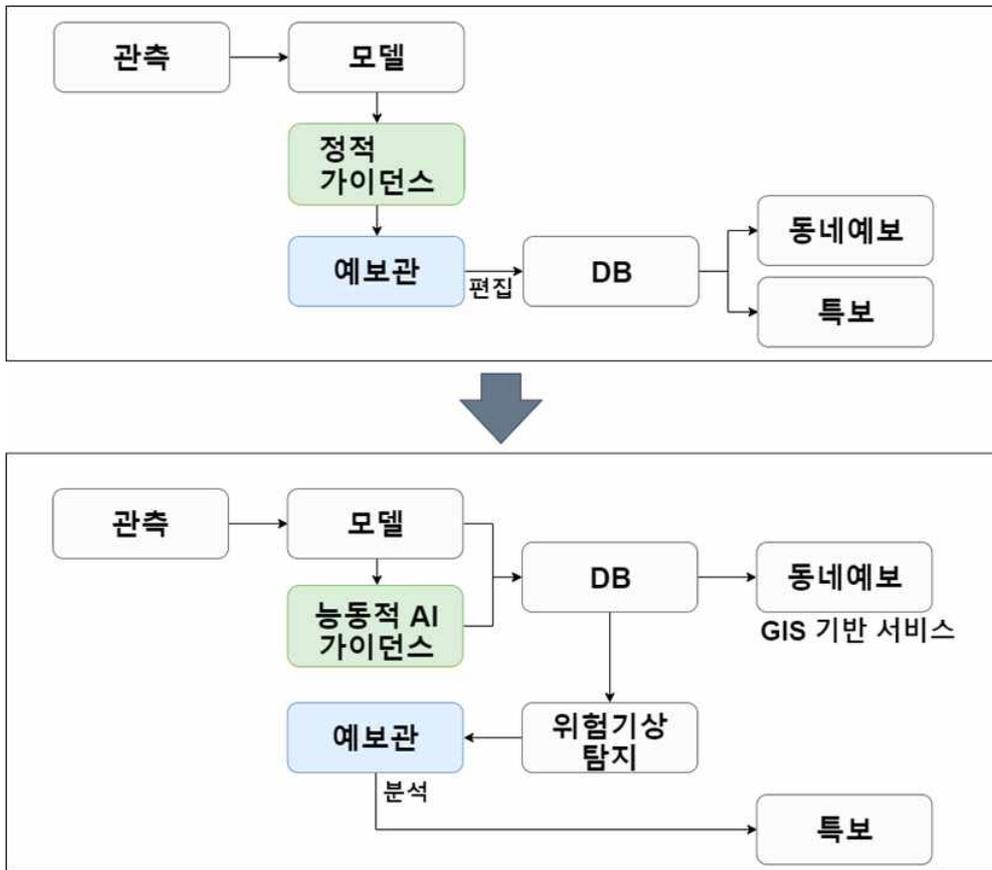


그림 2.3.1 동네예보 체계 개선 전략

첫 번째 “모델” 분야에서는 세밀한 동네예보에 적합한 고해상도 예측자료를 생산한다. 초단기예보를 위해서 KLAPS 모델 운영 스케줄을 확장하여 갱신주기를 10분까지 단축하고, 예측범위를 6시간으로 확대, 공간해상도를 1km까지 높여 보다 상세한 예측자료를 확보한다. 또한 KLAPS에 인공지능 기술을 결합하여 보다 정확도 높은 예측자료를 생산할 수 있도록 한다. 단/중기예보를 위해서도 각각 단기 1km 공간해상도, 1시간 간격, 120시간 예측 및 중기 5km 공간해상도, 3시간 간격, 10일 예측정보를 생산하여야 개선하고자 하는 동네예보 서비스가 가능해질 것이다. GDAPS 모델과 앙상블, 인공지능 기술을 결합 및 고도화하여 보다 정확도 높은 예측자료를 생산한다.

두 번째 “가이던스” 분야에서는 인공지능을 활용, 잘못된 결과에 대한 수정 학습, 재학습을 통해 지속적인 발전이 가능한 능동적 가이던스를 개발한다. 또한 위험 가능성 정보에 특화된 가이던스를 제공하여 최대 5일까지 선제적인 예보가 가능하도록 정보를 생산한다.

세 번째 “서비스” 분야에서는 웹중심의 서비스에서 다양한 매체를 통한 GIS 예보 서비스로 수요자의 만족도를 증대시킬 수 있도록 한다. 스마트폰, 스마트 워치 등 다양한 스마트기기들을 통해 사용자의 위치, 행동 패턴 등을 제공받아 맞춤형 서비스를 제공한다. 고품질의 이미지 레이어 및 애니메이션 효과 등 시각적으로도 보다 효과적인 정보를 표출 할 수 있도록 하며, 표출요소 편집 등 개선된 동네예보를 통해 전달할 수 있는 다양한 정보 중 사용자가 선택가능하게 한다.

네 번째 “조직”은 동네예보 업무 조정에 따라 역할 및 책임에 적합한 조직 개편을 의미한다. 특별히 예보생산체계의 전환에 따라 예보국, 수치모델링 센터 등 관련 부서간의 관계와 역할에 대한 조정이 필요하고, 분석과 방재 분야에 대한 역량 강화를 위해 인력확보와 내실을 다진다.

마지막 “예보관”은 생산중심의 업무에서 분석 및 방재담당, 소통 업무로 전환한다. 예보생산체계 감시 및 위험기상예보에 대한 조기대응 능력을 강화한다. 위험기상이 예상되거나 발생할 경우 실황 감시 및 예측자료 분석 등을 통해 유관기관의 방재대응 선행시간을 확보하고 효과적인 의사결정에 기여한다. 또한 국민이 이해하기 쉬운 날씨해설 및 기상정보를 작성하고 유관기관 및 언론과의 소통 역할을 강화한다. 모델 예측에 대한 역학적 분석 및 틀린 예측에 대해 심층 분석을 수행하여 예보정확도 향상 및 모델 개선의 조력자로서의 역할을 수행한다.

## 제2항 4차 산업혁명, 인공지능 연계 등 새로운 패러다임의 동네예보 발전방향 제시 및 새로운 정책 발굴

### 가. 수치예보모델의 해상도 및 예측성 향상

- (주요내용) 1. 모델의 시공간 해상도 향상, 2. 다중 앙상블기법 개발 및 고도화, 3. 한국형 수치예보모델 고도화
- (초단기) +6시간까지 10분 간격 및 10분 주기 갱신의 1km 공간 해상도
- (단기) +120시간까지 1시간 간격 및 1시간 주기 갱신의 1km 공간 해상도
- (중기) +10일까지 3시간 간격 및 12시간 주기 갱신의 5km 공간 해상도

수치예보모델 운영체계를 +120시간까지의 1시간 이하, 1km 이하의 초고해상도 예측 자료를 생산하는 시스템 구축을 목표로 한다. 현재 동네예보는 예보시각에 따라 +2~4시간까지는 1시간 간격의 초단기예보를 사용하고, 그 이후부터 +72시간까지는 3시간 간격의 단기예보 사용하고 있다. 또한 초단기와 단기예보 사이를 매끄럽게 연결하기 위해서 최소 동네예보 기간인 +120시간까지 1시간 또는 그보다 조밀한 간격의 예측 자료 생산 시스템 구축한다.

시공간 해상도 향상과 함께 모델의 예측성 향상을 위해 앙상블 기법 개발 및 고도화를 수행한다. UM, ECMWF 등 멀티 모델 앙상블과 초기시간에 따른 시간지연 앙상블 등 모델기반 예측서비스를 위해서는 앙상블에 대한 기술 개발과 고도화가 필수적이다. 또한 현재 시행중인 멤버별 랜덤모수화에 대한 검토가 필요하다. 멤버별로 고정된 모수를 적용할 경우, 멤버별 특성을 고려한 앙상블 구성이 가능해진다.

도입 예정인 한국형 수치예보모델을 활용한 전구, 지역, 국지 등 특성에 따른 모델을 개발하여 독자적인 예측기술 확보에 대한 노력도 요구된다.

### 나. 인공지능 기반 예보 가이드스 개발

- (주요내용) 1. 지속적인 학습이 가능한 딥러닝 기반의 예보 가이드스 개발, 2. 고해상도의 관측자료 및 예측결과에 대한 적중여부를 판단하여 학습을 실시하는 가이드스 개발, 3. 위험가능성 정보 제공을 위한 위험기상 특화 가이드스 개발, 4.

실황, 초단기, 단기, 중기, 장기 예보별 불일치 개선

딥러닝 기반의 평생학습 가이드언스 개발을 목표로 한다.(그림 2.3.2) 개발기간에만 훈련하는 1회적인 기계학습이 아닌 지속적인 학습이 가능한 딥러닝 기반의 예보 가이드언스를 개발한다. 예보에 대한 체감효과가 큰 강수, 기온의 요소부터 기타 예보 요소에 이르기까지 순차적으로 개발하며, 5G 기술 등으로 빠르게 수집되는 고해상도의 관측자료를 반영하여 정확도를 높인다. 또한 예측결과에 대한 적중여부를 판단하여 학습에 포함하는 반복적인 훈련이 가능하도록 하며, 가이드언스 예보 결과의 사후 분석에 예보관의 역량을 강화할 수 있는 교육을 시행한다.

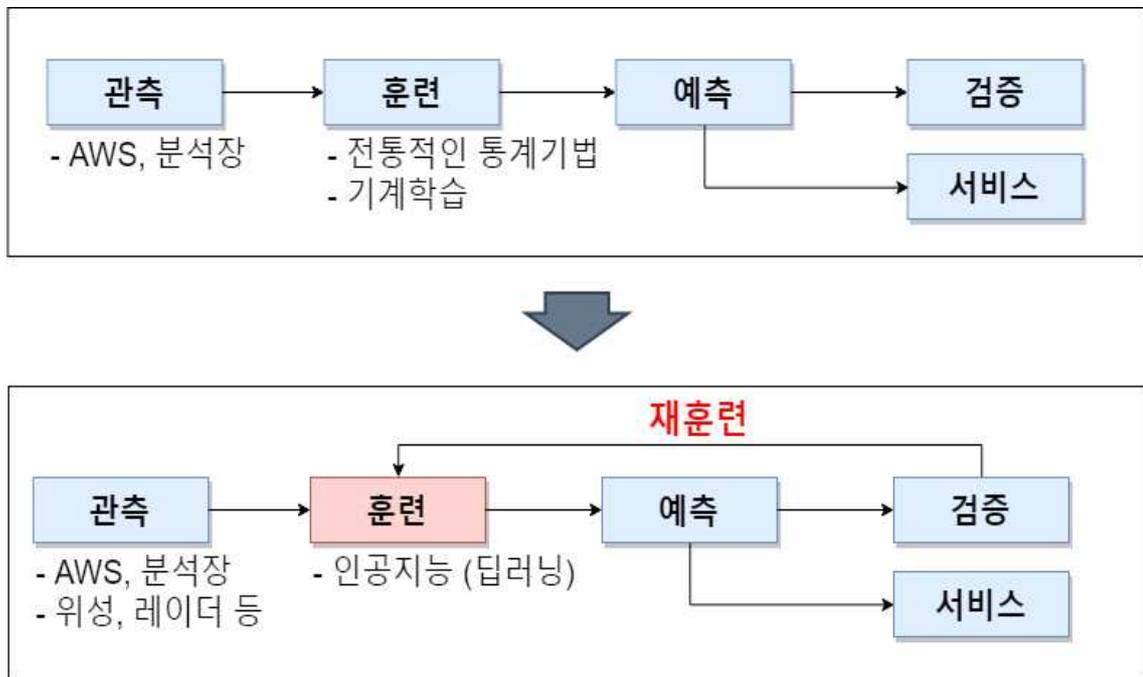


그림 2.3.2 기존 가이드언스 생산체계와 딥러닝 기반 평생학습 가이드언스 체계 비교

#### 다. 수요자 맞춤형 예보전달 서비스

- (주요내용) 예보수요자의 위치정보를 활용하여 해당지점의 예보 전달, 이미지, 애니메이션 기능 기반의 예보 전달, 사용자 편집이 가능한 개인별 맞춤형 서비스 실현

고품질의 이미지/애니메이션 등을 활용한 GIS 기반 예보전달체계 구축을 목표로 예보수요자의 위치정보를 활용하여 해당지점의 예보를 전달(그림 2.3.3)하고, 고해

상도 지도 기반의 이미지(그림 2.3.4), 애니메이션 기능을 활용하여 효과적인 예보를 전달한다. 또한, 관심 있는 예보요소에 대한 사용자의 편집기능을 통해 개인별 맞춤형 서비스를 실현한다. 현재 개발 중에 있는 날씨어플리케이션을 통해 푸시기능 등으로 알림 서비스를 제공하고, 현재 별도로 구성된 날씨 제보 등 독립된 어플리케이션을 통합할 필요가 있다. 동네예보에 대한 홍보를 위하여 SNS 등을 통해 사용자 친화적 홍보 콘텐츠를 발굴한다.

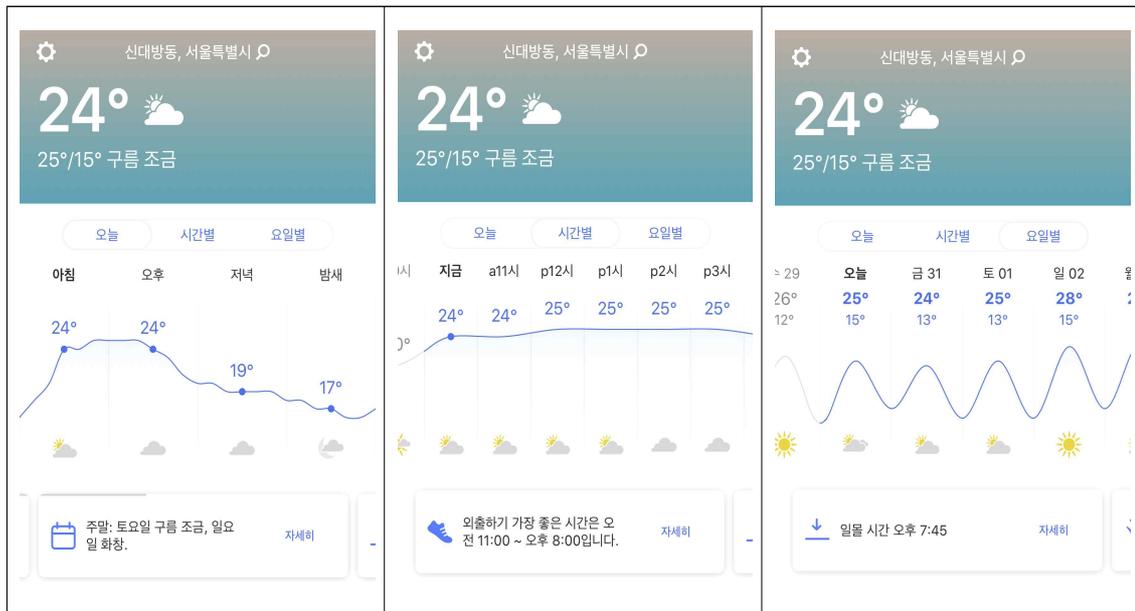


그림 2.3.3 사용자 위치기반 예보전달 서비스 예시(웨더닷컴)

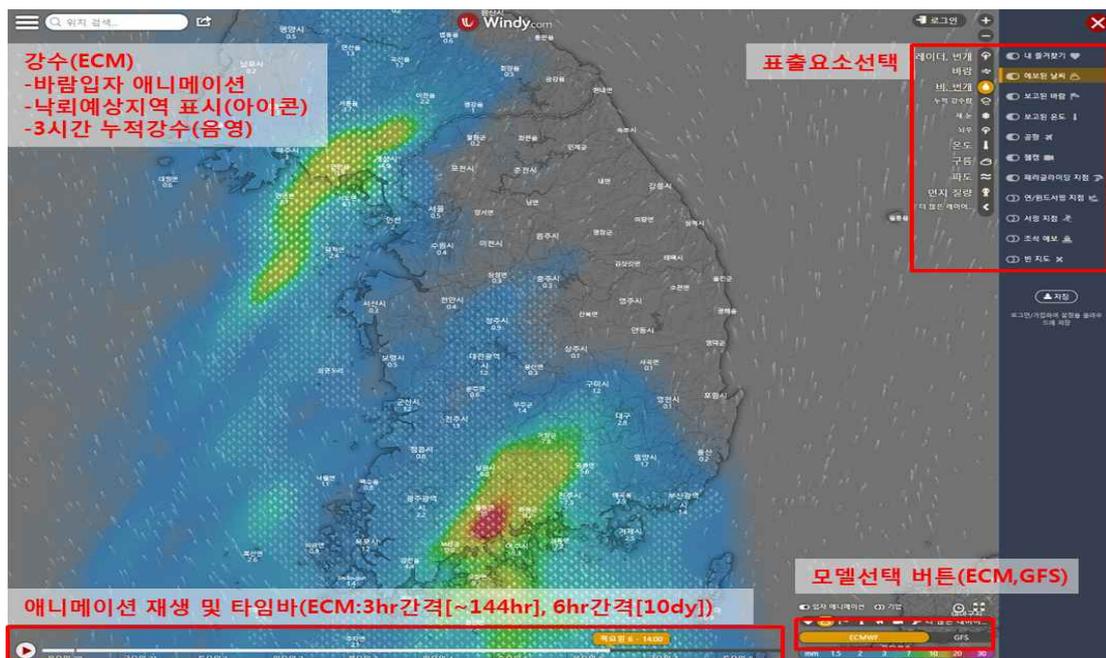


그림 2.3.4 고해상도 지도 기반의 예보요소 편집 가능한 예보정보 서비스 예시(WINDY)

## 라. 동네예보와 특보체계의 유기적 연계 및 효율적 운영방안

- (주요내용) 단기예보 기간 내에 위험기상 발생 가능성 정보 제공

단기예보에서의 위험기상 발생 가능성 정보 제공을 목표로 한다. 초단기예보에서 특보 발생 유무 탐지 시 예보관의 분석을 통해 기상 특보를 발표한다.

기상 특보에는 단기예보 기간 내에 위험기상 발생 가능성의 정보를 포함한다. 영국(그림 2.3.5), 미국(그림 2.3.6) 등의 기상 선진국들에서 실시하고 있는 사전에 정기적 형태로 위험기상 발생 정보를 제공하는 ‘Warn on forecast regular base’을 벤치마킹 한다. 영국 Met Office의 경우, 향후 7일까지의 위험기상 발생 정보를 제공하고 있다. 위험기상이 발생이 예상되지 않을 경우에는 ‘No Warnings’로 표시한다. 미국 NWS의 경우, 향후 4~8일 위험기상 발생 정보를 제공하고 있으며, 미국 NOAA의 WoFS 연구 프로젝트에서는 뇌우와 같은 기상재해에 대한 단기간(0~6시간) 사전 가이드스 제공을 위한 convective-allowing 앙상블 분석 및 예측 시스템 개발 연구하고 있다. WoFS 예측은 토네이도, 심한 우박, 강풍 및 뇌우를 동반한 홍수와 같은 위험 기상 발생 가능성과 심각성을 신속하게 업데이트하고 확률적인 예측을 제공한다. WoFS는 관심 있는 현상에 따라 30 분마다 18개 멤버 자료로 예측 자료를 생산하고 있으며 최대 6시간까지 5분마다 제공된다.

이와 같은 위험기상 발생 가능성 정보는 유관기관의 방재대책 수립 등 의사결정 지원 등 위험기상으로 인한 피해를 줄이는데 기여할 수 있다.

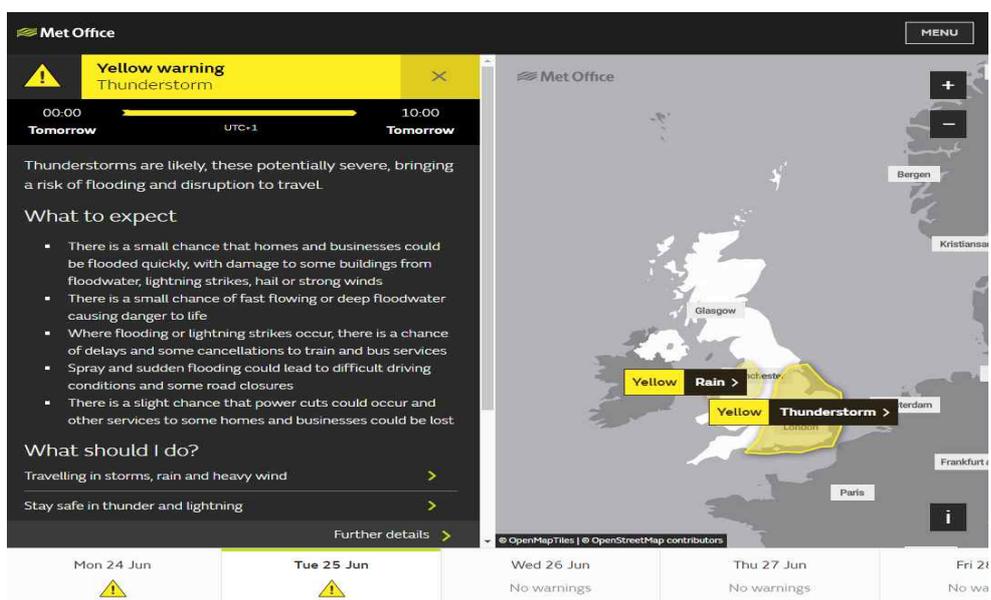


그림 2.3.5 Met Office 위험기상 발생 정보 제공 화면

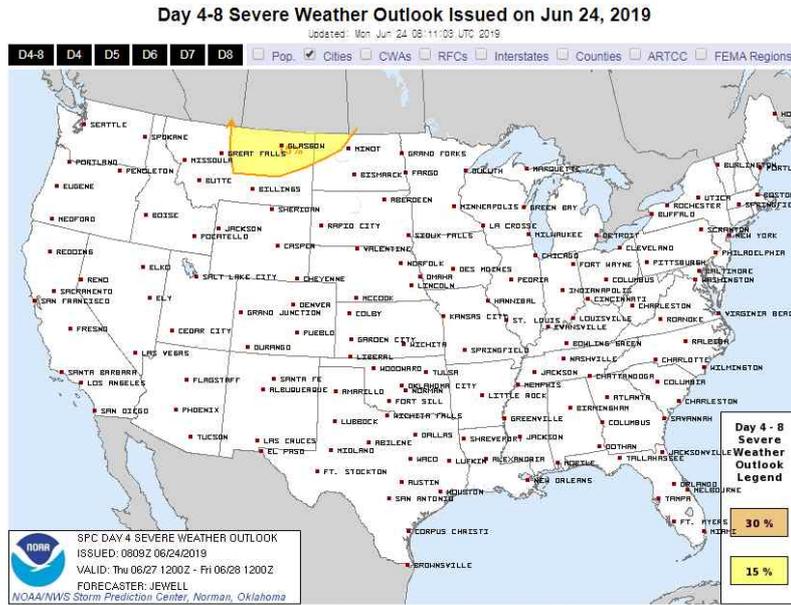


그림 2.3.6 미국 NWS 위험기상 발생 정보 제공 화면

#### 마. 예보관의 역할 변화

- (주요내용) 위험기상과 특이기상에 대한 예보 단계별 심층 분석으로의 역할 수행, 방재 및 위험기상 대응, 대국민 소통과 예보서비스 중심으로 역할 수행
- 생산 중심의 업무에서 분석 및 위험기상 발생가능성 정보 생산 업무로 전환하는 것을 목표로 한다. 위험기상과 특이기상의 발생이 빈번해짐에 따라 예보 단계별로 예보의 변동성과 가용한 자료를 고려하여 심층 분석을 수행하여 방재대능 능력을 강화한다(그림 2.3.7).

심층분석의 과정으로는 기상현상 매커니즘 도출, 유사사례 분석, 실황과 모델 비교, 실황 분석 등이 있다.(그림 2.3.8) 이외에 통합기상분석, 글로뷰(Gloview)를 통해 직관적으로 이해할 수 있도록 한다. 심층분석 과정을 통해 위험기상에 대한 다중 시나리오를 제시하며, 논리적이고 정량적인 근거와 그의 강약점에 대해 토론하여 논리적으로 예보를 생산하는데 기여하여 숙련된 예보관의 노하우와 지식이 위험기상에 순차적으로 대비할 수 있도록 한다. 방재 및 위험기상에 대응하는 업무 외에도 대국민과 소통하는 예보 서비스 중심으로 역할을 재설정할 수 있도록 한다. 또한 수치모델분석서를 작성하여 수치모델의 예측성을 정량화하고, 개선점을 도출하여 예측성확보에 기여한다.

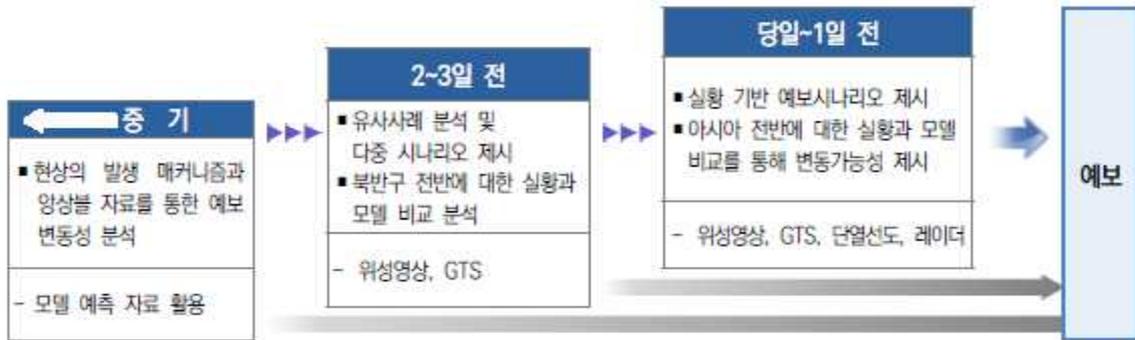


그림 2.3.7 예보 단계별 심층 분석 과정(기상청, 2018b)

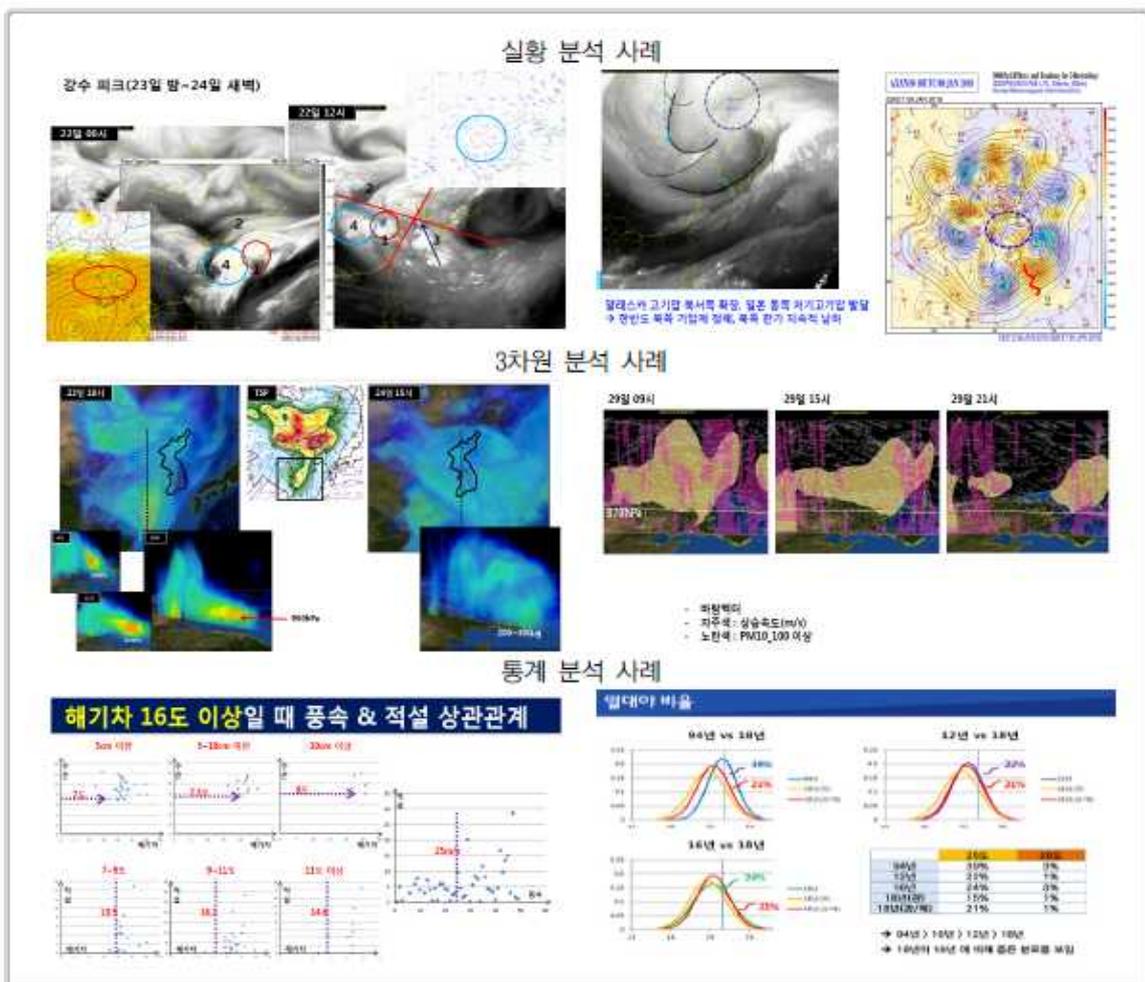


그림 2.3.8 심층분석사례(기상청, 2018b)

### 제3항 단계적인 발전 로드맵 제시

#### 가. 예보 운영체계 발전 방향

예보관의 공간편집 기반인 주관 예보 체계에서 상세한 객관 예보체계로 단계적 전환을 목표로 한다. 상세객관예보를 위한 수치모델 생산과 위험가능성 정보 생산 및 포출 등에 대한 최종 목표는 아래 표 2.3.1과 같다.

표 2.3.1 예보 운영체계 발전 목표

상세객관예보 (수치모델 생산)	서비스명칭	예보			
	내부구분	초단기예보	단기예보	중기예보	
	공간해상도	1km × 1km	1km × 1km	5km × 5km	
	예보기간	+6시간	120시간(+5일)	+10일	
	시간해상도	10분	1시간	6시간	
	갱신주기	10분	1시간	12시간	
	제공요소	10분 강수량, 10분 적설량, 운량(하늘상태), 강수유무, 강수확률, 낙뢰	기온(기온범위), 습도, 풍향·풍속, 운량(하늘상태), 1시간 강수량, 1시간 적설량, 강수유무, 강수확률, 파고	기온(기온범위), 운량(하늘상태), 강수유무, 강수확률	
위험가능성	서비스명칭	특보·예비특보	상세위험가능성	위험가능성	
	시간구분	+24시간까지	+2일까지	+5일까지	-
	공간해상도	상세특보구역	상세특보구역	특보구역	-
	제공요소	특보요소	기온, 강수, 강풍, 건조		-
텍스트 예보 (예보관 생산)	서비스명칭	기상속보	기상정보	기상전망	
	예보기간	+6시간	+2일	+10일	
	특징	위험기상 시 작성	수치모델 보완	변동성 정보, 경향성, 유의사항 포함	
	날씨해설	-	단기와 중기 흐름을 중심으로 작성		
	수치모델분석서	모든 예보기간 대상 작성 및 수치모델 환류 체계 구축			
포출	위치기반으로한 시계열 제공과 확대, 축소 및 클릭 가능한 벡터지도 기반 그래픽 서비스 제공				

#### □ 예보체계의 단계적 발전 로드맵

위험기상에 대한 실황 및 초단기 대응 역량 강화를 위해 초단기·단기·중기 예보요소의 시간 및 공간해상도의 상세화를 단계별로 추진한다(표2.3.2). 1단계에서는 기존 초단기 예보기간 +2~4시간에서 +6시간으로 변경하며, 갱신주기와 시간해

상도는 1시간에서 10분으로 변경, 제공요소는 8종(기온, 강수유무, 하늘상태, 10분 강수량(기존 1시간 강수량에서 변경), 습도, 풍향, 풍속, 낙뢰)으로 적용한다. 단기 예보의 경우 예보기간이 +46~67시간에서 +58~67시간으로 시간해상도는 3시간에서 1시간으로 변경되면서 제공요소의 6시간 강수량/적설은 3시간 강수량/적설로 변경된다.

2단계에서는 단기예보의 시간해상도를 +58~67시간에서 +107~115시간으로 변경하고 갱신주기는 3시간에서 1시간으로 변경한다. 3단계에서는 초단기와 단기 예보의 공간해상도를 5km에서 1km로 변경하며, 중기에서는 주요시군 단위에서 5km로 변경한다.

표 2.3.2 예보체계 발전 로드맵

구분	현재	1단계	2단계	3단계
초단기	<ul style="list-style-type: none"> <li>공간해상도 5x5km</li> <li>제공기간 +2~4시간</li> <li>시간간격 1시간</li> <li>갱신주기 1시간</li> <li>요소 8종</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(제공기간)+6시간</li> <li>(예보간격)1시간→10분</li> <li>(갱신주기) 1시간→10분</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>(공간해상도) 5→1km</li> </ul>
단기	<ul style="list-style-type: none"> <li>공간해상도 5x5km</li> <li>제공기간 +46~67시간</li> <li>시간간격 3시간</li> <li>갱신주기 3시간</li> <li>요소 10종</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(제공기간)+58~67시간</li> <li>(예보간격)3시간→1시간</li> <li>강수 및 적설량(6→3시간)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(제공기간)+107~115시간</li> <li>(갱신주기) 3시간→1시간</li> <li>(요소) 전 예보요소</li> <li>강수 및 적설량(3→1시간)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(공간해상도) 5→1km</li> </ul>
중기	<ul style="list-style-type: none"> <li>공간해상도 시/군</li> <li>제공기간 +7~10일</li> <li>시간간격 12~24시간</li> <li>갱신주기 12시간</li> <li>요소 4종</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제공기간 연장(+10일)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(요소) 전 예보요소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(공간해상도) 주요 시군→5km</li> </ul>

□ 수치모델 고도화를 위한 단계적 발전 로드맵

초단기·단기·중기의 예보체계의 발전에 필요한 수치모델의 고도화를 위한 단계적 발전 로드맵은 아래 표 2.3.3과 같다. 1단계에서 변경된 초단기 KLAPS 모델의 예보기간(+6시간), 예보간격(10분)과 갱신주기(10분)에 맞추어 모델의 운영횟수를 변경하고, 2단계와 3단계에서는 KLAPS와 AI를 결합하여 초단기 예보의 정확도를 향상시킨다. 단기와 중기의 경우 1단계에서는 GDAPS와 AI를 결합하여 모델 예측자료를 생산하며, 2단계에서는 GDAPS, 앙상블, AI를 결합한 모델 예측결과를 생산한다. 다중앙상블 기법의 고도화 및 앙상블 운영 횟수 확대를 통하여 단기(+5

일)예측기간과 중기(+10일) 예측기간을 확대한다. 마지막 3단계에서는 GDAPS, RDAPS, 앙상블, AI를 결합하여 예측 결과를 생산하며, 지역모델 개발 및 다중 앙상블 기법 고도화를 통하여 시간과 공간의 고해상도 모델 예측자료를 생산한다.

표 2.3.3 수치모델 고도화 발전 로드맵

구분	현재	1단계	2단계	3단계
초단기	<ul style="list-style-type: none"> <li>초단기 예측(KLAPS) : 5km(40층), 24회 운영, 12시간 예측</li> <li>초단기 예측(VDAPS) : 1.5km(70층), 24회 운영, 12시간 예측</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>KLAPS 10분 강수/적설 운량, 강수유무, 강수확률, 낙뢰</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>KLAPS + A.I 10분 강수/적설, 운량, 강수유무, 강수확률, 낙뢰 공간 해상도 (1km)</li> </ul>	
단기	<ul style="list-style-type: none"> <li>국지앙상블(LENS) : 2.2km(70층), 2회 운영, 72시간 예측</li> <li>국지모델(LDAPS) : 1.5km(70층), 4회 운영, 48시간 예측</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GDAPS + A.I (단기)3시간→1시간 (중기) 12시간</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GDAPS + 앙상블 + A.I (단기)5일 예측 (중기) 10일 예측</li> <li>다중 앙상블 기법 고도화</li> <li>앙상블 운영횟수 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GDAPS + RDAPS + 앙상블 + A.I</li> <li>지역모델 개발</li> <li>다중 앙상블 기법 고도화</li> </ul>
중기	<ul style="list-style-type: none"> <li>전지구 앙상블(EPSPG) : 32km(70층), 2회 운영, 12일 예측</li> <li>전지구 모델(UM) : 10km(70층), 4회 운영, 12일 예측</li> </ul>			

□ 상세예보 시스템에 맞는 고해상도 모델을 이용한 예보 및 위험가능성 가이드스 개발에 대한 단계적 로드맵

위험가능성 정보제공을 위하여 위험가능성 가이드스와 예보에 필요한 예보가이던스, 시스템 개발에 대한 단계적 발전 로드맵은 표 2.3.4와 같다. 예보가이던스의 경우 1단계에서 기온, 폭염/한파요소에 대한 AI 기반 가이드스를 개발하고, 2단계에서는 1단계에서 개발된 기온, 폭염/한파 가이드스를 고도화 한다. 또한 강우, 바람, 습도에 대한 AI기반 가이드스를 개발하고, AI 기반 시나리오별 위험기상 가이드스 개발을 수행한다. 3단계에서는 지역모델을 적용한 AI 기반 지역 특화형 가이드스 개발 및 고도화를 수행하며, 기존에 개발된 AI 기반 가이드스(기온, 폭염/한파, 강우, 바람 습도 등) 및 AI 기반 시나리오별 위험기상 가이드스의 고도화를 수행한다.

위험가능성의 경우 1단계에서는 초단기 예보에서 특보·예비특보에 대하여

+24시간까지 상세특보구역에 대하여 특보요소를 제공하며, 2단계는 단기예보에서의 위험가능성 정보를 +3일까지 특보구역에 대해 기온정보를 제공한다. 3단계에서는 단기예보에 대해 상세위험가능성 정보를 +2일까지 상세특보구역에 대해 기온, 강수, 강풍, 건조 정보를 제공하며, 위험가능성정보는 +5일까지 특보구역에 대해 동일한 4개의 요소에 대한 정보를 제공한다.

시스템개발의 경우 2단계에서 벡터지도 기반의 그래픽 서비스와 AI 자동수정 시스템(편집기)을 개발하고, 3단계에서는 기 개발된 시스템의 고도화 및 위치기반 시계열 및 벡터지도 기반 그래픽 서비스를 개발한다.

표 2.3.4 위험가능성 및 예보가이드 단계적 발전 로드맵

구분	1단계	2단계	3단계
예보 가이드	<ul style="list-style-type: none"> <li>AI 기반 가이드 개발 (기온, 폭염/한파)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AI 기반 가이드 고도화 (기온, 폭염/한파)</li> <li>AI 기반 가이드 개발(강우, 바람, 습도)</li> <li>AI 기반 시나리오별 위험기상 가이드 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AI 기반 지역 특화형 가이드 고도화 (지역모델 적용)</li> <li>AI 기반 가이드 고도화 (강우, 바람, 습도,호우/대설, 강풍, 건조)</li> <li>AI 기반 시나리오별 위험기상 가이드 고도화</li> </ul>
위험가능성 가이드	<ul style="list-style-type: none"> <li>특보·예비특보 상세특보구역/+24시간</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>위험가능성 가이드 개발 및 정보 제공 (폭염, 한파), +3일 예측정보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>위험가능성 가이드 개발 및 정보 제공 (호우, 대설,강풍, 건조), 상세위험가능성(+2일), 위험가능성(+5일)</li> </ul>
시스템 개발		<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 개발</li> <li>벡터지도 기반 그래픽 서비스</li> <li>AI 자동 수정 시스템(편집기)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 고도화</li> <li>위치기반 시계열 및 벡터지도 기반 그래픽 서비스</li> </ul>

## 나. 예보 전달체계 개선

□ 초단기·단기·중기예보의 구분 없이 ‘예보’ 제공

기상청 내부적으로 초단기·단기·중기예보를 생산하지만, 외부 표출시 초단기·단기·중기예보의 구분없이 대국민이 예보를 제공받을 수 있도록 한다(그림 2.3.9)

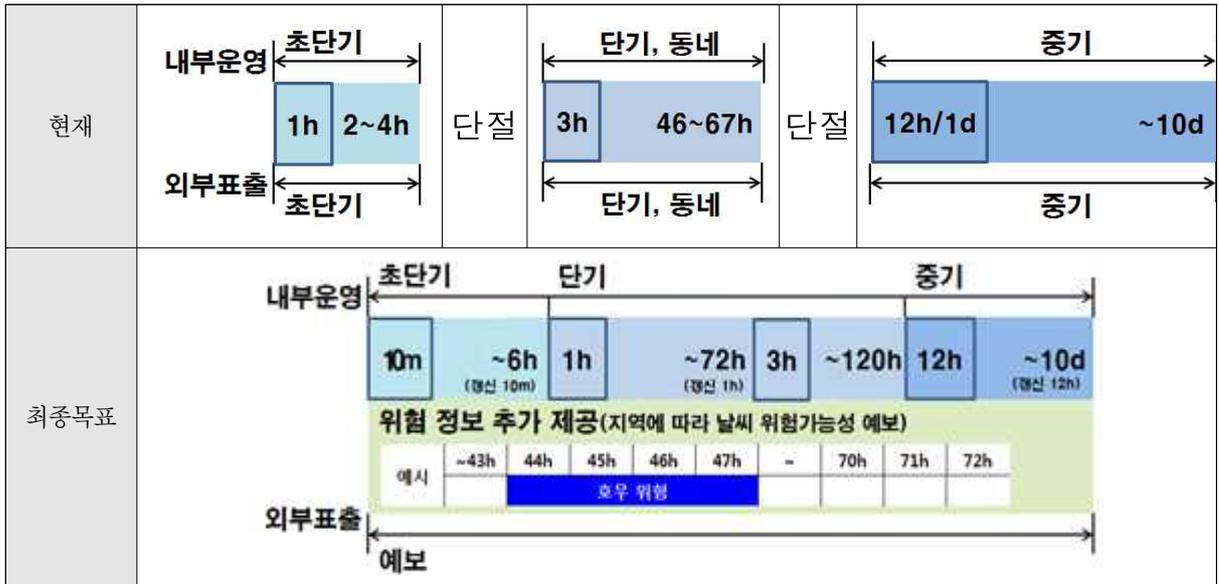


그림 2.3.9 초단기·단기·중기예보의 구분 없는 예보 전달 체계 목표

□ 전달체계 개선

고품질의 이미지와 애니메이션 등을 활용한 GIS 기반의 예보전달체계를 도입한다. GPS로 예보수요자의 위치가 수집되며, 위치별 고품질 날씨예보를 제공한다(그림 2.3.10). 확대/축소 및 이동이 자유로운 벡터이미지 지도에 지형, 온도, 풍향·풍속 등 예보요소를 지도 레이어로 제공한다.

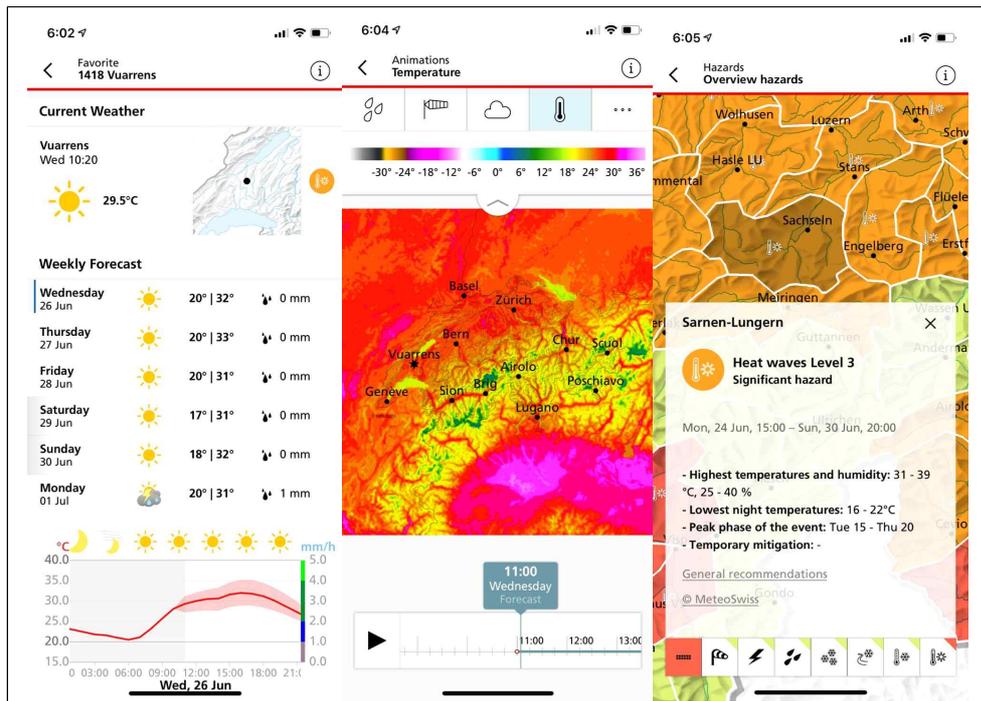


그림 2.3.10 스위스 기상청 날씨 어플리케이션 화면

## □ 서비스 변화

정보 수요층을 고려하여 서비스 별로 다양한 소통 전략을 도입한다. 현재는 단순히 정보전달 위주의 날씨해설을 제공하지만, 전문적인 날씨 정보를 제공하는 날씨해설로 개선한다. 상세예보로 예보체계 개편에 맞추어 현행 ‘날씨누리’ 예보서비스를 재편하고 이해하기 쉽게 기상 및 방재 정보를 파악할 수 있는 콘텐츠를 추가한다. 일반적이고 간단한 정보는 메인화면에 배치하며, 상세하고 전문적인 정보는 사용자가 직접 클릭하여 호출되도록 서비스를 구현한다. ‘날씨 누리’에서 객관예보 서비스를 제공한 뒤 스마트폰 어플리케이션을 통하여 전달매체가 확대될 수 있도록 한다.

## 다. 예보관 역할

### □ 예보관 역할 강화

예보관의 업무를 위험기상 분석·대응에 집중시키기 위해 실황·초단기 대응 및 대국민 소통 강화에 역량을 집중한다. 예보관 역할에 대한 단계적 발전 로드맵은 표 2.3.5와 표 2.3.6과 같다. 예보관 업무의 최종목표는 위험기상을 분석하고 방재를 위한 의사결정 지원과 관할 유관기관 및 대국민과의 소통을 강화시키는 것이다. 현재의 단순한 정보 전달 위주의 날씨해설에서 국민이 이해하기 쉬운 상세한 날씨해설정보와 기상정보 작성, 유관기관·방송국과의 협업, 온라인을 통한 대국민 직접소통 등에 대한 업무를 강화한다. 수치모델 정확도 개선을 위하여 상세예보 평가 및 모델이 예측하지 못하는 현상을 발굴하여 모델예측과 실황의 차이를 분석하고 개선한다. 기존에 예보관이 작성하는 예보사후분석서를 수치모델분석서로 변경하여 작성하고 모델 성능향상을 위한 피드백 작용을 수행한다.

본청의 예보관의 경우 상세예보를 생산하는 업무를 총괄하고, 지방청과 지청의 경우 지역별 실황·초단기에 집중 대응하여 방재기관 및 언론기관과 예보를 소통하고 해설에 집중하는 업무를 수행한다. 위험기상 예상 시 방재기관과 언론을 대상으로 특별 브리핑을 실시하며, SNS(밴드, 카카오톡, Instagram, Youtube 등)을 활용하여 사용자 친화적인 정보를 제공하는 역할을 수행한다.

이와 함께, 예보관이 생산하는 텍스트 예보를 강화한다. 위험기상이 예상 될 때 +6시간까지 ‘기상속보’를 제공하며, 수치모델 결과의 보완을 위해 예보관의 분

석의견을 전달하는 경우 ‘기상정보’를 통해 제공된다. 예보의 변동성이나 경향성에 대한 정보 및 유의사항은 10일까지 ‘기상전망’으로 제공한다. 단기·중기 예보 기간의 주요 날씨 상황과 전망, 상세한 원인은 6시간에서 10일까지 ‘날씨해설’로 제공하는 텍스트 예보로 강화되어 생산된다.

표 2.3.5 위험가능성 및 예보가이드 단계적 발전 로드맵

구분	현재	1단계	2단계	3단계
총괄 예보관	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (예·특보)전국 예·특보 분석 및 총괄- 강수형태, 하늘상태(전국) 편집- 전국 예·특보 통보- 북한 예보 분석·생산 및 통보</li> <li>• (방재)방재기상업무 지원</li> <li>• (소통)전국 기상정보 통보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (예·특보)상세 예보 제공. 그 밖의 업무 동일</li> <li>• (방재) 위험기상(태풍 등) 실황 감시 및 유관기관 전파 업무강화. 그 밖의 업무 동일</li> <li>• (소통) 이해하기 쉬운 상세 예보 설명 자료 작성, 유관기관 및 언론사와의 의사소통 역할 강화. 텍스트 예보 강화. 그 밖의 업무 동일</li> <li>• (분석/피드백) 위험기상 특성 및 발달 가능성 집중 분석 사례 발굴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (예·특보)위험가능성 정보 제공(폭염, 한파)</li> <li>• (방재) 동일</li> <li>• (소통) 주요 기관 의사결정 지원 강화, 예보 불확실성에 대한 효과적 전달 업무 수행, 그 밖의 업무 동일</li> <li>• (분석/피드백) 예보사후분석서 작성 업무 축소 및 수치모델분석서 신규 작성. 그 밖의 업무 동일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (예·특보)위험가능성 정보 제공(호우, 대설)</li> <li>• (방재)동일</li> <li>• (소통)동일</li> <li>• (분석/피드백) 위험 가능성 정보(폭염, 한파, 호우, 대설)가 잘 맞지 않는 사례 발굴, 그 밖의 업무 동일</li> </ul>

표 2.3.6 위험가능성 및 예보가이드 단계적 발전 로드맵

구분	현재	1단계	2단계	3단계
소속기관 (관측) 예보과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (예·특보)관할 지역 내 예·특보 생산 및 통보- 편집된 전국 강수형태, 하늘상태에서 관할지역 조정, 결정된 예보에 따라 동네예보 요소 지역별 편집- 소속기관 예보자료의 생산·지원 및 해양기상업무 지도</li> <li>• (방재)방재기상업무 지원</li> <li>• (소통)전국 기상정보 통보</li> <li>• (연구개발)지역예보 기술의 연구·개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (예·특보)상세 예보 생산 및 제공. 그 밖의 업무 동일</li> <li>• (방재)위험기상(지역) 실황 감시 및 관할 유관기관 전파 업무 강화. 그 밖의 업무 동일</li> <li>• (소통)상세예보 설명 자료 배포. 이해하기 쉬운 날씨 해설과 지역 기상정보 작성. 지역 기상 상담 강화 및 통역자 역할 수행. 텍스트 예보 강화. 그 밖의 업무 동일</li> <li>• (연구개발)동일</li> <li>• (분석/피드백) 관할 지역의 상세 예보 평가 및 모델이 예측하지 못한 현상 발굴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (예·특보)위험가능성 정보 제공(폭염, 한파)</li> <li>• (방재) 동일</li> <li>• (소통) 관할 지역 공공기관의 의사결정 지원 강화, 그 밖의 업무 동일</li> <li>• (연구개발)동일</li> <li>• (분석/피드백) 예보사후분석서 작성 업무 축소 및 수치모델분석서 신규 작성. 그 밖의 업무 동일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (예·특보)위험가능성 정보 제공(호우, 대설)</li> <li>• (방재)동일</li> <li>• (소통)동일</li> <li>• (연구개발)동일</li> <li>• (분석/피드백) 동일</li> </ul>

## □ 조직개편 및 인력확충

예보생산체계 개편과 예보관의 역할 및 업무조정에 따라 기상청 전반의 예보조직 개편이 필요하다. 대국민·유관기관과 예보를 소통하고 서비스를 강화하기 위해 관련 업무를 세분화하여 현업 팀 내에 전담 인력을 배치한다. 수치모델에 대한 검증과 예보관의 의견을 수렴하여 개발 부서에 전달할 수 있는 종합·조정 부서 신설 또는 인력배치가 필요하다. 또한, 예보 정확도 향상을 위하여 예보성과 직결되는 통계 보정과 가이드스 개발 및 운영과 같은 후처리 기술력 강화를 위한 전문 인력·자원 투입이 필요하다.

대국민 홈페이지 서비스 강화에 따른 ‘날씨누리’ 관련 정책, 사용자 맞춤 서비스, 기술, 사용자 친화적 콘텐츠를 이용한 홍보를 위한 조직의 확대가 필요하다.

## 제3장 결론

2008년 동네예보 시행 이후 10년이 지나 그간의 내·외부 환경이 변함에 따라 이를 반영한 새로운 패러다임의 예보체계를 설계 및 개발하는 것에 대한 필요성이 증대되었다. 우리나라 국민들은 점차적으로 현재의 예보보다 상세한 예보를 요구하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 내·외부 환경 변화 조사와 현 동네예보의 진단을 실시하여 미래 예보체계로의 전환을 위한 동네예보 발전 방안 제시하고자 다음의 세 개 파트에 대한 연구를 수행하였다. 첫 번째는 대내외 동네예보 현황 및 환경 변화 조사, 두 번째는 동네예보 진단 및 개선사항 분석, 세 번째는 전략적인 동네예보 발전 방향 제시이다.

대내외 동네예보 현황 조사 결과, 주요 선진국의 공공기관과 민간기상업체들은 다양한 예보 서비스 제공을 통해 수요자를 만족시키고 있으며 4차 산업혁명 혹은 그 이전부터 인공지능 기술을 통한 예보 패러다임의 전환을 실시하고 있었다. 주요 국가들은 평균적으로 기상청 동네예보보다 상세한, 시간적으로는 1시간 간격의 3일 예보, 공간적으로는 약 2.5 km 해상도, 매시간 예보 발표를 실시하고 있었다. 민간사업자들은 사용자가 편집 가능한 인터페이스, 다양한 수치예보모델 자료 비교, GIS 기반 정보 제공 등 사용자 친화적 예보 서비스를 제공하여 사용자 만족도를 높이고 있었다. 또한, 미국, 영국, 호주 기상청 및 ECMWF 등의 주요 기관들의 근본적인 향후 정책방향은 의사 결정 지원 서비스 강화에 있었다.

대내외 환경 변화 조사 결과, 슈퍼컴퓨터와 수치예보 모델링 기술이 현재보다 시공간적으로 보다 조밀한 서비스를 제공할 수 있도록 발전하였고, 해마다 발생하는 이상기상 현상의 예측 수준에 따라 동네예보에 대한 국민 만족도 수치가 변동되고 예보 정확도는 일정 수준에 다다라 한 단계 높은 수준으로의 동네예보 발전을 시도해 볼 수 있는 상황이었다. 동네예보 인식 변화 설문 결과, 국민들은 위치에 기반한 예보, 신속하게 갱신되는 예보, 현재보다 시공간적으로 상세한 예보를 원하는 것으로 나타났다. 4차 산업혁명과 함께 새로운 패러다임의 일기 예보가 등장하여 급속히 확장되고 있으며, 예보 전달 수단의 변환과 이상기후 현상 증가로 인한 위험기상에 대한 예보 수요가 증가하고 있었다.

동네예보 진단 및 개선사항 분석 결과, 동네예보는 지난 10년간 초기에 계획했

던 목표에 도달하는 성과를 보였다. 동네예보 발전을 위한 지속적인 노력을 실시하였으며 그 결과 지난 10년간의 예측 정확도가 상승하는 결과를 보였다. 그러나, 구조적 한계로 위험 가능성과 소통, 전달로서 예보관의 역할을 집중할 수 있는 구조로 개선이 필요한 것으로 분석되었다. 사회적 한계로 현재보다 더욱 상세한 고해상도 예보와 사용자 친화적 예보 서비스가 필요한 것으로 분석되었다. 미래지향적 한계로 AI 기술 발전에 따른 예보관 역할 변화와 관련 역량 향상이 필요한 것으로 분석되었다. 이러한 한계를 극복하기 위해 ‘모델/가이던스’, ‘서비스’, ‘예보관’ 분야에 대한 종합적 개선사항을 도출하였다.

마지막으로 동네예보 개선을 위하여 모델, 가이던스, 서비스, 조직, 예보관의 5가지 분야의 분야별 전략을 세우고 원활한 이행을 위해 1) 세밀한 동네예보 제공을 위한 고해상도 예측자료 생산, 2) 인공지능을 활용한 능동적 가이던스 개발 및 조기 위험 가능성 정보 생산, 3) 웹 중심의 서비스에서 다양한 매체를 통한 수요자 맞춤형 예보 서비스, 4) 예보생산체계 개선 및 업무 조정에 따른 예보조직 개편, 5) 생산중심의 예보관 업무에서 분석 및 방재, 소통 업무 강화에 대한 정책을 발굴하였다. 동네예보체계의 단계적 발전 로드맵으로 상세 예보 체계로 전환을 위한 4단계 로드맵을 제시하였다.

1단계에서는 위험기상에 대한 실황 및 초단기 대응 역량 강화를 위해 초단기·단기 예보요소의 시간 해상도 상세화를 추진한다. 초단기의 경우 예보기간과 시간해상도를 +4시간/1시간에서 +6시간/10분으로 변경하며, 단기예보의 경우 예보기간과 시간해상도를 +46~67시간/3시간에서 +58~67시간/1시간으로 변경한다. 2단계에서는 지역별로 날씨로 인한 위험가능성이 예상될 때 사전에 대비할 수 있도록 단기예보 기간(3일)내 위험기상이 예상될 때 발생가능성에 따라 위험가능성 정보를 생산·제공할 수 있는 시스템을 개발한다. 예보기간과 시간해상도는 3일, 3시간이며 대상요소는 폭염과 한파이다. 또한 단기예보의 시간해상도와 갱신주기 상세화도 +58~67시간/3시간에서 +107~115시간/1시간으로 변경한다. 3단계에서는 위험가능성 정보제공기간을 3일에서 5일로 연장하며 대상요소를 호우, 대설도 추가하여 확대한다. 또한 초단기와 단기예보의 공간해상도는 5x5km에서 1x1km로 상세화하고, 중기예보의 경우 시·군 단위의 공간해상도에서 5km 해상도로 상세화하며, 시간해상도 또한 12시간에서 3시간으로 개선한다.

이와 함께 예보관의 업무를 위험기상 분석·대응에 집중하며, 실황·초단기 대응 및 대국민과 유관기관과의 소통 강화에 역량을 집중한다. 또한 모델 성능개선을 위한 모델 예측과 실황의 차이를 분석하고 개선해야할 사항을 도출하는 역할을 수행한다. 또한, 국민이 원하는 예보서비스를 쉽게 이용할 수 있도록, 국민 위치기반 맞춤형 서비스를 단계적으로 제공한다. 확대/축소 및 이동이 자유로운 벡터이미지 지도에 지형, 온도, 풍향·풍속 등 예보요소를 GIS 기반의 지도 레이어로 제공한다.

본 연구는 미래예보체계로의 동네예보체계 변환을 위한 내실 있는 정책 수립을 가능케 하여 이를 통한 예보정책 추진 동력의 확보를 기대해 볼 수 있다.

## 제4장 참고문헌

- 관계부처합동, 2010. 이상기후 보고서  
관계부처합동, 2011. 이상기후 보고서  
관계부처합동, 2012. 이상기후 보고서  
관계부처합동, 2013. 이상기후 보고서  
관계부처합동, 2014. 이상기후 보고서  
관계부처합동, 2015. 이상기후 보고서  
관계부처합동, 2016. 이상기후 보고서  
관계부처합동, 2017. 이상기후 보고서  
관계부처합동, 2018. 이상기후 보고서  
기상청, 2010. 동네예보 중·장기 발전방안 마련을 위한 정책 연구  
기상청, 2017. 미래 기상업무변화 대응 인공지능기술 활용 전략기획  
기상청, 2018a. 2018년 기상업무 국민 만족도 조사 결과 보고서  
기상청, 2018b. 기상기후데이터 카탈로그  
기상청, 2019a. 2018 기상연감  
기상청, 2019b. 동네예보 및 특보대응 강화  
김정아, 빅데이터와 AI로 제공하는 개인 맞춤형 기상예보! 기상청, ‘알파웨더’ 개발, 디지털조선일보, 2019년 6월 13일자  
앤드류 맥아피, 에릭 브린올프슨, 2018. 머신/플랫폼/클라우드, 이한음, 청림출판  
양연호, 기상 예보관은 인공지능에게 직업을 뺏길까?, 매일경제, 2017년 3월 23일자  
이권호 · 이규태, 2018, Himawari-8/AHI 관측자료를 이용한 주요 대기 에어로솔 탐지 및 분류 방법, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol 34, No 3  
이근영, 홀로서기 앞둔 국산 기상예보모델... ‘오보칭’ 오명 씻어줄까?, 한겨레, 2017년 10월 23일자  
추형석, 2018. 범용 인공지능의 개념과 연구 현황. 소프트웨어정책연구소 이슈 리포트 제2018-003호  
한국기상학회, 2016. 영향예보 도입 방안에 관한 기획연구  
미국 기상청(NWS) - <https://digital.weather.gov/>  
중국 기상청(CMA) - <http://www.weather.com.cn/forecast/>  
영국 기상청(Met Office) - <https://www.metoffice.gov.uk/>  
일본 기상청(JMA) - <https://www.jma.go.jp/en/mesh20/>  
캐나다 기상청(ECCC) - <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/>  
호주 기상청(Meteye) - <http://www.bom.gov.au/australia/meteye/>  
Anders Persson., Rmet Weather, 2013, The future role of the weather forecaster, Royal Meteorological Society, Vol.68, No.2, <https://doi.org/10.1002/wea.2069>  
Ayzel, G. et al., 2018. rainymotion & RainNet: optical flow and deep learning models for radar-based precipitation nowcasting, Workshop Developing Python frameworks for earth system sciences  
CHARLES A. DOSWELL III et al., 2004, Weather Forecasting by Humans—Heuristics and Decision Making, Advancing Science Serving Society, <https://doi.org/10.1175/WAF-821.1>  
Chattopadhyay A. et al., 2019. Analog forecasting of extreme-causing weather patterns using deep learning, Geophysical Research Letters

- David Novak, Chris Bailey, Keith Brill, Michael Schichtel, 2011, Emerging Trends in the Role of the American Forecaster
- Du, J., Liu, Y., and Liu, Z., 2018. Study of Precipitation Forecast Based on Deep Belief Networks, Algorithms, 11(9), 132.
- Gillet–Chaulet Bruno.,et al., 2019, The role of the forecaster, Encyclopedia of the Environment, [online ISSN 2555–0950] url : <https://www.encyclopedie–environnement.org/en/air–en/role–of–forecaster/>
- Grover, A., Kapoor, A., and Horvitz, E., 2015. A deep hybrid model for weather forecasting, In Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 379–386), ACM.
- Harold Brooks, The Possible Future Role of Humans in Weather Forecasting, [https://www.nssl.noaa.gov/users/brooks/public\\_html/future/humanfuture.html](https://www.nssl.noaa.gov/users/brooks/public_html/future/humanfuture.html)
- Harvey Stern., 2007, The Future role of Humans in the weather forecasting process – to provide input to a system that mechanically integrates judgmental(human) and automated predictions?, Bureau of Meteorology, Australia, p28
- Herbert Gmoser, 2009, The future role of the human forecaster – a change in the philosophy?, Bulletin of the American Meteorology Society (BAMS), Volume 90, Number 5
- Holmstrom, M., Liu, D., and Vo, C., 2016. Machine learning applied to weather forecasting.
- James Kelly et al., 2004, The Australian Bureau of Meteology’ s next generation forecasting system, Bureau of Meteorology
- Jiang G.–Q. et al., 2017. A Deep Learning Algorithm of Neural Network for the Parameterization of Typhoon–Ocean Feedback in Typhoon Forecast Models, Geophysical Research Letters
- Jin L. et al., 2008. A Nonlinear Artificial Intelligence Ensemble Prediction Model for Typhoon Intensity, MONTHLY WEATHER REVIEW
- Johh D., 2018. Interpretable Deep Learning Representations of Hail Growth Processes, North American Hail Workshop
- Karpatne A. et al., 2018. Physics–guided Neural Networks (PGNN): An Application in Lake Temperature Modeling, SIAM International Conference on Data Mining (SDM), 2018
- McGoven A. et al., 2017. USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO IMPROVE REAL–TIME DECISION–MAKING FOR HIGH–IMPACT WEATHER, AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY
- Mckenna, 2019. Environment and Climate Change Canada 2019–20 Departmental Paln, ISSN: 2371–7874, pp.27–29
- Metoffice, 2018. public perceptions survey 2018c perceptions survey 2018
- NWS, 2016, A Day in the Life of a Forecaster (<https://www.weather.gov/wrn/fall–forecaster>)
- NWS, 2019, NATIONAL DIGITAL FORECAST DATABASE and LOCAL DATABASE DESCRIPTION and SPECIFICATIONS (<https://www.weather.gov/media/mdl/ndfd/pd01002001curr.pdf>)
- Rasp, S., Michael S. Pritchard, and Pierre Gentine., 2018. Deep learning to represent subgrid processes in climate models, PNAS, 115
- Scher, S. and G. Messori, 2019. Weather and climate forecasting with neural networks: using

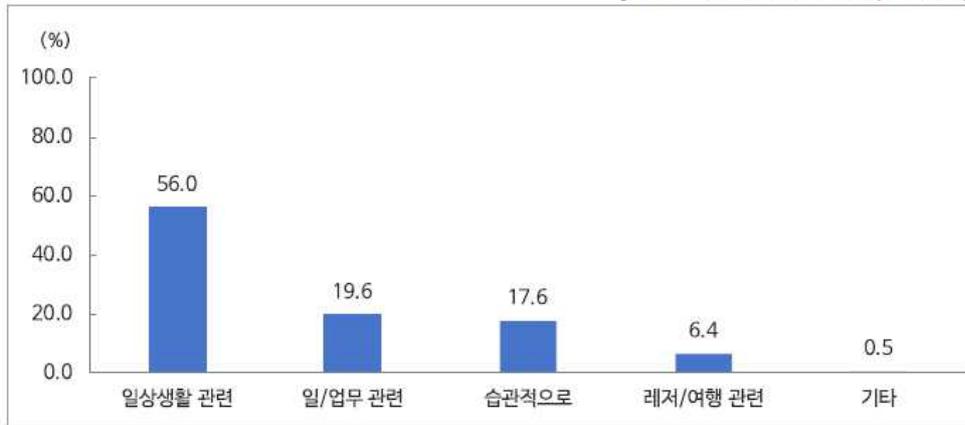
- general circulation models (GCMs) with different complexity as a study ground, *Geosci. Model Dev.*, 12, 2797–2809
- Shi, X. et al., 2015. Convolutional LSTM Network: A Machine Learning Approach for Precipitation Nowcasting, *Advances in Neural Information Processing Systems* 28
- Shi, X. et al., 2016. A deep-learning method for precipitation nowcasting, *WMO WWRP 4th International Symposium on Nowcasting and Very-short-range Forecast 2016 (WSN16)*
- Shi, X. et al., 2017. Deep Learning for Precipitation Nowcasting: A Benchmark and A New Model, *Advances in Neural Information Processing Systems* 30
- Shi, X., Z. Chen, H. Wang, D.Y. Yeung, W.k Wong, and W.C. Woo., 2015. Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting, *NIPS 2015*
- Stuart, Neil A., et al., 2006, The future of humans in an increasingly automated forecast process, *Bulletin of the American Meteorological Society* 87.11 : 1497–1502.
- Tomoaki et al., 2017. A neural network-based local rainfall prediction system using meteorological data on the Internet: A case study using data from the Japan Meteorological Agency, *Applied Soft Computing* 56 (2017) 317–330
- Tuia, D., Kellenberger, B., Perez-Suey, A., & Camps-Valls, G., 2018. A Deep Network Approach to Multitemporal Cloud Detection, In *IGARSS 2018–2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 4351–4354). IEEE.
- Zabini, Federica, 2016. Mobile weather apps or the illusion of certainty, *Meteorol. Appl.* 23: 663–670

## 첨부. 설문 조사 결과

Q1 주로 어떤 목적으로 기상서비스를 이용하고 계십니까?

■ 그림 37 기상서비스 이용 목적(일반국민)

[단위: %, Base: 일반국민(n=3,000)]



■ 표 81 기상서비스 이용 목적별 만족도

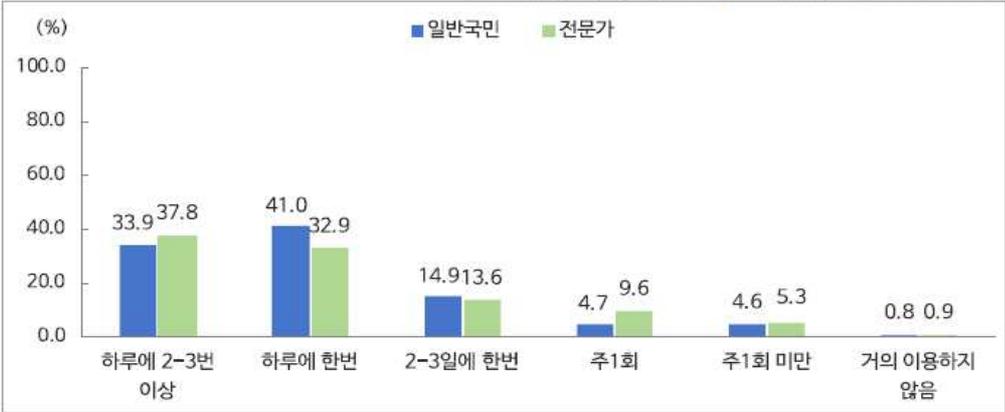
	사례수(명)	만족도(점)
전체	(3000)	71.2
일상생활 관련	(1680)	70.7
일/업무 관련	(587)	71.2
습관적으로	(527)	73.7
레저/여행 관련	(193)	68.3

- 기상서비스 이용 목적에 대해 일반국민의 과반수(56.0%)가 ‘일상생활 관련’이라고 응답했으며, 다음으로 ‘일/업무 관련’ (19.6%), ‘습관적으로’ (17.6%), ‘레저/여행 관련’ (6.4%) 순으로 나타남.
- 기상서비스 이용 목적과 기상서비스 만족도를 교차 분석해보면, ‘습관적으로’ (73.7점) 이용하는 응답자에서 만족도가 상대적으로 높게 나타남.

Q2      지난 6개월 동안 서비스를 얼마나 자주 이용하셨습니다?

■ 그림 32 기상서비스 이용 빈도

[단위: %, Base: 일반국민(n=3,000), 전문가(n=800)]



■ 표 63 기상서비스 이용 빈도별 만족도

	일반국민		전문가	
	사례수(명)	만족도(점)	사례수(명)	만족도(점)
<b>전체</b>	<b>(3000)</b>	<b>71.2</b>	<b>(800)</b>	<b>78.6</b>
하루 2번 이상	(1017)	73.5	(302)	81.2
하루 1번	(1231)	71.0	(263)	77.5
하루 1번 미만	(752)	68.1	(235)	76.6

- 기상서비스 이용 빈도에 대해 일반국민은 ‘하루에 한번’ (41.0%), 전문가는 ‘하루에 2-3번 이상’ (37.8%)이라는 응답이 가장 많았음.
- 기상서비스 이용 빈도와 기상서비스 만족도를 교차 분석해보면, 일반국민과 전문가 모두 이용 빈도가 높을수록 만족도가 높게 나타남.

Q3 기상청의 최근 6개월 동안 기상서비스에 대해 얼마나 신뢰하십니까?

그림 15 기상서비스 신뢰도

[단위: 점, Base: 일반국민(n=3,000), 전문가(n=800)]

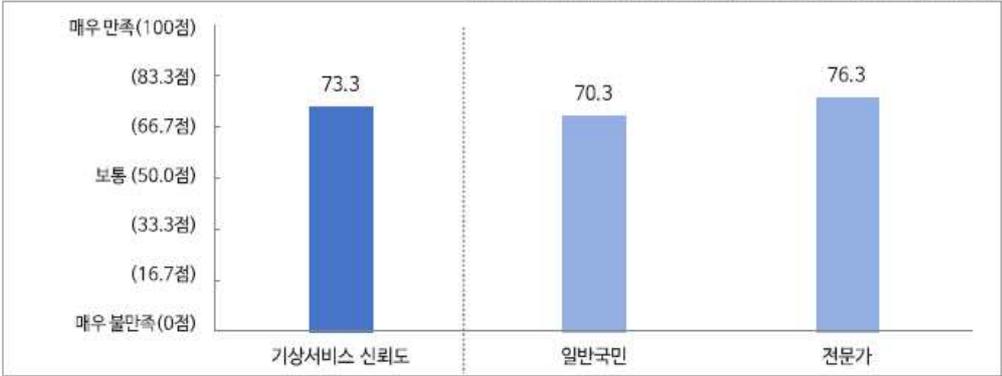


표 9 기상서비스 신뢰도\_유형별

	2017년 종합(A)	2018년 상반기(B)	2018년 하반기(C)	2018년 종합(D)	Gap(D-A)
일반국민	70.8	73.7	66.8	70.3	▼0.5
전문가	78.8	80.8	71.7	76.3	▼2.5
종합	74.8	77.3	69.3	73.3	▼1.5

[단위: 점]

- 2018년 기상서비스 신뢰도 점수는 73.3점이며, 조사 대상자별로 일반국민 70.3 점, 전문가 76.3점으로 나타남.
- 2017년 대비 신뢰도 점수를 살펴보면, 일반국민은 0.5점 하락한 것으로 나타났고, 전문가는 2.5점 하락한 것으로 나타남. 전문가의 하락폭이 일반국민보다 더 컸으며, 종합 점수는 2017년 대비 1.5점 하락함. 이는 오차범위(약 ±2점)를 감안하면 전년과 유사한 신뢰 수준이라고 볼 수 있음.

■ 그림 14 기상서비스 만족도

[단위: 점, Base: 일반국민(n=3,000), 전문가(n=800)]



■ 표 6 기상서비스 만족도\_유형별

	2017년 종합(A)	2018년 상반기(B)	2018년 하반기(C)	2018년 종합(D)	Gap(D-A)
일반국민	71.3	75.0	67.3	71.2	▼0.1
전문가	80.0	82.2	75.0	78.6	▼1.4
종합	75.7	78.6	71.2	74.9	▼0.8

[단위: 점]

- 2018년 기상서비스 만족도 점수는 74.9점이며, 조사 대상자별로 일반국민 71.2점, 전문가 78.6점으로 나타남.
- 2017년 대비 만족도 점수를 살펴보면, 일반국민은 0.1점 하락한 것으로 나타났고, 전문가는 1.4점 하락한 것으로 나타남. 전문가의 하락폭이 일반국민보다 더 컸으며, 종합 점수는 2017년 대비 0.8점 하락함. 이는 오차범위(약  $\pm 2$ 점)를 감안하면 전년과 유사한 만족 수준이라고 볼 수 있음.

Q5 기상청의 최근 6개월 동안 기상서비스가 일상생활에 얼마나 도움을 준다고 생각하십니까?

그림 16 기상서비스 유용도

[단위: 점, Base: 일반국민(n=3,000), 전문가(n=800)]



표 12 기상서비스 유용도\_유형별

	2017년 종합(A)	2018년 상반기(B)	2018년 하반기(C)	2018년 종합(D)	Gap(D-A)
일반국민	77.5	77.1	69.4	73.3	▼4.2
전문가	85.6	86.2	79.8	83.0	▼2.6
종합	81.6	81.7	74.6	78.2	▼3.4

[단위: 점]

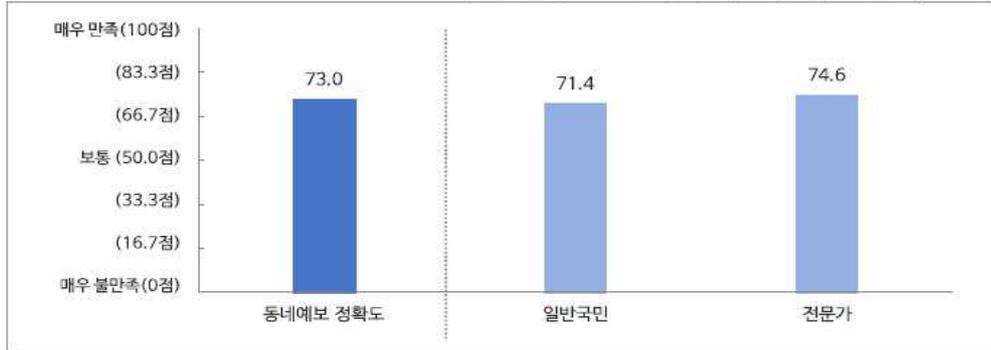
- 2018년 기상서비스 유용도 점수는 78.2점이며, 조사 대상자별로 일반국민 73.3 점, 전문가 83.0점으로 나타남.
- 2017년 대비 유용도 점수를 살펴보면, 일반국민은 4.2점 하락한 것으로 나타났고, 전문가는 2.6점 하락한 것으로 나타남. 일반국민의 하락폭이 전문가보다 더 컸으며, 종합 점수는 2017년 대비 3.4점 하락한 수준임.

Q6

기상청의 최근 6개월 동안 오늘·내일·모레까지의 동네예보가 얼마나 정확하다고 생각하십니까?

■ 그림 18 동네예보 정확도

[단위: 점, Base: 일반국민(n=3,000), 전문가(n=800)]



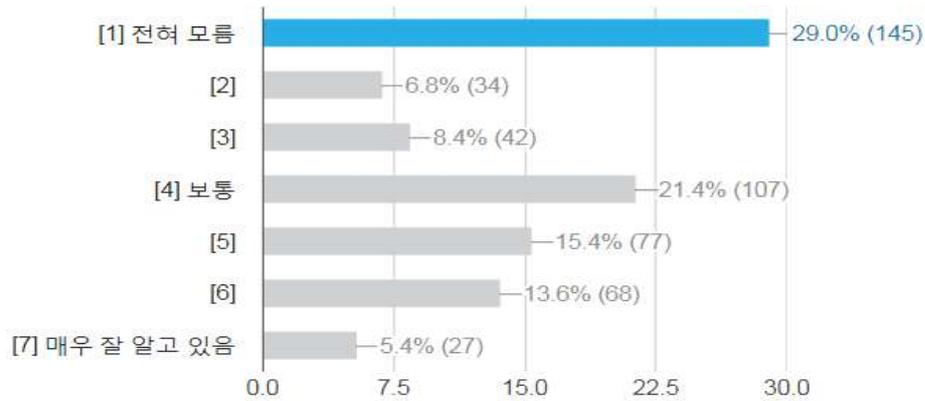
■ 표 23 동네예보 정확도\_유형별

	2017년 종합(A)	2018년 상반기(B)	2018년 하반기(C)	2018년 종합(D)	Gap(D-A)
일반국민	63.6	74.2	68.5	71.4	▲7.8
전문가	71.0	77.9	71.3	74.6	▲3.6
종합	67.3	76.1	69.9	73.0	▲5.7

[단위: 점]

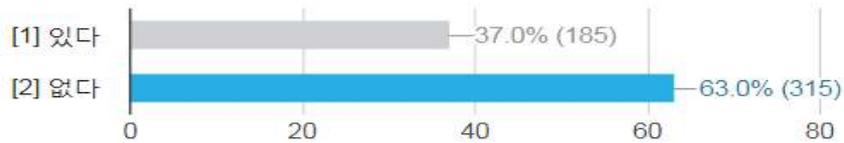
- 2018년 동네예보 정확도 점수는 73.0점이며, 조사 대상자별로 일반국민 71.4 점, 전문가 74.6점으로 나타남.
- 2017년 대비 동네예보 정확도 점수를 살펴보면, 일반국민은 7.8점 상승한 것으로 나타났고, 전문가는 3.6점 상승한 것으로 나타남. 일반국민의 상승폭이 전문가보다 더 컸으며, 종합 점수는 2017년 대비 5.7점 상승한 수준임.

Q7 기상청에서 제공하는 '동네예보'에 대해서 알고 계십니까? (전혀 모름 ~ 매우 잘 알고 있음; 7구간)



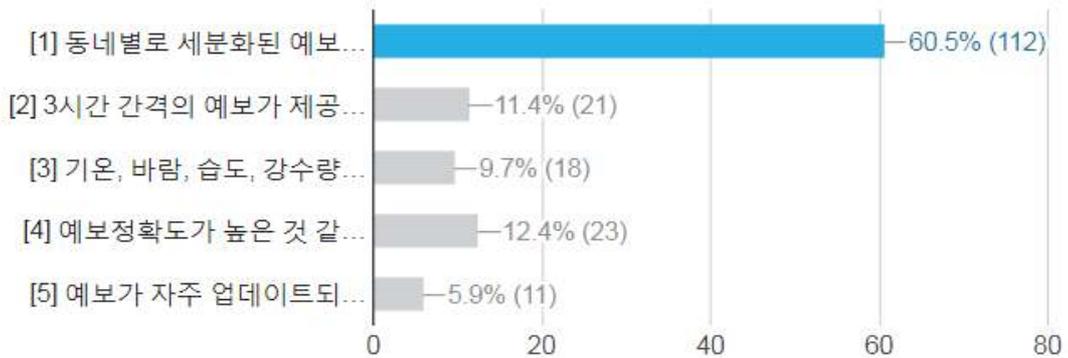
- 가장 많은 응답자가 '전혀 모름' 29% (145명)이라고 응답하였고 '보통' 21.4% (107명), '약간 알고 있음' 15.4% (77명) 순으로 응답하였음  
 - 동네예보 인지도 점수는 50점 (3.5/7)이며, 모른다는 의견(하위 3개 구간)이 44.2%로 알고 있다는 의견(상위 3개 구간, 34.4%)에 비해 높게 나타남

Q8 '동네예보'를 사용한 경험이 있으십니까?



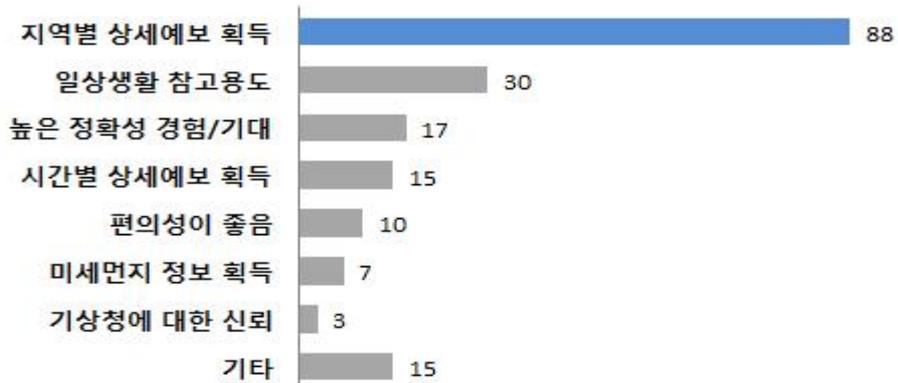
- 63.0% (315명)가 사용한 경험이 없다고 선택하였고, 사용 경험이 있다고 응답한 응답자는 37.0% (185명)으로 나타났음

Q9 동네예보'를 이용하는 가장 큰 이유가 무엇입니까? (동네예보 사용 경험이 있는 응답자 185명 대상)



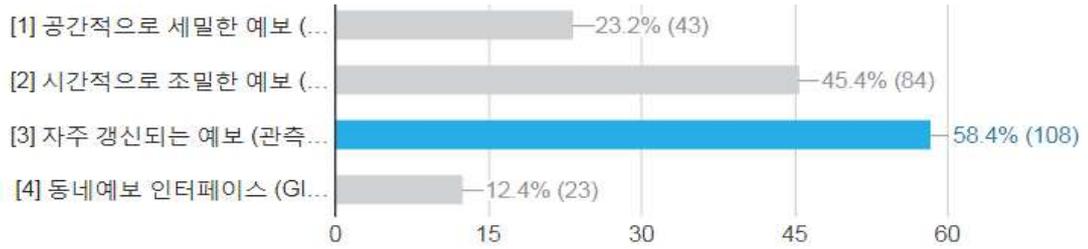
- 동네별로 세분화된 예보가 제공되기 때문에 보기에 대한 선택(60.5%)이 압도적으로 많았으며, 이어서 예보정확도가 높은 것 같기 때문에(12.4%) > 3시간 간격의 예보가 제공되기 때문에(11.4%) 순으로 나타났음

Q10 이외의 '동네예보'를 이용하는 이유에 대해 자유롭게 말씀해 주십시오. (주관식) (동네예보 사용 경험이 있는 응답자 185명 대상)



- 응답자 중 47.6%(88명)가 지역별로 상세한 예측정보를 얻을 수 있기 때문에 동네예보를 활용한다는 답변이 가장 많았고, 출퇴근, 야외활동, 업무 등 날씨 확인을 위해 사용한다는 답변이 16.2%(30명)으로 두 번째로 높았음  
 - 이어서 예보의 정확성이 높음을 경험 했거나, 기대하는 마음으로 사용한다(9.2%, 17명), 시간별로 예측정보를 얻을 수 있다(8.1%, 15명), 편의성이 좋다(5.4%,10명), 미세먼지 정보 획득(3.9%, 7명), 기상청에서 제공하는 예보이니 신뢰할 수 있다(1.6%, 3명) 순으로 답했음

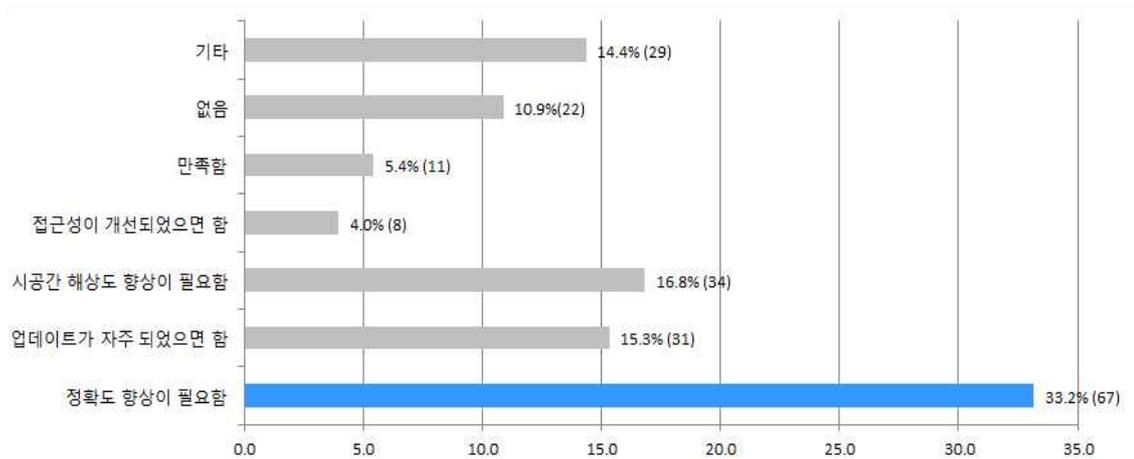
Q11 예보정확도 외에 '동네예보'에서 가장 개선되어야 할 점이 무엇이라고 생각하십니까? (중복선택) (동네예보 사용 경험이 있는 응답자 185명 대상)



- 58.4%가 개선되어야 할 점으로 자주 갱신되는 예보 (관측이나 모델 예측 값이 최신 값으로 자주 업데이트되는 예보) 보기를 선택했으며, 다음으로 시간적으로 조밀한 예보 (현재 3시간 간격보다 더 촘촘한 시간 간격의 예보) (45.4%) > 공간적으로 세밀한 예보 (현재 5km 간격보다 더 상세한 영역의 예보) (23.2%) 순으로 나타났음.

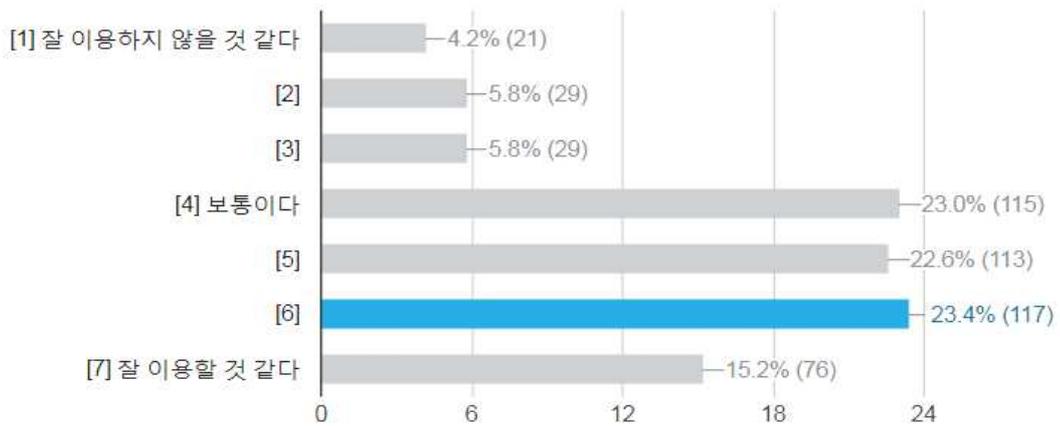
Q12

이외에 '동네예보'에서 개선되어야 할 점에 대해서 자유롭게 말씀해 주십시오.  
(주관식) (동네예보 사용 경험이 있는 응답자 185명 대상)



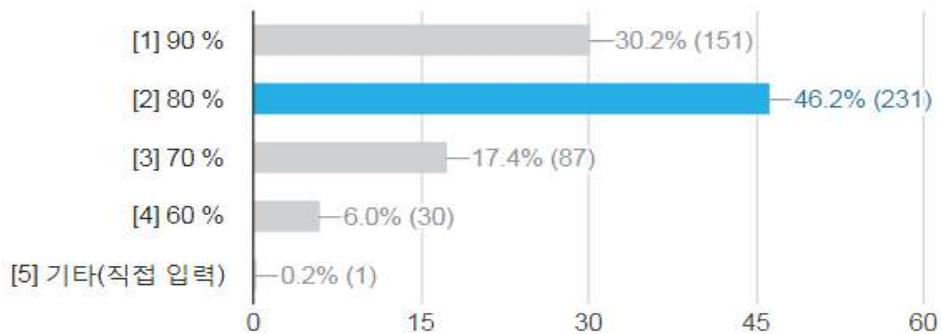
- 가장 많은 의견은 정확도 향상이 필요하다는 것으로 전체의 33.2%로 나타났음. 당일 저녁 예보도 오전과 다르다, 강수량의 정확도가 떨어진다, 다음날 활동을 위해 하루 전에는 정확한 예보가 나오면 좋겠다, 갑작스런 날씨 변화가 있을 때 예보가 맞지 않는다 등의 의견이 나타났음.
- 두 번째는 예보가 자주 업데이트 되었으면 한다는 의견으로 15.3%로 나타났으며, 세 번째는 시간 또는 공간 해상도의 향상이 필요하다는 의견이 16.8%로, 시간 해상도 향상이 필요하다는 의견이 8%, 공간 해상도 향상이 필요하다는 의견이 6% 정도였음.
- 현재 예보에 만족한다는 의견이 5.4%, 더 이상의 개선할 점이 없다는 의견이 10.9%로 나타났음
- 이외에 동네예보를 확인하기 위한 접근성이 개선되었으면 좋겠다는 의견이 4.0%로, 현재의 제공방식이 복잡해서 보기 쉽게 개선이 필요하다, 별도로 검색해서 찾아보기가 불편하다, 어플이 있으면 좋겠다, 다양한 채널로 소개되었으면 좋겠다 등의 의견이 나타났음.
- 그 밖의 기타 의견으로는 예보가 업데이트될 때마다 실시간 알림 기능이 있으면 좋겠다, 위치를 잘못 잡는 경우가 있다, 동네 이름이 다르다, 과거 예보도 확인하고 싶다, 예보가 틀린 경우에 상세한 설명을 듣고 싶다 등의 의견이 나타났음. 또한 미세먼지 예보를 기상청에서 한다고 알고 있는 경우가 나타났음

Q13 현재의 예보보다 더 상세한 예보가 제공된다면 귀하의 현 위치의 예보가 제공될 수 있습니다. 정확도가 조금 낮아지더라도 그 정보를 이용하시겠습니까?



- 현재 예보보다 더 상세한 예보에 대한 사용 의향 점수는 100점을 기준으로 69.3 점 (4.85/7)이로 나타났으며, 이용할 것 같다는 의견(상위 3개 구간)이 과반수가 넘는 61.2%로 이용하지 않을 것 같다는 의견(하위 3개 구간, 15.8%)에 비해 압도적으로 높았음

Q14 예보정확도가 다음 중 얼마 이상일 때, 예보가 생활에 충분히 유용하다고 생각하십니까?



- 전체의 46.2%가 ' 80 % 이상' 을 선택했으며, 다음으로 90 % 이상(30.2%) > 70 % 이상 (17.4%) 순으로 나타났음

Q15 | 예보가 갑자기 변경된 경우, 최소 몇 시간 전에는 통보 받기를 원하십니까?



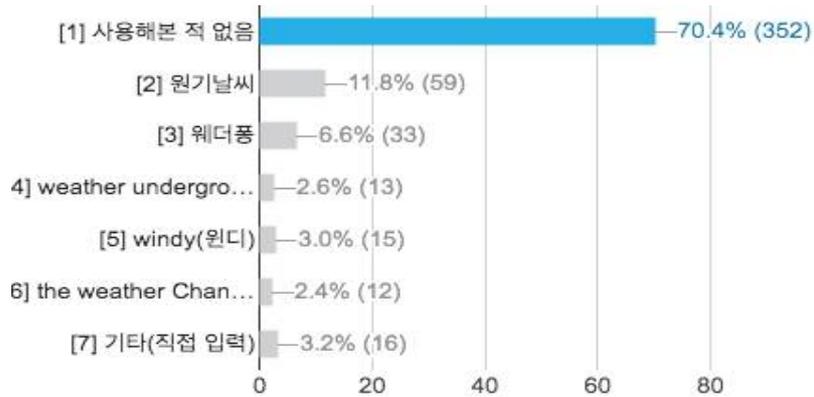
- 전체의 31.0%가 '3시간 전' 을 선택했으며, 다음으로 1시간 전(27.0%) > 2시간 전(24.0%) 순으로 나타났음

Q16 | 다음의 예보 전달방식 중에 선호하는 것은 어느 것입니까?



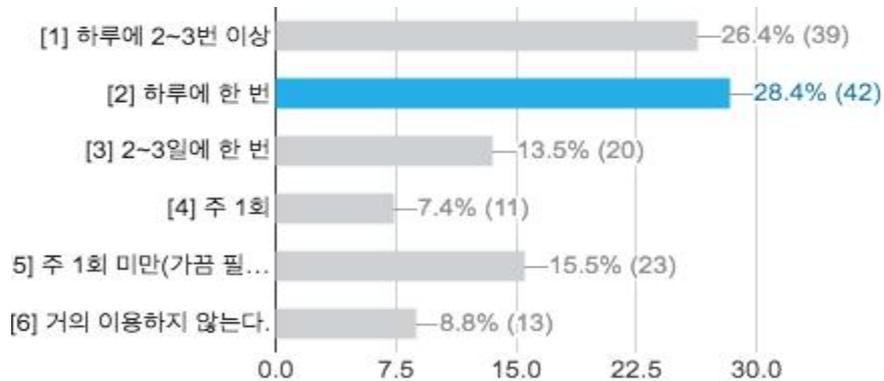
- 전체의 41.6%가 한반도의 전체적인 날씨(정적이미지)를 보여준 후 클릭하여 상세하게 동네예보를 확인 보기를 선택했으며, 다음으로 접속하는 현재위치의 상세한 동네예보를 확인하고, 다른 탭을 클릭하면 한반도 전체 날씨를 확인할 수 있음(36.6%) > 한반도의 전체적인 날씨(동적이미지)를 보여준 후 클릭하여 상세하게 동네예보를 확인(21.8%) 순으로 나타났음

Q17	<p>민간 예보 서비스를 이용해본 적이 있으십니까? 그렇다면 사용 중인 서비스는 무엇입니까?</p> <p>민간예보 서비스 원기날씨, 웨더퐁, weather underground, windy(윈디), the weather Channel 등 본인이 직접 다운로드 한 애플리케이션이나 인터넷 사이트 (단, 포털사이트, 기상청 홈페이지 제외)</p>
-----	---



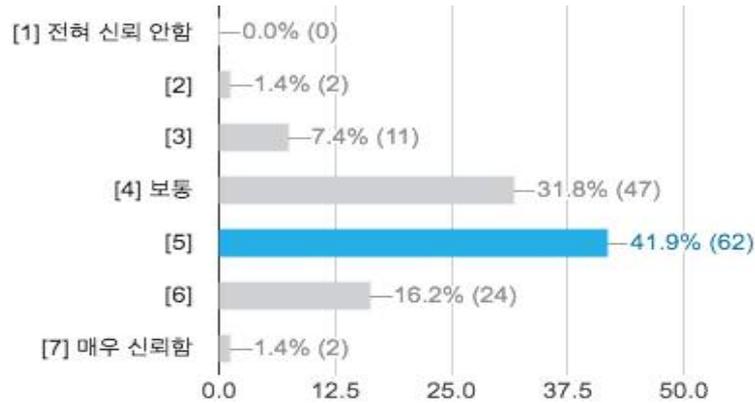
- '사용해본 적 없음'의 선택(70.4%)이 압도적으로 많았으며, 이어서 원기날씨(11.8%) > 웨더퐁(6.6%) 순으로 나타났음
- 보기 이외의 사용해 본 적이 있는 민간 예보 서비스로 네이버날씨(4), 케이웨더날씨(2), 미세먼지(2), 날씨날씨(1), 날씨어때(1), 아이폰 날씨어플(1), 삼성 날씨어플(1), 야후날씨(1), 웨더뉴스(1), 구글(1), 카카오(1)을 답했음

Q18	<p>얼마나 자주 민간예보 서비스를 이용하십니까? (민간예보 서비스 사용 경험이 있는 응답자 148명 대상)</p>
-----	--



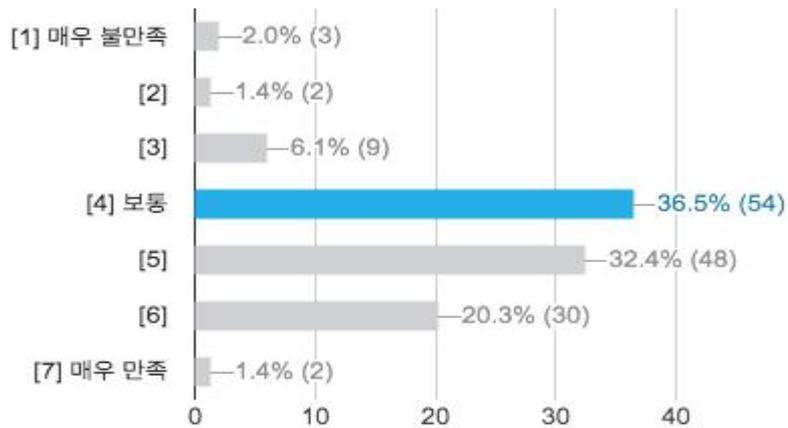
- 전체의 28.4%가 하루에 한 번 보기를 선택했으며, 다음으로 하루에 2~3번 이상(26.4%) > 주 1회 미만(가끔 필요시 마다)(15.5%) 순으로 나타났음

Q19 민간 예보 서비스의 신뢰도는 어느 정도이십니까? (전혀 신뢰 안함 ~ 매우 신뢰함; 7 구간) (민간예보 서비스 사용 경험이 있는 응답자 148명 대상)



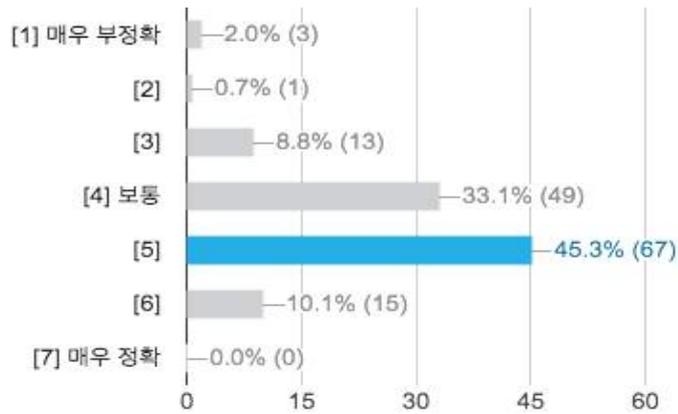
- 민간 예보 서비스의 신뢰도 점수는 66.9점 (4.68/7)이며, 신뢰한다는 의견(상위 3개 구간)이 과반수가 넘는 59.5%로 신뢰하지 않는다는 의견(하위 3개 구간; 8.8%)에 비해 압도적으로 높았음

Q20 민간 예보 서비스에 대해 얼마나 만족하고 계십니까? (매우 불만족 ~ 매우 만족; 7구간) (민간예보 서비스 사용 경험이 있는 응답자 148명 대상)



- 민간 예보 서비스의 만족도 점수는 66점 (4.62/7)이며, 만족한다는 의견(상위 3개 구간)이 과반수가 넘는 54.1%로 만족하지 않는다는 의견(하위 3개 구간; 9.5%)에 비해 압도적으로 높았음

Q21 민간 예보 서비스의 정확도는 어느 정도라고 생각하십니까? (매우 부정확 ~ 매우 정확; 7구간) (민간예보 서비스 사용 경험이 있는 응답자 148명 대상)



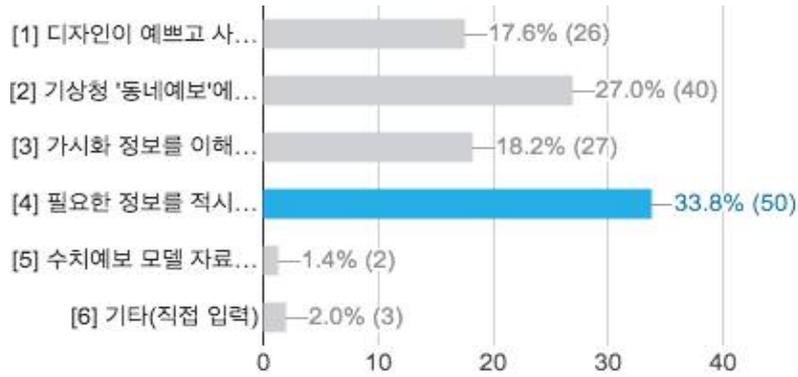
- 민간 예보 서비스의 정확도 점수는 64.1점 (4.49/7)이며, 정확하다는 의견(상위 3개 구간)이 과반수가 넘는 55.4%로 부정확하다는 의견(하위 3개 구간; 11.5%)에 비해 압도적으로 높았음

Q22 민간 예보 서비스의 정보의 출처는 어디라고 생각하십니까? (민간예보 서비스 사용 경험이 있는 응답자 148명 대상)



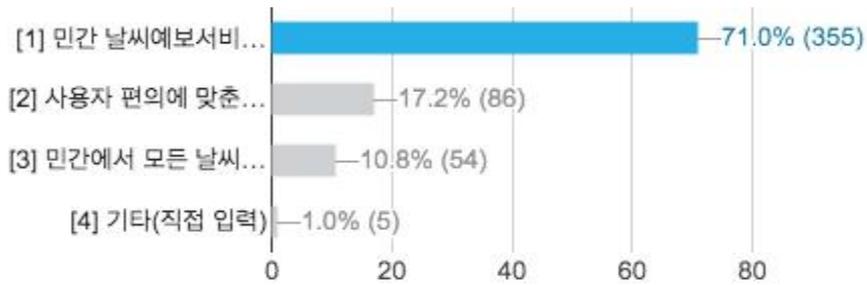
- 기상청 보기에 대한 선택(64.9%)이 압도적으로 많았으며, 이어서 민간 사업자(18.2%) > 국외(16.9%) 순으로 나타났음.

Q23 민간 예보 서비스에서 만족스러운 부분은 무엇입니까? (민간예보 서비스 사용 경험이 있는 응답자 148명 대상)



- 전체의 33.8%가 필요한 정보를 적시에 얻을 수 있다 보기를 선택했으며, 다음으로 기상청 '동네예보'에서는 제공되지 않는 예보 요소가 있다 (해외날씨, 과거날씨, 미세먼지, 오존 등)(27.0%) > 가시화 정보를 이해하기 쉽다(18.2%) 순으로 나타남.  
 - 기타 의견으로 '모바일에 기본적으로 설치되어있는 어플, 아이폰에서 설정해놓으면 스와이프 한번으로 날씨를 볼 수 있음' 이 있었음

Q24 현재 기상청은 시공간적으로 상세한 예보를 제공하기 위한 준비를 하고 있습니까. 서비스 주체에 대한 귀하의 생각은 어떠십니까?



- 민간 날씨예보서비스와 관계없이 기상청이 국민에게 최고의 날씨예보서비스를 제공해야 한다 보기에 대한 선택(71.0%)이 압도적으로 많았으며, 이어서 사용자 편의에 맞춘 상세 날씨예보서비스는 민간에서 제공하게 하고, 기상청은 현재 수준의 예보만 제공하면 된다(17.2%) > 민간에서 모든 날씨예보서비스를 제공하게 하고, 기상청은 재난과 관련된 방재기상업무에 집중해야 한다(10.8%) 순으로 나타남.